

**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

**ЭНЕРГИЯ - 2011**

**ШЕСТАЯ  
РЕГИОНАЛЬНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ**

**28 апреля 2011 г.  
г. Иваново**

**ТОМ 1**

Министерство образования и науки РФ  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И.ЛЕНИНА»

---

# **ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

**РЕГИОНАЛЬНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ  
И АСПИРАНТОВ**

**«ЭНЕРГИЯ 2011»**

**ИВАНОВО, 28 апреля 2011 г.**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

**ТОМ 1**

---

ИВАНОВО

ИГЭУ

2011

**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА** //Тезисы докладов региональной научно-технической конференции студентов и аспирантов. – Иваново.: ГОУ ВПО Ивановский госулар. энергетический университет. 2011, 156 с.

Помещенные в сборник тезисы докладов студентов и аспирантов теплоэнергетического факультета Ивановского государственного энергетического университета отражают основные направления научной деятельности кафедр в области теплоэнергетики и высшего профессионального образования.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов и преподавателей вузов, интересующихся вопросами теплоэнергетики.

Тексты тезисов представлены авторами в виде файлов, сверстаны и при необходимости сокращены. Авторская редакция сохранена.

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

**Председатель Оргкомитета:** проректор по научной работе, д.т.н., проф. **В.В. ТЮТИКОВ**.

**Члены оргкомитета:** декан теплоэнергетического факультета, доц. **С.Б. ПЛЕТНИКОВ**, зав. кафедрой Тепловых электрических станций д.т.н., проф. **А.В. МОШКАРИН**, зав. кафедрой Химии и Химических технологий в энергетике д.т.н., проф. **Б.М. ЛАРИН**, зав. кафедрой Промышленной теплоэнергетики д.т.н., проф. **В.П. СОЗИНОВ**, зав. кафедрой Автоматизации технологических процессов проф. **В.Д. ТАЛАНОВ**, зав. кафедрой Теоретических основ теплотехники д.т.н., проф. **В.В. БУХМИРОВ**, заместитель декана ТЭФа по научной работе ст. преподаватель **Н.Н. СМИРНОВ**.

## **Секция 1. ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ**

*Председатель секции зав. кафедрой Тепловые электрические станции д.т.н., проф. А.В. МОШКАРИН*

*Секретарь секции аспирант Т.А. ЖАМЛИХАНОВ*

*Н.С. Астаилов, соиск.; рук. С.И. Шувалов, д.т.н., проф.*

### **СХЕМА ПРОВЕИВАНИЯ ВОЗВРАТА ДО МЕЛЬНИЧНОГО ПРОДУКТА В ПЫЛЕСИСТЕМАХ С ШАРОВОЙ БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЕЙ**

Пылесистемы с шаровыми барабанными мельницами (ШБМ) и промежуточным бункером установлены на многих электростанциях России. Они предназначены для размола низкорреакционных углей. Для увеличения эффективности факельного сжигания топлива в таких схемах устанавливают сепаратор, исключающий попадание в топку частиц нежелательного размера.

В докладе рассматривается вопрос увеличения производительности пылесистемы, за счет повышения эффективности сепарации. Предложена схема провеивания возврата основного сепаратора до крупности мельничного продукта. На основании [1] с учетом балансовых соотношений из [2] составлена компьютерная программа для моделирования процесса разделения. Проанализировано влияние конструктивных характеристик основного сепаратора и сепаратора провеивания на процесс разделения. Также рассмотрено влияния режимных параметров. Вариантные расчеты показали возможность увеличения производительности пылесистемы на 18÷20 %.

Данная схема провеивания возврата до мельничного продукта была реализована на Черепетской ГРЭС при модернизации пылесистем энергоблока №11. В связи с переходом на менее калорийный уголь и недостаточной производительностью пылесистемы для сохранения производительности котла приходится дополнительно сжигать мазут. При проведении модернизации для провеивания возврата были установлены гравитационные сепараторы с пересыпными полками. Проведенные испытания показали увеличение производительности пылесистемы на 13 % или на 7,2 т/ч в абсолютном выражении. Прирост производительности пылесистемы позволил сократить расход мазута на

105 т/сутки. Помимо экономии расходов на приобретение топлива применение схемы провеивания возврата уменьшило расход электроэнергии на пылеприготовление. Снижение присосов холодного воздуха в топку за счет снижения аэродинамического сопротивления барабана, привело к уменьшению потери тепла с уходящими газами.

#### Библиографический список

1. Шувалов С.И., Михеев П.Г., Веренин А.А., Асташов Н.С. Математическая модель шаровой барабанной мельницы для анализа работы сепаратора пыли.
2. Шувалов С.И., Веренин А.А., Михеев П.Г., Асташов Н.С. Повышение производительности пылесистем с шаровыми барабанными мельницами путем провеивания возврата.// Энергосбережение и водоподготовка. 2008, №4.

*А.А. Митюшов, асп.; рук. С.И. Шувалов, д.т.н., проф.*  
**ОЦЕНКА МИКРОПОВРЕЖДЕННОСТИ МЕТАЛЛА  
ПАРОПРОВОДОВ ПО ОСТАТОЧНОЙ  
ДЕФОРМАЦИИ**

Одной из основных задач персонала тепловой электрической станции (ТЭС) является обеспечение надежной и безопасной работы оборудования. Для оценки текущего состояния наиболее ответственных элементов во время плановых остановов производятся осмотры и замеры некоторых параметров, характеризующих некоторым образом степень износа оборудования.

Самыми проблемными в этой ситуации являются паропроводы острого пара и горячего промперегрева, работающие при умеренных нагрузках и высокой температуре, способствующей ползучести металла. При этом наиболее изнашиваемыми и наиболее опасными участками паропроводов являются их гибы, воспринимающие не только статические нагрузки от внутреннего давления пара и собственного веса, но также и динамические нагрузки при самокомпенсации трубопроводов при изменении нагрузки энергоблока. Разрушение таких паропроводов всегда приводит к значительному материальному ущербу и, как правило, к человеческим жертвам.

В условиях ползучести дефекты металла, приводящие в разрыву трубопровода, возникают не моментально, а развиваются в течение длительного периода эксплуатации. Сначала в металле образуются единичные микропоры, которые в дальнейшем объединяются в цепочки, затем переходят в микротрещины и только на последней стадии превращаются в действительно опасные макротрещины.

Нормативные материалы, регламентирующие условия безопасной эксплуатации наиболее ответственных элементов ТЭС, запрещают работу паропроводов с микротрещинами. Оценка текущего состояния микроструктуры производится по вырезкам или репликам, снятым с поверхности исследуемого элемента. Такой анализ дает объективную и достаточно полную информацию о состоянии элемента, но метод трудоемок и применяется в ограниченном объеме. Кроме того, состояние микроструктуры оценивается по бальной шкале, которая фактически констатирует одну из четырех возможных ситуаций: «безопасно», «малая опасность», «высокая опасность», «недопустимо». Такие оценки достаточны для анализа текущего состояния, но для решения вопроса о возможности дальнейшей безопасной эксплуатации элемента по крайней мере до следующего обследования необходимо предвидеть развитие процесса износа в будущем.

Наряду с микроанализом структуры проводятся измерения характеристик металла, основанные на различных физических явлениях. Такие измерения дают лишь косвенные оценки степени износа элемента, но они более просты, дешевы и по этим причинам проводятся чаще. Так как результатов таких измерений значительно больше, чем данных о микроструктуре, то по ним можно наблюдать динамику процесса износа, и на их основе можно организовать прогноз будущего состояния оборудования.

Наиболее пригодными для прогноза являются измерения остаточной деформации прямых участков гибов паропроводов. Во-первых, эти измерения дают четкую количественную оценку состояния. Во-вторых, в условиях ползучести именно пластическая деформация металла приводит к образованию и развитию микропор, т.е. является первоисточником для создания опасной ситуации. Однако следует отметить, что не наблюдается строгой функциональной связи между величиной деформации и структурой металла, здесь можно ожидать только вероятностные зависимости. Статистическая обработка результатов диагностики состояния трубопроводов Рязанской ГРЭС показала, что такая связь действительно существует, причем вероятность достижения определенного балла микроповрежденности структуры зависит не только от величины деформации, но также от предыдущего состояния микроструктуры.

В связи с тем, что на процесс накопления дефектов в металле оказывают влияние множество факторов, в том числе и не контролируемых в процессе эксплуатации, предлагается следующий алгоритм прогнозирования будущего состояния.

1) Создается база результатов обследования однотипных элементов, работающих приблизительно в одинаковых условиях.

2) По этой базе определяются вероятностные зависимости микроповрежденности металла от остаточной деформации и предыдущего состояния.

3) Процесс накопления остаточной деформации рассматривается как суперпозиция детерминированного процесса, обусловленного статическими нагрузками, и случайного процесса, связанного с возникновением неконтролируемых динамических нагрузок. Вклад динамических нагрузок может быть только положительным, т.е. эти нагрузки приводят только к увеличению остаточной деформации, но никоим образом не могут уменьшить прирост деформации от статических нагрузок.

4) На основании имеющихся в базе данных определяются параметры математической модели, т.е. коэффициенты для детерминированной составляющей и параметры распределения коэффициентов для случайной составляющей.

5) Для анализируемого элемента проводится статистическое моделирование процесса накопления деформации за указанный период будущей эксплуатации. В результате получается кривая вероятности достижения того или иного уровня деформации.

6) По этой кривой и найденной ранее зависимости микроповрежденности металла от деформации рассчитывается вероятность достижения недопустимого балла микроповрежденности. На основании этой информации принимается решение о возможности дальнейшей эксплуатации элемента.

*Е.М. Зорина, студ.; рук. Г.В. Ледуховский, к.т.н., доц.*

## **ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ВАКУУМНЫХ ИСПЫТАНИЙ ТУРБОАГРЕГАТА**

Давление отработавшего пара в конденсаторе паровой турбины в значительной мере определяет тепловую экономичность паротурбинной установки в целом.

Необходимость контроля и анализа показателей работы паротурбинной установки инженерным персоналом электростанции обуславливает актуальность разработки соответствующих поправочных кривых, позволяющих определить влияние тех или иных режимных параметров на удельный расход тепла брутто на производство электроэнергии турбоагрегатом.

В докладе приведено описание методики вакуумных испытаний, порядка и результатов их обработки применительно к турбоагрегату типа

Тп-115/125-130-1тп производства Уральского турбомоторного завода, установленного на Йошкар-Олинской ТЭЦ-2. Результатом работы является разработка поправки к электрической мощности турбоагрегата на отклонение давления отработавшего пара в конденсаторе в графическом виде.

Вакуумные испытания турбины, проведенные в 2010 году, включали две серии опытов при различных положениях органов парораспределения цилиндра высокого давления. Методика испытаний и порядок обработки их результатов отвечают требованиям нормативно-технических документов, регламентирующих проведение испытаний паровых турбин.

Основная идея методики вакуумных испытаний сводится к тому, чтобы исключить влияние на мощность турбоагрегата всех факторов, кроме искусственно изменяемого давления отработавшего пара. Для этого во время проведения опытов отключается большинство регенеративных подогревателей, фиксируется положение органов парораспределения, отключаются регулируемые отборы пара, минимизируются колебания параметров свежего пара от опыта к опыту.

Результаты замеров контролируемых в опытах параметров подвергнуты первичной обработке с тестированием на выбеги, введением известных систематических погрешностей и определением окончательных результатов измерения параметров в опытах.

Основная обработка результатов испытаний сводилась к введению необходимых поправок к электрической мощности и давлению отработавшего пара.

В результате обработки результатов испытаний получена универсальная вакуумная кривая для турбоустановки, которая затем пересчитана в искомую характеристику поправок к электрической мощности в зависимости от давления отработавшего пара в конденсаторе и расхода пара в часть низкого давления турбоагрегата.

Полученная поправочная характеристика предназначена для анализа технико-экономических показателей работы турбоагрегата в ходе эксплуатации и расчета составляющих резерва тепловой экономичности, связанных с работой конденсатора.



*А.А. Коротков, соиск.; рук. Г.В. Ледуховский, к.т.н., доц.*  
**ТЕПЛОХИМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ  
ДЕАЭРАТОРОВ**

В отношении процессов хемосорбции-десорбции углекислоты при термической деаэрации и химических реакций, сопровождающих эти процессы, имеются лишь отдельные несистематизированные сведения. В то же время отсутствие методов расчета этих процессов не позволяет спроектировать эффективный деаэратор для заданного химического состава исходной воды или выполнить наладку режима действующего деаэратора без проведения большого числа опытов. Моделирование процессов термической декарбонизации невозможно без проведения соответствующих экспериментов.

В докладе приведено описание методического и метрологического обеспечения, а также порядок первичной обработки результатов испытаний деаэраторов типа ДА-300М и ДСА-300. Объекты исследований являются противоточными двухступенчатыми термическими струйно-барботажными деаэраторами атмосферного давления. Для получения информации о показателях работы отдельных ступеней (отсеков) деаэраторов, объекты исследований оборудованы пробоотборными устройствами. Места установки пробоотборных зондов соответствовали выходу теплоносителей из того или иного внутреннего элемента деаэратора. Испытания предусматривали измерение теплотехнических параметров теплоносителей, а также выполнение химических анализов проб воды и пара с определением массовых концентраций свободной углекислоты, удельной электропроводности, водородного показателя рН, щелочности общей и по фенолфталеину.

Испытания проведены в условиях промышленной эксплуатации методом активного эксперимента. Рассматривались режимы с подачей только основного, только барботажного пара и совместной подачей основного и барботажного пара. Длительность каждого опыта составляла не менее полутора часов. Каждый теплотехнический параметр в рамках опыта измерялся не менее девяти раз, каждый химический параметр – не менее трех раз.

Первичная обработка результатов измерений включала идентификацию и отсеивание выбросов, оценку правильности результатов измерений и исключение известных систематических погрешностей, проверку приемлемости и установление окончательных результатов измерений, вычисление оценок стандартных отклонений окончательных результатов измерений, определение доверительных границ погрешности окончательных результатов измерений, оценку прецизионности ре-

зультатов измерений теплотехнических параметров, оценку точности, правильности и прецизионности результатов измерений химических параметров.

Полученные экспериментальные данные будут использованы для идентификации математических моделей технологических процессов декарбонизации воды в струйных и барботажных элементах термических деаэраторов.

*Н.А. Малинина, студ.; рук. Г.В. Ледуховский, к.т.н., доц.*  
**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ  
ТЕПЛОСИЛОВОГО ЦЕХА ОАО «СЕВЕРСТАЛЬ»**

Показатели тепловой экономичности вспомогательных энергетических подразделений оказывают существенное влияние на экономические показатели металлургического производства в целом, что обуславливает актуальность разработок, обеспечивающих повышение эффективности работы теплосилового оборудования.

В докладе представлен анализ эффективности расширения участка химической очистки воды (ХВО) теплосилового цеха (ТСЦ) ОАО «Северсталь» турбоагрегатами малой мощности с противодавлением. Участок ХВО ТСЦ, являясь центральной водоподготовительной станцией комбината, потребляет до 50 т/ч пара из общей для предприятия паровой сети с давлением пара 1,2–1,7 МПа. При этом для потребителей участка (подогревателей, деаэраторов) достаточное давление пара перед регуляторами давления составляет 0,15–0,3 МПа, что обуславливает необходимость применения редуцированных установок. В то же время, уменьшить давление в паровой сети комбината и, тем самым, исключить необходимость дросселирования пара, не представляется возможным из-за большой протяженности паропроводов и различий в требованиях к рабочему давлению пара со стороны многочисленных подключенных потребителей.

В данной работе рассмотрена техническая возможность и экономическая целесообразность использования избыточного давления пара на входе в участок ХВО ТСЦ для выработки электроэнергии с применением блочных турбогенераторов малой мощности с противодавлением производства Калужского турбинного завода. Предварительные расчеты показали, что располагаемая электрическая мощность в рассматриваемых условиях составляет 2960 кВт. Это позволяет обосновать установку до четырех турбогенераторов типа ТГ0,75А/0,4Р13/2 («Кубань 0,75А3»). Проведены расчеты по определению электрической мощно-

сти при различном числе установленных турбоагрегатов с учетом среднегодового суточного графика потребления пара, параметров этого пара в паровой сети комбината и требуемого давления пара для потребителей участка. При этом использованы заводские диаграммы режимов турбоагрегата с комплектом необходимых поправок на отклонение начальных и конечных параметров пара.

Полученные технические характеристики позволили выполнить расчеты показателей экономической эффективности проекта. При этом выявлено, что дисконтированный срок окупаемости изменяется от 6,9 года при установке одного агрегата до 2,9 года при установке четырех агрегатов, что позволяет признать проект экономически эффективным и рекомендовать установку четырех турбогенераторов типа «Кубань 0,75А3».

*К.Е. Крюкова, студ.; рук. А.А. Поспелов, к.т.н., доц.*  
**АНАЛИЗ РАБОТЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ  
УСТАНОВКИ ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ТЭЦ**

На Петрозаводской ТЭЦ (ПТЭЦ) в качестве источников теплоты, обеспечивающих внутростанционные и городские тепловые сети горячей водой, используются три теплофикационные установки (ТФУ). Две теплофикационные установки смонтированы в схеме обвязки турбоагрегатов Т-110/120-130 ТМЗ № 2, 3. Третья теплофикационная установка включает два основных и один пиковый бойлер. Бойлеры подключены по пару к соответствующим коллекторам собственных нужд, давлением 1,2 и 13 ата, питающимся паром от регулируемых отборов турбины ПТ-60/130-13 №1.

Для покрытия пиковых нагрузок тепловой сети используются водогрейные котлы типа КВГМ-100 № 4, 5.

Целью проведения анализа работы теплофикационных установок ПТЭЦ являлось определение максимальной тепловой мощности пикового бойлера, которая могла бы быть использована в схеме подогрева сетевой воды при работе теплофикационных установок в пиковом режиме.

Анализ работы теплофикационных установок выполнен по данным учета работы ТФУ в декабре 2009 и зимних месяцах 2010 года. Анализ представленных данных позволил сделать следующие выводы:

- включение и загрузка водогрейных котлов не согласовывалась с загрузкой ТФУ машинного зала и температурой наружного воздуха;

- водогрейные котлы включались в работу при недогрузке ПСГ турбоагрегатов №2, 3, хотя во всех случаях имелся запас по паропроизводительности энергетических котлов;

- в некоторых случаях недогрузка ПСГ турбоагрегатов была вызвана сравнительно низкими расходами сетевой воды через подогреватели, что приводило к предельным значениям давления в верхних сетевых подогревателях и снижению экономичности работы турбоагрегатов в целом.

Для определения максимальной тепловой мощности пикового бойлера, которая могла бы быть использована в схеме подогрева сетевой воды при работе теплофикационных установок в пиковом режиме, были выполнены для трех характерных температур наружного воздуха (3 °С, -18 °С и -29 °С) следующие расчеты:

- тепловых нагрузок в паре производственного и теплофикационного отборов турбоагрегата ПТ-60-130/13 № 1;

- тепловых нагрузок ПТЭЦ в сетевой воде;

- расхода греющего пара из коллектора собственных нужд давлением

13 ата на деаэраторы турбоагрегатов Т-100/110-130 № 2, 3;

- расхода греющей воды на ДСВ-800 схемы подпитки теплосети;

- необходимой теплопроизводительности энергетических котлов для обеспечения тепловых нагрузок потребителей при работе турбоагрегатов по тепловому графику нагрузок;

- выполнен поверочный расчёт пикового бойлера с целью определения режимных параметров работы подогревателя.

По результатам расчетов для трех характерных температур наружного воздуха 3, -18 и -29 °С тепловая мощность пикового бойлера, которая могла бы быть использована в схеме подогрева сетевой воды, соответственно составила 44,02, 54,29 и 49,28 Гкал/ч.

Указанные значения тепловой мощности пикового бойлера определены из условия полного использования суммарной тепловой мощности трёх энергетических котлов типа БКЗ-420-140.

Выполнен сравнительный расчет затрат топлива на выполнение производственной программы для фактического состава и режима работы основного оборудования, используемого с декабря 2009 и по март 2010 года, и расчетного режима, учитывающего максимальное использование пикового бойлера в схеме отпуска тепла с сетевой водой

Экономия топлива при максимальной загрузке пикового бойлера в период работы ТЭЦ с декабря 2009 по март 2010 года могла составить 2195 т в условном исчислении.

*Е.А. Корниенко, студ.; рук-ль: Г.Г. Орлов, к.т.н., проф.*  
**РЕКОНСТРУКЦИЯ БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ**

На одной из ТЭЦ Центра России была построена градирня, площадью орошения  $1520 \text{ м}^3$ , она сооружена по типовому проекту Московского отделения института «Теплоэлектропроект», разработанному в 1953 г. Строительство градирни было завершено в 1961 г.

Основные параметры башни (фактические):

- высота башни – 55,17 м;
- диаметр нижнего опорного кольца – 43,92 м;
- диаметр устья башни – 25,83 м.

Обследования состояния градирни производились фирмой «ОРГРЭС» достаточно часто: в 1988, 89, 94 гг., а последнее обследование было выполнено в 2005 г., в котором были установлены значительные разрушения железобетонных конструкций вытяжной башни:

- прогрессирующие разрушения бетона на ранее ремонтируемых участках и швах бетонирования;
- структурные разрушения бетона по швам бетонирования;
- коррозия арматуры на участках с поврежденным защитным слоем бетона общей площадью  $871,33 \text{ м}^2$ ;
- разрушение бетона с внешней стороны с обнажением рабочей арматуры.

Наряду с коррозией арматуры кольца жесткости, процессам коррозии подвержены арматурные стержни опорной колоннады в узлах сопряжения с нижним кольцом жесткости. Коррозийный износ уже превышает 5 %.

С учетом изложенного и требований технического задания рассмотрены следующие варианты реконструкции:

Вариант 1. Разборка железобетонной оболочки градирни до отм.+12,0 м. с восстановлением и усилением отстающей железобетонной части и монтажом металлической башни с алюминиевой обшивкой с отм.+12,0 м. до отм.+55,0 м.

Вариант 2. Полная разборка железобетонной оболочки градирни и колоннады с последующим монтажом металлической каркасной башни с алюминиевой обшивкой на сохраняющемся фундаменте.

Сметная стоимость работ по варианту 1 составила - 610,6 тыс. руб.

Сметная стоимость работ по варианту 2 составила - 642,5 тыс. руб.

Из расчета следует, что трудоемкость в варианте 1 с сохранением нижней части железобетонной оболочки примерно на 23 % больше, чем в варианте 2 с полной заменой железобетонной башни на металлическую. Исходя из этого считаем, что для качественного ремонта

градирни целесообразно построить металлическую каркасную башню с алюминиевым покрытием, по варианту 2 и внутренним пластиковым корпусом на сохраняющемся фундаменте.

*Ю.Г. Шаблин, студ.; рук Г.Г. Орлов, к.т.н., проф.*  
**РЕКОНСТРУКЦИЯ ТУРБИН СУРГУТСКОЙ ГРЭС-1  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОТБОРОВ ПАРА НА  
ПОТРЕБИТЕЛЯ**

В настоящее время находящееся в эксплуатации оборудование ТЭС стареет и, в конечном счете, вырабатывает свой ресурс, поэтому необходимо вкладывать средства в реконструкцию и модернизацию его, чтобы обеспечить более экономичный режим работы оборудования.

На многих ТЭС России установлены конденсационные блоки мощностью 160÷200 МВт, например, на Сургутской ГРЭС-1 их 14 штук.

Предложенный нами проект реконструкции состоит в модернизации турбоагрегатов с целью снабжения потребителей паром и горячей водой, что позволит улучшить технико-экономические показатели как турбины, так и самой электростанции, практически исчерпавшей резервы снижения удельных расходов топлива.

Мы предлагаем два варианта реконструкции турбины К-210-130.

В первом варианте рассматривается организация нерегулируемого производственного отбора пара из ЦСД с давлением 0,7 МПа в количестве 200 т/ч для промышленных предприятий, а также для сушки топлива в целях повышения экономичности энергоустановок на буром угле.

Суть устройства нерегулируемого отбора заключается:

- в установке вместо 19-23 ступеней ЦСД пяти новых ступеней меньших размеров;
- в установке ЦНД и конденсатора турбины ВК100-6 ЛМЗ.

При заданных величинах отборов пара электрическая мощность составит 160 МВт.

Другой вариант предусматривает получение регулируемого теплофикационного отбора пара с давлением 0,12÷0,15 МПа для обеспечения паром и горячей водой тепловых потребителей, что особенно важно при расширении прилегающего к ТЭС рабочего поселка.

Организация работ по второму варианту включает в себя:

- замену перепускных труб из ЦСД в ЦНД на новые с встроенными со стороны подачи пара в ЦНД турбины регулирующими клапанами;

- модернизацию маслопроводов внутри переднего подшипника с установкой суммирующих золотников новой конструкции;
- монтаж трубопроводов теплофикационного отбора и установку подогревателя сетевой воды.

В результате реконструкции турбоагрегата в соответствии с проведенными расчетами при давлении в регулируемом отборе 0,12 МПа теплофикационная установка позволит получать тепловую нагрузку до 769 ГДж/ч при температуре подогрева сетевой воды до 122 °С. При этом удельный расход теплоты на выработку электроэнергии снизится на 2623 кДж/кВт·ч, а электрическая мощность будет равной 178,5 МВт.

*Д.Э. Ожерельев, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., проф.*

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ РОТОРА ЦВД ТУРБИНЫ К-300-240 С АКТИВНОГО ТИПА НА РЕАКТИВНЫЙ**

С каждым годом идет нарастание объема генерирующих мощностей, выработавших свой расчетный ресурс в 100 тыс. ч., в результате чего появляется необходимость продления срока их эксплуатации и перехода на так называемый парковый ресурс, значительно превышающий расчетный.

Уже в настоящее время доля оборудования, отработавшего не только свой расчетный, но и парковый ресурс, довольно высока.

Негативное последствие практики увеличения ресурса работы энергетического оборудования в 1,5-2 раза сверх расчетного (а в ряде случаев и сверх паркового ресурса) заключается в существенном возрастании затрат на ремонтные работы, т.е. с перерасходом материальных и финансовых ресурсов.

Морально и физически устаревшее оборудование имеет низкие КПД, что приводит к перерасходу топлива (снижению эффективности производства) и дополнительному удорожанию электрической и тепловой энергии. Возрастают также расходы на собственные нужды электростанции и потери энергии при передаче электроэнергии по сетям.

Парковый ресурс паровой турбины определяется ресурсом ее жаропрочных элементов: стопорных и регулирующих клапанов, корпуса ЦВД и элементов корпуса.

После исчерпания паркового ресурса турбиной необходимо осуществить большие затраты по замене ее старых элементов на новые. Поэтому в первую очередь следует оценить, что наиболее целесообразно

выполнить: либо провести ремонтно-восстановительные работы, чтобы оставить в эксплуатации аналогичную конструкцию турбины, либо установить турбину более совершенной конструкции. Предлагаемая модернизация проточной части ЦВД блока 300 МВт заключается в замене старой проточной части с активным облопачиванием на дисках и диафрагмах (1 регулирующая ступень и 11 ступеней давления) на новую – с реактивным облопачиванием, состоящую из регулирующей ступени и 19 ступеней реактивного типа.

Принцип реактивного облопачивания роторов турбин широко применяется в мировой практике продолжительное время, и его преимущества не оспариваются инженерным сообществом.

Целями модернизации были:

- повышение надежности работы турбин (продление ресурса);
- повышение КПД ЦВД и получение дополнительной мощности блока;
- снижение удельных расходов топлива на выработку э/энергии.

Рабочие лопатки всех ступеней ЦВД (кроме регулирующей) выполнены из профилей переменного сечения. Как показывают проведенные расчеты, КПД ЦВД за счет применения реактивного облопачивания увеличивается с 0,774 до 0,842, что позволяет получить дополнительную мощность ЦВД, порядка 10 МВт.

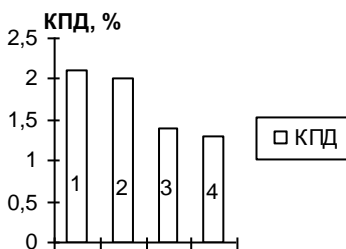


Рис. 1. Составляющие КПД ЦВД

Составляющие повышения КПД ЦВД представлены на рис. 1, где показано, что общее повышение КПД:  $\Delta\eta = (0,842 - 0,774) \%$  складывается из составляющих: 1 – увеличение числа ступеней с 11 до 19 позволяет повысить КПД на 2,1 %; 2 – применение развитых уплотнений – 2,0 %; 3 – уменьшение перепада на регулирующую ступень – 1,4 %; 4 – более эффективные профили направляющих и рабочих лопаток – 1,3 %.

Выполненный эскизный проект ЦВД паровой турбины блока 300 МВт показывает, что регулирующая ступень может быть выполнена на отдельном диске, а остальные ступени на бочкообразном роторе в два потока: левый поток состоит из 9 ступеней, а правый из 10 ступеней. Конструкция корпуса ЦВД может быть сохранена прежней.



Повышение КПД ЦВД и получение дополнительной мощности блока позволяет получить экономию в расходе топлива на блок, порядка 20,67 тыс. т у.т. в год.

*Д.М. Рябов, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., проф.*  
**УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА И ВОДЯНЫХ ПАРОВ  
 УХОДЯЩИХ ГАЗОВ В ТЕПЛОВОЙ СХЕМЕ ТЭС**

В настоящее время большинство отечественных ТЭС используют в качестве топлива природный газ, представляющий из себя комплекс углеводородов, поэтому при сжигании природного газа образуется в основном  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

Наиболее целесообразно для повышения экономичности ТЭС использовать не только тепло уходящих газов, но также и конденсат водяных паров, содержащихся в них. Этот конденсат можно использовать для подпитки теплосети, например, как на Ульяновской ТЭЦ-3, или для подпитки цикла блока (рис. 1).

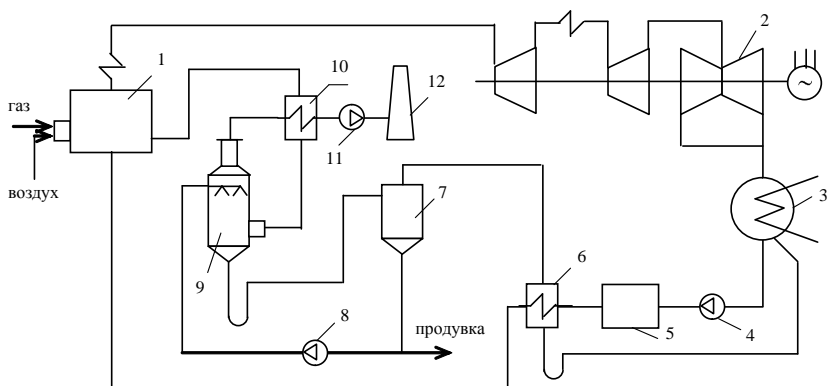


Рис. 1. Схема установки для получения конденсата из уходящих дымовых газов котлоагрегата:

1 – котлоагрегат; 2 – турбогенератор; 3 – конденсатор; 4 – конденсатный насос; 5 – блочная обессоливающая установка; 6 – подогреватель низкого давления; 7 – вакуумный испаритель; 8 – циркуляционный насос; 9 – контактный теплообменник; 10 – подогреватель уходящих газов из теплообменника 9; 11 – дымосос; 12 дымовая труба

Особенность предлагаемой нами установки (рис. 1) состоит в том, что отделитель влаги из отходящих газов котлоагрегата 1 выполнен в виде контактного теплообменника 9, в котором тепло конденсирующихся водяных паров и тепло уходящих газов котла отдается воде, циркулирующей с помощью насоса 8 по контуру: контактный теплообменник 9 – вакуумный испаритель 7. В испарителе 7 конденсат, выделенный из уходящих газов котла, превращается в пар, идущий в подогреватель низкого давления 6, и отдает там тепло конденсации. Полученный конденсат пара направляется в конденсатор турбины 3 через гидрозатвор для компенсации утечек в цикле блока.

Предлагаемая схема позволяет отказаться от химводоочистки, служащей для восполнения потерь в цикле. Качество рабочего вещества цикла с учетом конденсата водяных паров поддерживается блочной обессоливающей установкой 5.

При конденсации водяных паров из уходящих дымовых газов котла уменьшается температура этих газов. Для устранения этого явления на выходе газов из контактного теплообменника 9 установлен поверхностный теплообменник 10, который позволяет сохранить требуемую самотягу дымовой трубы.

Утилизация тепла конденсации водяных паров  $Q$  в подогревателе низкого давления 6 (рис. 1) позволяет получить экономию в расходе топлива на блок в количестве  $\Delta B$ :

$$\Delta B = \frac{\xi \cdot Q \cdot \tau}{\eta_{ка} \cdot \eta_{тр} \cdot Q_{усл}} \cdot \beta,$$

где  $\eta_{ка}$ ,  $\eta_{тр}$  – КПД котла и трубопроводов, соответственно;  $\xi$  – коэффициент ценности тепла;  $\tau$  – число часов использования установленной мощности;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий изменение потерь энергии с выходным паром турбины;  $Q_{усл}$  – теплота сгорания условного топлива.

Предлагаемая установка для блока 800 МВт с турбиной К-800-240-5 позволяет отказаться от ХВО для подпитки цикла и получать от 38 до 47,5 т/ч конденсата. Срок окупаемости установки не превышает двух месяцев.

*И.С. Романов, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., проф.*  
**ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ОЧИСТКИ  
КОНДЕНСАТОРОВ ТУРБИН КРУПНЫХ БЛОКОВ  
ТЭС**

Из-за наличия в воде, проходящей через конденсаторы турбин ТЭС, береговой (листья, ветки) и водной (водоросли) растительности, а также ила, набережного мусора и животных организмов (рыбы), происходит загрязнение трубок и трубных досок конденсаторов турбин, что ведет к ухудшению теплопередачи в конденсаторе и повышению давления отработавшего пара, и, тем самым, недоотпуску энергии блоком ТЭС.

Для поддержания трубок конденсатора в чистом состоянии необходимо проводить периодические их чистки или профилактические мероприятия, которые предотвращают образование отложений на стенках труб. К таким мероприятиям относятся методы очистки: химический, термический, механический или воздушной смесью.

Наиболее эффективным профилактическим мероприятием из всех методов по поддержанию в чистоте охлаждающей поверхности конденсатора является очистка его трубок эластичными шариками.

Пористые резиновые шарики, диаметр которых на 1-2 мм больше внутреннего диаметра трубки, вводятся в контур циркуляционной системы в напорный водовод перед конденсатором. После прохождения через трубки конденсатора шарики улавливаются специальной сеткой, установленной в сливном водоводе вблизи выходной водяной камеры конденсатора. Из выходного патрубка шарикоулавливающей сетки шарики с потоком воды по трубопроводу подводятся к насосу, который подает шарики снова в напорный патрубок, замыкая контур циркуляции. Так работает система шариковой очистки (СШО). Обязательным элементом СШО является фильтр предварительной очистки воды, устанавливаемый в напорном водоводе перед конденсатором, что исключает застревание шариков в трубках из-за наличия в воде мелкого мусора.

При среднем времени прохода шарика по контуру циркуляции 30ч40 с одноразовая загрузка шариков составляет около 5 % от общего количества трубок в конденсаторе. Для турбины К-800-240-5 ЛМЗ количество трубок конденсатора равно 39232 шт., что составляет на каждую половину конденсатора 19616 трубок, а количество шариков составит 980 шт. на одну половину конденсатора (5 % от 19616 трубок).

Проведенные опыты показали, что в результате установки фильтра в напорном водоводе перед конденсатором коэффициент чистоты кон-

денсатора достигает 0,82, что на 30 % больше коэффициента чистоты конденсатора без СШО. Можно констатировать, что СШО вполне работоспособна и ее целесообразно использовать при возникновении сезонных залповых загрязнений. При увеличении давления в конденсаторе из-за загрязнения трубок СШО.

*А.О. Лашин, студ.; рук-ли: Б.Л. Шелыгин, к.т.н., проф.;  
А.В. Мошкарин, д.т.н., проф.*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КУРС ПО ИЗУЧЕНИЮ ОБСЛУЖИВАНИЯ КОТЛОВ-УТИЛИЗАТОРОВ ТЭС**

В настоящее время учебный процесс должен основываться на использовании автоматизированных учебных курсов (АУК), обеспечивающих интенсивность обучения. Необходимость создания такого АУК была вызвана недостатком технической литературы, низкой квалификацией персонала, эксплуатирующей котлы-утилизаторы парогазовых установок ТЭС.

На кафедре ТЭС разрабатывается компьютерное пособие «Котлы-утилизаторы парогазовых установок ТЭС». Материал входит в раздел «Эксплуатация котлов-утилизаторов электростанций» и содержит 4 раздела.

Приводятся общие положения и требования к эксплуатации котлов-утилизаторов в составе ПГУ ТЭС. Рассматриваются особенности технического диагностирования, вводно-химического режима и гидравлической опрессовки котлов-утилизаторов. Представлены организационные особенности обслуживания оборудования КТЦ ПГУ, задачи и обязанности персонала.

Изучаются вопросы управления технологическими процессами, протекающими в котлах-утилизаторах электростанций. Приводятся схемы автоматического регулирования эксплуатационных характеристик КУ. Рассматриваются технологические блокировки КУ и защиты, действующие на снижение нагрузки ПГУ.

Наглядность обеспечивается параллельной иллюстрацией изложенного материала, схемами, графиками и применением элементов анимации. Изучение материала АУК заканчивается проверкой полученных знаний с демонстрацией протокола результатов.

Подготовительный материал выполнен в операционной системе Windows, выполнен с использованием графического редактора Corel Draw. Анимация разработана в среде Flash Macromedia. Материал выполнен в среде HTML с применением средств пакета Microsoft Office.

Разработанный программный продукт рассчитан на студентов теплоэнергетических специальностей и работников энергопредприятий. В ходе занятий выявлены эффективность использования программного продукта в процессе индивидуального обучения.

*И.М. Смирнов, студ.; рук-ли: Б.Л. Шелыгин, к.т.н., проф.;  
А.В. Мошкарин, д.т.н., проф.*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КУРС ПО ИЗУЧЕНИЮ ОСОБЕННОСТЕЙ ОСТАНОВА КОТЛОВ-УТИЛИЗАТОРОВ ПГУ**

При требуемом качестве образования любой метод обучения реализуется через множество приемов, к наиболее прогрессивным, из которых относится использование компьютерных разработок в виде автоматизированных учебных курсов (АУК).

На кафедре ТЭС разрабатывается компьютерное пособие «Котлы-утилизаторы парогазовых установок ТЭС». Материал входит в раздел «Эксплуатация котлов-утилизаторов электростанций» и содержит 3 раздела:

- Плановый останов котла-утилизатора.
- Аварийный останов котла-утилизатора.
- Контрольные вопросы.

Приводятся особенности планового останова энергоблока ТЭС без расхолаживания оборудования, с расхолаживанием паровой турбины и паропроводов, с расхолаживанием котла-утилизатора и паропроводов КТЦ. Представлены изменения во времени эксплуатационных параметров энергоблока.

Рассматриваются характерные варианты и последовательность аварийного останова энергооборудования. Изучаются технологические защиты, действующие на аварийный останов КУ в условиях утилизационного режима работы ГТУ. Рассматривается действие защит в случаях автономного и совместного режимах КУ электростанций.

Наглядность обеспечивается параллельной иллюстрацией изложенного материала, схемами, графиками и применением элементов анимации. Изучение материала АУК заканчивается проверкой полученных знаний с демонстрацией протокола результатов.

Представленный АУК подготовлен в операционной системе Windows, выполнен с использованием графического редактора Corel Draw. Анимация разработана в среде Flash Macromedia. Материал вы-

полнен в среде HTML с применением средств пакета Microsoft Office. Сценарий материала отличается методической последовательностью.

Разработка может использоваться на занятиях со студентами энергетических специальностей и в учебных центрах энергосистем при подготовке и переподготовке работников ТЭС.

*Е.С. Малков, студ.; рук-ли: Б.Л. Шелыгин, к.т.н., проф.;  
А.В. Мошкарин, д.т.н., проф.*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КУРС ПО ИЗУЧЕНИЮ ПУСКА КОТЛОВ-УТИЛИЗАТОРОВ ПГУ В РАБОТУ**

Любая педагогическая система включает как преподавателей и обучающихся, так и цели, методы и средства, формы обучения, учебно-научную базу. Деятельность преподавателей должна быть направлена на организацию интенсивного усвоения обучающимися содержания учебной дисциплины. Требуемое качество образования может быть реализовано с использованием компьютерных разработок в виде автоматизированных учебных курсов (АУК). В этом случае освоение материала является желаемым и неусттомительным.

Настоящая работа входит в состав разрабатываемого на кафедре ТЭС компьютерного учебника «Котлы-утилизаторы парогазовых установок ТЭС». Материал входит в раздел «Эксплуатация котлов-утилизаторов электростанций» и содержит 6 разделов.

Рассматриваются основные положения и требования к пусковым операциям, приводится классификация пусков в зависимости от теплового состояния энергетического оборудования. Отмечаются условия и критерии, разрешающие приступить к пусковым операциям котла-утилизатора в работу.

Изучается общая последовательность пуска энергоустановок из холодного, неостывшего и горячего состояний оборудования ПГУ. Представлено изменение во времени эксплуатационных параметров энергоблока.

Наглядность обеспечивается параллельной иллюстрацией изложенного материала, схемами, графиками и применением элементов анимации. Изучение материала АУК заканчивается проверкой полученных знаний.

Представленный АУК подготовлен в операционной системе Windows, выполнен с использованием графического редактора Corel Draw. Анимация разработана в среде Flash Macromedia. Материал выполнен в среде HTML с применением средств пакета Microsoft Office.

Отличающийся последовательностью, методически проработанный сценарий АУК отвечает требованиям системы интенсивного образования, повышает эффективность и скорость индивидуального обучения студентов теплоэнергетических специальностей и работников энергопредприятий на курсах подготовки и переподготовки в учебных центрах энергосистем.

*И.С. Лебедев, студ.; рук. Ю.Н. Муромкин, к.т.н., доц.*

## **РАЗРАБОТКА АУК ПО ИЗУЧЕНИЮ СХЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НЕБЛОЧНЫХ ТЭС**

Надёжность и экономичность работы оборудования ТЭС зависит как от совершенства используемых технических средств, так и от культуры их эксплуатации. Культура эксплуатации определяется, в основном, уровнем подготовки и готовности эксплуатационного персонала к выполнению профессиональных функций. Эти качества могут быть достигнуты, в значительной степени, за счёт формирования у эксплуатационного персонала эксплуатационно-значимой информации. В разряд такой информации следует отнести сведения о структуре и принципах формирования технологических схем, обеспечивающих надёжную, бесперебойную и экономичную работу основного и вспомогательного оборудования ТЭС.

Разработанный автоматизированный учебный курс (АУК), входит в состав автоматизированной обучающей системы (АОС) по изучению технологических схем котельной установки неблочных ТЭС.

АОС предназначена для обучения специалистов высших и средних учебных заведений энергетического профиля, а также может быть использована для подготовки и повышения квалификации эксплуатационного персонала котельных цехов ТЭС.

В АУК подробно рассматривается конструкция устройств, структура и принципы формирования технологических схем регулирования температуры перегретого пара, входящих в энергетическую котельную установку, при этом учитываются соответствующие требования НТД.

АУК представляет собой законченный программный продукт, включающий обучающий и раздел контроля знаний основных положений. Учебные курсы, входящие в АОС могут изучаться самостоятельно в любой последовательности. Для повышения качества усвоения материала в программном продукте широко используется анимация.

Приводится схема установки контрольно-измерительных приборов (КИП), а также дается перечень сигнализаций, систем автоматического регулирования (САР), алгоритмы срабатывания защит и блокировок.

Автоматизированная система внедрена в учебный процесс ИГЭУ по специальности 140101.65 по курсу «Режимы работы и режимы эксплуатации ТЭС», а также в рамках подразделения ИГЭУ – «ИПК и ПК».

Представленный АУК подготовлен в операционной системе Windows и выполнена с использованием графического редактора Corel Draw, анимация разработана в среде Flash Macromedia и Ulead Gif animator 5. Материал выполнен в среде html с применением средств пакета Microsoft Office.

#### Библиографический список

1. **Правила** технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: СО 153-34.501-2003: утв. Минэнерго РФ 20.06.2003 – М.: СПО ОРГРЭС, 2003. – 148 с.
2. **Правила** устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды: ПБ 10-573-03: утв. постановлением Госгортехнадзора РФ от 11.06.2003 г. № 90: Зарегистрировано в Минюсте РФ 16.06. 2003 г. № 4719 – М.: изд. НЦ ЭНАС, 2003. – 53 с.
3. **Правила** устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов: ПБ 10-574-03: утв. постановлением Госгортехнадзора РФ от 11.06.2003 г. № 88: Зарегистрировано в Минюсте РФ 18.06. 2003 г. № 4703 – М.: изд. НЦ ЭНАС, 2003. – 95 с.

*М.А. Голыбин, студ.; рук-ль: А.В. Мошкарин, д.т.н., проф.*

## ГАЗОВАЯ ТУРБИНА GT-26 ALSTOM В ПРОЕКТЕ РАСШИРЕНИЯ ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ТЭЦ

Проект расширения Петрозаводской ТЭЦ предусматривает использования газовой турбины GT-26 Alstom мощностью 280 МВт с трехконтурным котлом утилизатором:

- контур высокого давления:  $p = 139,7$  бар;  $G = 394,2$  т/ч;  $t = 543$  °С;
- контур среднего давления:  $p = 10,7$  бар;  $G = 60,33$  т/ч;  $t = 260$  °С;
- контур низкого давления:  $p = 6$  бар;  $G = 9,557$  т/ч;  $t_n = 159$  °С.

Пар высокого давления ( $p = 139,7$  бар) из котла утилизатора направляется в общестанционную магистраль ( $p = 130$  бар), замещая пар энергетических котлов и поступает на паровую турбину Т-110/120-130.

Пар среднего давления ( $p = 10,7$  бар) котла утилизатора подается в общестанционную магистраль ( $p = 10$  бар).



Дзаэрация воды происходит в барабане низкого давления паром, генерируемым в этом барабане.

Расчеты, выполненные в программе GT PRO (США) показали, что в теплофикационном режиме:

- электрическая мощность брутто равна 387,564 МВт;
- электрическая мощность нетто - 373,176 МВт;
- электрический КПД брутто - 51,46 %;
- электрический КПД нетто - 49,55 %;
- тепловая нагрузка подогревателей сетевой воды - 200,198 МВт;
- тепловая нагрузка газового подогревателя сетевой воды - 24,921 МВт;
- расход топлива в камеру сгорания газовой турбины - 54,17 т/ч.

Использование ПГУ на Петрозаводской ТЭЦ обеспечивает повышение мощности на 280 МВт.

Недостатком проекта является связь контура среднего давления котла-утилизатора с тепловым потребителем.

В случае отключения теплового потребителя произойдет останов котла-утилизатора и газовой турбины, в противном случае произойдет преждевременно нагревание поверхностей котла утилизатора.

*М.С. Бодунова, А.Е. Козлов, студ.; рук. А.В. Мошкарин, д.т.н., проф.*

## **АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПГУ-210 НОВГОРОДСКОЙ ТЭЦ-20**

Повышение мощности и улучшение показателей работы Новгородской ТЭЦ связано с реализацией проекта расширения её газовой турбиной ГТЭ-160 с котлом утилизатором двух давлений Пр-223/52-9,6/0,87-509/217 (П-137). ГТЭ-160 выпускается Филиалом ОАО «Силовые машины» «Ленинградский металлический завод» в Санкт-Петербурге по Лицензионному договору с фирмой SIEMENS на базе освоенного производства компонентов установки V94.2. Для энергоблока ПГУ реконструируется существующая паровая турбина ПТ-60-130/13. Техническое перевооружение турбины предусматривает: реконструкцию части среднего давления (ЧСД) с целью увеличения расхода пара через ЧСД и в теплофикационный отбор за счет сокращения производственного отбора (при этом максимальный расход свежего пара в часть высокого давления (ЧВД) из контура высокого давления котла-утилизатора составляет 230 т/ч и из контура низкого давления котла-утилизатора в ЧСД – 50 т/ч; расхода пара в конденсатор –

180 т/ч); реконструкцию тепловой схемы турбоустановки с сокращением регенерации и ликвидацией ПНД-3, 4 и ПВД-5, 6, 7; организацию подвода пара из контура низкого давления котла-утилизатора в прочную часть турбины. После технического перевооружения турбине ПТ-60-130/13 присваивается маркировка ПТ-50-9,0/1,28.

Значения основных параметров ГТЭ-160, котла-утилизатора П-137, турбины ПТ-50-9,0/1,28 указаны соответственно в табл. 1, 2, 3.

Таблица 1. Основные параметры ГТЭ-160

Наименование параметра	Значение
Мощность на клеммах генератора, МВт	155,3
Температура газов на выходе ГТУ, °С	537
Расход газа на выходе из ГТУ, кг/с	509
КПД на клеммах генератора, %	34,12

Таблица 2. Основные параметры котла-утилизатора П-137

Наименование параметра	Значения
Справочные данные:	1 режим
Температура окружающего воздуха $t_{н.в.}$ , °С	+15
Тип режима	конденсационный
Нагрузка ГТУ, %	100
Контур высокого давления:	
Номинальная паропроизводительность, т/ч	223
Температура пара на выходе, °С	509
Контур низкого давления:	
Номинальная паропроизводительность, т/ч	52
Температура пара на выходе, °С	217
Температура уходящих газов	110
Температура газов на входе в КУ, °С	544
Коэффициент избытка воздуха за ГТУ	3,14
Давление пара высокого давления (абс.), МПа	9,6
Давление пара низкого давления (абс), МПа	0,87

Таблица 3. Основные параметры паровой турбины ПТ-50-9,0/1,28

Наименование параметра	Значения
Мощность номинальная, МВт	53
Мощность максимальная на конденсационном режиме, МВт	50
Параметры свежего пара, номинальные:	
- давление, МПа	9,0
- температура, °С	10
Параметры пара на входе в турбину из контура низкого давления:	
- давление, МПа	0,7...0,75
- температура, °С	215
Ориентировочный максимальный расход свежего пара, т/ч	230
Ориентировочный расход пара низкого давления, т/ч	50
Давление в производственном отборе, МПа	1,28 ± 0,3
Давление в теплофикационном отборе, МПа	0,07...0,25

Расчетный анализ показателей работы ПГУ на конденсационный режим с промышленным отбором в количестве 100 т/ч выполнен с использованием двух программ GT PRO (США) и BOILER DESIGNER (Россия-Германия). Для данного режима получены следующие результаты (табл. 4).

Таблица 4. Основные параметры блока ПГУ-210

Наименование параметра	Значения
КПД блока, %	56,0459
КПД блока, нетто, %	55,8082
Мощность блока, МВт	209,9
Мощность собственных нужд, МВт	5,4
Удельный расход топлива на выработку ЭЭ, г/кВт·ч	219,17

В результате реализации проекта расширения Новгородской ТЭЦ установленная мощность станции возросла на 150 МВт, но отсутствие потребности в Т-отборе снижает эффективность блока и всей станции в целом.

*М.С. Мамонова, инж., Т.А. Жамлиханов, асп.;  
рук. А.В. Мошкарин, д.т.н., проф.*

### **РЕКОНСТРУКЦИЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ПТ-60-130/13 ДЛЯ РАБОТЫ В СОСТАВЕ ПГУ-210**

Строительство ПГУ-210 на Тверской ТЭЦ-3 является одним из четырех типовых проектов по расширению станций, реализуемых ОАО «ТГК-2» в рамках инвестиционной программы до 2013 года. Аналогичные проекты будут реализованы в других регионах присутствия ОАО «ТГК-2» - на Костромской ТЭЦ-2, Новгородской ТЭЦ и Ярославской ТЭЦ-2. Общий объем инвестиционной программы ОАО «ТГК-2» составляет более 30 млрд. рублей.

Ввод в эксплуатацию нового энергоблока позволит почти в два раза увеличить установленную электрическую мощность Тверской ТЭЦ. В результате реализации проекта областной центр получит гарантии более качественного и бесперебойного энергоснабжения.

Проект ПГУ-210 предусматривает следующее основное оборудование: газовая турбина ГТЭ-160, котел-утилизатор (КУ) «П-137» и паровая турбина номинальной мощностью 50 МВт.

Для осуществления настоящего проекта будет проводиться реконструкция паровой турбины типа ПТ-60-130/13 с целью использования

ее для работы в составе парогазовой установки с суммарной электрической мощностью 210 МВт.

В настоящее время турбина ПТ-60-130/13 Тверской ТЭЦ-3 эксплуатируется с номинальными расчетными параметрами свежего пара:  $p_0=12,75$  МПа (130 ата),  $t_0=540$  °С.

Согласно техническим данным КУ позволяет получить следующие параметры пара перед турбиной:

- Давление пара на входе в турбину в контуре высокого давления (ВД) – 9,0 МПа.
- Температура пара на входе в турбину в контуре ВД – 510 °С.
- Давление пара на входе в турбину в контуре низкого давления (НД) (в зависимости от потерь давления от котла до турбины) – 0,7-0,75 Мпа.
- Температура пара на входе в турбину в контуре НД – 215 °С.

Проект реконструкции турбины предусматривает:

1) Реконструкцию части среднего давления с целью увеличения расхода пара через ЧСД и в теплофикационный отбор за счет производственного отбора с сохранением максимального расхода свежего пара и расхода пара в ЧНД и конденсатор.

2) Реконструкцию тепловой схемы с ликвидацией регенерации.

3) Организацию подвода пара из контура низкого давления КУ в проточную часть турбины.

4) Установку запорной, регулирующей и защитной арматуры.

Так как на КУ требуется подача холодного конденсата, система регенеративного подогрева конденсата и питательной воды в пределах турбоагрегата подлежит демонтажу, начиная от ПНД-3 до ПВД-7 включительно со всей соответствующей обвязкой по воде, пару, дренажу и т.д.

*Д.А. Новожилов, студ.; рук-ль: А.В. Мошкарин, д.т.н., проф.*  
**АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ПГУ-410  
КРАСНОДАРСКОЙ ТЭЦ**

Проект расширения Краснодарской ТЭЦ блоком ПГУ-410 предусматривает установку газовой турбины Mitsubishi M701F4 мощностью 303,9 МВт, котла-утилизатора производства ОАО «ЭМАльянс» трех давлений (13,0; 3,1 и 0,5 МПа соответственно) и паровой турбины Т-113/145-12,4 УТЗ.

Газовая турбина M701F4 является одной из последних разработок фирмы Mitsubishi и имеет следующие основные показатели работы:

Таблица 1. Показатели работы газовой турбины M701F4 в номинальном режиме

Наименование параметра	Значение
Электрическая мощность на клеммах генератора, МВт	303,9
КПД электрический эффективный, %	38,88
Температура выхлопных газов, °С	602
Расход выхлопных газов при температуре наружного воздуха 15°С, т/ч	2572
Степень повышения давления в компрессоре	18
Частота вращения генератора, об/мин	3000

Таблица 2. Основные характеристики паровой турбоустановки Т-113/145-12,4 УТЗ

Параметры	Режим работы	
	Теплофикационный	Конденсационный
Температура наружного воздуха, °С	-1,7	+15
Параметры пара высокого давления:		
- давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	12,35 (125,9)	12,35 (125,9)
- температура, °С	557,5	562,6
- расход, т/ч	308,7	299,3
Параметры пара среднего давления:		
- давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	2,95 (30,1)	2,90 (29,6)
- температура, °С	553,0	559,0
- расход, т/ч	360,2	352,4
- расход пара второго контура, т/ч	57,7	59,3
Параметры пара низкого давления:		
- давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,475 (4,8)	0,475 (4,8)
- температура, °С	248,1	248,6
- расход, т/ч	49,8	46,4
Номинальное давление пара в верхнем отопительном отборе, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,059-0,245 (0,6-2,5)	-
Номинальное давление пара в нижнем отопительном отборе, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,049-0,196 (0,5-2,0)	-
Температура охлаждающей воды, °С	12	15
Давление в конденсаторе, кПа(кгс/см <sup>2</sup> )	2,8 (0,029)	3,3
Тепловая нагрузка, ГДж/ч (Гкал/ч)	922 (220)	-
Электрическая мощность, МВт	113	145,7
Высота рабочих лопаток последней ступени, мм	940	940

Показатели работы ПГУ-410, рассчитанные в программе GT PRO (США), для конденсационного и теплофикационного режимов работы сведены в табл. 3.

Таблица 3. Показатели работы ПГУ-410

Параметры	Режим работы	
	Теплофикационный	Конденсационный
Мощность нетто, МВт	448,870	448,907
КПД нетто, %	53,74	57,32
КПД брутто, %	55,06	58,85
КПД к.и.т., %	84,3	57,32
Тепловая нагрузка, МВт	256,068	-
Температура на входе в котел-утилизатор, °С	592,0	602,0
Температура на выходе из котла-утилизатора, °С	117,8	94,35

Установка ПГУ-410 позволила получить дополнительную мощность в размере 410 МВт, а также нести тепловую нагрузку в размере 256 МВт.

*Т.А. Жамлиханов, асп.; рук. А.В. Мошкарин, д.т.н., проф.*  
**АНАЛИЗ САПР ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕПЛОВЫХ  
 СХЕМ ТЭС**

Создание программных комплексов по проектированию тепломеханической части ТЭС имеет своей целью получение проектного решения по исходным условиям (данным) для нового или модернизируемого объекта (заданной единичной мощности, климатическим, режимным, региональным и др.). Наиболее полное техническое представление об объекте требуется как на уровне тендерного проекта, так и на первом этапе рабочего проектирования, когда ведется разработка технологических схем, выбор вспомогательного оборудования, арматуры и т.д. [1].

Структура программных комплексов ориентирована на два вида проектных задач:

- типовых, построенных на логике сочетания известных проектных решений;
- новых, научно и технически обоснованных проектных решений, получаемых из набора типовых элементов (подогревателей, отсеков паровых и газовых турбин, насосов, конденсаторов, котлоагрегатов и

его отдельных поверхностей нагрева, компрессоров), а также связей между элементами в виде трубопроводов теплоносителей (воды, пара, газа воздуха).

К программным комплексам и САПР тепловых схем ТЭС, АЭС, ПГУ, ГТУ, нашедшим применение в проектных институтах и в технических университетах теплоэнергетического профиля, относятся отечественные и зарубежные разработки такие как «ОМЕГА», ver. 3.1 (ИГЭУ, Россия) [2], «UNITED CYCLE» (С-Пб. ГТУ, Россия), «Boiler Designer» («ОПТСИМ-К»[3], Россия-Германия), «Thermoflow» (США).

Перечисленные САПР различаются возможностями выполнения конструктивного и поверочного расчетов. При конструктивном расчете вычисления ведутся по заданным значениям температурных напоров в оборудовании, которые принимаются по нормируемым величинам. Поверочные расчеты проводятся при известных величинах поверхностей теплообмена основного и вспомогательного оборудования (котлов, подогревателей, конденсаторов и т.д.).

Ряд САПР выполняют функции только поверочного расчета и служат для определения технических показателей в номинальном режиме работы блока. Оценка показателей переменного режима работы в таких САПР считается весьма приближенной, так как значения недогрева воды и температурных напоров, а также КПД проточных частей в зависимости от нагрузок в этом случае необходимо задавать, что может сделать только опытный технолог, и то, с определенной степенью погрешности. К таким САПР относятся «ОМЕГА», «UNITED CYCLE», и ряд программ, входящих в состав «Thermoflow» - «GT PRO», «STEAM PRO».

Достоинством двух последних САПР является простота получения типового решения и быстрое освоение навыков работы с программой на основе командных меню. Достоинством отечественных программ «ОМЕГА», «UNITED CYCLE» является наличие банка данных готовых технологических схем отечественных блоков, а также возможность внесения структурных изменений в технологическую схему (связей между элементами, замена типов элементов и т.д.) для сравнительной оценки показателей альтернативных вариантов.

Приобретение указанных САПР рядом отечественных фирм, проектных организаций и энергомашиностроительными заводами требует и от технических университетов энергетического профиля внедрения в учебный процесс этих программных комплексов. К сожалению, энергетическая отрасль не спешит оснащать вузы такими дорогостоящими САПР, что, на наш взгляд, является серьезной ошибкой, сдерживающей инновационные процессы в энергетике. Обучение российских

студентов работе с отмеченными САПР ведется в двух энергетических университетах: Московском и Ивановском. Выпускники, получившие навыки работы с программными продуктами уже сегодня приглашаются в фирмы и проектные институты, которые ведут свои разработки на основе перечисленных САПР.

#### Библиографический список

1. **Технология** проектирования ТЭС и методы ее компьютеризации /Н.Б. Ильичев [и др.]; под ред. А.В. Мошкарин, В.Н. Нуждина. М.: Энергоатомиздат, 1997. – 234 с.
2. **Мошкарин, А.В.** Анализ тепловых схем ТЭС /А.В. Мошкарин, Ю.В. Мельников - ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина» – Иваново.: УИУНЛ ИГЭУ, 2010. - 460 с.
3. **Расчет** котельных агрегатов с использованием современных программных продуктов : учеб. пособие /Г.И. Доверман, Б.Л. Шельгин, А.В. Мошкарин, Ю.В. Мельников – ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина» – Иваново.: УИУНЛ ИГЭУ, 207. - 220 с.

*Т.А. Жамлиханов, асп.; рук. А.В. Мошкарин, д.т.н., проф.*

## **ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЛОКОВ ПГУ МОЩНОСТЬЮ 410 МВт НА ОСНОВЕ ЗАРУБЕЖНЫХ ГАЗОВЫХ ТУРБИН В УСЛОВИЯХ ОТЕЧЕСТВЕННОГО КЛИМАТА**

В условиях динамичного развития парогазовых технологий в отечественной энергетике значительный интерес вызывает анализ влияния климатических особенностей России на технические показатели блоков ПГУ на основе зарубежного оборудования.

Для покрытия электрической и тепловой нагрузки ОАО «ЮГК ТГК-8» и ОАО «ОГК-5» в настоящее время реализуют проекты расширения Краснодарской ТЭЦ, Астраханской ТЭЦ-2 и Среднеуральской ГРЭС парогазовыми блоками мощностью 410 МВт.

Энергетический блок ПГУ-410Т (Краснодарская ТЭЦ) является моноблочной парогазовой установкой на основе газовой турбины M701F4 (Mitsubishi Ltd), паровой турбины Т-113/145-12,4 УТЗ, котла-утилизатора (КУ) Еп-307/353/41,5-12,6/3,1/0,5-565/560/250 (ОАО «ЭМАльянс»).

Проект расширения ОАО «Астраханская ТЭЦ-2» блоком ПГУ-410 включает в свой состав газовую турбину модели M701F4, КУ типа Еп-358/414/44-12,8/3,1/0,56-560/560/256 (фирма-изготовитель АЕ&Е, Австрия), паровую турбину К-150-130 ЛМЗ.



Тепловая схема Среднеуральской ГРЭС предусматривает газовую турбину MS9001FB фирмы General Electric, теплофикационную паровую турбину MTD60CR производства фирмы Skoda Power (Чехия), КУ типа Еп-338/391/42-12,8/3,0/0,48-560/560/250 производства Nooter/Eriksen, Inc.

Математические модели блоков разработаны на основе Boiler Designer. Получены технические показатели блоков в зависимости от температуры наружного воздуха и электрической мощности газовой турбины.

Анализ работы блока ПГУ-410Т Краснодарской ТЭЦ при переменных режимах показал следующее:

1. В конденсационном режиме работы ПГУ повышение температуры наружного воздуха от  $-20$  до  $+15$  °С не приводит к существенному изменению КПД и мощности ПГУ в рабочем диапазоне нагрузок ГТУ  $50 \pm 100$  %.

2. В теплофикационном режиме работы ПГУ повышение температуры наружного воздуха от  $-20$  до  $+15$  °С незначительно увеличивает значение коэффициента использования теплоты сжигаемого топлива блока  $z_{н.т.}$ , а также существенно не изменяет мощность ПГУ в рабочем диапазоне нагрузок ГТУ  $50 \pm 100$  %.

Аналогичные результаты были получены и для ПГУ-410Т Среднеуральской ГРЭС, где также при различных температурах наружного воздуха и электрической нагрузки ГТУ в конденсационном и теплофикационном режимах работы не приводит к существенному изменению КПД и мощности блока ПГУ.

В свою очередь, для ПГУ-410 Астраханской ТЭЦ максимальные значения КПД и мощности блока достигаются при низких температурах наружного воздуха. Увеличение температуры наружного воздуха не оказывает значительного влияния на КПД и мощности ПГУ.

***А.В. Моняков, студ.; рук. А.В. Мошкарин, д.т.н., проф.***  
**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ**  
**ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕССОЛИВАНИЯ**  
**ПРИ РАСШИРЕНИИ ПЕРМСКОЙ ТЭЦ-9**

Расширение Пермской ТЭЦ-9 блоком ПГУ связано с увеличением потребности в добавочной воде на 300 т/ч. Одним из способов расширения водоподготовки является термический метод. Установка испарительных установок возможна в котельном отделении на месте де-

монтируемых двух исчерпавших свой индивидуальный ресурс котлов. Техническому анализу подвергнуты несколько типов автономных испарительных установок для решения поставленной задачи: испарительные установки кипящего типа на основе вертикальных испарителей И-600 и И-1000 ОАО «ТКЗ» с числом ступеней шесть, а также испарительные установки мгновенного вскипания башенного типа ООО «ЭКОТЕХ».

Проанализировано пять вариантов автономных испарительных установок:

*1 вариант.* Три линии испарительных установок, каждая из которых включает 6×И-600 производительностью 100÷115 т/ч (суммарная производительность 300÷345 т/ч).

*2 вариант.* Две линии испарительных установок, каждая из которых включает 6×И-1000 производительностью 159÷176 т/ч (суммарная производительность 318÷352 т/ч).

*3 вариант.* Испарительные установки мгновенного вскипания 6×ИМВ-50 (16 ступеней), производительностью 318÷330 т/ч (каждая по 53÷55 т/ч).

*4 вариант.* Испарительные установки мгновенного вскипания 3×ИМВ-100 (16 ступеней) производительностью 300÷330 т/ч (каждая по 100÷110 т/ч).

*5 вариант.* Две комбинированные испарительные установки, каждая из которых включает последовательно соединенные по пару традиционную 6×И-600 производительностью 100÷115 т/ч и ИМВ-50 (50 т/ч).

Последний вариант оказался наиболее эффективным. Количество теплоты избыточного пара в этом варианте меньше, чем в вариантах 1-4 и оно может быть воспринято добавочной водой, подаваемой в теплосеть.

***Е.Ю. Григорьев, инж. (ИГЭУ); рук-ли: А.Е. Зарянкин, д.т.н., проф., А.Н. Парамонов, к.т.н., с.н.с., В.В. Носков, к.т.н., асс. (МЭИ (ТУ))***

### **АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ВИБРАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КОЛЬЦЕВЫХ ДИФФУЗОРОВ ГАЗОВЫХ ТУРБИН**

Основным отличием газовой турбин от паровых состоит в существенно меньшем располагаемом перепаде энтальпий на её проточную часть, т.к. за последней ступенью этой турбины давление выходящих газов оказывается близко к атмосферному и способы его снижения

крайне ограничены, практически для его снижения используют диффузорный эффект, суть которого сводится к преобразованию кинетической энергии потока, покидающего последнюю ступень турбины, в потенциальную энергию давления.

Для такого преобразования чаще всего используют геометрические диффузоры, представляющие собой каналы с непрерывно увеличивающейся площадью в направлении движения рабочего тела. В газовых турбинах наиболее часто используются развитые кольцевые диффузоры с достаточно высокой степенью расширения  $n$  ( $n=F_2/F_1$ , где  $F_1$  - площадь входного сечения диффузора, а  $F_2$  его выходная площадь).

Согласно опытным данным в кольцевом диффузоре при степени расширения  $n=4$ , равномерном поле скоростей в его входном сечении и безотрывном течении коэффициент восстановления энергии  $\sigma$  может достигать 80 - 83%. То есть, примерно 80% кинетической энергии потока, выходящего из газовой турбины, может быть преобразовано в потенциальную энергию. Для современных мощных высокотемпературных газовых турбин это означает возможность снизить давление за последней ступенью с  $p_2=1,05$  бар до  $p_2=0,92 - 0,94$  бар, увеличить за счет снижения указанного давления мощность турбины на 6 - 8%.

Реальный эффект от установки таких диффузоров за газовой турбиной оказывается существенно меньшим, т.к. за последней ступенью поток характеризуется значительной радиальной неравномерностью поля скоростей и направление этих скоростей может заметно отличаться от осевого направления. Кроме того, в проточной части таких диффузоров располагается мощные крепежные ребра, существенно увеличивающие аэродинамические сопротивления. В результате коэффициент восстановления энергии снижается до 45 - 50 % и реальный прирост мощности редко превышает 3-4 % при очень больших осевых габаритах рассматриваемых диффузоров.

Эти габариты могут заметно превышать осевые размеры собственно газовой турбины. При этом возникает серьезная проблема с обеспечением вибрационной надежности всего выхлопного тракта газовой турбины.

В ряде случаев уровень вибрации нагруженных стенок диффузоров достигает недопустимо высоких значений, вызывающих, в конечном счете, появление трещин на внешнем обводе диффузора и даже его разрушение.

В основе возникновения высоких динамических нагрузок на стенках диффузоров лежат чисто аэродинамические причины, обусловленные характером течения внутри проточной части диффузора.

Как показывают наши исследования область наиболее интенсивной

генерации пульсаций давления в движущихся жидких и газообразных средах, которые, в конечном счете, и определяют величину динамических нагрузок на стенки каналов, происходит в области изменения знака продольного градиента скорости. В диффузорах эта область располагается во входном сечении этих устройств, где конфузорное или безградиентное течение переходит в диффузорное течение.

Этот вывод является весьма важным, т.к. до настоящих исследований считалось, что пульсации давления в диффузорах нарастают вдоль его оси и достигают наибольших значений в выходном сечении.

На рисунке 1 показано как меняется осциллограмма пульсаций давления вдоль плоского диффузора с углом раскрытия образующих  $\beta=7^\circ$ , а на рисунке 2 изображены эти же осциллограммы полученные при  $\beta=15^\circ$ .

Как в первом, так и во втором случае максимальные амплитуды пульсаций давления были зафиксированы непосредственно во входном сечении исследованных диффузоров, причем с увеличением угла раскрытия диффузора до  $\beta=15^\circ$  эти амплитуды пульсаций давления достигают исключительно больших значений.

Затем при удалении от входного сечения рассматриваемые амплитуды достаточно интенсивно снижаются, но их величина для диффузора с углом  $\beta=15^\circ$  при всех расстояниях от входного сечения остается в три раза большей, чем для диффузора с углом  $\beta=7^\circ$ .

Проведенные измерения динамических нагрузок на стенки диффузора показали, что по сравнению с плоскими каналами эти нагрузки при угле  $\beta=7^\circ$  увеличились в 12 раз, а при  $\beta=15^\circ$  они выросли в 34 раза.

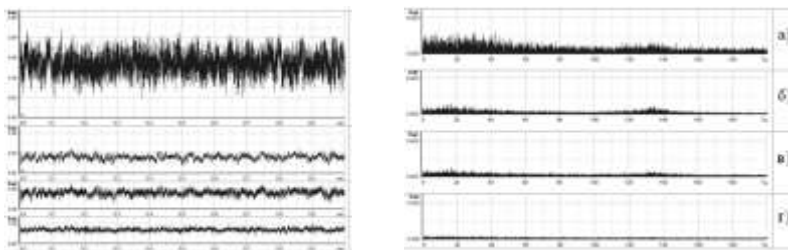


Рис. 1. Осциллограммы и спектрограммы пульсаций давления на стенке плоского  $7^\circ$  диффузора:

а - на входе; б - 0,1L; в - 0,325L; г - 0,875L

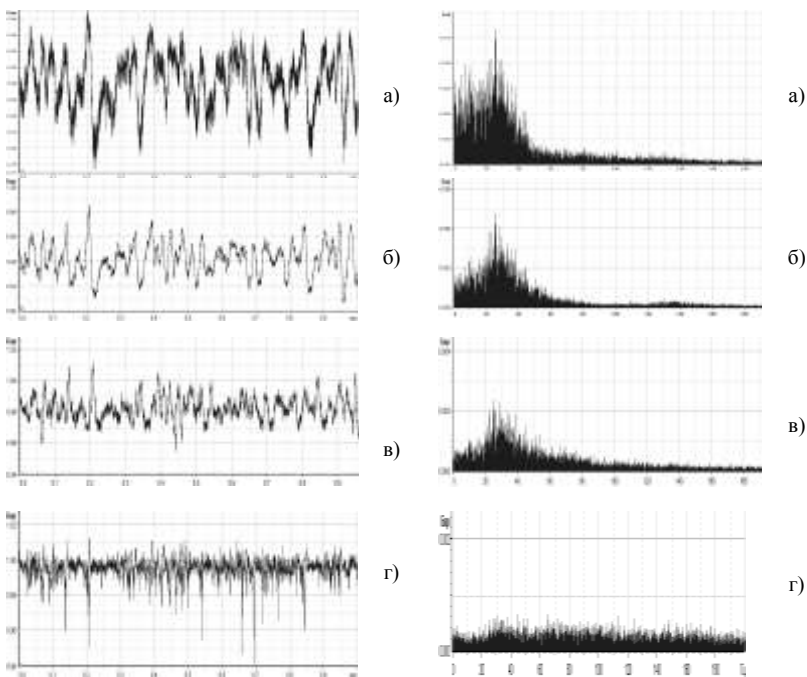


Рис. 2. Осциллограммы и спектрограммы пульсаций давления на стенке плоского  $15\epsilon$  диффузора:

а - на входе; б -  $0,1L$ ; в -  $0,325L$ ; г -  $0,875L$

Представленные результаты показывают, что обеспечить вибрационную надежность газотурбинных диффузоров без снижения величины пульсаций давлений в их проточных частях в принципе нельзя.

Изменить существующую ситуацию можно либо путем прямого воздействия на характер течения рабочей среды, либо установкой вблизи внутренней поверхности внешнего обвода кольцевого диффузора специального аэродинамического демпфера, обеспечивающего гашение пульсаций давления только в пристеночной области течения.

Весьма эффективным способом воздействия на течение внутри диффузора является продольное оребрение внутренней поверхности его внешнего обвода. Суть такого оребрения показанного на рисунке 3, состоит в установке вдоль обтекаемой поверхности 1 клиновидных ребер 2 с расположением их вершин во входном сечении. При этом свободные части ребер выполняются параллельными продольной оси диффузора. Таким образом, свободный от ребер канал представляет

собой кольцевой цилиндр, а все расширение потока происходит в секторном канале, образованном клиновидными ребрами.

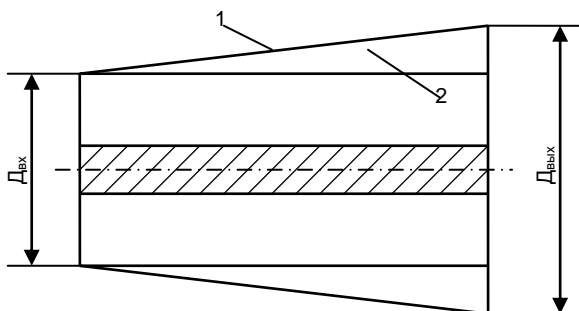


Рис. 3. Кольцевой диффузор с внутренним оребрением:  
1 – внешняя поверхность; 2 – ребро.

Результаты исследования диффузора с продольными клиновидными ребрами и углом  $\beta=7^\circ$  показали, что при установке ребер происходит интенсивное снижение амплитуд пульсаций давления по всей точной части диффузора.

Еще больший эффект был получен при продольном оребрении диффузора с учетом раскрытия  $\beta=15^\circ$  (рисунок 4). В этом случае амплитуда пульсаций давления снизилась до уровня характерного для диффузора с углом раскрытия  $\beta=7^\circ$ . Поскольку коэффициент восстановления давления в сравниваемых диффузорах практически одинаков, то введение продольного оребрения не только позволяет серьезно снизить динамическую нагрузку на их стенки, но и существенно сократить осевую длину газотурбинных диффузоров.

Отметим так же, что при установке ребер виброперемещение измеренное в среднем сечении диффузора, снизилось примерно в 3 раза, а уровень шума на расстоянии 1 метра от исследованного диффузора уменьшился на 60%.

На заключительном этапе проведенных исследований рассматривалось влияние закрутки потока во входном сечении оребренного диффузора на его восстановительную способность. Здесь по сравнению с гладкими диффузорами при углах закрутки  $\alpha=30^\circ$  коэффициент восстановления давления снизился всего на 5 – 6%.

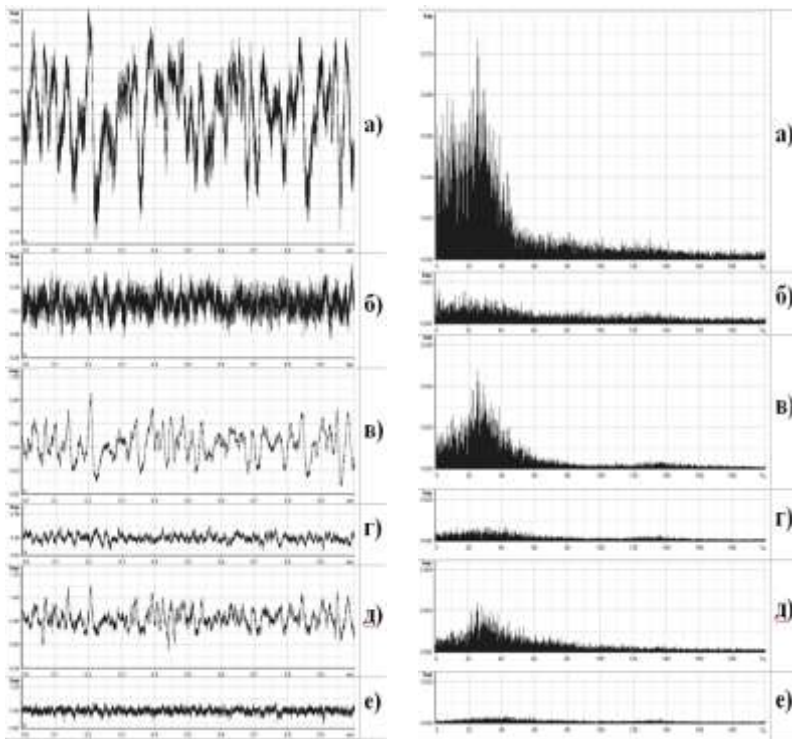


Рис. 4. Осциллограммы и спектрограммы пульсаций давления на стенке плоского 15е диффузора с гладкими стенками (а, в, д), с продольным оребрением (б, г, е):  
а,б - на входе; в,г - 0,1L; д,е - 0,325L

#### Литература

1. Дейч М. Е., Зарянкин А. Е. Газодинамика диффузоров и выхлопных патрубков турбомашин. — М.: Энергия, 1970.

*И.В. Будаков, асп., инж. ОАО «ТГК-2», В.А. Буданов, к.т.н.;  
рук. В.С. Рабенко, к.т.н., доц.*

#### ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ ПГУ-325

Одним из основных направлений технической политики в электроэнергетике России на период до 2030 года, является модернизация су-

ществующего оборудования для котельного оборудования. Одним из аспектов модернизации котлов является снижение температуры уходящих газов. Это одна из самых больших потерь в котле, на ее величину технологически можно повлиять только путем снижения объема и температуры уходящих газов [1].

Объем уходящих газов сокращают, применяя предельно низкие коэффициенты избытка воздуха при сжигании топлива, а также мероприятиями направленными на снижение присосов воздуха в котле.

Температуру уходящих газов снижают установкой воздухоподогревателей (ВЗП), снижением температуры воздуха на входе в ВЗП, а также установкой дополнительных поверхностей нагрева. Если с увеличением температуры возрастают потери, то при значительном её снижении может возникнуть низкотемпературная коррозия наружных поверхностей нагрева котла из-за образования «точки росы».

Согласно [2] температура воздуха в ВЗП определяется в зависимости от вида сжигаемого топлива. Косвенным показателем определенным опытным путем, при котором не должно происходить возникновение конденсации влаги в ВЗП, является температура воздуха, подаваемая в ВЗП.

Влага, содержащаяся в выхлопных газах, конденсируется на поверхностях нагрева котлов, при температуре контактирующего материала ниже температуры точки росы. В котлах утилизаторах (КУ) коррозия возникает с наружной стороны труб экономайзера низкого давления (ГПК), в который поступает вода с относительно низкой температурой 21-35 °С [3]. Задача оптимизации температуры уходящих газов, с целью снижения потерь, заключается в её максимальном снижении до температуры образования выпадения влаги, т.е. при  $\varphi < 100\%$ .

В КУ, используемых для утилизации тепла выхлопных газов энергетических ГТД ВЗП отсутствует. Последней поверхностью нагрева в КУ является газовый подогреватель конденсата (ГПК), в который подается конденсат паровой турбины. Температура уходящих газов в КУ зависит от температуры воды, поступающей в ГПК. С целью недопущения коррозии при температуре конденсации на наружных поверхностях нагрева, заводом-изготовителем КУ П-88 ОАО «ЗИОМАР» определено значение температуры воды на входе в ГПК в зависимости от нагрузки и температуры наружного воздуха [2]. Регулировка температуры осуществляется путем смешения воды поступающей из конденсатора с горячей водой, отбираемой за ГПК с помощью насосов рециркуляции.

Содержание кислорода в уходящих газах КУ достигает 15%, в то время как на энергетических прямоточных котлах, сжигающих газовое



топливо, содержание кислорода колеблется от 0,1 до 1%. Изменение содержания воздуха в уходящих газах влияет на температуру образования точки росы. С увеличением количества воздуха доля водяных паров снижается, а вместе с этим их парциальное давление.

На рис 1. приведена зависимость температуры уходящих газов, ниже которых будет образовываться «точка росы» при содержании кислорода в уходящих газах на выходе из КУ от 15 до 15,3%. На рис. 2 показан аналогичный пример для энергетических котлов.

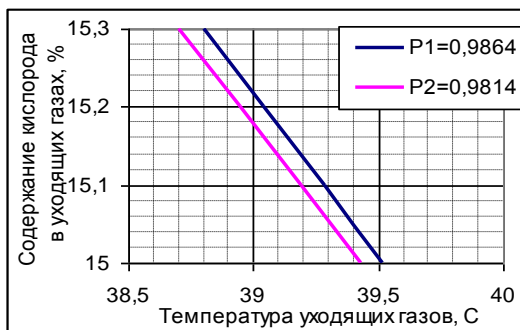


Рис. 1. Зависимость температуры конденсации водяных паров в уходящих газах от избытка воздуха для КУ(П-88)

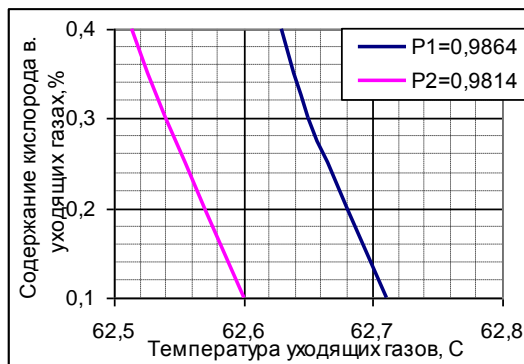


Рис. 2. Зависимость температуры конденсации водяных паров в уходящих газах от избытка воздуха для энергетического котла (с топкой)

**Вывод.** Оптимизация температуры уходящих газов на выходе из котла утилизатора позволит снизить потери тепла с уходящими газами не вызывая очагов коррозии на поверхностях нагрева и снизить затраты электроэнергии на привод насоса рециркуляции конденсата.

**Библиографический список**

1. **Основные положения** (Концепция) технической политики в электроэнергетике России на период до 2030 г. ОАО РАО «ЕЭС России» 2008, с 65.
2. **Правила** технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации/ Служба передового опыта ОРГРЭС. Москва-2003. С.320.
3. **Котел-утилизатор** паровой Е-155/35-7,2/0,7-501/231 (П-88) для ПГУ-325. Инструкция по эксплуатации. г.Комсомольск. ОАО «Ивановские ПГУ». 2005. – 36 с.

*И.В. Будаков, асп., инж. ОАО «ТГК-2», В.А. Буданов, к.т.н.;  
рук. В.С. Рабенко, к.т.н., доц.*

**МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОГО ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА  
ДВУХКОНТУРНОЙ БИНАРНОЙ ПГУ УТИЛИЗАЦИОННОГО  
ТИПА НА ПЕРЕМЕННОМ РЕЖИМЕ**

Основные расчетные параметры ГТ отражаются в технических условия на изготовление и поставку изделия: мощность на клеммах генератора; температура газов на выходе ГТУ; расход газа на выходе из ГТ; КПД установки; степень повышения давления в компрессоре; частота вращения ротора. При расчете блока ПГУ на переменный режим работы, необходимо учитывать изменение количества газов на выходе из ГТ, которые зависят от нагрузки ГТ и от температуры воздуха перед компрессором. Количество пара, производимого котлом утилизатором (КУ) прямо пропорционально количеству выхлопных газов поступающих в него из ГТ. В свою очередь развиваемая мощность паровой турбины (ПТ) зависит от количества пара производимого КУ.

Использование данных из заводских характеристик ГТ в расчетах тепловых схем сопровождается большими неточностями. Так блок ПГУ-325 по проекту, при нормальных условиях, должен нести суммарную нагрузку 325 МВт ( $110^{ГТ1} + 110^{ГТ2} + 105^{ПТ}$ ). При комплексном опробовании блока, проектной мощности достигли при нагрузках  $114^{ГТ1} + 112^{ГТ2} + 99^{ПТ}$  МВт [1].

Расхождения связаны с большим влиянием положения входного направляющего аппарата (ВНА) на расход воздуха поступающего в компрессор и выхлопных газов - в КУ. Расчет тепловой схемы по методике [2], учитывает необходимое количество воздуха для достижения температуры за ГТД = 517°C.

Представленный алгоритм расчета на рис.1, позволяет спрогнозировать располагаемую мощность ГТ, расход топлива, расход вырабатываемого пара КУ, мощность ПТ. Производит расчеты по оптимизации температуры воздуха подаваемого на охлаждение проточной части ГТ, температуры уходящих газов КУ, с определением температуры

начала конденсации водяных паров, а также оценить влияние влажности воздуха, температуры сжигаемого природного газа в камере сгорания (КС) на работу ГТ. Основным преимуществом представленной методики является расчет количества выхлопных газов за ГТ.

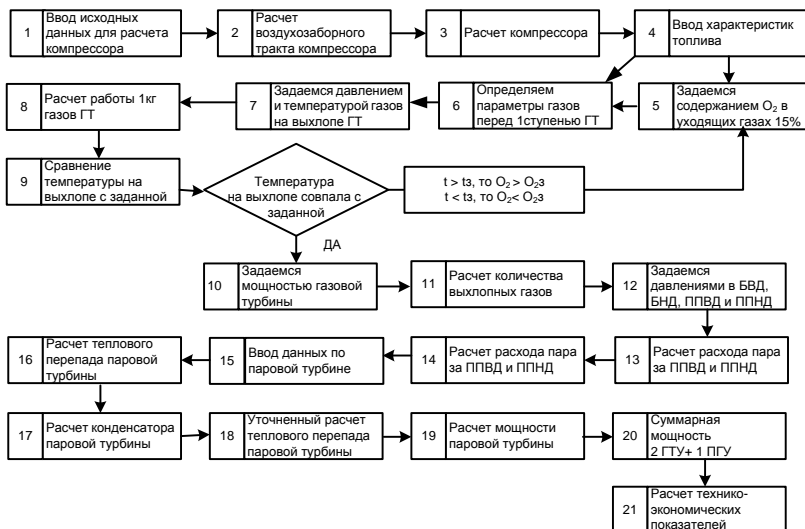


Рис. 1. Последовательность теплового расчета ПГУ бинарного типа

Особенностью методики расчета двухконтурной ПГУ утилизационного типа, является комплексный расчет всего состава основного оборудования при заданных значениях: электрической мощности газовых (одной или двух) турбин; состава топлива; климатических условий. Количество выхлопных газов поступающих в КУ определяется изменением количества воздуха поступающего в КС, с изменением состава уходящих газов и определяется значением температуры на выхлопе ГТ. Изменение коэффициента избытка воздуха в уходящих газах ( $\alpha_{\text{ГТ}}$ ) косвенно отображает изменение положения ВНА выполняющего функцию регулировки количества воздуха в камеру сгорания для поддержания заданной температуры газов за ГТ.

По найденному количеству расхода пара, параметров пара на выхлопе ПТ, заданной температуре циркуляционной воды производится расчет вакуума в конденсаторе. После определения давления в конденсаторе проводится расчет работы ПТ во втором приближении.

Определив мощность паровой турбины по количеству пара опреде-

ленного при расчете КУ, определяется суммарная мощность ПГУ:  $N_{\text{ГТ-1}} + N_{\text{ГТ-2}} + N_{\text{ПГ}}$ .

Широкий спектр вводимых параметров позволяет производить не только расчеты по прогнозируемым параметрам наружного воздуха и расчетному диспетчерскому графику определяя количество необходимого топлива, но и определять эффективность использования того или иного технического решения связанного с изменением в тепловой схеме на этапе его внедрения.

#### Библиографический список

1. **Отчет** по научно-исследовательской работе «Определение и оценка показателе ГТЭ-110 для использования в составе ПГУ-325», ВТИ, Москва, 2007 с. 87.
2. **Рабенко В.С.**, Будаков И.В., Алексеев М.А. Тепловой расчет двухконтурной парогазовой установки утилизационного типа: Учеб. Пособие 308с./ Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2008.

## **Секция 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

*Председатель секции профессор кафедры «Автоматизация  
технологических процессов» к.т.н., проф. А.В. КОНДРАШИН  
Секретарь секции ст. препод. Е.Л. АРХАНГЕЛЬСКАЯ*

*И.А. Анфимичев, Э. И. Ганиев, М.А. Савельева, студ.;*  
*рук. И.В. Тетеревков, ст. препод.*  
**СИСТЕМЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ  
В ПТК КВИНТ**

Характерным для многих объектов и процессов в ряде отраслей промышленности является наличие экстремума выходных характеристик. Такие объекты называются экстремальными [1]. Их примерами могут служить различные топки, двигатели внутреннего сгорания и выпарные аппараты. Анализ технологических процессов показывает, что экстремальную статическую характеристику можно ожидать там, где одновременно протекает несколько процессов, ведущих к противоположным результатам. Например, температура топки определяется количеством сжигаемого топлива, а также температурой и количеством подаваемого воздуха. При малом количестве воздуха (при малой скорости воздуха, продуваемого через топку) топливо сгорает не полностью и, следовательно, выделяется меньше теплоты. При избытке воздуха (при большой скорости воздуха, продуваемого через топку) топливо сгорает полностью, но значительное количество теплоты расходуется на нагрев избытка воздуха и уносится из топки проточным течением дымовых газов. При некотором соотношении количества топлива и скорости воздуха температура свода печи будет максимальной.

Задача усложняется тем, что с течением времени положение экстремума меняется: происходит так называемый «дрейф» статической характеристики объекта.

Вести автоматическое управление, ориентируясь на экстремум статической характеристики, позволяют поисковые адаптивные системы, относящиеся к классу экстремальных [2]. Применение в качестве средств управления микропроцессорных контроллеров позволяет реализовать идеи экстремального регулирования на практике.

Системы экстремального регулирования (СЭР) различают по принципу, используемому для определения направления движения системы к экстремуму (рис. 1):

1) системы с запоминанием экстремума, реагирующие на разность между наибольшим достигнутым в предыдущие моменты времени значением выхода и текущим значением выхода  $y$ ;

2) системы шагового типа, реагирующие на знак приращений выхода  $y$ ;

3) системы, реагирующие на знак или величину производной  $dy/dt$ ;

Центральным элементом СЭР является сигнум-реле (СР). Это некоторое логическое устройство, имеющее два устойчивых состояния и работающее в четном режиме. Выход сигнум-реле  $u = \pm u_0$  ( $u_0 = \text{const}$ ). Сигнум-реле обеспечивает реверс исполнительного механизма только при уменьшении выходной координаты.

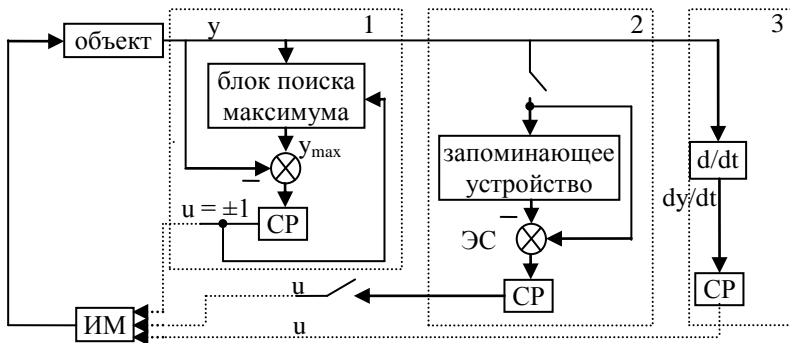


Рис. 1. Структура СЭР:

1 – система с запоминанием экстремума; 2 – система шагового типа; 3 – система с использованием производной.

СЭР трех рассмотренных типов реализованы в ПТК КВИНТ. Исследование их работы показало, что они хорошо справляются с решением задачи экстремального регулирования, в том числе и в случае дрейфа статической характеристики. Основные проблемы возникают тогда, когда объект управления нельзя отнести к чисто статическим (инерционные свойства объекта не пренебрежимо малы по сравнению с инерцией исполнительного механизма). Получить устойчивую качественную работу СЭР в этом случае позволяет применение специального устройства формирования входного сигнала (УФС), вариант принципиальной структуры которого показан на рис. 2.

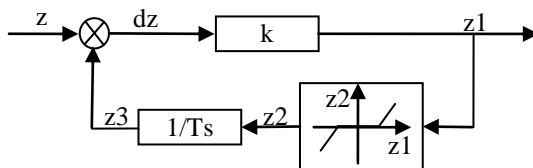


Рис. 2. Схема устройства формирования входного сигнала

Пример работы СЭР для статического объекта показан на рис. 3.



Рис. 3. Работа СЭР в ПТК КВИНТ

#### Библиографический список

1. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. М.: Высшая школа. 1989.
2. Либерзон Л.М. Системы экстремального регулирования. М.: Энергия. 1985.

*И.А. Анфимичев, Э. И. Ганиев, М.А. Савельева, студ.;*  
*рук. И.В. Тетеревков, ст. препод.*

### АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИОННОГО ТИПА В ПТК КВИНТ

Среди большого количества различных адаптивных систем (АС) достаточно широко распространены системы, минимизирующие ошибку управления с помощью схемы скоростного градиента [1, 2]. Существенным ограничением на применение подобного подхода является требование возможности прямого измерения всех координат вектора состояния объекта. Однако на практике, как правило, измеряется только выходная координата объекта. Поэтому возникает задача создания АС идентификационного типа, в которой для синтеза алгоритма адаптивного управления используется измерительная информа-

ция только о входной и выходной переменных объекта, а оценки его параметров и координат состояния определяются с помощью настраиваемой модели (НМ) адаптивного наблюдателя (АН).

Существуют схемы, где алгоритмы идентификации и управления взаимосвязаны и нацелены на достижение минимума функционала их обобщенной работы. Качество идентификации в таких системах позволяет производить адаптивное регулирование, но явно недостаточно для идентификации объекта в привычном понимании этого термина. Поэтому возникает идея реализовать идентификационную и адаптивную части системы в виде отдельных ее подсистем. Для построения идентификационной части системы удобно применять метод настраиваемой модели [3]. При этом объект и модель подвергаются воздействию одного и того же входного сигнала  $u(t)$ , а функционал задачи имеет вид  $J_n = e_n^2(t)$ , где ошибка идентификации  $e_n(t) = y_{нм}(t) - y(t)$  представляет собой разницу значений выходных координат настраиваемой модели и объекта. Поиск минимума функционала проводится градиентным методом, что дает решение вида

$$d\beta_i / dt = -\gamma_i e_n z_i, \quad i = 0 \dots n-1, (z_0 = y); \quad d\beta_{n+i} / dt = -\gamma_{n+i} e_n v_i, \quad i = 0 \dots n-1, (v_0 = u)$$

где  $\beta_i$  - коэффициенты настраиваемой модели,

$z_i, v_i$  - доступные прямому измерению внутренние координаты настраиваемой модели.

Пример структурной схемы идентификационной подсистемы приведен на рис. 1, где для простоты показана схема настройки только параметра  $\beta_1$ . По мере сходимости процесса параметры настройки модели становятся известными и сходятся к коэффициентам передаточной функции объекта. Эти же параметры используются для восстановления выходных координат объекта путем построения адаптивного наблюдателя. Искомый вектор состояния

$$\bar{x}_i = \frac{\beta_{i-1}}{s + \lambda_i} y + \frac{\beta_{n+i-1}}{s + \lambda_i} u, \quad i = 2 \dots n.$$

Работа подсистемы адаптивного управления основана на применении эталонной модели (ЭМ) и реализует одну из пяти схем скоростного градиента [4]. Полная структура созданной АС показана на рис. 2.



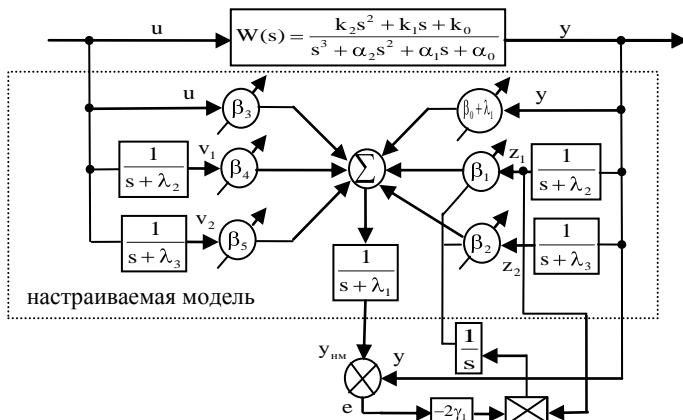


Рис. 1. Схема идентификации

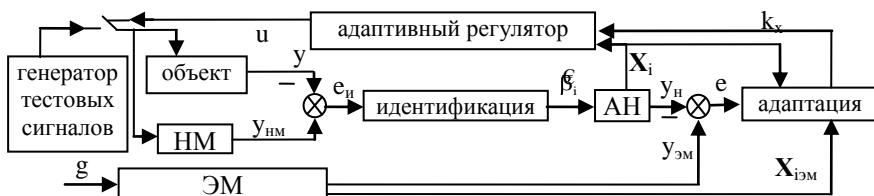


Рис. 2. Общая схема адаптивной системы

Данная система реализована практически в ПТК КВИНТ. Исследование работы АС подтвердило возможность ее практического применения, но выявило явную «бедность» выходного сигнала адаптивного регулятора для качественной работы идентификационной подсистемы. Поэтому в работе предложено периодическое подключение на вход объекта специального тестового сигнала, упрощающего работу подсистемы идентификации.

#### Библиографический список

1. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пособие. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.
2. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления. Учебник под ред. Н.Д. Егупова. М.: издательство МГТУ им. Баумана, 2001.
3. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. Учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1989.
4. Зябликов А.В., Тетеревков И.В. Адаптивные системы со схемой скоростного градиента в ПТК КВИНТ. Статья в сб. Теплоэнергетика. Иваново, 2010

**С.Ю. Гизатулина, студ.; рук. Е.Л. Архангельская, ст. преп.**  
**РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**  
**ПО ЧАСТОТЕ**

Частота электрического тока является одним из показателей качества электрической энергии и важнейшим параметром режима энергосистемы. Значение частоты показывает текущее состояние баланса генерируемой и потребляемой активной мощности в энергосистеме. Работа Единой энергосистемы России планируется для номинальной частоты – 50 герц (Гц) (Согласно ГОСТ 13109-97, частота должна находиться в пределах  $50 \pm 0,2$  Гц не менее 95% времени суток, не выходя за предельно допустимые  $50 \pm 0,4$  Гц.). Непрерывность производства электроэнергии, отсутствие возможности запастись энергией в промышленных масштабах и постоянное изменение объемов потребления требуют настолько же непрерывного контроля за соответствием количества произведенной и потребленной электроэнергии. Показателем, характеризующим точность этого соответствия, является частота (рис.1).



Рис. 1. Частота в ЕЭС сети на 20.03.2011

Регулирование режима энергосистемы по частоте заключается в постоянном поддержании планового баланса мощности путем ручного или автоматического (а чаще и того, и другого одновременно) изменения нагрузки генераторов электростанций таким образом, чтобы частота все время оставалась близкой к номинальной.

Все вращающиеся механизмы в синхронно работающих частях энергосистемы (турбины, генераторы, двигатели и т.д.) имеют номинальные проектные обороты, пропорциональные номинальной частоте в сети. Известно, что номинальный режим работы всех вращающихся

механизмов является наиболее эффективным с точки зрения их экономичности, надежности и долговечности. Отклонение от номинальных оборотов вращения приводит к нежелательным эффектам в работе оборудования электростанций и потребителей (возникновение повышенных вибраций, износа и т.д.), снижению их экономичности и надежности. Для разного оборудования существуют предельно допустимые отклонения частоты от номинальной. Поддержание частоты на уровне близком к номинальному обеспечивает максимальную экономичность работы энергетического оборудования и максимальный запас надежности работы энергосистем.

Качество частоты в ЕЭС России может быть повышено практически до западноевропейского уровня увеличением работоспособности и эффективности автоматического регулирования частоты и активной мощности, и, в первую очередь, системы вторичного регулирования. Для этого необходимо обеспечить ее необходимыми резервами для поддержания среднего значения частоты на уровне 50 Гц, привлекая к регулированию не только ГЭС, но и ТЭС, улучшить организационную структуру системы и техническое состояние оборудования и повысить ее быстродействие для подавления медленных отклонений частоты с периодом 15 мин и более.

Стабилизация частоты в области быстрых "секундных" колебаний и повышение приемистости энергоблоков для обеспечения необходимой скорости реализации вращающихся резервов требуют повышения эффективности системы первичного регулирования и, в том числе, участия в первичном регулировании всех пригодных для этого энергоблоков, постоянного поддержания на этих блоках заданного вращающегося резерва мощности и сокращения зон нечувствительности и уменьшения статизмов регуляторов этих блоков.

Модернизация систем управления энергоблоков, и достигаемое при этом повышение управляемости генерацией имеют важное значение для обеспечения надежной параллельной работы энергосистем в составе ЕЭС России и полезны независимо от перспектив создания синхронных связей ЕЭС с зарубежными энергообъединениями.

#### Библиографический список

1. Приказ РАО "ЕЭС России" № 524 от 18 сентября 2002 г. "О повышении качества первичного и вторичного регулирования частоты электрического тока в ЕЭС России".
2. Павлов Г.М., Меркурьев Г.В. Автоматизация энергосистем. СЗФ АО «ГВЦ Энергетики»; -СПб., 2001.

*А.В. Продан, студ.; рук. А.В. Кондрашин, к.т.н., проф.*  
**УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ ОСНОВНЫХ АГРЕГАТОВ ТЭС**

В процессе изменения тепловых и электрических нагрузок станционная автоматика должна обеспечивать баланс генерируемой и потребляемой мощности с минимальным динамическим рассогласованием, обеспечивающим качество отпускаемой энергии и предотвращающим отклонения технологических параметров, превышающие регламентный уровень защит [1]. Это требует при разработке проектов по АСУ ТП принятия решений, направленных на достижение максимальной динамической маневренности оборудования (приемистости).

Наряду с этим, на электростанциях с параллельно работающими агрегатами (ТЭС с поперечными связями) возникает задача оптимального распределения нагрузки по агрегатам. Наиболее распространены методы управления, основанные на применении характеристик относительных приростов, учитывающих для котлов характер изменения удельных расходов топлива при изменении тепловой нагрузки  $b = \delta V / \delta Q$ , а для турбин – удельных расходов тепла  $q = \delta Q / \delta P$  на единицу изменения электрической мощности. По ним составляются шкалы относительных приростов станций  $\delta V / \delta P$ , используемые в составлении режимных карт оборудования, необходимых для решения оперативных задач распределения нагрузок по агрегатам.

Специфической особенностью реальных ХОП является наличие в них ступенчатых эффектов изменения значения при некоторых уровнях нагрузок (рис.1). Число и размеры ступеней определяются минимальной, максимальной, критической нагрузками и относительными приростами расхода теплоты. Эти обстоятельства делают не приемлемыми классические методы оптимизации. В практике решения таких задач наибольшее распространение получил метод неопределённых множителей Лагранжа.

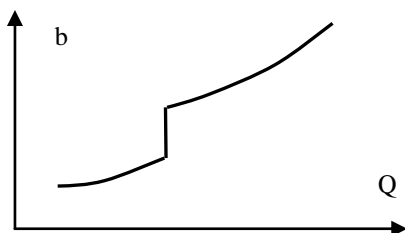


Рис.1. Типовая ХОП для котла

Задача получения минимума издержек даёт распределение нагрузки по равенству прироста расхода энергоносителя. Использование ХОП позволяет:

- поддерживать оптимальные режимы работы ТЭС с учетом фактического состояния и условий эксплуатации оборудования;

– уменьшить затраты на топливо (топливную составляющую в тарифе на тепловую и электрическую энергию).

Расчёт технико-экономических показателей исходных и расчётных параметров ведётся с помощью формы 3-тех. Она является единой формой для составления технической отчётности о тепловой экономичности всех тепловых станций мощностью 50МВт и выше.

Отчёты по форме 3-тех (м) составляют ежеквартально и за год в целом. К ним прилагают анализ показателей тепловой экономичности ТЭС в целом и её отдельных энергетических агрегатов. Анализ основан на сопоставлении фактических показателей, достигнутых за отчётный период. С его помощью выявляют и оценивают резервы снижения удельных расходов топлива.

Формулы, графики и таблицы формы 3-тех(м) также применяют для расчётов энергетической эффективности технических мероприятий, проводимых на ТЭС.

Перед расчётом приводимых в форме показателей составляют общестанционные пароводяной, электрический, тепловой и топливный балансы.

Приводимые в докладе результаты расчётов технико-экономических показателей получены в результате проводимого на ТЭС ежесуточного учёта параметров технологических процессов.

#### Библиографический список

1. **Приказ** РАО "ЕЭС России" № 524 от 18 сентября 2002 г. "О повышении качества первичного и вторичного регулирования частоты электрического тока в ЕЭС России".
2. **Постановление** Правительства от 24 октября 2003 г. N 643 «О правилах оптового рынка электрической энергии (мощности) переходного периода»
3. **Литвак В.В.**, Матвеев А.С., Шевелев С.А. Оптимизация режимов работы турбоустановок ТЭС с использованием ХОП.; ТПУ, 2009.
4. **Горностаев Л.С.**, Свиридова Е.Н., Нисневич Р.А. Инструкция по составлению технического отчёта о тепловой экономичности станции по форме № 3- тех(м).; Москва, 1986.

*Н.А. Блудова, студ.; рук. А.В. Кондрашин, к.т.н., проф.*  
**КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ ФАКТОРОВ  
НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

Сложность современных технических систем (например, атомных электростанций) до конца не познана. Мощные атомные станции – это крупные промышленные системы. Вероятность аварий на них меньше, чем у простых систем, но их последствия более масштабны и ликвидируются тяжелее. Поэтому в условиях дальнейшего развития научно-технического прогресса вопросы надежности и безопасности техники, вопросы дисциплины, порядка и организованности приобретают первостепенное и самостоятельное значение.

Целью данной работы является анализ и разработка мероприятий по повышению надежности и эксплуатационной безопасности оборудования.

Для достижения поставленной цели были собраны многолетние данные об отказах оборудования, находящегося в компетенции цеха тепловой автоматики и измерений одной из атомных электростанций.

По этим данным были выделены признаки классификации (например, отказ датчиков, отказ регуляторов, нарушение в работе исполнительных механизмов, повреждение кабелей и трасс и др.). Классификационных признаков получилось много. По ним практически затруднительно сделать обобщающие выводы о фактических причинах событий, повлекших за собой отказы. А это сдерживает возможность принятия эффективных решений, направленных на повышение надежности и безопасной эксплуатации оборудования.

Поэтому остро встала необходимость понижения размерности факторного (признакового) пространства. Предложено использовать для этого кластерный анализ, обеспечивающий на строгой математической основе автоматически выделить небольшое количество наиболее значимых признаков.

Проанализировав кластеры, стало возможным определить необходимые организационные (например, повышение квалификации персонала, разработка инструкций по эксплуатации и др.) и технические мероприятия по повышению надежности и безопасной эксплуатации оборудования.

*А. А. Попов; рук В. Д. Таланов к.т.н, доц.*

## **РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО СТЕНДА НА БАЗЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО КОНТРОЛЛЕРА ТЕКОНИК**

Микропроцессорный контроллер Теконик состоит из процессорного модуля Р06 и трех модулей УСО, на 8 аналоговых входов, на 16 дискретных входов и 16 дискретных выходов.

Микропроцессорный модуль Р06 применяется в качестве универсального программируемого процессорного устройства АСУ ТП, также систем АСУ ТП на базе модулей ТЕКОНИК (в качестве центрального вычислительного модуля). На его базе можно строить управляющие и информационные системы автоматизации технологических процессов малого и среднего (по числу входов-выходов) уровня сложности с широким динамическим диапазоном изменения технологических параметров, а также отдельные подсистемы сложных АСУ ТП. Процессорный модуль используется для сбора, обработки информации и управления объектами в схемах автономного управления распределенной системы управления на основе локальных сетей уровней LAN и FieldBus. Конструкция процессорного модуля позволяет встраивать его в стандартные монтажные шкафы или другое монтажное оборудование.

Стенд «Тепловой объект» состоит из пустотелого корпуса, в котором расположена лампочка, служащая источником тепла, 2 термопары типа ХК для измерения температуры, экрана изменяющего соотношение тепла, передаваемого на термопару конвекцией и радиацией, 2х жалюзи, которыми можно подавать возмущение в объекте, а также штока, позволяющего изменять расстояние между лампой и термопарой. Лампа запитывается через регулятор тока, расположенный на валу исполнительного механизма электрического однооборотного, который в свою очередь управляется в импульсном режиме.

Назначение - стенд предназначен для учебных целей и позволяет:

- Снимать кривые разгона;
- Находить передаточные функции по кривым разгона;
- Осуществлять реальную одноконтурную систему автоматического регулирования температуры с программируемым контроллером;
  - Демонстрировать возможности контроллера и программного обеспечения, используя стенд как физическую модель;
  - Настраивать регулятор в режиме реального времени;

Наиболее значимые методические цели, реализация которых оправдывает внедрение SCADA-систем в процесс обучения:

- использование современных компьютерных технологий;

- индивидуализация и дифференциация процесса обучения за счет возможности поэтапного продвижения к цели по линиям различной сложности;
- осуществление самоконтроля и самообучения;
- обеспечение возможности тренажа;
- наглядность в демонстрации динамики изучаемых процессов
- широкие возможности проведения тренингов по возникающим ситуациям на стадии проектирования, наладки и эксплуатации систем управления;
- формирование у студентов стратегий усвоения учебного материала.

*Н.С. Карасёв, студ.; рук. В.Д. Таланов, к.т.н., доц.*

### **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СКАДА ТЕКОН**

СКАДА ТЕКОН входит в комплекс программного обеспечения для промышленной автоматизации и включает средства разработки, отладки, моделирования и выполнения приложений для АСУТП.

Основные программные компоненты: Шлюз, Сервер Архива, Просмотр Архива, Расчётная станция, ОПС Сервер, Утилиты.

Имеется библиотека встроенных FBD задач с возможностью создания пользовательских функциональных блоков.

Разработка операторского интерфейса на основе множества вариантов анимации, реакции на события. Большая библиотека графических объектов, мнемосимволов и окон управления.

Особенности среды разработки – подсистема САПР: интеграция в среду разработки, работа с единой базой проекта, возможность создания проекта полевого уровня и формирования проектных документов.

Расчётная станция предназначена для выполнения расчётно-аналитических задач высокой сложности.

На базе СКАДА ТЕКОН возможно создание проектов любой сложности с дальнейшим наращиванием функционала.



**С.В. Таланов, асп.; рук. В.Д. Таланов, к.т.н., доц.  
ПРОГРАММНЫЙ МЕТОД КОРРЕКЦИИ РАСХОДНОЙ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛИРУЮЩЕГО ОРГАНА**

Для обеспечения желаемой формы расходной характеристики регулирующего органа (РО) ее преобразуют, либо путем изменения профиля проходного сечения (для профилируемых РО), либо введением нелинейной связи между исполнительным механизмом и регулирующим органом (для непрофилируемых РО) [1]. При создании новых АСУ ТП возможно применение интеллектуальных электроприводов, которые позволяют корректировать расходную характеристику РО. При модернизации систем автоматического регулирования в случае замены аппаратных технических средств автоматизации контроллерами без замены исполнительных устройств предлагается программный метод коррекции расходной характеристики регулирующего органа. Алгоритмы СУМ, АДП, 1КОР и 2 КОР реализуются в контроллере.

Функция преобразования для регулирующего органа :  $q = F_{PO}(h)$ ; для первого корректора:  $s_1 = F_{1K}(h) = F_{PO}(h)$ ; для второго корректора  $s_2 = F_{2K}(F_{PO}(h))$ . Введение первого корректора линеаризует характеристику РО, т.е. при  $s_2=s_1$  получим  $q=m$ . Введение второго корректора позволяет получить заданную характеристику РО, т.е.  $q = F_{ЗРО}(m)$  из условия  $F_{2K}(F_{PO}(h))=m$ . Например, при  $s_2 = s_1^{0.5}$  получим  $q = m^2$ , при  $s_2 = s_1^2$  получим  $q = m^{0.5}$ .

Для более сложных характеристик разработана программа, позволяющая по заданной функции  $F_{ЗРО}(h)$  определить функцию второго корректора. Эта программа входит в состав программного модуля коррекции.

В программном модуле реализована структура системы, показанная на рис.1.

Аппроксимация проводится по пяти точкам, снятым с каталожной характеристики регулирующего органа [2]. По снятым точкам проводится расчет коэффициентов для универсальной формулы, по которой строится аппроксимированная каталожная характеристика:

$$Y_m = m_0 + m_1 \cdot X + m_2 \cdot X^2 + m_3 \cdot \sin \alpha_4 \cdot X + m_5 + m_6 \cdot \sin \alpha_7 \cdot X + m_8$$

Результатом аппроксимации являются коэффициенты:  $m_0, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7, m_8$ .

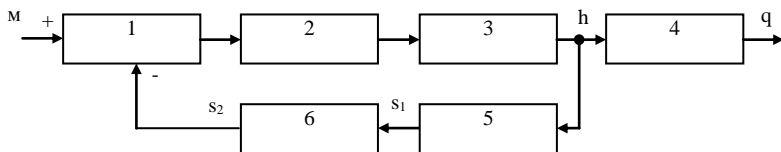


Рис. 1. Структурная схема программного метода коррекции расходной характеристики регулирующего органа:

1 – сумматор; 2 - аналого-дискретный преобразователь; 3 – исполнительный механизм постоянной скорости; 4 – регулирующий орган; 5, 6 – корректоры;  $m$  – входной сигнал;  $s_1$  – сигнал первого корректора;  $s_2$  – сигнал второго корректора;  $h$  – относительное перемещение подвижной части РО,  $q$  – относительный расход (диапазон изменения указанных переменных от 0 до 1).

Результатом работы 1-го блока коррекции является линеаризованная характеристика РО.

Требуемая характеристика РО может задаваться в графическом или в аналитическом виде. Результатом работы 2-го блока коррекции является заданная характеристика РО.

На рис.2 приведена исходная расходная характеристика РО, линеаризованная характеристика и заданная равнопроцентная характеристика РО, полученная в результате работы программного модуля.

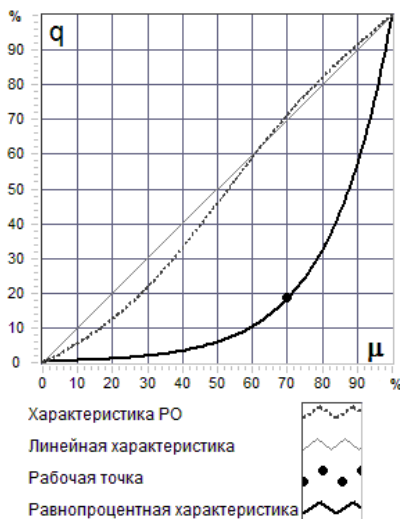


Рис.2. Графики расходных характеристик РО.

### Библиографический список

1. **Благов Э.Е., Ивницкий Б.Я.** Дроссельно-регулирующая температура ТЭС и АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. **Свидетельство** о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программный модуль «Аппроксимации характеристик элементов систем автоматизации» №2011611204 от 4 февраля 2011г. (правообладатели Таланов С.В., ИГЭУ).

*Д.А. Чуланов, студ.; рук. В.Д. Таланов, к.т.н., доц.*

### **РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ДЛЯ КОНТРОЛЛЕРА ФИРМЫ АВВ**

Контроллер AC 800M - это семейство модулей, монтируемых на рейке, состоящее из центрального процессора, коммуникационных модулей, модулей питания и различных аксессуаров. Имеются несколько процессорных модулей, отличающихся мощностью, объемом памяти, классом SIL (Safety Integrity level - уровень безопасности) и поддержкой резервирования. Каждый процессорный модуль оборудован двумя портами сети Ethernet для связи с другими контроллерами, а также для взаимодействия с операторами, инженерами, менеджерами и приложениями более высокого уровня. Модуль также оборудован двумя портами RS-232C, которые могут использоваться для прямой связи со средствами программирования и наладки, а также системами и устройствами сторонних производителей. Для сохранения приложения и данных в модуле ЦП имеется USB слот. К модулю можно подключить дополнительные порты, интерфейсы и модули ввода/вывода. Это делает систему AC 800M открытой и расширяемой, т.е. легко подключаемой к окружающим контрольным системам и интеллектуальным устройствам различных типов, и адаптируемой к изменяющимся требованиям при изменении, расширении или сокращении контролируемого процесса.

Программное обеспечение Control Builder M Professional включает в себя обширную библиотеку элементов управления, от схем логических операций до мощных изодромных регуляторов с предварением, заданных и готовых к применению объектов процесса и функций управления, так же программное обеспечение поддерживает разработку определяемых пользователем элементов управления. Программное обеспечение управления и его технические инструменты поддерживают пять языков программирования согласно стандарту IEC 61131-3: FBD - Functional Block Diagram (Функциональные блоковые диаграммы); IL - Instructional List (Список инструкций); LD - Ladder Diagram (Релейно-контактные схемы); SFC - Sequential Function Chart (Последовательностные функциональные диаграммы) и ST - Structured Text

(Структурированный текст).

Методика создания проекта включает в себя подробное описание последовательности действий по созданию работоспособного приложения в среде Control Builder M Professional:

1. Создание нового проекта и выбор оборудования;
2. Выбор типа контроллера;
3. Добавление модулей ввода/вывода;
4. Изменение сетевого адреса контроллера;
5. Просмотр и изменение свойств модулей ввода/вывода;
6. Добавление библиотек и подключение их к проекту;
7. Присвоение переменных к входам и выходам модулей ввода/вывода;
8. Добавление функциональных блоков;
9. Постановка задания и подключение параметров;
10. Сборка объекта регулирования;
11. Загрузка проекта в контроллер;
12. Установка положения исполнительного механизма;
13. Вывод интерактивного окна регулятора;
14. Проверка работы регулятора;
15. Подключение датчика температуры через интерфейс PROFIBUS;
16. Просмотр значения температуры.

Методика создания проекта представлена на примере реализации одноконтурной системы регулирования. Система состоит из объекта управления, ПИД регулятора, устройства связи с объектом и привода клапана с позиционером.

*Д.Ю. Кузнецов, Д.М. Наумов, студ.;  
рук. А. Р. Горнушкин, к.т.н., доц.*

### **РАЗРАБОТКА ТЕСТИРУЮЩЕГО МОДУЛЯ “ТЕОРИЯ ПОЛЯ”**

Работа выполнена в соответствии с планом развития программно-технической базы кафедры АТП.

Создание тестирующего модуля является важной задачей, цель которой – совершенствовать подготовку студентов. Использование модуля такого рода позволяет легче усваивать учебный материал и спо-

способствует поддержанию достаточно высокого уровня знаний.

В составе модуля имеется двадцать заданий с тридцатью вариантами вопросов. Каждый вариант задачи имеет четыре варианта ответа, из которых только один является правильным. В разработке оставшихся трех вариантов ответа были учтены типичные ошибки студентов.

Результаты выполнения заданий в виде протокола проверки знаний. Рабочий интерфейс тестируемого изображен на рис. 1.

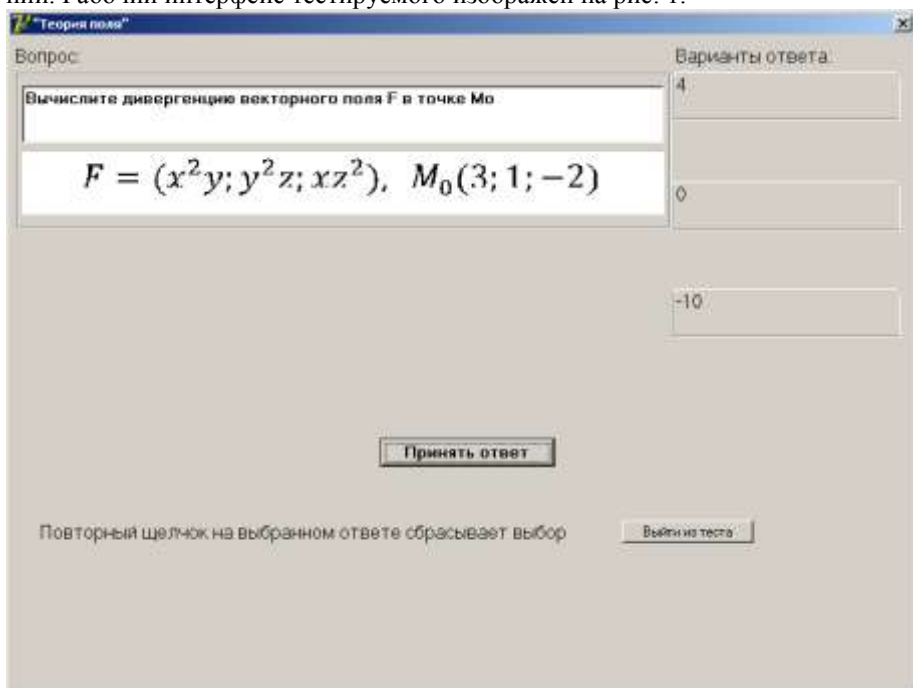


Рис. 1. Окно тестирующей программы

Каждое задание в данном модуле рассчитано на проверку специальных навыков и умений по отдельным темам модуля. Перечень умений и навыков, проверяемых контрольными заданиями, приведен в табл. 1.

В модуле предусмотрены возможности составления различных вариантов заданий, а именно:

- возможность варьирования количества предлагаемых вопросов
- возможность ограничения времени на выполнение задания.

Разработанный модуль соответствует современному теоретическому и практическому уровню разработки программных комплексов.

Таблица 1. Умения и навыки, проверяемые заданиями модуля

№ Задания	Перечень умений и навыков
1	Находить единичный вектор направления
2	Находить производную скалярной функции по направлению
3	Находить градиент скалярного поля
4	Находить дивергенцию векторного поля
5	Находить ротор векторного поля
6	Определять изолинии (изоповерхности) скалярного поля
7	Находить векторные линии поля
8	Вычислять линейный интеграл векторной функции
9	Вычислять поток вектора через поверхность
10	Находить области существования источников(стоков)
11	Вычислять поток плоского векторного поля через дугу кривой
12	Вычислять циркуляцию векторного поля
13	Определять потенциальность (солиноидальность) векторного поля
14	Применять свойства градиента скалярного поля
15	Определять потенциал векторного поля
16	Вычислять поток вектора через замкнутую поверхность
17	Применять теорему о циркуляции вектора индукции магнитного поля
18	Применять теорему Остроградского-Гауса
19	Применять формулу Грина
20	Применять теорему Стокса

Разработанный модуль соответствует современному теоретическому и практическому уровню разработки программных комплексов.

*Д.М. Наумов, А.С. Антипина, студ.;  
рук. А.Р. Горнушкин, к.т.н., доц.*

## ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ЛИНЕЙНЫМИ ФУНКЦИЯМИ

В практических задачах может быть задана (исходя из тех или иных теоретических соображений) зависимость между некоторыми переменными. Формула, выражающая эту зависимость, содержит постоянные, которые необходимо определить по результатам наблюдений. Иногда приходится встречаться и с более сложной задачей: в результате наблюдений получен ряд значений переменных  $x$  и  $y$ , однако характер функциональной зависимости между ними остается неизвестным. Требуется по опытным данным найти аналитическую зависимость между ними. Наиболее выгодным и точным способом определения коэффициентов является способ наименьших квадратов. Мы же рассмотрим здесь два других способа, дающих несколько менее точные результаты, но значительно более простых.

Способ натянутой нити или способ выбранных точек основан на геометрическом подборе прямой на глаз. Нанеся экспериментальные значения на миллиметровку, подбираем графически прямую, ближе всего подходящую к экспериментальным точкам. Выбрав две произвольные точки на этой прямой (не обязательно являющиеся экспериментальными значениями), определяем их координаты  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ . Тогда для определения коэффициентов  $a$  и  $b$  получаем два простых уравнения:

$$ax_1 + b = y_1, ax_2 + b = y_2. \quad (1)$$

Способ средней не требует графического изображения экспериментальных данных и состоит в следующем. Пусть экспериментальные значения заданы парами значений  $\{x_i, y_i\}$ . Даже в том случае, если между  $x$  и  $y$  теоретически установлена линейная зависимость  $y=ax+b$ , экспериментальные значения  $y_i$  будут отличны от  $ax_i+b$  вследствие наличия экспериментальных ошибок. Обозначим через  $\Delta_i$  соответствующую ошибку:

$$\Delta_i = y_i - ax_i - b \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Мы предположим, что уравнивание происходит не только для всех произведенных наблюдений в целом, но и для каждой группы, содержащей половину (или почти половину) всех наблюдений, в отдельности.

В таком случае мы приходим к системе уравнений, которая может быть записана следующим образом:

$$\sum_{i=1}^m y_i - ax_i - b = 0, \quad \sum_{i=m+1}^n y_i - ax_i - b = 0.$$

где число  $m$ , означающее число наблюдений в первой группе, может быть выбрано произвольно. Обычно его выбирают так, чтобы число наблюдений во второй группе равнялось также  $m$ , если  $n$  четно, и  $m \pm 1$ , если  $n$  нечетно. Полученную систему для определения коэффициентов  $a$  и  $b$  запишем в виде:

$$\sum_{i=1}^m y_i = a \sum_{i=1}^m x_i + mb; \quad \sum_{i=m+1}^n y_i = a \sum_{i=m+1}^n x_i + (n - m)b \quad (2)$$

В качестве примера возьмем зависимость растворимости азотно-натриевой соли от температуры. Данные опыта приведены в табл. 1.

Таблица 1

$t_i^{\circ}$	0	4	10	15	21	29	36	51	68
$y_i$	66,7	71,0	76,3	80,6	85,7	92,9	99,4	113,6	125,1

Нанеся эти данные на график, получим точки, расположенные довольно близко от прямой (рис. 1). Проведем на глаз прямую, как на рис. 1, и выберем на ней точки  $M$  и  $N$ . Координаты этих точек (15; 80) и (55; 115). Следовательно, система (1) примет вид:

$$15a + b = 80, \quad 55a + b = 115,$$

откуда  $a=0,88$ ;  $b=66,8$ . Уравнение прямой, полученной по способу натянутой нити, будет

$$y = 0,88t + 66,8.$$

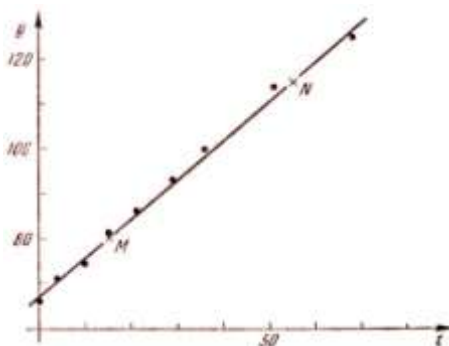


Рисунок 1

Найдем теперь уравнения этой прямой по способу средней. Для этого разобьем все наблюдения на две группы, отнеся к первой пять и



ко второй четыре наблюдения, т. е. положим  $m = 5$ . Система (2) в этом случае даст

$$50a + 5b = 380,3 \quad 184a + 4b = 431.$$

Решая систему, находим, что  $a$  и  $b$ . Тогда способ средней дает прямую

$$y = 0,88t + 67,3.$$

Более точный метод наименьших квадратов даст для этих данных прямую

$$y = 0,87t + 67,5.$$

Вычисления показывают, что для данного примера все три способа дают почти одинаковые результаты.

*С.Г. Печезеров, студ.; рук. А.Р. Горнушкин, к.т.н., доцент*  
**АППРОКСИМАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ  
 МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ С  
 ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРТОГОНАЛЬНЫХ МНОГОЧЛЕНОВ  
 ЧЕБЫШЕВА**

В научных расчетах часто приходится на основе данных, полученных экспериментальным путём, получать зависимость, под которую могли бы подпадать значения, находящиеся вне области проведения эксперимента. При этом нужно учитывать наличие погрешности измерений. Аппроксимацию в случаях, когда число наблюдений много больше степени многочлена, чаще всего проводят, используя метод наименьших квадратов. Искомая функция представляет собой комбинацию приближающих многочленов, которая выбирается таким образом, чтобы сумма квадратов отклонений этой комбинации от значений в точках эксперимента была минимальной.

$$\Phi = \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 \varphi_0(x_i) + a_1 \varphi_1(x_i) + \dots + a_m \varphi_m(x_i))]^2 \rightarrow \min$$

Мы сталкиваемся с системой из  $m$  уравнений, полученной дифференцированием  $\Phi$  по  $a_0, a_1, \dots, a_m$ , решение которой затруднено как для большого  $m$ , так и для табличных функций с неравномерным шагом. К тому же, в том случае, если точность результата оказывается неудовлетворительной, то для поднятия степени аппроксимирующего полинома потребуется пересчет всех коэффициентов, т.к. изменяется система уравнений, из которой они определяются. Способ Чебышева помогает упростить систему, введя в математическое описание приближающих многочленов условие их ортогональности.

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n \varphi_l(x_i) \varphi_k(x_i) &= 0 \quad (l \neq k), \\ \sum_{i=1}^n [\varphi_l(x_i)]^2 &\neq 0 \quad (l = 0, 1, \dots, m) \end{aligned} \right\}$$

Это значит, что для каждого типа многочлена существует отрезок, на котором произведения многочленов разного порядка обращаются в ноль.

Такая особенность математического описания приближающих многочленов позволяет не только облегчить нахождение коэффициентов при них, но и отказаться от пересчета системы в случае, если нужно поднять точность аппроксимирующего многочлена. Добавление новых слагаемых теперь не изменяет коэффициентов при предыдущих. Также возможно использование рекуррентной формулы, позволяющей вычислить следующий приближающий многочлен по двум предыдущим.

Способ Чебышева позволяет достичь того же результата, что и метод наименьших квадратов, для табличных функций с любым шагом и в любой области значений.

В качестве примера рассмотрим аппроксимацию таблично заданной функции (см. табл. 1).

Таблица 1. Значения аппроксимируемой функции

Y	1	2	3	4	5	6	7
X	6	25	31	33	46	62	91

$$y_1 = 12.286x - 7.143,$$

$$y_2 = 1.452x^2 + 0.667x + 10.286$$

$$y_3 = 0.917x^3 - 9.548x^2 + 38.253x - 22.714$$

$$y_4 = -0.163x^4 + 3.523x^3 - 23.625x^2 + 67.475x - 41.143$$

Сумма квадратов отклонений убывает с возрастанием степени аппроксимирующей функции и в каждом случае соответственно равна:

$$\sum (Y_i - y_1(X_i))^2 \approx 377,$$

$$\sum (Y_i - y_2(X_i))^2 \approx 200$$

$$\sum (Y_i - y_3(X_i))^2 \approx 19$$

$$\sum (Y_i - y_4(X_i))^2 \approx 7$$

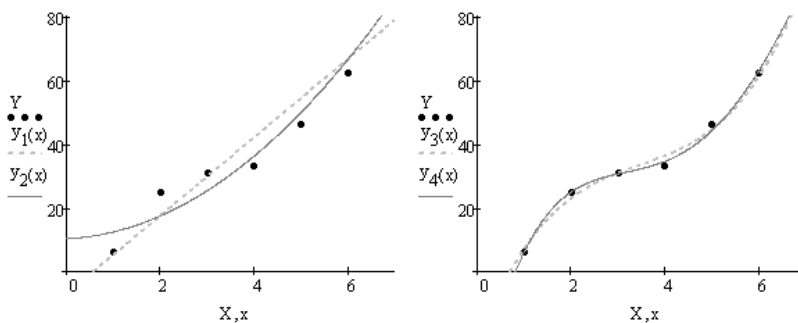


Рис. 1. Аппроксимация функции

#### Библиографический список

1. Гутер Р.С. Овчинский Б.В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта.

### *Е.Р.Алексанян, А.М. Меркулов, студ.; рук. В.Д. Таланов, к.т.н., доц.* **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ТЕПЛОВЫЙ ПУНКТ**

Автоматизация тепловых пунктов, обеспечивает поддержание заданной температуры воды, поступающей в систему горячего водоснабжения, регулирование подачи теплового потока в зависимости от изменения параметров наружного воздуха с целью поддержания заданной температуры воздуха в отапливаемых помещениях.

Тепловой пункт состоит из нагревающей установки и охлаждающего устройства с горячим и холодным трактами. По их ходу установлены датчики: давления, расхода, температуры.

Создание Теплового пункта необходимо для отображения текущего состояния технологического процесса, изменения параметров регулирования и дистанционного управления оборудованием.

Основными способами регулирования расхода теплоносителя являются:

- изменение температуры сетевой воды – качественное регулирование;
- изменение расхода сетевой воды – количественное регулирование;
- изменение расхода и температуры воды – комбинированное регулирование.

Использование оптимального метода регулирования тепловой нагрузки, позволяет повысить качество теплоснабжения, сократить перерасход тепловой энергии и топлива.

Многофункциональный контроллер ТКМ410- один из элементов представленной архитектуры, предназначен для построения управляющих и информационных систем автоматизации технологических процессов.

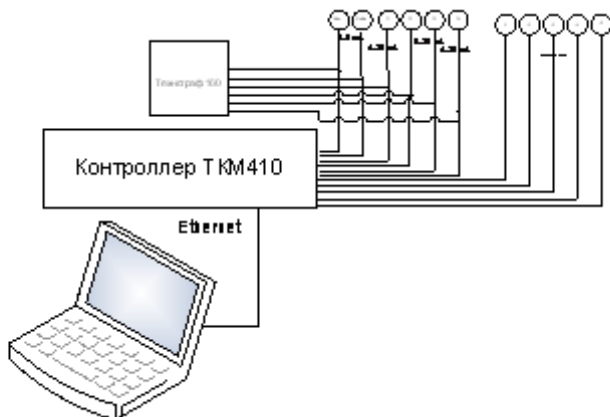


Рис.1. Архитектура средств измерения и автоматизации

На него заведены унифицированные сигналы с датчиков расхода , давления и температуры. Полученная информация передается по сети Ethernet на персональный компьютер для дальнейшей обработки.

Программирование осуществляется в среде ISaGRAF PRO , для доступа к данным в контроллере со стороны SCADA-системы, используется ТесопОПС сервер .

Частотное регулирование осуществляется в соответствии с температурным графиком. Для графического отображения параметров, создана панель оператора в среде программирования Labview.

Внедрение системы диспетчеризации позволит обеспечить реальную экономию тепла и электроэнергии за счет высокой точности регулирования и оптимальных алгоритмов работы узлов технологического оборудования.

## **Секция 3. ТЕХНОЛОГИЯ ВОДЫ И ТОПЛИВА**

***Председатель секции зав. кафедрой «Химии и химических технологий в энергетике» д.т.н., проф. Б.М. ЛАРИН  
Секретарь секции к.т.н., доцент Н.А. ЕРЕМИНА***

***Е. А. Карнычев, асп.; рук-ли: М. Ю. Опарин, к. т. н., доц.,  
А. Н. Максимов, филиал «ОГК-3» «Костромская ГРЭС»***

### **АНАЛИЗ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ВПУ ФИЛИАЛА «ОГК-3» «КОСТРОМСКАЯ ГРЭС»**

На водоподготовительной установке (далее ВПУ) предварительная обработка исходной воды осуществляется путем ее коагуляции сульфатом алюминия с применением флокулянта полиакриламида в трех осветлителях ВТИ-350. В качестве источника водоснабжения на ВПУ используется вода р. Волга с добавкой загрязненных производственных конденсатов. Коагулированная вода поступает на 8 двухкамерных напорных механических фильтра, где осуществляется ее осветление.

Особенностью конструкции осветлителей является деаэрация исходной воды вмонтированными в осветлитель воздухоотделителями после ввода коагулянта. В начальные периоды эксплуатации осветлителей наблюдался активный вынос шлама, причиной которого являлась несовершенная работа воздухоотделителей. Это вызвано, в первую очередь, флотацией шлама вследствие выделения свободной углекислоты [1]. Была проведена реконструкция осветлителей, путем модернизации воздухоотделителей, которая позволила значительно снизить вынос шлама из осветлителя. Однако проблема выноса шлама из осветлителей сохранилась. Это, прежде всего, связано с заметным ухудшением качества исходной воды, а именно увеличением содержания железоорганических соединений по сравнению с предыдущими годами.

На рис. 1 приведено изменение концентрации взвешенных веществ в исходной и коагулированной водах в период с 2008 по 2010 гг.

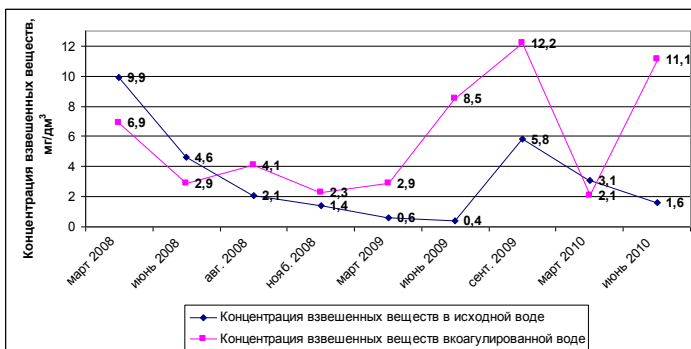


Рис. 1. Изменение концентрации взвешенных веществ в исходной и коагулированной водах в период с 2008 по 2010 гг.

Согласно требований СТО ВТИ 37.002-2005 [2] концентрация взвешенных веществ в коагулированной воде должна находиться в интервале от 2,0 до 5,0 мг/дм<sup>3</sup>. На основании данных рисунка 1 концентрация взвешенных веществ в коагулированной воде превышает нормируемые показатели в паводковые периоды.

На рис. 2 приведены средние эффективности удаления железоорганических соединений в осветлителях в период с 2008 по 2010 гг.

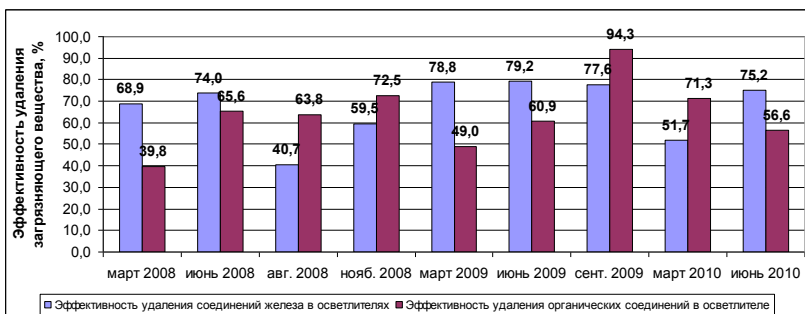


Рис. 2. Эффективность удаления органических соединений и соединений железа в осветлителях в период с 2008 по 2010 гг.

На основании приведенных данных эффективность удаления железоорганических соединений удовлетворительна.

Основными путями повышения эффективности осветления воды могут быть:

- последующая реконструкция осветлителей с увеличением зоны осветленной воды;
- применение флокулянтов другого типа.

По проведенным предварительным испытаниям флокулянтов в соответствии с [3] на исходной воде Костромской ГРЭС наибольший эффект может быть достигнут при использовании анионоактивных флокулянтов со средней плотностью заряда Праестол 2520 (США) и SNF AN-910 (Франция).

#### Библиографический список

1. Карпычев Е. А., Опарин М. Ю. Исследование работы ламельного сепаратора. Сборник тезисов Бернадосовских чтений. ИГЭУ, г. Иваново, 2009.
2. СТО ВТИ 37.002-2005 «Основные требования к применению ионитов на водоподготовительных установках тепловых электростанций. Технологические рекомендации по диагностике их качества и выбору».
3. В. М. Квитковский. Руководящие указания по коагуляции воды на электростанциях: М., 1973.

#### *Е.А. Карпычев, асп.; рук. М.Ю. Опарин, к.т.н., доц.* **ВЫБОР КОАГУЛЯНТА И ФЛОКУЛЯНТА ДЛЯ КОАГУЛЯЦИИ ВОДЫ НА БАЗЕ ПЛАСТИНЧАТОГО ОСВЕТИТЕЛЯ**

Водоподготовительная установка (ВПУ) производительностью 500 м<sup>3</sup>/ч была пущена в эксплуатацию в сентябре 2009 г. [1]

Предварительная очистка исходной воды, поступающей на ВПУ, осуществляется в пластинчатых осветлителях с коагуляцией смесью сульфата алюминия с проектной дозой 0,65 мг-экв/дм<sup>3</sup> и сульфата железа (III) с проектной дозой 0,25 мг-экв/дм<sup>3</sup> с последующей фильтрацией на поточных напорных механических фильтрах, загруженных кварцевым песком.

На ВПУ установлены два пластинчатых осветлителя максимальной объемной производительностью 300 м<sup>3</sup>/ч каждый.

Осветлитель состоит из стальной емкости, в которую вмонтированы пакеты пластмассовых перфорированных пластин. Вода подается через приемное устройство в нижнюю часть осветлителя. Для избегания возникновения при подачи исходной воды в осветлитель больших завихрений предусмотрен дырочный входной диффузор. Подаваемая вода распределяется в нижней части осветлителя ниже уровня пластин и поднимается вверх. Образовавшийся шлам оседает на поверхности пластин и спускается вниз в шламоприемные воронки. Откуда шламовыми насосами при периодических продувках направляется в шламо-

вые ямы. Коагулированная вода через желоба направляется в камеру «чистой» воды, откуда далее насосами коагулированной воды на механические фильтры.

Особенностью конструкции данных осветлителей является отсутствие воздухоотделителя. В результате этого наблюдается активный вынос образованного шлама в камеру коагулированной воды.

В качестве источника водоснабжения для ВПУ используется р. Шексна с существенно переменным качеством воды, которое характеризуется повышенным содержанием железоорганических соединений.

Критериями эффективности выбора типов коагулянтов и флокулянтов, их доз, значения pH и температуры являлись эффективность осветления по окисляемости, содержанию соединений железа в пересчете на Fe и содержанию соединений алюминия в пересчете на Al.

В условиях ТЭЦ-ПВС при проведенных лабораторных испытаний определены оптимальные условия коагуляции. Так для сульфата алюминия с флокулянтом 2520TR компании Ashland (США) оптимальным является значение температуры в  $25 \pm 1$  °С (данная температура также оптимальна при коагуляции гидроксихлоридом алюминия) и значение pH в 6,5-7,0.

На основании проведенных лабораторных опытов по коагуляции воды с накоплением и без накопления шлама при применении различных реагентов можно заключить следующее:

1) Наиболее предпочтительным вариантом при обработке исходной воды ТЭЦ-ПВС УГЭ ОАО «Северсталь» в осветлителях «Chriwa» является коагуляция гидроксихлоридом алюминия с максимальной дозой от 43,0 до 54,0 мг/дм<sup>3</sup> в пересчете на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> без применения флокулянтов.

2) Коагуляция сульфатом алюминия с дозой от 0,9 до 1,0 мг-экв/дм<sup>3</sup> с применением флокулянтов 2520 фирмы Ashland или AN-910 PWG фирмы SNF (или их аналогов) с дозой 2,0 мг/дм<sup>3</sup> работоспособна в условиях ТЭЦ-ПВС и может рассматриваться как альтернатива коагуляции гидроксихлоридом алюминия.

3) Коагуляция сульфатом алюминия с дозой от 0,9 до 1,0 мг-экв/дм<sup>3</sup> без применения флокулянтов не даст большого положительного эффекта из-за меньшей скорости осаждения шлама и, как следствие, возможному его выносу в коагулированную воду.

4) Коагуляция смесью сульфата алюминия и сульфата железа (III) в условиях ТЭЦ-ПВС непригодна из-за повышенного содержания в коагулированной и осветленной воде соединений железа.

5) Применение гидроксохлорсульфата алюминия, титанового коагулянта и неорганического коагулянта IC 1172 в условиях ТЭЦ-ПВС



УГЭ ОАО «Северсталь» неэффективны.

#### Библиографический список

1. Ларин Б.М., Опарин М.Ю., Карпычев Е.А. Исследование и выбор условий коагуляции воды на ТЭЦ-ПВС ОАО «Северсталь» / Теплоэнергетика. 2010, №7.

### *А.В. Колегов, асп.; рук. А.Б. Ларин, к.т.н., доц.* **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ХИМКОНТРОЛЯ НА ИВАНОВСКОЙ ТЭЦ-3**

На кафедре ХХТЭ Ивановского государственного энергетического университета им. В.И.Ленина (ИГЭУ) группой сотрудников под руководством д.т.н., профессора Ларина Б.М. разработан алгоритм и программа косвенного определения ряда нормируемых и диагностических показателей состояния водно-химического режима (ВХР) барабанных котлов

( $p = 13,8$  МПа). К числу таких показателей относятся: концентрация аммиака в питательной воде, фосфатов – в котловой воде чистого и солевого отсеков, солесодержание и концентрация аммиака в паре [1-3].

В 2010 году проведены опытно-промышленные испытания на паровом котле Ивановской ТЭЦ-3 на базе штатных приборов автоматического химконтроля, в основном, производства НПО «ВЗОР» (г. Нижний Новгород) при активном участии персонала ИвТЭЦ-3.

По результатам исследований предложен объем автоматического химконтроля за качеством теплоносителя энергетического котла для получения оперативной информации по нормируемым и диагностическим показателям в рамках системы химико-технологического мониторинга состояния ВХР барабанного котла СВД.

Для создания опытной системы мониторинга и диагностики состояния ВХР котла № 3 Ивановской ТЭЦ-3 было выполнено следующее.

1. Установлены приборы АХК на основных точках:

- питательная вода – удельная электропроводность исходной и Н-катионированной пробы ( $\chi$  и  $\chi_{\text{H}}$ ), рН,  $[\text{Na}^+]$ ;
- перегретый пар - удельная электропроводность исходной и Н-катионированной пробы ( $\chi$  и  $\chi_{\text{H}}$ ), рН,  $[\text{Na}^+]$ ;
- солевой отсек - удельная электропроводность Н-катионированной пробы ( $\chi_{\text{H}}$ ), рН;

- чистый отсек - удельная электропроводность Н-катионированной пробы ( $\chi_n$ ), рН.

2. Подключена система сбора косвенных расчетных показателей качества среды:

- питательная вода:  $\text{NH}_3$ , ( $\text{Ж}_0 + \text{Na}^+$ ),  $\text{Cl}^-$ ;

- перегретый пар:  $\text{NH}_3$ , ( $\text{Ж}_0 + \text{Na}^+$ ),  $\text{Cl}^-$ ;

- солевой отсек: солесодержание, концентрация фосфатов [ $\text{PO}_4^{3-}$ ];

- чистый отсек: солесодержание, концентрация фосфатов [ $\text{PO}_4^{3-}$ ].

Применение этой СХТМ на базе приборов АХК позволяет:

- вовремя диагностировать быстротекущие нарушения ВХР;

- корректировать в режиме реального времени концентрации реактивов (гидразин, аммиак) дозируемых в контур для поддержания ВХР;

- регулировать количество воды сбрасываемой с продувками солевых отсеков, таким образом, уменьшая потери на нагрев и подготовку добавочной воды;

- уменьшить количество воды сбрасываемой в дренаж из пробоотборных линий из-за объема воды требуемого для приборов АХК;

- уменьшить заброс загрязненной воды в основной контур и как следствие уменьшить вероятность аварийных остановов оборудования и последующих затрат на ремонт.

#### Библиографический список

1. Ларин Б.М., Бушуев Е.Н., Козюлина Е.В., Тихомирова Ю.Ю. Реализация мониторинга водно-химического режима барабанных котлов//Теплоэнергетика. 2005. №10. С. 11-17.
2. Ларин Б.М., Бушуев Е.Н., Тихомирова Ю.Ю., Киет С.В. Определение концентрации фосфатов в котловой воде путем измерения электропроводности//Теплоэнергетика. 2008. №7. С. 21-27.
3. Патент РФ №2168172. Способ контроля качества конденсата и питательной воды. Бюллетень изобретений. 2002. №3.

*В.А.Учеваткина, студ.; Н. А. Еремина, к.т.н., доц.*

## ПРОБЛЕМА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРЕДОЧИСТКИ НА ВПУ «ИВПУ»

Одной из проблем эксплуатации ВПУ блока ПГУ-325 МВт является работа предочистки. Установка предназначена для обработки исходной воды методом коагуляции с известкованием в осветлителе

и фильтрованием на механических фильтрах перед ее обессоливанием. В качестве коагулянта используют сернокислородное железо ( $\text{FeSO}_4$ )\* $7\text{H}_2\text{O}$ . Исходной водой для установки является вода из пруда-охладителя.

Проблема состоит в том, что особенностью исходной воды является высокое содержание железа, включенного в органический комплекс. Процесс коагуляции сернокислым железом воды такого качества идет не эффективно. Удаление железоорганических примесей практически не происходит. Это приводит к тому, что содержание органических веществ и железа в воде, направляемой на УМО (установка мембранная обратноосмотическая), значительно превышает нормы, происходит заброс органики в установку обратного осмоса, что делает ее работу на воде данного качества невозможной.

Для того чтобы проанализировать работу данной предочистки, сравнили показатели качества осветленной воды с качеством воды после предочистки на ИвГРЭС, исходная вода которых одна и та же. На ИвГРЭС предварительная очистка воды в осветлителе проводится методом коагуляции сернокислым алюминием ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ )\* $18\text{H}_2\text{O}$  с флокуляцией. По результатам анализов получили следующее:

- Показатели железа и окисляемости предочистки блока ПГУ-325:
  - Удаление железа на 29 %;
  - Снижение окисляемости на 38 %;
- Показатели железа и окисляемости предочистки ИвГРЭС:
  - Удаление железа на 77 %;
  - Снижение окисляемости на 75 %.

Можно сделать вывод, что эффективность предварительной очистки воды методом коагуляции сернокислым алюминием с флокуляцией в два раза выше коагуляции сернокислым железом с известкованием.

Рекомендуется замена на ВПУ блока ПГУ-325 МВт метода совместного известкования с коагуляцией воды сернокислым железом на коагуляцию сернокислым алюминием с флокуляцией.

**К. А. Кипчатова, студ.; рук. Н. А. Еремина, к.т.н., доц.**  
**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНТРОЛЯ ЗА СТОЧНЫМИ**  
**ВОДАМИ ХИМОТДЕЛЕНИЯ**  
**ТЭЦ-ЭВС-2 ОАО «СЕВЕРСТАЛЬ»**

На любой электростанции при водоподготовке образуются значительные объемы отработанных сточных вод, которые необходимо нейтрализовать и(или) отправлять на дополнительную очистку для повторного использования или сброса в водоприемник.

На ТЭЦ-ЭВС-2 ОАО «Северсталь» узел нейтрализации предназначен для сбора отмывочных и сбросных вод в приемки, ячейки сточных вод и баки-нейтрализаторы, для нейтрализации стоков и перекачивания их на багерную насосную котельно-турбинного отделения [1]. Необходимо контролировать показатели качества сточных вод, отправляемых на багерную насосную, главным образом рН. Цель данной работы – обоснование эффективности переноса пробоотборной точки.

На ТЭЦ-ЭВС-2 установлено 4 ячейки сточных вод, они располагаются в реакгентном зале. В них закачиваются следующие основные потоки:

- шламовые воды осветлителей;
- воды от промывок механических фильтров;
- воды после регенераций ионитных фильтров и воды после их отмывок.

Наибольшую опасность представляют последние потоки. В ячейках осуществляется взаимная нейтрализация кислых и щелочных стоков. Но она не всегда протекает полностью, т.к. нередко объемы кислых стоков превышают щелочные, и тогда требуется дополнительная нейтрализация. Для этого используется известковое молоко, которое дозируется в ячейки сточных вод из мерников известкового молока. Перемешивание производится сжатым воздухом.

Для контроля за реакцией среды установлен рН-метр после насосов ячеек сточных вод. рН сточной воды, отправляемой на баки-нейтрализаторы, должен быть не менее 7 [1]. Как только рН поднимается выше 7, закрывают задвижку, и дозировка известкового молока прекращается. Т.к. во многом играет роль человеческий фактор, то есть вероятность пропуска на баки-нейтрализаторы кислых вод. Что не может не повлиять на работу насосного оборудования. Поэтому предлагается установить пробоотборную точку перед насосами сточных вод, сразу после ячеек.

Это имеет несколько преимуществ. Во-первых, новое размещение

pH-метра позволит более точно контролировать pH среды и не допустить пропуск кислых стоков через насосное оборудование, и, следовательно, снизить кислотную коррозию. Во-вторых, позволит сократить расход известкового молока на дополнительную нейтрализацию.

#### Библиографический список

1. Технологическая инструкция «Производство химочищенной воды» (ТИ Э-ТЭЦ2-14-2009)

#### *А.С. Сухарев, студ.; рук. Е.В. Козюлина, к.т.н., доц.* **ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Состав сточных вод, сбрасываемых в водоёмы с промышленных предприятий, подлежит контролю. Допустимая концентрация вредных примесей в водах, сбрасываемых в водоём, устанавливается нормами ПТЭ. Растворенные нефтепродукты являются одним из наиболее распространенных видов загрязнений промышленных сточных вод. Основная сложность удаления из воды нефтепродуктов - это выделение эмульгированных минеральных масел и мазута. Для удаления из воды нефтепродуктов наибольшее распространение получили нефтеловушки и флотационные установки. При очистке воды от нефтепродуктов происходит гравитационное отделение в нефтеловушках (сами нефтеловушки могут отличаться конструкцией, но принцип действия один и тот же), затем очистка от эмульгированных и коллоидных частиц в фильтрах.

Нефтеловушки представляют из себя тонкослойные отстойники (Рис 1). Их рабочий объём разделён наклонными пластинами на ряд зон отстаивания глубиной от 45 до 110 мм под углом 45-60° к горизонту. Введение параллельных пластин в сечение нефтеловушки позволяет равномерно распределить поток воды в начале отстойной части и сохранить это распределение по длине, поэтому в многоярусных отстойниках коэффициент использования объёма гораздо выше, чем у обычных. Уменьшение высоты слоя отстаивания позволяет сократить время выделения взвешенных веществ из сточных вод. Кроме того, тонкослойные отстойники являются более компактными очистными сооружениями, требующими меньшей площади размещения[1].

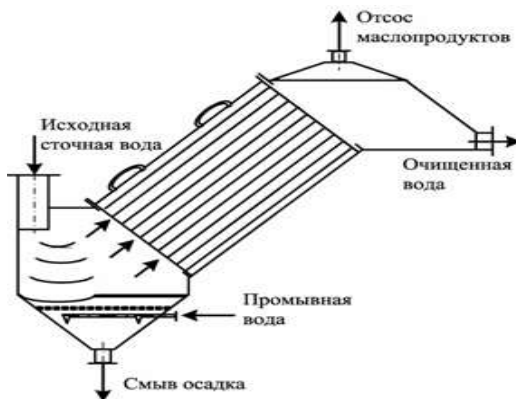


Рис.1. Схема многоярусного отстойника нефтеловушки

Нефтепродукты любой концентрации могут удаляться из сточных вод с помощью флотации: создание комплекса частица-пузырёк воздуха или газа, всплывании этого комплекса и удалении образовавшегося пенного слоя. В зависимости от размеров пузырьков воздуха или газа выделяют несколько видов флотации (с выделением воздуха из раствора, с механическим диспергированием воздуха, с подачей воздуха через пористые материалы, электрическая, биологическая и химическая флотация), для каждой из которых существуют свои флотационные установки (вакуумные, напорные, эрлифтные, импеллерные, безнапорные, пневматические)[2].

Также для очистки воды от нефтепродуктов применяют фильтры. Эффективность фильтров выше, чем у нефтеловушек, поэтому фильтрование занимает главное место в очистке конденсата. Основной нагрузкой для фильтров лучше всего служит активированный уголь марки БАУ, обладающий наибольшей поглощательной способностью. Для регенерации насыпных фильтров лучше использовать не воду, а горячий водяной пар, разогревающий уловленные нефтепродукты, которые вытесняются из слоя, а сам пар конденсируется. Также используются фильтры с плавающей загрузкой из полиуретана, пенополистирола. Эти вещества имеют хорошую пористость, механическую прочность – свойства, обеспечивающие хорошую поглощательную способность. Сложилось так, что все конструкции ионообменных фильтров параллельноточные (прямоточные), т.е. обрабатываемая вода и регенерирующий раствор движутся в фильтре сверху вниз. Лучше применять противоточное фильтрование, но оно требует разнообразных высокоэффективных ионитов и специальных конструкций фильтров.

### Библиографический список

1. **Громогласов А.А.** Водоподготовка: процессы и аппараты. М.: Энергоатомиздат. 1990.
2. **Яковлев С.В.** Очистка производственных сточных вод. М.: Стройиздат. 1979.

*К.А. Кипчатова, В.А. Учеваткина, студ.;*  
*рук. Н.А. Еремина, к.т.н., доц.*

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННОГО ИЛА

В России сооружения биологической очистки составляют 54,8 % от общего числа всех очистных сооружений, а водоотведение на них – 78,9 % от общего объема очищаемых вод.

Но собственно очистка воды – это только часть проблемы переработки сточных вод. Более сложной и наименее решенной оказывается проблема переработки выделенных из воды осадков. Образовавшийся в результате биологической очистки избыточный активный ил отводится в илонакопители или накапливается в виде донных отложений в биологических прудах.

Возможны следующие пути решения проблемы утилизации избыточного активного ила: в зависимости от степени токсичности его можно использовать в качестве удобрений или белково-витаминных концентратов, при производстве строительных материалов, а также сбрасывать в метантенках, захоранивать в грунт или сжигать [1].

Из общего количества отводимых илов в России как удобрение используется 1-6 %, перерабатывается не более 3 %, основная масса ила хранится в илонакопителях или на свалках промтоходов. За рубежом в качестве удобрения используется в среднем 32,4 % осадка сточных вод (ОСВ). Считается, что применение ОСВ в качестве органоминерального удобрения является одним из наиболее экономически выгодных путей его использования.

Однако не всегда возможно применения ила в качестве органического удобрения из-за присутствия в нем токсичных веществ, в первую очередь тяжелых металлов (ТМ). В настоящее время применяются следующие методы извлечения тяжелых металлов из илов:

- химические методы;
- метод противоточного непрерывного извлечения в ионитных фильтрах;
- электрокинетический метод.

Так, например, ЗАО "Водоканал" г. Новокузнецка совместно с научно-производственным предприятием "Экоуголь" предложили способ обезвреживания илов и осадков сточных вод, обеспечивающий снижение содержания в отходах растворимых форм тяжелых металлов. В качестве обезвреживающих добавок использовались отходы Западно-Сибирского металлургического комбината: аспирационная пыль цеха обжига известняка и окалина блюминга.

Для решения проблемы переработки избыточного активного ила на ОАО «Славнефть-ЯНОС» спроектированы метантенки. Но на практике из данного активного ила из-за высокого содержания ТМ метан не вырабатывался. Другие методы решения проблемы не рассматривались, было решено избыточный активный ил обезвоживать и складировать на иловых картах.

В случае, когда ни один другой способ использования осадков невозможен, применяют сжигание осадков в печи кипящего слоя горизонтального или вертикального типа. Одним из преимуществ этого метода является то, что полученное топливо удобно хранить. Но многочисленные исследования действующих установок для сжигания иловых осадков сточных вод показали необходимость строительства установки по организации очистки дымовых газов и полигона для размещения уловленной золы.

Каждый из приведенных методов имеет свои достоинства и недостатки. Большинство из них еще мало распространены, но имеют широкие возможности развития и усовершенствования в перспективе.

#### Библиографический список

1. **Родионов А.И., Клушин В.Н., Торочешников Н.С.** Техника защиты окружающей среды. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: «Химия», 1989.

*Е.В. Чижова, студ.; рук. Е.В. Козюлина, к.т.н., доц.*  
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИСАДОК  
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ МАЗУТА**

Топочные мазуты представляют собой сложные коллоидные системы углеводородов, некоторые из которых способны образовывать в области температур застывания квазикристаллические структуры, об-



ладающие пониженной текучестью. Топочные мазуты, как и другие виды жидкого топлива, получают на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) либо процессе прямой перегонки нефти, либо при высокотемпературной переработке её промежуточных фракций (крекинг – процесс). При сжигании низкосортного мазута образуются окислы азота и серы, окись углерода, сажа, бенз(а)пирен и другие токсичные вещества, которые с дымовыми газами поступают в атмосферу, а так же возникают проблемы с высокотемпературной коррозией, причинённой наличием ванадия в топливе и низкотемпературной серноокислотной коррозией, вызванной присутствием серы.

Прямогонный мазут представляет собой смесь тяжелых нефтяных остатков прямой перегонки нефти с её маловязкими фракциями. Подмешивание дистиллятов к тяжелому остатку необходимо главным образом для поддержания вязкости мазута в пределах требований стандарта.

Крекинг – мазут представляет собой тяжелый высоковязкий остаток крекинг- процесса. Если крекинг – остаток по своим характеристикам не отвечает требованиям стандарта, к нему подмешивают в необходимом количестве мазут, получаемый при прямой перегонке нефти.

Для улучшения качества топлива используют присадки. Применение присадок позволяет улучшить технико-экономические и экологические показатели мазутных хозяйств, а также повысить надежность работы теплоэнергетического оборудования и продлить срок его службы. Они обладают антикоррозионными, депрессорными, нейтрализующими, диспергирующими, эмульгирующими, антиокислительными свойствами. Применение присадок основано на связывании агрессивных агентов. Обработка мазута присадками необходима как при хранении его в резервуарах, так и при подготовке к сжиганию.

Каждая присадка обладает определенными свойствами. Катализаторы горения нейтрализуют коррозионное воздействие продуктов сгорания сернистых мазутов. Ингибиторы коррозии используются при добыче, транспортировке и переработки нефти. Защищают от сероводородной и углекислотной коррозии. Так же взаимодействуют с коррозионно- и адгезионноактивными компонентами продуктов сгорания и переводят их в пассивное состояние. При дозировке стабилизатора стабильность мазута против окисления кислородом воздуха возрастает. Эффективность действия стабилизирующих присадок определяется по кратности стабилизации, представляющей собой отношение показателей кислотного числа после опытного окисления не стабилизированного и стабилизированного присадкой мазута. Пассивирующие присадки (деактиваторы металлов) уменьшают или предотвращают

каталитическое влияние медной поверхности на окисление мазута, повышают стабильность мазутов. Модификаторы коллоидно-химических свойств препятствуют отложению смолистых соединений, повышают теплоту сгорания. Так же предотвращает образование водомазутных эмульсий и способствует выделению воды из мазута. Модификаторы структуры потока улучшают реологические свойства, так как в нефти находится большое количество смолисто – асфальтеновых соединений и повышенное содержание высокоплавких парафинов.

Применение присадок является актуальной проблемой. Имеются данные по применению карбонатного шлама как многофункциональной присадки. Казанский государственный энергетический университет экспериментально исследовал химический состав и физико-химические свойства карбонатного шлама как присадки к мазуту [1]. Испытания показали, что карбонатный шлам позволяет улучшить эксплуатационные свойства мазутов, снизить объемы выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ, продлить срок службы теплоэнергетического оборудования, а так же повысить надежность его работы. Таким образом, достоинством этой присадки является значительное количество, доступность и дешевизна присадки, она является эффективной и перспективной. Так же является экологически безопасной, а недостатком этой присадки является то, что карбонатный шлам производится в сыром виде и нужны дополнительные затраты для подготовки шлама для дозирования в мазут. Поэтому данная присадка несет экономические затраты на ее подготовку.

#### **Библиографический список**

**1. Э.Р.Зверева**, А.Г.Лаптев, Л.В.Ганина, И.А.Андрюшина. Проблемы энергетики. Исследование влияния многофункциональной присадки на эксплуатационные свойства мазута. 2009. №11/12. С.16-21.

### ***М.П.Савинов, студ.; рук. А.Б. Ларин, к. т. н., доц.*** **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМ РЕЖИМОМ II КОНТУРА АЭС С ВВЭР**

Система контроля и управления (СКУ) ВХР второго контура предназначена для оперативного контроля показателей качества рабочей среды энергоблока с реактором ВВЭР-1000.

Объем ХК должен быть разработан на стадии технического проектирования СКУ ВХР второго контура на основе объемов ХК, преду-

смотренных для РУ В-320/В-392.

Откуда следует, что основными автоматически измеряемыми показателями качества водного теплоносителя являются измерения электропроводности ( $\chi$ ,  $\chi_H$ ) и рН, а в объем лабораторного химконтроля питательной и продувочной воды парогенераторов входят: аммиак, натрий, сульфаты, хлориды.

В данной работе использован метод косвенного определения концентраций ионогенных (нормируемых и диагностических) показателей качества воды, разработанный в ИГЭУ. Метод может использоваться как для питательной, так и продувочной воды парогенераторов.

В качестве основы для косвенного определения нормируемых и диагностических показателей в водах типа конденсата выбрана измерительная система наиболее надежных измерений: удельной электропроводности прямой и Н-катионированной проб, а также показателя рН, определяемых практически одновременно из одной пробы охлажденного теплоносителя. Аналогичный подход принят за рубежом в производстве измерительных систем АХК нового поколения и реализован, в частности, в дифференциальном измерителе "FAM Deltacon рН" фирмы SWAN, Швейцария.

Одной из ключевых задач в организации АХК второго контура АЭС С ВВЭР является разработка систем контроля качества продувочной воды парогенераторов и качества очищенной на установке СВО-5 этой продувочной воды.

Проверка разработанной методики косвенного определения концентраций примесей по измерению  $\chi$  и рН проводилась на действующей установке очистки продувочной воды парогенераторов (СВО-5) энергоблока АЭС с реакторами ВВЭР-1000.

Анализ полученных результатов осуществляется сравнением расчетных данных с аналитическими измерениями концентраций примесей, проводимыми как в моменты приборных измерений, так и в течение длительного периода эксплуатации СВО-5. Наряду с ионами натрия с концентрацией 100-300 мкг/кг в поступающей воде на СВО-5 определены катионы жесткости концентрацией 0-40 мкг/кг, что по верхнему пределу примерно вдвое превышает концентрацию ионов натрия. Усредненное значение гидрокарбонатов или щелочности в расчете на  $HCO_3^-$  составило около 20 мкг-экв/кг.

По усредненным опытным данным суммарная концентрация анионов сильных кислот составляла около 10 мкг/кг, т.е. в пересчете на концентрацию анионов хлора – 355 мкг/кг. В обработанной (обессоленной) воде концентрация хлоридов определяется на уровне 10-20

мкг/кг. Разовый анализ, проведенный ВНИИАЭС, дал следующие результаты:  $[Cl^-] = 7.5$  мкг/кг и  $[SO_4^{2-}] = 25,6$  мкг/кг для рабочего режима эксплуатации фильтров.

Таким образом, представленные расчетные данные в целом согласуются с усредненными и отдельными опытными данными химанализа примесей поступающей и обработанной воды на СВО-5. Это дает основание считать возможным применение разработанного метода для автоматического химконтроля качества поступающей и обработанной на СВО-5 воды.

*В.А. Касьянов, студ.; рук. Е.В. Козюлина, к.т.н., доц.*  
**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ  
СИСТЕМЫ «ВОДОПОДГОТОВКА КОТЛОВ МАЛОЙ  
МОЩНОСТИ  
УНЦ «ИГЭУ-De-Dietrich»»**

В последние годы все более заметна тенденция к постоянному повышению скорости получения знаний. Для этого необходимы средства, обеспечивающие мобильность знаний, упрощающие и повышающие оперативность доступа к ним. В связи с этим кафедра ХХТЭ ИГЭУ активно способствует внедрению современных компьютерных технологий в обучающий процесс. Одним из направлений повышения эффективности обучения, усвоения информации является разработка и использование автоматизированных обучающих систем (АОС). Главной целью АОС является рациональное управление учебным процессом во всех его формах проявления с целью повышения качества обучения.

Международный российско-французский учебно-научный центр энергоэффективных технологий "ИГЭУ — De Dietrich" открылся в 2009 году. Открытие центра является результатом многолетнего сотрудничества Ивановского государственного энергетического университета с компанией "De Dietrich Thermique" и ведущими европейскими предприятиями и вузами в сфере промышленной энергетики. Оборудование представлено фирмой [1].

"De Dietrich Thermique" — один из ведущих мировых производителей отопительной техники и номер один во Франции.

Центр энергоэффективных технологий состоит из лаборатории котельного и теплового оборудования, лаборатории автоматизации, лекционной аудитории, библиотеки технической литературы, мастерской. В

центре энергоэффективных технологий осуществляется обеспечение учебного и научного процесса современным лабораторным практикумом в сфере систем теплоснабжения и их компонентов. В центре представлено 15 водогрейных котлов малой мощности с КПД > 90%, предназначенных для отопления и горячего водоснабжения.

В настоящее время разрабатывается АОС по центру энергоэффективных технологий. Автоматизированный учебный курс входит в состав компьютерного учебника «Водоподготовка котлов малой мощности De Dietrich». Он посвящен изучению общих вопросов, связанных с правильной реализацией водоподготовки данных котлов, представленных в центре энергоэффективных технологий ИГЭУ.

Представленный АОС включает в себя следующие разделы:

- описание основного оборудования;
- коррозия и накеобразование;
- водно-химический режим;
- организация СХТМ;
- схемы ВПУ;
- Тестирование.

Входящие в состав АОС разделы могут изучаться в любой последовательности, т.к. каждый раздел представляет собой законченный программный продукт. В ходе изучения материала предоставлена возможность выхода из любого раздела курса в общее меню компьютерного пособия.

В автоматизированной обучающей системе, помимо текстовой информации, предусмотрена параллельная иллюстрация изложенного материала схемами, графиками и применением элементов анимации для лучшего понимания и усвоения полученной информации. По окончании изучения материала курса обучающимся предлагается пройти проверку усвоения полученных знаний путем электронного тестирования, которое даст объективную оценку с подробными комментариями.

Автоматизирование процесса образования позволяет увеличить эффективность работы преподавателя. Сделать процесс обучения наглядным и доступным в любом месте, где есть компьютер. Также АОС повышает не только качество усвоения изучаемого материала, но и дает возможность самостоятельной подготовки. Сокращает сроки обучения.

Автоматизированная обучающая система выполнена в операционной системе Windows, иллюстрационная часть создана с помощью редактора PowerPoint, элементы анимации разработаны с использованием программных продуктов PowerPoint, Photoshop. Автоматизирован-

ная обучающая система выполнена в редакторе PowerPoint с привязкой к Visual Basic.

Разработанная АОС рассчитана на студентов теплоэнергетических специальностей, также может быть использована при подготовке работников энергетических предприятий, повышения их квалификации.

#### Библиографический список

1. Козюлина Е.В., Банников А.В., Будеева Е.П. Технология воды и топлива в системе водогрейных котлов лаборатории центра энергоэффективных технологий. Сборник тезисов Бернадосовских чтений. ИГЭУ, г. Иваново, 2009.

*Н.В. Канаева, студ.; рук. Е.Н. Бушуев, к.т.н., доц.*

## ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ШЛАМОВЫХ СТОКОВ НА ОАО «АКРОН» (Г. ВЕЛИКИЙ НОВГОРОД)

Химводоподготовка на ОАО «Акрон» призвана обеспечить очищенной (умягченной, частичнообессоленной, обессоленной, глубокообессоленной) водой процесс производства удобрений. В связи с постоянным ростом мощностей химического производства потребность в очищаемой воде постоянно растет, а соответственно, увеличивается и количество образующихся сточных вод.

Шламонакопитель, эксплуатировавшийся более 30 лет, в настоящее время переполнен и возникла необходимость внедрения в технологию обработки шламовых вод новых принципов очистки.

Новшеством в технологии является декантерная центрифуга. Принцип ее работы основан на сгущении и обезвоживании осадка.

Шламовыми водами являются, в основном, продувочные воды осветлителей, в которых исходная вода обрабатывалась методом коагуляции. По технологии обезвоживания, минимальная необходимая концентрация взвешенных веществ в шламовой воде составляет 5 % (после коагуляции концентрация составляет 1–1,5 %), поэтому продувочные воды предварительно отправляют на один из осветлителей, где проходит процесс коагуляции с дозированием флокулянта. После этого осветленная вода из осветлителя идет на дальнейшую очистку, а шламовые воды подаются на центрифуги, туда же дополнительно дозируется флокулянт.

В декантерной центрифуге под действием центробежной силы более плотный шлам прижимается к стенкам, а затем автоматическим скребковым механизмом снимается со стенок и удаляется из декантера. Осветленная вода возвращается обратно в цикл водоподготовки.

По проектным данным при правильной эксплуатации сгущение шлама возможно до 70 %, это позволит полностью отказаться от использования шламонакопителя. В этом случае шлам станет возможно вывозить автотранспортом и складировать его на территории предприятия.

С учетом расходов сырой воды на осветлители на предприятии было установлены две декантерных центрифуги.

Летом 2008 г. проводились опытно-промышленные испытания декантера фирмы «ФлоттРус». Нагрузки по осветленной воде были низкие из-за остановочных ремонтов цехов. Сгущенный шлам в количестве 10–15 м<sup>3</sup>/ч несколько часов подавался на декантер. Количество образующегося шлама при нормальной работе составило 35–45 м<sup>3</sup>/ч.

С мая 2009 года проводились опытно-промышленные испытания по сгущению шлама в осветлителе. За два месяца работы, расход сгущенного шлама составил от 10 до 40 м<sup>3</sup>/ч. Содержание взвешенных веществ в шламе достигало 8000 мг/дм<sup>3</sup> (на входе в осветлитель – 200–700 мг/дм<sup>3</sup>).

*М.К. Харламова, студ.; рук. Е.Н. Бушуев, к.т.н., доц.*  
**ТЕХНОЛОГИЯ ВОДОПОДГОТОВКИ  
НА ОАО «АКРОН» (Г. ВЕЛИКИЙ НОВГОРОД)**

Компания «Акрон» входит в число основных отечественных и мировых предприятий, занимающихся производством минеральных удобрений диверсифицированной продуктовой линейки. Всего компанией изготавливается свыше 40 видов химической продукции. Практически в каждом подразделении ОАО «Акрон» для ведения технологического процесса необходима обработанная вода. При этом для разных производств требуется различная степень ее очистки. Для подготовки воды на предприятии существует цех химводоподготовки, который осуществляет деятельность по выпуску осветленной, умягченной, частичнообессоленной, обессоленной и глубокообессоленной воды, обеспечению речной водой подразделений ОАО "Акрон" и территориальной генерирующей компании №2.

Предочистка исходной воды включает в себя осветлители, работающие в режиме коагуляции и ступень механических фильтров. Дальнейшее обессоливание воды производится как на прямоточных, так и на противоточных ионитных фильтрах. В состав водоподготовительной установки входят четыре блока обессоливания на базе противоточного метода регенерации, состоящих из Н-катионитового и ОН-

анионитового фильтров, работающие по двум различным технологиям. Блоки №1 и №4 работают по технологии, когда вода в рабочем режиме проходит через фильтры в направлении сверху-вниз, а при регенерации регенерационные растворы подаются снизу-вверх. Блоки №2 и №3 работают по технологии, когда вода в рабочем режиме проходит через ионитные фильтры снизу-вверх, а при регенерации фильтров регенерационные растворы подаются сверху-вниз (технология Швебебет). Управление работой и контроль за всеми блоками фильтров осуществляется с помощью автоматической системы управления. Перед подачей на блоки обессоливания осветлённая вода проходит дополнительную очистку от мелкодисперсных механических примесей на механических фильтрах загруженных отработанной ионообменной смолой.

Количество воды, подающейся на каждый блок фильтров, регулируется автоматически по заданию аппаратчика с ЦПУ. Производительность одной установки до  $250 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Блок фильтров выводится на регенерацию автоматически по заданной величине удельной электрической проводимости  $3 \text{ мкСм/см}$  или по величине установленного фильтроцикла  $3000\text{--}6000 \text{ м}^3$ , а также при увеличении в фильтрате концентрации кремниевой кислоты более  $0,1 \text{ мг/дм}^3$

*Е.В.Павлычева, студ.; рук. Б.М. Ларин, д.т.н., проф.*  
**ХИМКОНТРОЛЬ ВОДНОГО РЕЖИМА ЭНЕРГБЛОКОВ  
ПСКОВСКОЙ ГРЭС**

Псковская ГРЭС – филиал ОАО «ОГК-2» расположена на левом берегу реки Шелонь вблизи поселка Дедовичи Псковской области. Установленная электрическая мощность  $430 \text{ МВт}$ ; включает два высокоманевренных энергоблока по  $215 \text{ МВт}$  с барабанными паровыми котлами типа ТПЕ-208 ( $p_6=13,8 \text{ МПа}$ ).

Основной задачей химконтроля за ВХР блока является контроль и поддержание норм качества питательной воды и пара. С этой целью производится обработка питательной воды аммиаком и гидразином, а котловой воды – тринатрий фосфатом. Как аммиак, так и фосфаты контролируются методами ручного химического анализа, что затрудняет их оперативный химконтроль и автоматизацию дозирования растворов этих реагентов в водный теплоноситель.

В данной работе проведено исследование возможности реализации расчетной методики ИГЭУ для косвенного определения концентраций примесей в питательной, котловой воде и паре энергоблока, основан-



ной на штатных измерениях удельной электропроводности и рН. Расчеты выполняются по данным измерений приборного комплекса (рис. 1).

Для реализации метода определения качества конденсата и питательной воды была разработана измерительная система, которая включает в себя: устройство подготовки пробы (УПП) (1), клапаны переключения потоков проб (2, 3, 4), термометра (5), последовательно установленных датчиков кондуктометров (6, 9), Н-катионированной колонки (7), и рН-метра (поз. 8), расход пробы устанавливается по ротаметру (10). Ввод данных на ЭВМ может осуществляться непосредственно с приборов или в ручном режиме.

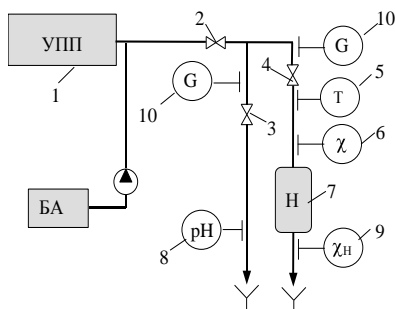


Рис. 1. Принципиальная схема приборного комплекса

Работа измерительной системы осуществляется следующим образом: пройдя устройство подготовки пробы через клапан разделения потоков проб вода поступает на датчик кондуктометра, (измеряется удельная электропроводность и температура исходной пробы), затем, пройдя Н-катионитовую колонку проба поступает на следующий датчик кондуктометра, где измеряется удельная электропроводность и температура Н-фильтрата. Другой поток поступает на датчик рН-метра.

Использование данной установки не требует значительных затрат, так как все приборы, которые применяются для этих измерений, являются штатными приборами химконтроля и на всех электрических станциях находятся в эксплуатации.

*Н.С.Суханов, студ.; рук. Б.М. Ларин, д.т.н., проф.*  
**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОДОПОДГОТОВКИ РОСТОВСКОЙ  
АЭС**

Строительство Ростовской АЭС началось в 1979 году вблизи г. Волгодонска. С 1990 года Ростовская ЭС находилась в состоянии консервации, лишь 30 марта 2001 года произошло включение в работу турбогенератора первого энергоблока. К настоящему времени включен в работу 2-ой энергоблок и ведутся подготовительные работы на энергоблоке №3. За прошедшие 30 лет с начала строительства (окончания проектирования) произошли существенные изменения в технологии обработки воды на АЭС, а установленное оборудование пускового комплекса ВПУ в значительной степени устарело и требует замены.

В данной работе рассмотрены три варианта технологических схем обработки воды: химическое обессоливание, термическое обессоливание и обессоливание на установке обратного осмоса (УОО). По первым двум схемам предложено их совместное использование, с целью сокращения расхода реагентов и стоков при повышении степени очистки воды от минеральных и органических примесей. По третьему варианту – схема с УОО – проведено теоретическое обоснование и разработано проектное решение, обеспечивающее выполнение потерь пара и конденсата для 3-х энергоблоков РАЭС.

Совместное использование химического и термического обессоливания основано на применении дистилляционных установок ДОУ-50 выполненные по схеме 10-ти ступенчатой выпарки с прямоточным питанием по воде и пару. Дистиллят ДОУ направляется на дообессоливание на установку химводоочистки (ХВО), работающую в автономном режиме. После ХВО обессоленная вода направляется в бак запаса конденсата (БЗК). В работе проведено сравнение предложенных технических решений.

*И.Ю. Красиков, студ.; рук. Е.В. Козюлина, к.т.н., доц.*  
**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ  
СИСТЕМЫ «ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ»**

Производственные сточные воды после соответствующей очистки могут быть повторно использованы в технологическом процессе, для чего на многих промышленных предприятиях создаются системы оборотного водоснабжения либо замкнутые (бессточные) системы водоснабжения и канализации, при которых исключается сброс каких-либо вод в водоёмы. Большое народно-хозяйственное значение имеет внедрение технологии комплексной безотходной переработки сырья (особенно на предприятиях химической, целлюлозно-бумажной и горно-обогатительной промышленности). Перспективны методы физико-химической очистки (коагулирование, отстаивание, фильтрация) в качестве самостоятельных способов очистки или в сочетании с биологической очисткой, а также методы т. н. дополнительной обработки (сорбция, ионообмен, гиперфильтрация, удаление азотистых веществ и фосфатов и др.), обеспечивающей весьма высокую степень очистки сточных вод перед спуском их в водоёмы или при использовании сточных вод в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий. Эффективны методы термического обезвреживания и переработки высоко концентрированных стоков во вторичное сырьё, а также способ закачки стоков в глубокие, надёжно изолированные подземные горизонты. Поэтому студентами специальности «Природоохранные технологии в энергетике» на пятом курсе изучается дисциплина «Эксплуатация и наладка очистных сооружений сточных вод промышленных предприятий». В рамках изучения данного курса студенты изучают методы очистки производственных сточных вод. Так же в рамках изучения данной дисциплины предусмотрено выполнение расчетной работы.

На кафедре ХХТЭ разрабатывается АОС «очистные сооружения сточных вод промышленных предприятий».

АОС включает в себя следующие разделы:

- Состав и свойства производственных сточных вод, классификация сточных вод;
- Определение необходимой степени очистки сточных вод
- Механическая очистка
- Биологическая очистка

- Физико-химическая очистка сточных вод
- Тестирование.

Входящие в состав АОС разделы могут изучаться в любой последовательности. В ходе изучения материала предоставлена возможность выхода из любого раздела курса в общее меню компьютерного пособия.

Данная АОС рассчитана на студентов теплоэнергетических специальностей, также может быть использована при подготовке работников энергетических предприятий, повышения их квалификации.

## **Секция 4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ**

*Председатель секции зав. кафедрой «Теоретические основы  
теплотехники» д.т.н., проф. В.В. БУХМИРОВ  
Секретарь секции аспирант Ю.С. СОЛНЫШКОВА*

*Ю.С. Солнышкова, асп., Г.А. Родионов, асп.;  
рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.*

### **К ВОПРОСУ О ПАСПОРТИЗАЦИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

В настоящее время в связи с принятием Федерального Закона «Об энергосбережении...» [1] перед потребителями топливно-энергетических ресурсов стоит задача проведения энергетических обследований своих объектов с последующей их паспорттизацией.

Паспорт потребителя топливно-энергетических ресурсов, утвержденный приказом Министерства энергетики Российской Федерации [2], содержит обязательные для заполнения формы, но не раскрывает правила и порядок их заполнения. Согласно Федеральному Закону [1] энергетические паспорта один раз в три месяца Саморегулируемая организация (СРО) в области энергетических обследований направляет в Министерство энергетики РФ.

Для создания единой базы документов потребителей топливно-энергетических ресурсов (Государственной информационной системы) необходим тщательный контроль правильности заполнения энергетических паспортов на уровне каждой СРО в области энергетических обследований.

Поскольку единые правила заполнения и контроля энергетических паспортов на государственном уровне отсутствуют, каждой СРО в области энергетических обследований следует разработать свои стандарты и методики согласно требованию Федерального Закона [1].

В СРО №007 «Гильдия энергоаудиторов» разработка данных методик была поручена специалистам ГОУ ВПО ИГЭУ. В ИГЭУ были разработаны следующие методики:

- методика заполнения энергетического паспорта потребителя топливно-энергетических ресурсов;
- методика контроля качества заполнения энергетических паспортов потребителей топливно-энергетических ресурсов.

Составление данных методик основывалось на многолетнем опыте специалистов ИГЭУ в области энергетических обследований и на ма-

териалах многократно организованных интернет-конференций по данной проблеме.

Первая методика содержит сведения о заполнении энергетических паспортов, составленных по результатам обязательных (или добровольных) энергетических обследований и составленных на основании проектной документации.

Вторая методика содержит положения по проведению контроля качества энергетических паспортов по формальному признаку и по существу содержания.

В заключение следует отметить, что методики заполнения энергетического паспорта потребителя топливно-энергетических ресурсов и контроля качества заполнения энергетических паспортов потребителей топливно-энергетических ресурсов позволили выработать единые правила заполнения паспортов и их контроля, что, безусловно, облегчает работу энергоаудиторов СРО «Гильдия энергоаудиторов».

#### Библиографический список

1. **Федеральный Закон** №261 – ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ» от 23.11.2009г.
2. **Приказ** Минэнерго РФ №182 «Об утверждении требований к энергетическому паспорту, составленному по результатам обязательного энергетического обследования, и энергетическому паспорту, составленному на основании проектной документации, и правил направления копии энергетического паспорта, составленного по результатам обязательного энергетического обследования» от 19.04.2010г.

*М.В. Пророкова, студ.; Г.А. Родионов, асп.;  
рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.*

#### **ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ УЧРЕЖДЕНИЙ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ МУЗ «ШУЙСКАЯ СТОМАТОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЛИКЛИНИКА»**

Энергетическое обследование МУЗ «Шуйская стоматологическая поликлиника» проводилось с целью определения фактического потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и сравнения их с нормативными показателями. На основе анализа полученных данных были разработаны рекомендации по повышению эффективности использования ТЭР. Энергетическое обследование проводилось с 1 декабря 2010 года по 15 января 2011 года.

Территориально поликлиника расположена в г. Шуя Ивановской области. Структурно предприятие состоит из пяти отдельно располо-

женных объектов. Лечебно-хирургическое и ортопедическое отделения и занимают первый этаж жилого дома. Остальные отделения поликлиники так же занимают части жилых и ведомственных зданий, за исключением отдельно стоящего гаража.

Энергетическое обследование выполнено в четыре этапа.

На первом этапе была проведена оценка стоимости энергоаудита МУЗ «Шуйская стоматологическая поликлиника», подготовлены договора и составлено техническое задание на проведение работ.

На втором этапе была собрана документальная база со сведениями о договорных отношениях с поставщиками ТЭР, численности персонала и пациентов, а также о финансовых затратах на ТЭР и холодную воду. Кроме того, для получения более точных сведений о потреблении ТЭР было проведено инструментальное обследование, которое включало в себя:

1. Измерение параметров электроэнергии на электрических вводах объектов;
2. Замеры уровня освещенности в помещениях МУЗ «Шуйская стоматологическая поликлиника»;
3. Измерение температуры и влажности в помещениях МУЗ «Шуйская стоматологическая поликлиника»;
4. Замеры температуры теплоносителя на вводах в здания;
5. Тепловизионное обследование ограждающих конструкций объектов.

Все измерения проводились в соответствии с требованиями стандартов измерения РФ сертифицированными приборами.

На третьем этапе проводился анализ эффективности потребления ТЭР, по результатам которого были выявлены основные направления повышения энергетической эффективности МУЗ «Шуйская стоматологическая поликлиника». В ходе визуального осмотра было выявлено, что элеваторный пункт лечебно-хирургического отделения находится в неисправном состоянии, а именно перепускной патрубок для забора воды из обратного трубопровода отсутствует. Это приводило к превышению температуры в отопительных приборах на 20 °С, что не допустимо по санитарно-гигиеническим требованиям

Также было установлено, что температура горячей воды на вводе к потребителю значительно ниже значения, установленного температурным графиком 115/70.

Обследование системы ГВС показало, что горячая вода для лечебно-хирургического отделения нагревается в газовых котлах и в электрических бойлерах, установленных в зданиях МУЗ «Шуйская стома-

тологическая поликлиника». Однако теплоснабжающая организация выставляет за услуги ГВС счета, которые регулярно оплачиваются.

На основании собранной информации разработан перечень энергосберегающих мероприятий. В качестве примера этих мероприятий можно привести установку автоматических регуляторов отопительной системы и наложение теплоотражающей изоляции.

Заключительным этапом энергетического обследования является написание отчета об энергетическом обследовании, разработка энергетического паспорта и согласование отчетной документации с Заказчиком.

Внедрение предложенных энергосберегающих мероприятий позволит сократить финансовые затраты на приобретение ТЭР МУЗ «Шуйская стоматологическая поликлиника» не менее чем на 25%.

*А.К. Гаськов, асп.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.*  
**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ  
ДЛЯ БЮДЖЕТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

Согласно Федеральному закону от 23.11.09 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении...» все бюджетные организации-потребители энергетических ресурсов обязаны начиная с 1 января 2010 года обеспечить снижение потребляемых энергетических ресурсов в течение пяти лет не менее чем на пятнадцать процентов от объема, фактически потреблённых ими в 2009 году каждого из энергоресурсов с ежегодным снижением такого объема не менее чем на три процента.

Реализация снижения необходимого объема потребления энергоресурсов обеспечивается посредством разработки и реализации программ энергосбережения. Программы энергосбережения разрабатываются на три года и должны соответствовать законодательству РФ в этой области.

Программа энергосбережения должна содержать целевые показатели и мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, а также показатели экономической эффективности данных мероприятий.

В настоящее время нормативных документов по форме представления программ не существует. Однако для унификации, наглядности и удобства анализа динамики изменения показателей, на наш взгляд, наиболее удобной является табличная форма написания программы. При этом в таблице указывают название энергосберегающего мероприятия, его категорию (организационное или техническое), год вне-



дрения, капитальные затраты его на реализацию, экономический эффект в натуральном и денежном выражении, простой срок окупаемости, чистый дисконтированный доход и индекс доходности.

При разработке программ также необходимо учитывать специфику объекта, для которого она разрабатывается. Например, для объектов, включённых в список исторических памятников, невозможна реализация энергосберегающего мероприятия по утеплению фасадов здания, а для архивохранилищ и библиотек неприемлемо внедрение дежурного отопления из-за особых требований к микроклимату.

Положительный эффект от наличия программы энергосбережения может быть выявлен уже на стадии её разработки. Так при анализе исходных данных, в число которых входят договора на теплоснабжение, можно выявить несоответствие отопительных характеристик зданий и помещений, однотипных по своему назначению, что приводит к недостоверной информации в счетах, выставляемых поставщиком тепловой энергии. В таком случае установка приборов учёта является приоритетным энергосберегающим мероприятием, рекомендуемым к включению в программу энергосбережения.

#### **Библиографический список**

1. **Федеральный закон** РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты российской федерации».
2. **Постановление Правительства** РФ от 31 декабря 2009 года №1225 «О требованиях к региональным и муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности».
3. **Приказ Минэкономразвития** РФ от 17 февраля 2010 года №61 «Об утверждении примерного перечня мероприятий в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, который может быть использован в целях разработки региональных, муниципальных программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности».

*А.Ю. Гильмутдинов, асп.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.,  
Д.В. Ракутина, к.т.н., доц.*

## **К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМОГО КОЛИЧЕСТВА ВОЗДУХА, ЗАБИРАЕМОГО ИЗ ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НУЖДЫ**

В зимнее время для создания оптимальных микроклиматических условий внутри главного корпуса можно изменять соотношение объемов воздуха, забираемого на горение из помещения, и объема воздуха, забираемого из атмосферы. Использование теплоты воздуха, нагретого за счет избыточных тепловыделений от оборудования, в технологическом процессе приводит к повышению экономичности работы энергоблока и позволяет снизить тепловую нагрузку калорифера перед регенеративным воздухоподогревателем. Таким образом, задача определения допустимого количества воздуха, которое можно забирать из главного корпуса при соблюдении требуемой СанПиН [1] температуры в рабочих зонах, является актуальной.

В данной работе разработаны две методики определения допустимого количества воздуха, которое можно забирать из верхней зоны котельного отделения на ведение технологического процесса.

Первая методика основана на решении системы уравнений материального и теплового балансов [2]. Составляющие баланса определяют по результатам экспериментального исследования микроклимата главного корпуса ТЭС.

Данная методика расчета оформлена в виде компьютерной программы и позволяет определять допустимое количество воздуха, которое можно забирать из главного корпуса ТЭС, в зависимости от температуры наружного воздуха, тепловыделений от основного и вспомогательного оборудования и нагрузки приборов системы теплоснабжения. Результаты расчета отображаются в виде графика зависимости допустимого количества воздуха, забираемого из помещения, от температуры наружного воздуха.

По результатам расчетов разработана инструкция по регулированию величины забора воздуха дутьевыми вентиляторами из помещения главного корпуса в холодный период года.

Вторая методика определения допустимого забора воздуха основана на математическом моделировании тепловоздушного режима главного корпуса ТЭС при помощи программно-вычислительного комплекса «PHOENICS» [2]. В основе моделирования лежит численное решение системы дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Адекватность полученной модели проверена путем сопос-

тавления результатов расчета с экспериментальными данными. Относительная погрешность расчета температуры не превышает 10%.

Результаты расчета на модели представлены в виде номограмм, позволяющих определять допустимое количество воздуха, забираемого из помещения, в зависимости от температуры воздуха внутри помещения, нагрузки приборов системы теплоснабжения и температуры наружного воздуха.

Также на модели проведено исследование влияния нагрузки приборов системы теплоснабжения и проницаемости оконных проемов турбинного отделения на температуру в главном корпусе. Установлено, что наибольшее влияние изменение нагрузки приборов системы теплоснабжения оказывает на температуру в турбинном отделении: при изменении нагрузки от 100 до 50% температура в турбинном отделении уменьшается примерно на 3-4 °С, при этом в котельном отделении температура уменьшается незначительно (~1 °С). Исследование влияния проницаемости оконных проемов турбинного отделения на температуру внутри главного корпуса показало, что существует значительный резерв (до 40 %) уменьшения тепловой нагрузки приборов системы теплоснабжения за счет уплотнения оконных проемов при соблюдении требуемой СанПиН [1] температур в рабочих зонах.

#### Библиографический список

1. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
2. Гильмутдинов А.Ю. Разработка методики расчета тепловоздушного режима производственного помещения с избыточными тепловыделениями / Теория и технология металлургического производства: Межрегион. сб. науч. трудов / Под ред. В.М. Колокольцева. Вып. 8. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. С. 209-214.

*С.Н. Макаров, студ.; рук. И.М. Чухин, к.т.н., доц.*  
**РЕАЛИЗАЦИЯ НА ЭВМ ЛАБОРАТОНОЙ РАБОТЫ  
«АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ ДВУХ ПОТОКОВ  
ВОЗДУХА»**

Цель разработки заключается в создании лабораторной работы на ЭВМ, позволяющей смоделировать процесс смешения двух потоков атмосферного воздуха, один из которых холодный, а второй нагревается электрическим калорифером. Данная модель должна позволить провести термодинамический анализ всех видов необратимостей реального процесса смешения двух потоков воздуха с одинаковыми давлениями и разными температурами.

Реализация данной цели выполнена путем разработки программы для ЭВМ на языке Borland Delphi 7 Enterprise. Программа позволяет моделировать физический процесс смешения двух потоков воздуха на экране монитора (рис. 1). Атмосферное давление  $P$  и температура воздуха  $t_{oc}$  вводятся с клавиатуры ЭВМ в соответствующие окна. Далее тумблером включаются вентиляторы и устанавливаются расходы потоков воздуха с их фиксацией по перепадам давления на расходомерных диафрагмах. После этого включается электрический нагреватель и устанавливается температура горячего потока. Измерение температур горячего воздуха и смеси осуществляется с помощью термодатчиков, подключенных к цифровому прибору. Выключение установки осуществляется отключением нагревателя и вентиляторов.

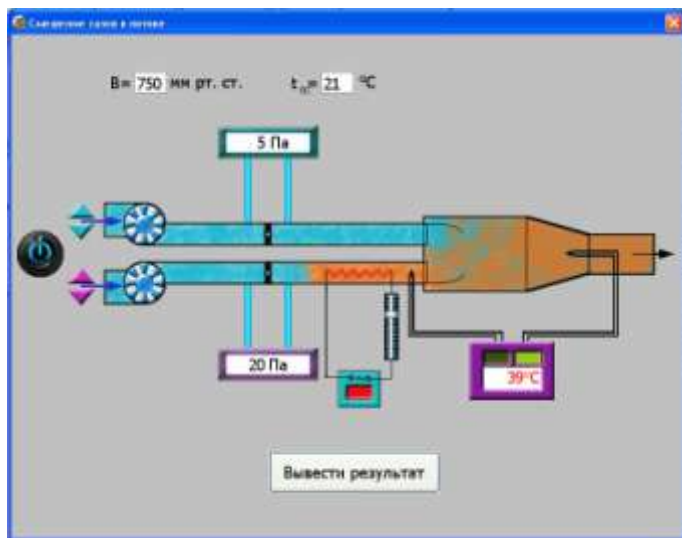


Рис. 1. Экспериментальная установка

Результаты замеров опыта с помощью кнопки «Вывести результат» в виде таблицы выводятся на экран монитора и могут быть сохранены в виде файла или распечатаны на принтере.

Математический алгоритм термических параметров и расходов воздуха в установке создан с учетом потерь теплоты в камере смешения во внешнюю среду. Это позволяет студентам, выполняющим данную лабораторную работу, провести подробный термодинамический анализ необратимостей реального процесса смешения потоков [1],

представленных на рис.2.

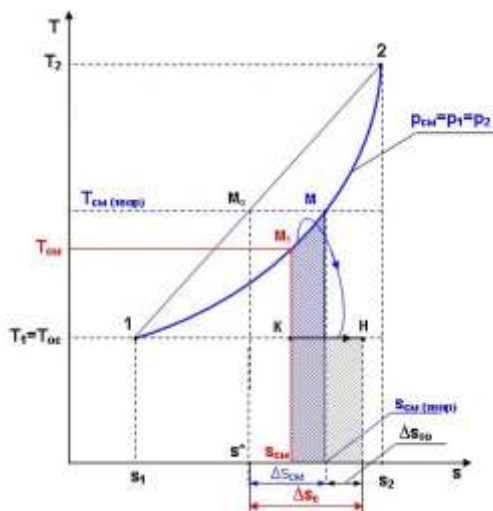


Рис. 2. Графическое изображение в T,s- диаграмме увеличения энтропии системы при изобарном смешении двух потоков воздуха

На основании экспериментальных данных студенты рассчитывают теоретическую температуру смеси  $T_{см(теор)}$ , увеличение энтропии системы за счет необратимости процесса смешения потоков воздуха  $\Delta S_{см}$  и за счет необратимости теплообмена с внешней средой камеры смешения  $\Delta S_{то}$ .

Интерфейс данной программы предусматривает знакомство студентов с целью и задачами лабораторной работы, основными теоретическими положениями термодинамического расчета процесса смешения в потоке, описанием установки и порядком выполнения работы.

По завершении расчетной части работы в программе предусмотрен тест оценки результатов расчета студента.

#### Библиографический список

1. Чухин И.М. Техническая термодинамика. Часть 2., учебн. пособие. – ИГЭУ, 2008, 228 с.

**А.О. Марков, Е.О. Коробова, студ.; рук. И.М. Чухин, к.т.н., доц.**  
**РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОНОЙ РАБОТЫ НА ЭВМ «АНАЛИЗ  
ПРОЦЕССОВ СМЕШЕНИЯ ГАЗОВ В ПОТОКЕ»**

Цель разработки заключается в создании лабораторной работы на ЭВМ, позволяющей смоделировать процесс смешения двух потоков газов с разными физическими свойствами. Оба потока газов могут иметь разные давления температуры. Давление газов после смешения меньше или равно наименьшему из давлений смешиваемых потоков. Данная модель должна позволить провести термодинамический анализ процесса смешения газов в потоке и оценить величины всех необратимостей реального процесса смешения с учетом теплообмена газов с внешней средой.

Реализация данной цели выполнена путем разработки программы для ЭВМ на языке Borland Delphi 7 Enterprise. Программа позволяет моделировать физический процесс смешения двух потоков газов на экране монитора (рис. 1). Атмосферное давление  $B$  и температура воздуха  $t_{oc}$  вводятся с клавиатуры ЭВМ в соответствующие окна. Далее выбираются газы для процесса смешения. Выбор газов возможен из: воздуха, кислорода  $O_2$ , двуокиси углерода  $CO_2$ , и метана  $CH_4$ . Смешиваемые газы могут быть разными и одинаковыми. Включаются вентиляторы и устанавливаются объемные расходы, давления и температуры смешиваемых потоков газов с их фиксацией на расходомерных диафрагмах, напоромерах и показаниях цифровых термометров, измерительной частью которых являются термопары, установленные в каналах потоков.

Измерение температуры и давления смеси газов осуществляется с помощью термопары и манометра.

Результаты замеров опыта с помощью кнопки «результат», находящейся в «меню» программы, выводятся в виде таблицы на экран монитора и могут быть сохранены в виде файла или распечатаны на принтере.

Математический алгоритм термических параметров и расходов газов в установке создан с учетом потерь теплоты в камере смешения во внешнюю среду. Это позволяет студентам, выполняющим данную лабораторную работу, провести подробный термодинамический анализ необратимостей реального процесса смешения потоков [1], представленных на рис.2.

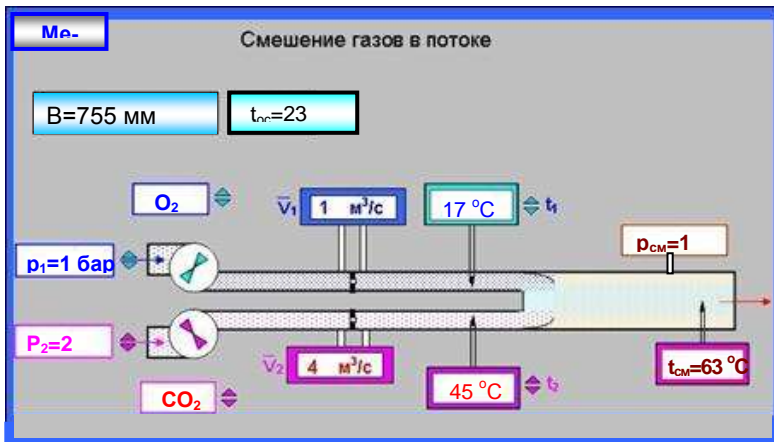


Рис. 1. Экспериментальная установка

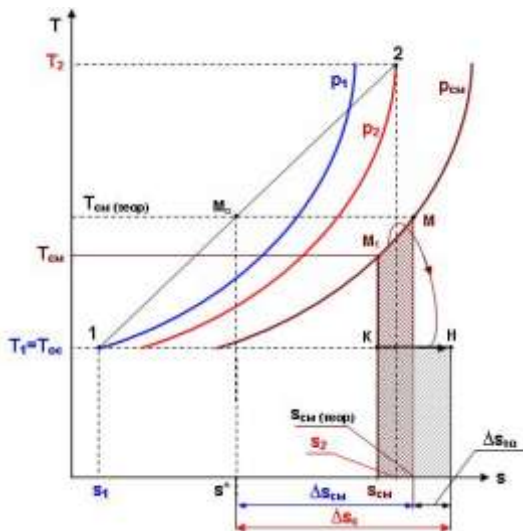


Рис. 2. Графическое изображение в  $T,s$ - диаграмме увеличения энтропии системы при изобарном смешении двух потоков разных газов

На основании экспериментальных данных студенты рассчитывают теоретическую температуру смеси  $T_{см(теор)}$ , увеличение энтропии системы за счет необратимости процесса смешения потоков газов  $\Delta S_{см}$  и

за счет необратимости теплообмена с внешней средой камеры смешения  $\Delta S_{\text{то}}$ .

Интерфейс данной программы предусматривает знакомство студентов с целью и задачами лабораторной работы, основными теоретическими положениями расчета процесса смешения в потоке, описанием установки, порядком выполнения работы и тест оценки результатов расчета студента.

#### Библиографический список

1. Чухин И.М. Техническая термодинамика. Часть 2., учебн. пособие. – ИГЭУ, 2008, 228 с.

### *Н.И. Чухин, студ.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.* **ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ МИКРОРАЙОНА ИГЭУ**

Цель расчёта состоит в гидравлической оптимизации работы тепловой сети микрорайона, подключенной к котельной ИГЭУ, за счёт распределения теплоносителя между потребителями в соответствии с их тепловыми нагрузками [1]. Тепловая сеть представлена двухтрубной тупиковой системой с бесканальным способом прокладки трубопроводов. Абонентские вводы потребителей теплоты присоединены к тепловым сетям непосредственно (без элеваторов и т.п.). Система теплоснабжения от котельной ИГЭУ работает по закрытой схеме и температурному графику 95/70 °С.

Расчёт проведён при помощи демонстрационной версии программного комплекса ГИС Zulu 7.0. Этот программный комплекс позволяет учитывать потери теплоносителя и потери теплоты через поверхность трубопроводов тепловых сетей.

На первом этапе работы была составлена расчётная графическая модель тепловой сети котельной ИГЭУ. На втором этапе в модель тепловой сети были введены необходимые для расчёта исходные данные:

– по источнику системы теплоснабжения (котельной ИГЭУ): расчётная температура теплоносителя в подающем трубопроводе, расчётная температура наружного воздуха, расчётная температура холодной воды для отопительного периода года, расчётный располагаемый напор в подающем трубопроводе, расчётный напор в обратном трубопроводе, продолжительность работы системы теплоснабжения за год, среднегодовые температуры воды в подающем и обратном трубопроводах, среднегодовые температуры грунта и наружного воздуха;



- по участкам тепловой сети: длины участков, внутренние диаметры, шероховатости, суммы коэффициентов местных сопротивлений подающих и обратных трубопроводов, вид прокладки трубопроводов, год прокладки участков тепловой сети, поправочные коэффициенты на нормы тепловых потерь для подающих и обратных трубопроводов;
- по потребителям: вид схемы подключения потребителей к тепловой сети, расчётная температура сетевой воды на входе в тепловой пункт, расчётные нагрузки на отопление, расчётные температуры воды на входе и выходе из систем отопления, расчётные температуры внутреннего воздуха, расчётные располагаемые напоры в системе отопления, расчётные нагрузки на горячее водоснабжение, расчётная температура горячей воды, температура холодной воды для систем ГВС, потери напора в теплообменных аппаратах для горячего водоснабжения.

В результате расчёта произведена теплогидравлическая оптимизация работы тепловых сетей путём выбора дроссельных шайб определённого диаметра на абонентских вводах. Данные дроссельные шайбы позволяют осуществлять распределение теплоносителя между потребителями пропорционально их тепловым нагрузкам и обеспечивают гидравлические сопротивления, снижающие избыточные напоры теплоносителя на абонентских вводах.

#### Библиографический список

1. Беляйкина И.В., Витальев В.П., Громов Н.К. и др. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию. Под ред. Громова Н.К., Шубина Е.П. — М.: Энергоатомиздат, 1988.—376 с.: ил.

#### *Н.В. Замалютдинов, студ., рук. Т.Е. Созинова, к.т.н., доц.* **ВИДЫ И ФОРМЫ ЭНЕРГИИ**

Классификация форм и видов энергии всегда вызывает множество споров. Систематизации этих понятий в физике уделяют большое внимание.

«Форма» и «вид» энергии являются существенно отличными друг от друга понятиями, причем форма энергии – понятие материнское по отношению к виду энергии.

Каждой форме движения соответствует своя форма энергии.

Различают 3 основных вида энергии: кинетическую, потенциальную и энергию диссипации. Виды энергии связаны с динамическими свойствами рассматриваемой физической системы и определяются

конструктивными параметрами этой системы.

Каждой форме энергии соответствуют основные виды энергии (кинетическая, потенциальная, диссипативная). Все виды энергии должны трактоваться в обобщенном смысле, а не только по отношению к механической энергии.

Процесс переноса энергии из системы в среду, или наоборот, а также переход энергии из одной формы в другую называется энергообменом. Таким образом, ничто не мешает переходить энергии не только из одного вида в другой, но и менять форму.

Энергия диссипации (энергия развевания) – энергия, затраченная на переход частиц из упорядоченного в неупорядоченное движение.

Диссипативный энергообмен всегда происходит внутри физических тел.

Практическое значение имеет не количество энергии, запасенное системой, а скорее, возможность ее энергообмена с другими системами или внутри себя.

Виды энергии определяют виды энергообмена. Сообщая системе энергию, мы преодолеваем ее противодействие.

Все виды и формы энергии/энергообмена имеют одну и ту же размерность – Джоуль.

Все понятия в физике, связанные со словом «работа», можно заменить понятием «энергообмен».

*А.П. Зимин, Д. В. Лаврентичев, студ.;*  
*рук. Т.Е. Созинова, к.т.н., доц.*

### **МОДЕРНИЗАЦИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ»**

Анализ процесса теплообмена в рекуперативном теплообменном аппарате типа «труба в трубе» показал [1] отличие между экспериментальным и рассчитанным по критериальным уравнениям значениями коэффициента теплопередачи более чем на 10 %.

Модернизация алгоритма расчёта процесса теплопередачи в теплообменном аппарате позволила:

- 1) существенно увеличить точность расчёта,
- 2) ускорить процесс расчёта.

Эти результаты были достигнуты благодаря использованию в усовершенствованном алгоритме понятия эффективности теплообменного аппарата.

Так же был улучшен интерфейс имитационной модели, что позволило с большей точностью задавать параметры рекуперативного аппарата и теплоносителей.

Программа выполнена в 2-х версиях. Первая версия модели предназначена для проведения лабораторной работы студентами во время лабораторного практикума. Во второй версии программного продукта на лицевую панель дополнительно выведены основные характеристики теплового расчета теплообменного аппарата (критерии Рейнольдса и Нуссельта, коэффициенты теплоотдачи горячего и холодного теплоносителей, тепловые потоки  $Q_1$  и  $Q_2$ ). Вторая версия позволяет более детально анализировать влияние различных параметров на значение коэффициента теплопередачи и на основные характеристики теплообмена.

На основании экспериментов был проведён анализ зависимости коэффициента теплопередачи от расходов горячего и холодного теплоносителя, температур теплоносителей на входе в теплообменный аппарат, геометрических размеров рекуперативного аппарата.

#### Библиографический список

1. Лаврентичев Д. В., Созинова Т. Е. Анализ процесса теплопередачи на имитационной модели рекуперативного аппарата типа «труба в трубе». В кн.: Теплоэнергетика // Тезисы докладов региональной научно-технической конференции студентов и аспирантов. – Иваново: ГОУ ВПО ИГЭУ. -2010 г., с.120-121.

*К.В. Михайлова, Ю.А. Вацура, студ.;*  
*рук. Д.В. Ракутина, к.т.н., доц.*

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА ЗА СЧЕТ УТЕПЛЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Большая часть многоквартирных зданий в России характеризуется низкой энергетической эффективностью. Дома построенные до 1995 года проектировались по старым строительным нормам [1] и не отвечают современным требованиям по тепловой защите зданий [2]. Потери тепла через ограждающие конструкции в таких домах достигают 40%.

По данным Госстроя РФ лишь 6 % жилых домов по теплоизоляции соответствуют требованиям современных стандартов, таким образом 94% многоквартирных домов нуждаются в улучшении тепловой изоляции ограждающих конструкций [3].

Нормируемым показателем энергоэффективности тепловой защиты

зданий является сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций, определяемое в зависимости от градусо-суток отопительного периода района строительства [2]. Для условий Ивановской области минимальное допустимое значение сопротивления теплопередачи стен составляет  $3,23 \text{ (м}^2\text{К)/Вт}$ .

В данной работе проведена оценка целесообразности применения различных теплоизоляционных материалов для утепления стен многоквартирных домов с целью повышения их энергетической эффективности и определен срок окупаемости данного мероприятия.

В качестве объекта исследования выбран типовой девятиэтажный панельный дом серии 121, построенный до 1995 года. Наружные стены дома выполнены из керамзитобетонных панелей толщиной 340 мм. Приведенное сопротивление теплопередаче стен здания составляет  $2,65 \text{ (м}^2\text{К)/Вт}$ , что меньше нормативного значения на 18%.

В настоящее время для утепления стен применяют различные материалы, отличающиеся по теплоизоляционным свойствам и стоимости. Для исследования было выбрано три материала: экструдированный пенополистирол «Пеноплэкс» ( $\lambda = 0,03 \text{ Вт/(мК)}$ ), минеральная вата «Техноблок» ( $\lambda = 0,036 \text{ Вт/(мК)}$ ) и стекловолокно «Isover» ( $\lambda = 0,037 \text{ Вт/(мК)}$ ). Для каждого материала выполнен расчет тепловых потерь через наружные ограждения здания и проведено сравнение полученного значения с нормативным. Потери теплоты найдены по уравнению теплопередачи для плоской стенки. При этом термическое сопротивление теплопроводности стен определено как сумма термического сопротивления материала стены и теплоизоляции. Коэффициенты теплоотдачи с внутренней и наружной поверхностей ограждений приняты по данным [2].

В результате установлено, что для приведения тепловых потерь через стены дома к нормативному значению достаточно тепловой изоляции толщиной 50 мм. Уменьшение потерь теплоты в результате применения экструдированного пенополистирола «Пеноплэкс» составляет 37 %, минеральной ваты «Техноблок» - 33 % и стекловолокна «Isover» - 32,5 %. При этом стоимость  $1 \text{ м}^2$  этих материалов отличается на 60 %. Наиболее дешевым теплоизоляционным материалом является минеральная вата «Техноблок», дорогим - стекловолокно «Isover».

Таким образом, в результате расчета установлено, что для теплоизоляции стен здания целесообразно применять минеральную вату «Техноблок» толщиной 50 мм. Для данного материала определена ориентировочная стоимость утепления фасада здания с учетом стоимости самих работ и стоимости всех необходимых материалов.

Экономический эффект в результате утепления фасадов здания

может быть достигнут за счёт уменьшения потребления тепловой энергии на отопление здания при условии оснащения его устройствами автоматического регулирования подачи тепла. По данным [4] экономия тепловой энергии составляет 10-15 % от общего теплотребления здания. С учетом этого, был определен срок окупаемости работ по утеплению стен многоквартирного дома, который составил от 30 до 47 лет в зависимости от величины годовой экономии тепловой энергии. Таким образом, несмотря на высокие цены на энергоносители, в настоящее время дополнительное утепление стен нецелесообразно, т.к. срок окупаемости этих работ равен сроку службы тепловой изоляции.

#### Библиографический список

1. СНиП II-3-79 Строительная теплотехника.
2. СНиП 23-02-2004 Тепловая защита зданий.
3. Генцлер И.В., Петрова Е.Ф., Сиваев С.Б., Лыкова Т.Б. Энергосбережение в многоквартирном доме: Информационно-методическое пособие.– Тверь: Научная книга, 2009. – 130 с.
4. МДС 13-7.2000 Рекомендации по первоочередным малозатратным мероприятиям, обеспечивающим энергоресурсосбережение в ЖКХ города.

*А.И. Погодин, А.А. Зименков, студ.;*  
*рук. Д.В. Ракутина, к.т.н., доц.*

### ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В БЫТУ

В России, согласно оценке экспертов, более ¼ общего объема энергопотребления приходится на жилищный сектор. При этом уровень энергоёмкости в жилищном секторе в среднем в 1,5÷2 раза выше, чем в государствах с похожим климатом [1].

Причин высокого потребления энергоресурсов в жилищном секторе много. Среди них – плохое обслуживание и отсутствие ремонтов многоквартирных домов и их инженерного оборудования в течение длительного времени. В подавляющем большинстве домов нет технических возможностей регулировать теплотребление на уровне дома, поэтому массовым явлением является излишнее потребление тепла (перетопы) в весенний и осенний периоды. Внутридомовые системы отопления и горячего водоснабжения сильно изношены, оборудование физически и морально устарело. По данным [1] технический потенциал повышения энергоэффективности в жилищном секторе составляет

49 %.

Цель данной работы – провести энергетическое обследование квартиры и разработать рекомендации по снижению потребления энерго-ресурсов.

В качестве объекта исследования выбрана трех комнатная квартира, расположенная в г. Ярославле. Квартира находится в кирпичном доме, построенном в 1960-х годах. В квартире проживают 2 человека. Энергоснабжение дома осуществляется от городских сетей.

На рис. 1 показана структура финансовых затрат на энергоресурсы. Из анализа диаграммы видно, что наибольшие затраты приходятся на систему отопления (57%). Финансовые затраты на электроснабжение составляют 19%, на горячую воду – 15%, на холодную воду и стоки – 7 %, на газ – 2 %. Таким образом, наибольший резерв экономии приходится на систему теплоснабжения.

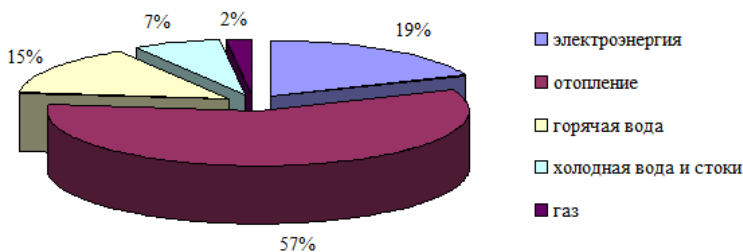


Рис. 1. Структура финансовых затрат на энергоресурсы

Уменьшить потребление тепловой энергии можно при условии оснащения дома теплосчётчиком и индивидуальными устройствами регулирования подачи тепла. Данное мероприятие позволит экономить до 20 % от общего теплотребления. При этом срок окупаемости мероприятия не превышает 1,5 года. Также дополнительный энергосберегающий эффект может быть получен за счёт уплотнения оконных рам и дверных проемов, установки теплоотражающих экранов за радиаторами отопления и за счёт замены чугунных радиаторов на алюминиевые.

В 2009 году в квартире были установлены счётчики горячей и холодной воды, что позволило производить оплату за фактическое водопотребление и явилось стимулом для снижения водопотребления. После установки счётчиков плата за горячую воду уменьшилась на ~ 43%, за холодную воду – на ~ 55 %. При этом срок окупаемости счётчика горячей воды составил 1,02 года, холодной воды – 0,36 года.

Среднее потребление электрической энергии составляет ~ 125

кВт·ч в месяц. Анализ электропотребления показал, что большая часть электрической энергии расходуется на питание компьютера (~ 55 %), усилителя звука (~ 13 %) и освещение помещения (~ 14 %). В связи с этим было предложено заменить обычные лампы на энергосберегающие, что позволит экономить до 80 % электроэнергии на освещение. Срок окупаемости энергосберегающих ламп составит 0,54 года. Также рекомендовано отключать устройства, находящиеся в режиме ожидания, и использовать технику с пониженным энергопотреблением.

#### Библиографический список

1. Генцлер И.В., Петрова Е.Ф., Сиваев С.Б., Лыкова Т.Б. Энергосбережение в многоквартирном доме: Информационно-методическое пособие.– Тверь: Научная книга, 2009. – 130 с.

*А.В. Соснина, М.П. Спиридонова, студ.;  
рук. Д.В. Ракутина, к.т.н., доц.*

### **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭКОНОМИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ УСТАНОВКЕ ТЕРМОРЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ**

Наиболее распространенным типом регулирования мощности системы отопления является качественное регулирование, при котором отпуск теплоты осуществляется по принятому температурному графику в зависимости от температуры наружного воздуха, при этом расход теплоносителя остается постоянным. Температура воздуха внутри помещения может повышаться за счёт поступления теплоты от бытовых приборов и солнечного излучения. Компенсировать это повышение температуры можно уменьшением расхода воды через отопительные приборы с помощью терморегуляторов. Кроме этого терморегулятор может быть запрограммирован на понижение температуры воздуха в помещениях в ночные часы и в выходные дни, что актуально для зданий бюджетной сферы.

Цель работы – разработка программы для расчета экономии тепловой энергии при установке терморегуляторов системы отопления. Экономия тепловой энергии при применении терморегуляторов достигается уменьшением расхода теплоносителя с учётом поступления теплоты в помещение от бытовых тепловыделений ( $\Delta Q_{\text{быт}}$ ) и солнечного излучения ( $\Delta Q_{\text{сол}}$ ), а также за счёт снижения температуры в административно-бытовых и общественных зданиях в ночное время и в выход-

ные дни ( $\Delta Q_{\text{ноч}}$  и  $\Delta Q_{\text{вых}}$ ).

Относительную экономию тепловой энергии при учёте поступления теплоты в помещение от бытовых тепловыделений можно рассчитать по формуле:

$$\Delta Q_{\text{быт}} = \frac{t_{\text{в}}(t_{\text{н}}) - t_{\text{н}}^{\text{п}}}{t_{\text{в}}(t_{\text{н}}) - t_{\text{н}}^{\text{сп}}}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{в}}(t_{\text{н}})$  – температура в помещении в зависимости от температуры наружного воздуха с учётом бытовых тепловыделений,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{н}}^{\text{п}}$  – расчетная температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{н}}^{\text{сп}}$  – средняя за отопительный период температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ .

Температуру  $t_{\text{в}}(t_{\text{н}})$  находим из уравнения теплового баланса помещения, записанного с учётом бытовых тепловыделений.

Относительную экономию теплоты при снижении температуры в помещении в ночное время и в выходные дни можно найти по формулам:

$$\Delta Q_{\text{ноч}} = \frac{t_{\text{в}}^{\text{п}} - t_{\text{с}}}{t_{\text{в}}^{\text{п}} - t_{\text{н}}^{\text{сп}}} \frac{n_{\text{с}}}{n_{\text{сут}}} \quad \text{и} \quad \Delta Q_{\text{вых}} = \frac{t_{\text{в}}^{\text{п}} - t_{\text{с}}}{t_{\text{в}}^{\text{п}} - t_{\text{н}}^{\text{сп}}} \frac{n_{\text{вых}}}{n_{\text{нед}}}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{в}}^{\text{п}}$  – расчетная температура воздуха внутри помещения,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{с}}$  – допустимая температура воздуха в ночное время и нерабочие дни,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $n_{\text{с}}$  – число часов со сниженной температурой в ночное время, ч;  $n_{\text{сут}}$  – число часов в сутках, ч;  $n_{\text{вых}}$  – число часов в выходные дни, ч;  $n_{\text{нед}}$  – число часов в неделе, ч.

Влияние солнечного излучения принято постоянным  $\Delta Q_{\text{сол}} = 1,5 \%$ .

Программа для расчета экономии тепловой энергии при установке терморегуляторов разработана в среде Excel. Исходными данными являются расчетная температура наружного воздуха для данного региона, расчетная температура воздуха внутри помещения, коэффициент типа отопительной системы и отопительных приборов (радиаторы, конверторы и др.), расчетная температура воды в подающем и обратном трубопроводах, средняя за отопительный период температура наружного воздуха, допустимое снижение температуры внутри помещения в ночное время и нерабочие дни, число часов снижения температуры в ночное время, количество выходных и праздничных дней.

Расчет экономии тепловой энергии выполнен при уровне бытовых тепlopоступлений  $10 \div 20 \%$  от максимальной отопительной нагрузки. В результате расчета получаем суммарное значение экономии тепловой энергии при применении терморегуляторов.

В программе также предусмотрен расчет срока окупаемости установки терморегуляторов. Для этого необходимо задать количество и стоимость терморегуляторов, стоимость монтажных работ по их установке, фактический годовой расход тепла на отопление здания и тариф



на тепловую энергию. В результате расчета получаем значение годовой экономии финансовых средств, срок окупаемости терморегуляторов, а также чистый дисконтированный доход.

С использованием разработанной программы выполнен расчет экономии тепловой энергии при установке терморегуляторов системы отопления для условий Московской и Ивановской областей. Результаты расчета представлены в таблице 1. Расчет выполнен при уровне бытовых теплопоступлений 10 % и допустимом снижении температуры внутри помещения в ночное время и нерабочие дни до 15 °С.

Таблица 1. Результаты расчета экономии тепловой энергии при установке терморегуляторов системы отопления

Область	$\Delta Q_{\text{быт}}, \%$	$\Delta Q_{\text{ноч}}, \%$	$\Delta Q_{\text{вых}}, \%$	$\Delta Q_{\text{сол}}, \%$	$\Delta Q_{\Sigma}, \%$
Московская	9,7	7,7	4,5	1,5	23,4
Ивановская	9,8	7,4	4,4	1,5	23,1

Экономический эффект от установки терморегуляторов и срок окупаемости рассчитаны с учетом снижения температуры в ночное время и в праздничные дни. При установке 6 терморегуляторов в здании с годовым теплопотреблением 2800 Гкал/год и тарифе на тепловую энергию 1460 руб./Гкал годовая экономия финансовых средств составит ~ 500 000 руб./год, а срок окупаемости терморегуляторов не превысит 4 месяца.

*В.Н. Лапиин, студ.; рук. Ю.С. Солнышкова, асп.*  
**СОСТАВЛЕНИЕ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА ЗДАНИЯ С  
 ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
 ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА**

В настоящее время все активнее осуществляется деятельность по проведению энергетических обследований и паспортизации потребителей топливно-энергетических ресурсов.

Одним из наиболее значимых пунктов в энергетическом паспорте является отражение значений фактической и нормативной удельной отопительной характеристики здания.

Определение фактического значения данного показателя производится на основе показаний приборов учета тепловой энергии, установленных в здании. Для расчета нормативной удельной отопительной характеристики необходимо составление теплового баланса здания. На кафедре «Теоретические основы теплотехники» для этой цели был разработан специализированный вычислительный комплекс, выполненный на основе СНиП [1], СП [2] и учебного пособия [3].

Для определения нормативного значения удельной отопительной характеристики здания необходимо вычислить количество тепла на отопление помещения или здания. Для этого составляют баланс здания по теплоте и вычисляют невязку (небаланс), которая представляет собой разницу между тепловыделениями и теплопоступлениями рассматриваемого помещения или здания и определяется по формуле:

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^n Q_{\text{ТВ}} - \sum_{j=1}^m Q_{\text{ТП}}, \quad (1)$$

где  $\Delta Q$  - количество тепловой энергии на отопление помещения или здания за отопительный период, Дж;  $\sum_{i=1}^n Q_{\text{ТВ}}$  - сумма тепловыделений по всем статьям за отопительный период, Дж;  $\sum_{j=1}^m Q_{\text{ТП}}$  - сумма всех теплопоступлений в помещение или здание за отопительный период, Дж. Расчет следует проводить на расчетную температуру холодного воздуха для проектирования отопления и вентиляции, взятую по СНиП [4].

Вычислительный комплекс позволяет определять тепловые потери здания по следующим статьям:

- потери теплоты через наружные ограждающие конструкции;
- потери теплоты на нагревание наружного воздуха при инфильтрации его через наружные ограждающие конструкции;
- расход теплоты на нагревание воздуха механической приточной вентиляции и кондиционирования

и теплопоступления по статьям:

- теплопоступления от нагретого технологического оборудования;
- теплопоступления от людей;
- теплопоступления от искусственного освещения;
- теплопоступления от солнечной радиации;
- теплопоступления от бытовых электрических приборов;
- теплопоступления от нагретых поверхностей;
- теплопоступления от емкостей с жидкостями;
- теплопоступления от электродвигателей.

Используя значение количества тепловой энергии на отопление помещения, с помощью комплекса можно определить значение нормативной удельной отопительной характеристики.

#### Библиографический список

1. СНиП 23.02.2003. Тепловая защита зданий. – М.: Госстрой России, 2003.
2. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. – М.: Госстрой России, 2004.

3. **Пыжов В.К.** Энергетические системы обеспечения жизни и деятельности человека: учебное пособие / ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», - Иваново, 2008. – 496 с.
4. **СНиП 23-01-99 (2003)** «Строительная климатология».

*Н.В. Барабанова, студ.; рук. А.К. Гаськов, асп.*  
**ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ**  
**ООО «МНОГООТРАСЛЕВОЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ**  
**ОБЪЕДИНЕНИЕ «ТАЛИНКА»**

В рамках выполнения хозяйственного договора между ООО «МПО «Талинка» и ИГЭУ проводилось энергетическое обследование предприятия с целью оценки эффективности использования предприятием топливно-энергетических ресурсов (природного газа, тепловой и электрической энергии) и воды.

На первом этапе обследования проведён анализ отчётной документации предприятия по потреблению энергетических ресурсов и выполнено инструментальное обследование объектов энергоаудита. В рамках документального обследования были получены следующие данные: договора со снабжающими организациями и выписываемые ими счета, собрана отчётная документация ООО «МПО «Талинка» касающаяся потребления и использования энергоресурсов. В ходе инструментального обследования были выполнены следующие работы: измерение параметров электрического тока, тепловизионная съёмка объектов энергоаудита, замеры состава уходящих газов на работающих котлах и определены расходы воды в тепловой сети.

На втором этапе энергетического обследования произведены анализ и обработка собранной информации, сравнены нормативные и фактические показатели энергетической эффективности. Наиболее характерным в потреблении энергоресурсов ООО «МПО «Талинка» является перерасход электрической энергии на транспорт воды в теплосети от котельных к потребителю и, как следствие, значительное (в ~3 раза) превышение фактического удельного расхода электроэнергии на выработку 1 Гкал тепловой энергии над нормативным. Перерасход электроэнергии связан с неудовлетворительным техническим состоянием теплосети и её гидравлической разрегулировкой, что вызывает необходимость завышать расход сетевой воды в системе для поддержания необходимых параметров теплоносителя у конечных потребителей.

На третьем этапе разработаны энергосберегающие мероприятия, одним из которых рекомендовано провести поверочный гидравличе-

ский расчёт тепловой сети с помощью современных программных прикладных пакетов (Бернулли, Зулу, Теплосеть-3D и др.). На основе проведённого расчёта произвести шайбирование участков тепловой сети и потребителей. Реализация данного мероприятия позволит снизить потребление электроэнергии на транспорт сетевой воды потребителям на ~50% и добиться экономического эффекта в размере ~4,2 млн. рублей.

По завершении энергетического обследования был составлен отчёт о проделанной работе и энергетический паспорт предприятия.

*М.С. Коровин, студ.; рук. И. А. Козлова, к.т.н., доц.*  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В ТВЁРДОМ ТЕЛЕ  
 ПРИ СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ ДЛЯ СЛУЧАЯ, КОГДА  
 КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЯВЛЯЕТСЯ  
 ФУНКЦИЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Уравнение стационарной теплопроводности в неподвижной среде при постоянном коэффициенте теплопроводности ( $\lambda = \text{const}$ ) и отсутствии внутреннего источника теплоты ( $q_v = 0$ ) сводится к условию равенства нулю лапласиана температуры. В случае изотропного тела с коэффициентом теплопроводности, являющимся функцией только температуры, целесообразно ввести функцию

$$U = \int_0^T \lambda(T) dT \quad (1)$$

Изменение  $U$  по координатам в задачах с переменным коэффициентом теплопроводности  $\lambda(T)$  и распределение температуры  $T$  в точно таких же задачах, но при  $\lambda = \text{const}$  описываются одинаковыми уравнениями [1]. Поэтому можно провести формальную замену символов  $T$  и  $U$ . Решая уравнение (1) относительно температуры  $T$ , получаем её распределение в пространстве для случая  $\lambda(T)$ . Например, температурное поле в цилиндрической стенке при линейном законе изменения  $\lambda(T)$  примет вид [2]:

$$T = \frac{1}{b} \left[ \sqrt{\left(\frac{\lambda_{c1}}{\lambda_0}\right)^2 - 2 \frac{\lambda_{cp}}{\lambda_0} b (T_{c1} - T_{c2}) \frac{\ln(r/r_1)}{\ln(r_2^2/r_1^2)} - 1} \right], \quad (2)$$

$$\lambda = \lambda_0(1 + bT),$$

где  $\lambda_0$  и  $b$  - некоторые постоянные;  $\lambda_{с1}$  определяется по температурам в характерных точках тела (на внутреннем и внешнем изотермических контурах,  $T_1 > T_2$ );  $\lambda_{ср}$  находят по справочным данным при  $T_{ср} = 0,5(T_1 + T_2)$ ;  $r$  – текущий радиус ( $r_1 \leq r \leq r_2$ ), м;  $r_1, r_2$  – радиусы внутренней и наружной поверхностей цилиндрической стенки соответственно, м.

В работе поставлена задача: определить потери теплоты изолированного трубопровода и толщину слоя изоляции при условии, что коэффициент теплопроводности материалов трубы и изоляции в стационарном процессе является величиной, зависящей от температуры  $\lambda(T)$ . Заданы величины: радиусы  $r_1$  и  $r_2$ ; линейный закон изменения  $\lambda(T)$ ; средняя температура теплоносителя внутри трубы на рассматриваемом участке трубопровода; температуры окружающей среды и внешней поверхности изоляционного слоя; коэффициенты теплоотдачи от теплоносителя к внутренней поверхности трубы  $\alpha_1$  и от внешней поверхности изоляционного слоя к окружающей среде  $\alpha_2$ .

В результате вычислительного эксперимента:

- построены поля температур при стационарном процессе теплопроводности для ряда материалов изоляции и найдена погрешность (ошибка) в определении температуры в различных точках слоя изоляции, если вычисления производятся по значению  $\lambda_{ср}$ ;
- определена толщина слоя изоляции для ряда материалов методом последовательных приближений;
- проверена целесообразность использования цилиндрической тепловой изоляции из различных материалов, которая, в отличие от изоляции плоской, может иметь конечное значение критического диаметра, соответствующего максимуму теплового потока.

Результаты представляются в табличном и графическом виде.

#### Библиографический список

1. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. - М.:Атомиздат,1979. - С.47-50.
2. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник/Е. В. Аметистов, В. А. Григорьев, Б. Т. Емцев и др. - М.: Энергоиздат, 1982.-С.128-133.

*Д.Е. Чебоксаров, студ.; В.В. Бухмиров, д.т.н, проф.*  
**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ  
ПРОИЗВОДСТВЕ, ТРАНСПОРТИРОВКЕ И ПОТРЕБЛЕНИИ  
ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

В связи с принятием федерального закона № 261 «Об энергосбережении ...» практически всем Поставщикам и Потребителям топливно-энергетических ресурсов предстоит работа по созданию энергетических паспортов своих предприятий, зданий и сооружений. В энергетическом паспорте необходимо приводить перечень энергосберегающих мероприятий, которые энергоаудиторы рекомендуют для внедрения с целью энергосбережения и повышения энергоэффективности.

Данная научная работа посвящена рассмотрению энергоэффективных мероприятий при производстве, транспортировке и потреблении тепловой энергии с акцентом на инновационные технологии.

При производстве тепловой энергии отметим эффективные системы водоподготовки (вихревая технология дзарирования, безреагентные методы обработки воды); интенсификация сжигания топлива (электроогневая технология сжигания, беспламенное сжигание, а именно объемное сжигание с равномерным распределением температуры); использование потенциальной энергии газа ( дросселирование с использованием турбодетандеров); технологии борьбы с потерями теплоты (использование съемных панелей для теплоизоляции клапанов и фитингов), борьба с накипью и отложениями (электромагнитный импульстор); методы глубокой утилизации тепла дымовых газов и использование паровой винтовой машины, для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии.

При транспортировке тепловой энергии с целью уменьшения тепловых потерь и повышения срока службы трубопроводов наиболее часто применяют ППУ изоляцию и системы дистанционного контроля её состояния; системы защиты трубопроводов от коррозии (включая электрохимическую), а также заменяют стальные трубы на асбестоцементные.

В третьей части научной работы рассмотрено повышение энергоэффективности при потреблении тепловой энергии, затронуты вопросы снижения тепловых потерь зданиями (технологии строительства с использованием пенополистирольной стеновой несъемной опалубки, теплые форточки); установки частотно-регулируемых приводов на насосы; использования систем газового воздушного и инфракрасного отопления; систем сжигания отработанного масла для отопления предприятий. Отдельно рассмотрен вопрос использования энергосбере-

гающих красок.

При разработке систем энергосбережения несомненно представляет интерес применение аккумуляция энергии с помощью сжатого воздуха.

## **Секция 5. ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

*Председатель секции зав. кафедрой «Промышленная  
теплоэнергетика» д.т.н., проф. В.П. СОЗИНОВ  
Секретарь секции старший преподаватель Н.Н. СМIRНОВ*

*К.В. Малышев, студ.; рук. В.И. Субботин, к.т.н., проф.*  
**ВЫБОР ПЕРВИЧНОГО ДВИГАТЕЛЯ МИНИ-ТЭЦ**

На сегодняшний день промышленные предприятия нередко сталкиваются с проблемой не востребоваемости имеющихся мощностей: как производственных, так и энергетических. С аналогичной ситуацией столкнулось и одно из предприятий республики Коми. Неостребованными оказались мощности паровой котельной на базе трех котлоагрегатов ДКВР-10-13ГМ. Был произведен технико-экономический расчет целесообразности реконструкции котельной в мини-ТЭЦ путем установки паровой турбины мощностью 1,25 МВт, что позволило бы полностью использовать существующий потенциал оборудования котельной. Однако на этапе экономического обоснования выявился ряд существенных недостатков такого подхода:

- высокие капитальные и эксплуатационные затраты обуславливают высокую себестоимость получаемой электроэнергетики;
- значительная часть (до 20%) генерируемой электроэнергии затрачивается на собственные нужды;
- высокие непроизводственные затраты.

В результате себестоимость генерируемой электроэнергии находится на уровне существующих тарифов. Был сделан вывод об экономической нецелесообразности реконструкции.

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

Газопоршневые двигатели. Приводом электрического генератора в данном случае является поршневой (как правило, V-образный) двигатель внутреннего сгорания, использующий в качестве топлива природный газ, либо ряд других, как естественных, так и искусственных, газов. Применение дизельного топлива в данных установках, как правило, нецелесообразно в виду высокой его стоимости. Тепловая энергия в виде горячей воды с температурой до 100°C отбирается с помощью теплообменных аппаратов из контура охлаждения двигателя и выхлопных газов. Основными достоинствами энергетических установок на основе двигателей внутреннего сгорания являются:



- необходимое давление газа от 0,02 МПа;
- рабочий диапазон - от 50 до 100% номинальной мощности;
- время принятия нагрузки 2-3 минуты;
- наивысший электрический КПД около 40%;
- КПД и выходная электрическая мощность практически не зависят от температуры воздуха, подаваемого в установку.

Газотурбинные двигатели – тип тепловых двигателей, в которых энергия сжатого и нагретого газа преобразуется в механическую работу на валу газовой турбины. Установки данного типа способны работать как на жидком и газообразном, так и на измельченном твердом топливе. Электроэнергия вырабатывается генератором, механически соединенным с валом турбины, а тепловая энергия – по средствам утилизации теплоты уходящих газов. Основными достоинствами установок с двигателем данного типа являются:

- возможность получения высокопотенциальной тепловой энергии в виде пара;
- возможность организации более эффективного парогазового цикла;
- более эффективная работа при мощностях свыше 6МВт.

Таким образом, применение, газопоршневых установок наиболее целесообразно в данном случае, так как необходима преимущественная выработка электрической энергии при частых сменах нагрузки либо остановках. С экономической точки зрения, применение двигателей данного типа чаще всего оправдано в условном диапазоне мощностей от 1 до 10 МВт.

Газотурбинные мини-ТЭЦ наиболее оправданы при эксплуатационных мощностях свыше 6 МВт и преимущественной выработке тепловой энергии при постоянной нагрузке, близкой к номинальной, а также при необходимости получения высокопотенциального теплоносителя. Однако важно помнить, что частые пуски и остановки турбины отрицательно сказываются на её ресурсе.

Паровые турбины в установках мини-ТЭЦ применяют достаточно редко, отчасти ввиду указанных выше причин. Их установка чаще всего оправдана на мощностях свыше 10 МВт при наличии незагруженных источников высокопотенциального пара.

*А.С. Здохова, студ.; О.Н. Махов, к.т.н., доц.*  
**РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ПАРОВОЙ КОТЕЛЬНОЙ  
СОЛЬВЫЧЕГОДСКОГО ЛОКОМОТИВНОГО ДЕПО В  
ОФИСНОМ ПРИЛОЖЕНИИ MS EXCEL**

Целью расчета тепловой схемы является определение общих тепловых нагрузок — внешних и расходов теплоты на собственные нужды котельной и распределение нагрузок между паровой и водогрейной частями нагрузок; определение всех тепловых и массовых потоков, необходимых для выбора вспомогательного оборудования и диаметров трубопроводов и арматуры; определение данных для дальнейших технико-экономических расчетов.

Расчет тепловой схемы котельной дает возможность определить суммарную тепловую мощность котельной при различных режимах работы. Для расчета даже одного режима работы котельной требуется значительное время. В дипломной работе просчитываются три режима, а именно максимально-зимний, наиболее холодного месяца и летний. Так как расчеты режимов работы котельной являются однотипными, а методика расчета подробно описана в литературных источниках, то была составлена программа расчета в табличном редакторе MS Excel.

Для каждого элемента тепловой схемы были составлены уравнения материального и теплового балансов, решение которых позволило определить неизвестные расходы и энтальпии сред. Общая увязка этих уравнений осуществлялась составлением материального и теплового балансов деаэратора, в котором сходятся основные потоки рабочего тела. Ряд значений величин, необходимых для увязки тепловой схемы, мы получили из расчета её элементов и устройств. Рядом значений мы предварительно задавались. Например, расход пара на собственные нужды котельной 5-10% (на деаэрацию питательной воды и подогрев сырой и химической воды), потери конденсата в цикле котельной установки 2-3%, потери воды в теплосети 2-3% от количества воды в системе теплоснабжения, расход пара на покрытие потерь 2-3% от расхода внешними потребителями.

Весь расчет выполнен в виде таблицы. Первые тридцать шесть пунктов являются исходными данными, собранными при прохождении преддипломной практики, и уточненные из нормативных документов и литературы. Остальные тридцать три пункта, это расчетные величины. В исходных данных есть возможность выбора населенного пункта в соответствии с нормативными климатологическими данными. Достоинством программы является быстрый расчет теплового режима работы котельной при разных тепловых нагрузках и с различными вариан-

тами исходных данных. Кроме того в программе есть возможность расчета температурного графика котельной, с его графическим построением.

*А.А. Зайкова, К.С. Тарасов, студ.; рук-ли: В.М. Захаров, к.т.н., проф., Н.Н. Смирнов, ст. препод.*

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛООТРАЖАЮЩИХ ЖАЛЮЗИ В ОКНАХ**

Существенное значение в доли тепловых трансмиссионных потерь зданий приходится на потери через оконные проемы (по разным оценкам, от 20 до 50 % от общего объема). Основной величиной, характеризующей этот показатель, является приведенная величина термического сопротивления всего оконного блока, хотя наибольшие потери приходятся на его светопрозрачную часть.

Современные энергосберегающие конструкции окон имеют ряд существенных недостатков.

Для повышения коэффициента сопротивления теплопередаче светопрозрачной конструкции без увеличения затрат на искусственное освещение нами был предложен вариант применения в темное время суток, являющимся доминирующим в течение отопительного периода практически на всей территории России, теплоотражающих жалюзи, которые снижали бы тепловые потери от лучистого (и в меньшей степени от конвективного) теплообмена, не вызывая уменьшения значения светопропускаемости окна в светлое время суток. Теплоотражающие жалюзи задерживают тепловое излучение преимущественно в инфракрасной области.

Авторами были исследованы в сертифицированной климатической камере АНО «Ивановостройиспытания» теплоотражающие жалюзи.

Были произведены испытания жалюзи, выполненных из алюминиевых ламелей, покрытых краской. Следует отметить, что эмалированные жалюзи наиболее часто встречаются на рынке данного вида продукции. В ходе испытания жалюзи, приобретённых в предприятии розничной торговли, при  $\alpha=+90^{\circ}$ , мы получили увеличение сопротивления теплопередачи лишь на 10÷12 %, при установке их с внутренней стороны окна, и на 20÷26 % при совместной установке жалюзи с наружной и внутренней стороны.

Для сравнения химическим путём было удалено лакокрасочное покрытие с ламелей. При проведении испытаний в варианте установке очищенных жалюзи с внутренней стороны окна было зафиксировано

снижение тепловых потерь через ограждающую конструкцию на  $28 \div 30\%$ . Данный факт объясняется высокой степенью черноты краски, значение которой лежит в пределах  $0,91 \div 0,93$ , что в несколько раз превышает степень черноты алюминия, изменяющейся в пределах от  $0,04$  (полированный металл) до  $0,2$  (окисленный металл). Следовательно, в жалюзи с эмалированными ламелями, предлагаемыми отечественным и импортным производителем, за счёт нанесения лакокрасочного покрытия значительно занижен энергосберегающий потенциал данной теплоотражающей конструкции.

Исследования, проведённые авторами в предыдущие годы, показали, что при использовании сплошного металлического экрана, выполненного из алюминиевой фольги, снижение тепловых потерь составило порядка  $40\%$ . Данное различие в показателях снижения тепловых потерь при использовании вышеуказанных конструкций, по всей видимости, получается за счёт следующих особенностей сплошного экрана и жалюзи – неплотность прилегания ламелей друг к другу (дополнительная конвективная составляющая) и разная степень черноты материалов.

Следует отметить, что благодаря применению жалюзи со стороны окружающей среды повысилась температура на внутренней поверхности остекления оконного блока, что немаловажно, так как в нижней части остекления располагается наиболее опасная зона для выпадения конденсата, инея и образования наледей, особенно, при наличии высокой влажности внутри помещения.

Применение в темное или нерабочее время суток на промышленных предприятиях помимо дежурного режима отопления, увеличенной рекуперации в системах вентиляции еще и теплоотражающих металлических экранов и жалюзи, повышающих коэффициент сопротивления теплопередаче окон, приводит к уменьшению отопительной нагрузки, тем самым вызывая увеличение надежности работы системы теплоснабжения и уменьшения затрат на энергоресурсы по данной статье в зависимости от географической широты расположения объекта и климатических данных для региона.

*Е.В. Марьянова, Д.А. Лапатеев, студ.; рук-ли: В.М. Захаров, к.т.н., проф., Н.Н. Смирнов, ст. препод.*

## **УМЕНЬШЕНИЕ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ОБОЛОЧКУ КАНАЛА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ЭКРАНОВ**

Эффективность работы тепловых сетей, наряду с источником и потребителем тепловой энергии, влияет на эффективность работы системы теплоснабжения в целом. Показателем эффективности работы тепловых сетей являются удельные линейные тепловые потери, снижение которых является задачей энергосбережения.

Величина нормируемых и фактических тепловых потерь варьируется в зависимости от диаметра трубопровода, температурного графика и способа прокладки теплотрассы. Существуют различные конструкции тепловой изоляции трубопроводов при подземной прокладке теплотрассы, в том числе предварительно изолированные трубопроводы, минераловатные маты, пенополиуретановые скорлупы и т.д.

При подземной прокладке существенное значение в доли тепловых потерь приходится на трансмиссионные потери от нагретого внутреннего воздуха к наружному грунту через бетонную оболочку канала. Для снижения величины тепловых потерь и увеличения сопротивления теплопередачи оболочки канала нами был предложен и запатентован способ локализации рассеивания тепловой энергии внутри канала теплотрассы при помощи расположенных на расстоянии 10 мм от стенок канала теплоотражающих экранов.

Теплоотражающий экран, выполненный из полированной фольги, позволяет практически полностью исключить лучистый теплообмен между стенкой канала и трубопроводом тепловых сетей. Создаётся дополнительное термическое сопротивление за счёт создания воздушной прослойки между экраном и стенкой канала.

Было проведено натурное исследование данной конструкции в лаборатории ТМО ПП ИГЭУ, а также с помощью программы Phoenix произведено математическое моделирование. В ходе эксперимента получено значительное снижение величины тепловых потерь через оболочку канала.

*Е.В. Марьянова, Д.А. Лапатеев, студ.; рук-ли: В.М. Захаров, к.т.н., проф., Н.Н. Смирнов, ст. препод.*

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

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

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

В ходе выполнения лабораторной работы на данном стенде студенты, обучающиеся по направлению «Теплоэнергетика», смогут решить следующие задачи: построить холодильный цикл в диаграммах; составить тепловые балансы теплообменного оборудования; определить коэффициент теплопередачи конденсатора и испарителя; вывести аналитические зависимости для некоторых измеренных величин; исследовать работу вентиляторов в установке с построением профиля скоростей; научиться дистанционно управлять работой измерительной и регулирующей аппаратуры через ЛВС.

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

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

*Д.А. Гусева, студ.; рук. В.В. Сенников, к.т.н., доц.*  
**К РАЗРАБОТКЕ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ  
СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ**

В настоящее время наиболее известны и широко применяются для расчета теплогидравлических режимов и наладки тепловых сетей программы «ПОТОК» и «ZULU».

При всех их положительных качествах указанные программы позволяют лишь проводить вычисления без непосредственной связи с действующими сетями. При подключении новых потребителей необходимо выполнить новый теплогидравлический расчет и произвести замену дроссельных элементов по всей тепловой сети. Оптимизация работы источников и подпиточных станций требует выполнения многовариантных теплогидравлических расчетов, при существующем вводе исходных данных и алгоритмам программ – необходимо просчитывать все схемы с каждым потребителем. Это приводит ввиду высокой длительности расчетов к практической невозможности выполнения оптимизационных задач.

На основании проведения большого количества работ по оптимизации и наладке тепловых сетей, выполненных работниками организации - участника размещения заказа, появилась необходимость разработать интеллектуальный программный расчетно-аналитический комплекс, учитывающий недостатки программ «ПОТОК» и «ZULU»:

- комплекс должен работать не только как вычислительная программа, но и обладать способностью обрабатывать информацию, поступающую от измерительных приборов по температуре, давлению и расходу сетевой воды, что позволяет уточнять как фактические тепловые нагрузки потребителей, так и гидравлические и тепловые параметры тепловой сети (коэффициенты шероховатости участков трубопроводов, местные сопротивления, термические сопротивления изоляции);

- комплекс в отличие от других программ должен иметь, кроме режимов наладочного и поверочного расчетов, ещё режим локальной наладки, который позволяет выполнить наладочный расчет для вновь подключенных потребителей без переналадки существующих потребителей;

- комплекс должен обладать более наглядным графическим представлением результатов расчетов. Построение столбчатых пьезометров позволит видеть гидравлический режим сразу всей тепловой сети, а не только по выбранному направлению;

- комплекс должен выполнять корректировку расходов сетевой во-

ды и расходов тепла, у которых в результате расчетов получается диаметр дроссельных элементов менее 3 мм;

- в своем алгоритме расчета комплекс будет содержать блок эквивалентирования участков и нагрузок как в однолинейном наладочном режиме, так и в двухлинейном эксплуатационном и аварийном режимах. Это позволит при выполнении оптимизационных расчетов выполнять расчеты неполных схем, а сжатых – эквивалентных схем – за очень короткое время;

- комплекс должен найти применение в качестве основного инструмента работы диспетчерской службы тепловых сетей, так как с применением эквивалентирования появляется возможность в режиме реального времени получать предварительную информацию о загрузке источников, подпитке и режимам работы трубопроводов и пр.;

- комплекс в режимах пуска и отключения тепловых сетей позволит избежать аварийных ситуаций и перерасхода топлива и электроэнергии.

*О.С. Гомозов, студ.; рук. В.В. Сенников, к.т.н., доц.*  
**РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ  
УЛУЧШЕНИЯ ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ОТПУСКА ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ В  
ТЕПЛОВЫХ ПУНКТАХ ТЕРМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ**

Разработка и создание устройства для улучшения процесса регулирования отпуска тепловой энергии за счет применения в тепловых пунктах термогидравлического распределителя (ТГР).

Целью является разработка и создание опытного образца центрального (индивидуального) теплового пункта здания или зданий и поквартирного теплового модуля с термогидравлическим распределителем для создания и поддержания оптимального (требуемого) микроклимата в здании с наименьшими энергетическими затратами и повышением надежности теплоснабжения потребителей.

Применение в тепловых схемах тепловых пунктов термогидравлического распределителя позволит:

- обеспечить гидравлическую развязку распределительного контура (магистральных и квартальных тепловых сетей) и контура (контуров) потребителей.

Регулирование тепловой нагрузки различных потребителей (вплоть до полного отключения некоторых) не окажет влияния на значение



расхода теплоносителя в распределительном контуре;

- циркуляционные насосы распределительного контура выбираются низконапорным, они, работая в замкнутом контуре обеспечивают подвод теплоносителя к ТГР, независимость контуров исключает необходимость их работы в контурах потребителей – при этом экономия электрической энергии достигает (по экспертным оценкам) 7-10 %;

- циркуляционные насосы контура потребителя с частотным регулированием (при разнородной нагрузке) выбираются согласно нагрузке этих контуров, используя при этом принцип независимости контуров – чем облегчается процесс проектирования и выбора насосов и экономится электрическая энергия;

- отпадает вопрос о дорогостоящей гидравлической наладке тепловых сетей. В современных городских тепловых сетях при зависимой системе теплоснабжения для надежной их работы у каждого потребителей необходимо поддерживать располагаемый напор не менее минимально требуемого, иначе становится невозможным поддержание температурного режима в зданиях на требуемом уровне.

Подключение новых потребителей возможно без гидравлической наладки тепловых сетей;

- применение индивидуального учета тепловой энергии и теплоносителя позволит экономить до 30 % тепловой энергии;

- до 10 % экономии тепловой энергии – за счет применение автоматизированных трехходовых клапанов с регулированием по температуре;

- применение автоматизированных трехходовых клапанов с регулированием по температуре позволит экономить до 10 % тепловой энергии;

- появляется возможность дистанционного учета показаний счетчиков тепловой энергии и теплоносителей;

- модульный принцип – упрощает проектирование и монтаж, снижает затраты;

- проектирование ТГР осуществляется по специально созданной программе, исключающей возможные ошибки при выборе размеров ТГР по упрощенной методике;

- тепловые пункты изготавливаются из сертифицированных элементов и блоков.

Опытный образец должен обладать техническими характеристиками, которые обеспечат:

- независимость подключения потребителей к распределительным тепловым сетям;

- надежность теплоснабжения при минимально допустимом распо-

лагаемом напоре у потребителей;

- экономичность системы теплоснабжения.

Конструкция установки должна отвечать общим правилам, нормам, инструкциям и другим нормативно-правовым актам по охране труда, промышленной, пожарной и экологической безопасности.

При работе на установке необходимо выполнять Правила техники безопасности при работе с системами тепло-, водо- и электроснабжения.

При выполнении ремонтных работ установка должна быть отключена от источников электрического тока, при этом должны быть приняты меры исключающие возможность ее включения, в том числе и случайного до окончания работ.

Реализация технических решений, заложенных в настоящем техническом решении, позволит обеспечить надежное снабжение потребителей с наименьшими экономическими затратами.

*Н.В. Мурзин, аспиp.; рук. М.Ю. Овсянников, к.т.н, доц.  
Ивановский институт ГПС МЧС России*

### **О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ ПОЛЕВОГО МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПОЖАРА В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ЗДАНИИ**

Современные методы прогнозирования динамики опасных факторов пожара (ОФП) базируются на математическом моделировании пожара в помещении.

Существуют два основных подхода к математическому моделированию пожара – интегральный и полевой. В данном случае рассматривается наиболее информативный метод математического описания динамики пожара в помещениях производственного здания, так как он позволяет определить значения множества параметров пожара в любой точке пространства внутри помещения.

В настоящее время существует множество разработанных полевых (дифференциальных) математических моделей пожара (авторы моделей А.Ю.Снегирев, А.М. Рыжов, С.В. Пузач, И.Ф. Астахова и др.).

Сложность применения математических моделей на практике обусловлена незавершенностью разработки теории турбулентности. Авторы данной теории используют различные гипотезы для описания процессов турбулентного переноса импульса, массы и энергии. Наибольшее распространение в России и зарубежом получила «К-Е модель» турбулентности (например, программные комплексы «FDS», «Phoenix»).

При использовании программных комплексов, реализующих полевой метод (например при определении уровня безопасности людей в здании), у пользователей возникает масса проблем. К наиболее значимым относятся «недружественный» интерфейс программ, сложность написания «входного файла», необходимость верификации каждого расчета.

Таким образом, исследователь должен обладать достаточно высоким уровнем знаний и умений в области теплофизики.

Численные эксперименты, проведенные на основе полевых моделей пожара позволили получить множество сведений (в качественном отношении) о процессах развития пожара, выявить особенности пожара, которые еще не наблюдались при проведении физических экспериментов и которые невозможно определить при использовании интегрального метода термодинамического анализа пожара.

Дальнейшее успешное развитие полевых математических моделей требует постановки экспериментальных исследований на различных физических стендах, на фрагментах зданий. Приборное обеспечение и методика экспериментов должны соответствовать уровню теоретических разработок полевых моделей. Эксперименты, которые проводились до настоящего времени, отвечали, в основном, уровню теоретических разработок интегральных моделей. Поэтому авторы полевых моделей часто используют интегральные модели при верификации.

В настоящее время работа по анализу и проверке адекватности моделей пожара, выбору из них наиболее универсальных, является актуальной и требует дальнейшего теоретического осмысления.

**А.Б. Трояновский, соискатель; рук. Е.Г. Авдюнин, д.т.н., проф.**  
**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ**  
**ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ**

При централизованном теплоснабжении потребителей стоимость тепловой энергии в значительной мере определяется уровнем затрат, обусловленных транспортированием теплоносителя. Процесс транспортирования теплоносителя от котельной к потребителям и обратно осуществляется, как известно, с помощью тепловой сети и на его реализацию затрачиваются металл, теплоизоляционные и другие материалы, а также электрическая энергия.

В свою очередь, затраты, связанные с транспортированием теплоносителя, зависят от мощности системы теплоснабжения и принятого значения параметров его состояния.

С ростом мощности системы теплоснабжения увеличиваются протяженность и разветвленность тепловой сети и, соответственно, возрастают потери тепловой энергии при транспортировании теплоносителя. В тепловых сетях систем централизованного теплоснабжения теряется свыше 30 % производимой тепловой энергии.

Цель данного исследования – обоснование метода оптимизации параметров теплоносителя, при которых обеспечиваются минимальные затраты материальных и энергетических ресурсов на реализацию процесса его транспортирования.

Постановка отмеченной задачи проводится применительно к циркуляционному кольцу 2 системы теплоснабжения. Второе циркуляционное кольцо ( $k=2$ ) включает в себя водяной тракт котла, трубопроводы тепловой сети и замыкается или на один из каналов наиболее удаленного теплообменника или на контур наиболее удаленной системы отопления, подключенной по зависимой схеме.

В рамках поставленной задачи оптимизируемыми параметрами являются такие величины как скорость движения  $v_2$  и перепад энтальпии  $\Delta I_2$  теплоносителя. При этом анализ зависимости затрат материальных и энергетических ресурсов на реализацию процесса транспортирования теплоносителя от величин  $v_2$  и  $\Delta I_2$  представляется возможным осуществить с использованием известных уравнений:

Целевая функция в решаемой задаче имеет вид:

$$p_2 = a_{212}\Delta I_2 + a_{222}v_2^{-1} + a_{232}\Delta I_2^{-1}v_2^{-1} + a_{242}\Delta I_2^{-1}v_2^2, \quad (1)$$

где  $a_{212} = a_{и2}/\Delta I_2 + k_{до}(1 - (\Delta I_{2,э}/\Delta I_2))$ ;  $a_{и2} = T_э(C_{з2} + C_{тр2}) + C_{дл2,э} + V_{ар}K_{062,э}$ ;  
 $k_{до} = k_{дл2} + V_{ар}k_{062}$ ;  $V_{ар} = 1 + T_{э(и+6)}$ ;  $a_{222} = b_{тр2} + b_{и2}$ ;  $a_{232} = a_{тр2} + a_{и2}$ ;

Решив систему уравнений:

$$\partial p_2 / \partial (\Delta l_2) = 0; \quad \partial p / \partial v_2 = 0, \quad (2)$$

определяем оптимальные значения величин  $\Delta l_2$  и  $v_2$ .

В результате проведенных исследований обоснован метод оптимизации параметров теплоносителя в тепловых сетях, которое проводилось путем решения оптимизационной задачи. В качестве критерия оптимальности в задаче принят минимум полных затрат на транспортирование тепловой энергии. Оптимизируемые параметры – перепад энthalпии и скорость движения теплоносителя.

*А.М. Клак, соискатель; рук. Е.Г. Авдюнин, д.т.н., проф.*  
**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ  
 ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

В России в настоящее время около 70 % потребляемой тепловой энергии производится централизованно – с использованием теплоисточников мощностью более 20 Гкал/ч. При этом до 40 % потребляемой тепловой энергии вырабатывается на ТЭЦ в рамках теплофикационного цикла. Преимущества централизованного теплоснабжения известны.

Наиболее ненадежным элементом отечественных систем централизованного теплоснабжения (СЦТ) являются тепловые сети. Низкое качество ремонта и эксплуатации тепловых сетей приводит к значительным утечкам теплоносителя, физическому разрушению тепловой изоляции и потере ею теплозащитных свойств, а также к коррозии и преждевременному износу стальных труб и оборудования. В тепловых сетях СЦТ теряется свыше 30 % произведенного количества теплоты.

Техническое состояние тепловых сетей и качество их гидравлического режима во многом зависит от их протяженности и степени разветвленности.

Значительная протяженность и разветвленность тепловых сетей, недостаточно высокий уровень автоматизации местных инженерных систем приводят к нарушению требуемого потокораспределения и рассогласованию режимов отпуска и потребления теплоты в СЦТ. Следствием этих негативных факторов является перерасход в СЦТ теплоносителя и, соответственно, электрической энергии.

При этом протяженность и разветвленность тепловой сети определяется размером обслуживаемой территории. Соответственно, кли-

матические условия, уровень теплопотребления зданий, размер обслуживаемой территории определяют мощность конкретной системы теплоснабжения.

Чем мощнее система теплоснабжения при заданных климатических условиях и уровне теплопотребления зданий, тем протяженнее тепловая сеть и больше затраты на неё. В тоже время с ростом мощности системы теплоснабжения снижаются расход топлива, капитальные затраты, численность обслуживающего персонала на единицу выработанной тепловой энергии.

Обоснование мощности систем централизованного теплоснабжения и, соответственно, их количества на территории населенного пункта позволяет обеспечить целесообразную протяженность теплопроводов тепловых сетей.

Соответственно, при проектировании нового населенного пункта (микрорайона, района) необходимо решать такую задачу как определение количества систем теплоснабжения на его территории, имеющих оптимальную мощность. При этом предполагается, что число жителей и плотность их расселения, тип зданий заданы. Естественно, площадь населенного пункта, а, следовательно, и его теплопотребление, известны.

Задача рассматривается как оптимизационная и решается методом пассивного поиска. В этом случае последовательно рассматривается  $n$  вариантов теплоснабжения населенного пункта ( $i=1,2,\dots,n$ ). Населенный пункт имеет площадь  $F_n$  и в плане при решении задачи представляется в виде прямоугольника.

По каждому варианту  $i$  населенный пункт делится на  $m$  равных частей (районов), каждая площадью  $F_j$ . Для теплоснабжения каждой части  $j$  населенного пункта находит применение своя система ( $j$  – номер системы теплоснабжения или номер части населенного пункта по варианту  $i$ ;  $j=1,2,\dots,m$ ). Следовательно, теплоснабжение населенного пункта по варианту  $i$  осуществляется  $m$  системами.

В результате проведенных исследований обоснован метод оптимизации мощности системы теплоснабжения, которое проводилось путем решения оптимизационной задачи. В качестве критерия оптимальности в задаче принят минимум удельных полных затрат на производство и транспортирование тепловой энергии. Задача решается с использованием метода пассивного поиска. Оптимизируемый параметр – количество систем теплоснабжения на территории проектируемого населенного пункта.

*Н.В. Жидков, студ.; рук. В.Г. Арсенов, к.т.н., доц.*  
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОММУНИКАЦИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

Основным требованием при проектировании систем технологического энергоснабжения (СТЭ) и, в первую очередь, при выборе нагнетателей и сортамента труб коммуникаций является надежное снабжение потребителей энергоносителем надлежащего качества и в заданном количестве при наименьших затратах на сооружение и эксплуатацию.

На строительство станций генерирующих энергоноситель (насосных и компрессорных станций) и сооружение водопроводных сетей или сетей воздухообеспечения идет большая сумма капиталовложений. При этом стоимость трубопроводов составляет от 50 до 70 % стоимости системы технологического энергоснабжения в целом.

Проектирование сетей коммуникаций связано с решением таких основных задач, как выбор наиболее экономически выгодных диаметров трубопроводов, подбор нагнетателей, питающих сети и установление оптимальных режимов их работы.

Правильное решение можно получить только с учетом совместной работы всех элементов систем энергоснабжения: нагнетатели – трубопроводные сети – потребители.

Трассирование коммуникаций систем и выбор их диаметров должны быть выполнены таким образом, чтобы они обеспечивали достаточную пропускную способность и отвечали требованиям экономичности эксплуатации и надежности работы.

Повышение надежности работы и снижение стоимости эксплуатации СТЭ могут быть достигнуты увеличением диаметров труб. Однако такое решение приводит к увеличению стоимости строительства. С другой стороны, прокладка трубопроводов диаметром меньше оптимальных (экономичных) влечет за собой неоправданное ежегодное увеличение расхода электроэнергии на приводы нагнетателей технологического энергоносителя.

На кафедре ПТЭ ИГЭУ разработана программа аэродинамического расчета коммуникаций системы воздухообеспечения. Выполнение расчетов по данной программе позволяет определить оптимальные скорости движения воздуха в трубопроводах при соответствующих диаметрах последних.

*А.А. Зайкова студ.; рук. Л.И. Тимошин, к.т.н., доц.*  
**РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ ПО РАСЧЕТУ  
ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ**

Были разработаны методические указания к дисциплине «Нагнетатели и тепловые двигатели» по расчету центробежных насосов. В данное методическое указание входит 10 вариантов задания для выполнения курсовой работы, разделенное по видам насосов, а именно конденсатные, сетевые и питательные.

В первой части приведены зависимости для определения основных параметров и геометрических размеров насоса. Для определения основных параметров использованы сводные графики энергетических характеристик насосов. В качестве геометрических характеристик рассматривается диаметр вала и втулки, ширина лопасти рабочего колеса и диаметр входного патрубка.

Расчет заканчивается вычерчиванием чертежа рабочего колеса в двух проекциях в соответствующем масштабе и треугольников скоростей на входе и выходе потока.

Во второй части приведены зависимости для профилирования проточной части центробежного насоса. Сначала производится профилирование проточной части рабочего колеса в меридиональном сечении, далее профилирование лопасти, а затем выполняется расчет спирального отвода с круговым сечением.

Для лучшего усвоения студентами материала приведен пример расчета колеса центробежного насоса.

Приведен список литературы, позволяющий студентам расширить свои знания по данному материалу.



*В.М. Копылов, А.В. Шаров, студ.;  
рук. С.В. Васильев, к.т.н., доц.*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ**

В централизованных системах теплоснабжения широкое применение находят водогрейные котельные, которые могут использоваться как в основном (базовом), так и в пиковом режиме. В настоящее время и в ближайшем будущем, при отсутствии инвестиций на создание и установку нового оборудования в энергетике, важна разработка мало-затратных способов повышения энергетической эффективности водогрейных котельных.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности работы водогрейных котлов является снижение потерь с уходящими газами.

В водогрейных котельных утилизация теплоты может производиться в подогревателях контактного или поверхностного типа [1-4]. Существуют многочисленные конструкции контактных теплообменников различной производительности, среди них можно выделить контактные аппараты с пассивной насадкой [1,2]. Преимуществами контактного способа утилизации теплоты уходящих газов является большая поверхность теплообмена, высокие коэффициенты теплопередачи, снижение выбросов оксидов азота.

Поверхностные подогреватели подразделяются на конденсационные и подогреватели “сухого” теплообмена. В конденсационных теплоутилизаторах [3,4] использование скрытой теплоты конденсации, содержащейся в продуктах сгорания водяных паров, увеличивает коэффициент теплопередачи, в связи с чем, уменьшаются размеры теплообменников и затраты на их изготовление. Аппараты “сухого типа” менее выгодны с точки зрения теплообмена, однако повышение эффективности “сухих” поверхностных аппаратов может быть достигнуто за счет использования интенсифицированных теплообменных поверхностей нагрева [5].

В работе приведен анализ эффективности существующих схем утилизации теплоты уходящих газов в теплообменниках контактного и поверхностного типа.

### **Библиографический список**

1. Бузников Е.Ф., Родакис К.Ф., Берзиньш Э.Я. Производственные и отопительные котельные. –М.: Энергоатомиздат, 1984, – 248 с.
2. Аронов И.З. Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа. –Л.: Недра, 1990, – 280 с.
3. Кудинов А.А. Повышение эффективности работы конденсационных теплоутилизато-

ров поверхностного типа // Промышленная энергетика, 1999, № 7 С.30-34.

4. Бухаркин Е.Н. Конденсационные теплоутилизаторы – эффективное средство повышения экономичности экологически чистых газовых водогрейных котлов // Промышленная энергетика, 1994, № 1 С.30-34.

*Н.Г.Попова студ.; рук. Л.И. Тимошин, к.т.н., доц.*

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ ПО РАСЧЕТУ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ**

Были разработаны методические указания к дисциплине «Нагнетатели и тепловые двигатели» по расчету центробежных вентиляторов.

В первой части приведены зависимости, графики и номограммы для определения основных геометрических размеров вентилятора. Выполнено построение профиля лопатки вентилятора. Определены геометрические размеры спирального корпуса. В результате расчетов выполнена аэродинамическая схема центробежного вентилятора, т.е. поперечный и продольный разрез. Продольный разрез (вдоль оси вала) выполнен вместе с входным патрубком.

Во второй части приведены зависимости, а также номограммы для определения аэродинамических характеристик центробежного вентилятора. Задачей расчета является определение производительности, давления, мощности и КПД вентилятора.

Для лучшего усвоения студентами материала приведен подробный пример расчета основных геометрических размеров и аэродинамических характеристик центробежного вентилятора.

Приведен список литературы и приложения с характеристиками и геометрическими размерами вентиляторов.

*Д.А. Зайцева, студ.; рук. В.П. Созинов, д.т.н., проф.*

### **ПРИНЦИП РАСЧЕТА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГИСТРАЛЬНО-РАЗВЕТВЛЕННОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ**

Гидравлическая характеристика водопроводных магистрально-разветвленных (тупиковых) трубопроводных сетей имеет две особенности:

а) они имеют гидростатическую составляющую и поэтому вершина характеристики находится не вначале координат ( $V_c = 0$ ,  $H_c \neq 0$ );

б) она имеет точки излома, т.е. не является квадратичной параболой даже в первом приближении.

Найти её математическое выражение, точно соответствующее гидравлической характеристике, с одной стороны, сложно, а с другой – в подавляющем большинстве случаев не нужно. Поэтому для получения регулировочных характеристик системы “нагнетатель–сеть”, отражающих расходы воды во всех участках сети и режимы работы нагнетателя при изменении количества включенных конечных ответвлений (дросселировании), с определенной погрешностью можно определенную часть действительной характеристики сети заменить на более простую в виде параболы.

Чтобы получить такие характеристики, а именно полную (все конечные ответвления включены) и неполные, нужно последовательно, начиная с головного ответвления условно избавиться от параллельных трубопроводных участков, заменив каждую пару на один. В итоге остаются только последовательно соединенные трубопроводные участки. Сумма перепадов давления в них с учетом давления на входе и выходе трубопроводной сети есть сопротивление трубопроводной сети, т.е. искомое уравнение. Это уравнение дает достаточно точный результат только при расходах не менее тех, что соответствуют интересующей нас точки изгиба.

Выбрав две точки из трех, указанных на рис.1 можно составить системы уравнений и решить их. Например, относительно точки “д”.

$$\left. \begin{aligned} H_d &= a_1 \cdot V_{1.1}^2 + c_1 \\ H_d &= a_2 \cdot V_{2.1}^2 + c_2 \\ V_2 &= V_{1+2} - V_1 \end{aligned} \right\} \text{Находят } H_d, V_{1.1} \text{ и } V_{2.1}$$

Также определяются  $H_r$ ,  $V_{1.2}$  и  $V_{2.1}$ . Решение следующей системы уравнений относительно точки 2 позволяет найти коэффициенты  $a_{1+2}$  и  $c_{1+2}$ .

$$\left\{ \begin{aligned} H_d &= a_{1+2} \cdot (V_{1.1} + V_{2.1})^2 + c_{1+2} \\ H_r &= a_{1+2} \cdot (V_{1.1} + V_{2.2})^2 + c_{1+2} \end{aligned} \right.$$

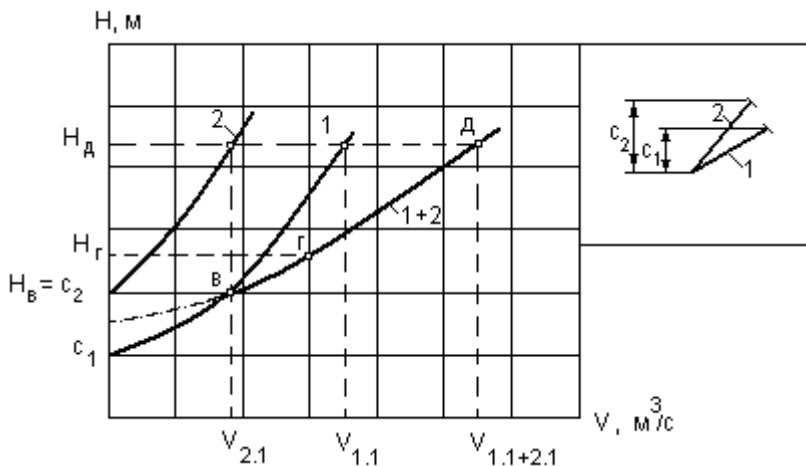


Рис. 1. Схема замены параллельных участков одним:

1+2 – действительная общая характеристика параллельных участков; штрих-пунктиром показана расчетная характеристика

Тогда  $H_{1+2} = a_{1+2} \cdot V_{1+2}^2 + c_{1+2}$  – искомое выражение, где  $V_{1.1} + V_{2.1} = V_{1+2}$  относительно точки д;  $V_{1.2} + V_{2.2} = V_{1+2}$  относительно точки г;  $V_{1+2}$  – суммарная производительность первого и второго участка. Она берется из расчета трубопроводной сети и принимается по рекомендации источника  $H_1$ .

#### Библиографический список

1. Созинов В.П. Работа радиального нагнетателя на трубопроводную сеть: учеб. пособие. – Иваново: ИГЭУ, 2006. – 320 с.

*А.А.Зайкова, Д.А.Ланатеев, студ.; рук-ли: В.М.Захаров, к.т.н., проф., Н.Н.Смирнов, ст. препод.*

## **РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ НЕПРОЗРАЧНОЙ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛООТРАЖАЮЩИХ ЭКРАНОВ**

Рациональным способом повышения теплозащиты эксплуатируемых зданий является дополнительное наружное утепление их ограждающих конструкций. При новом строительстве используется как наружное утепление, так и эффективные утеплители в качестве среднего слоя в трехслойных ограждающих конструкциях из кирпича и бетона.

Теплоизоляционные материалы широко применяются в конструкциях покрытий и перекрытий зданий. В перегородках и внутренних стенах зданий эти материалы используются для звукоизоляции и звукопоглощения.

На отечественном рынке представлен широкий ассортимент теплоизоляционных материалов, отличающихся видом исходного сырья, структурой, формой и техническими характеристиками.

Как и в предыдущие годы, преобладающими в структуре потребления на отечественном рынке являются волокнистые материалы, включающие теплоизоляционные изделия на основе стеклянного и базальтового волокна, минеральной и шлаковой ваты. Их доля в общем объеме использованных в 2008 г. материалов составила 73 %, в том числе 41 % теплоизоляционных изделий из стеклянного штапельного волокна и 32 % теплоизоляционных изделий из минеральной ваты.

Более 20 % рынка приходится на теплоизоляционные пенопласты, преимущественно пено-полистирол (беспрепессовый ПСБ-С (EPS) – 17 % и экструзионный ЭППС (XPS) – 4 %) и пенополиуретан (ППУ – 1 %). На долю других теплоизоляционных материалов, включающих изделия из природного сырья (вспененного каучука, вспученного перлитового и вермикулитового песка), из синтетических волокон (эковата и др.), приходится не более 5 %.

Приведенное сопротивление теплопередаче  $R_0$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ , ограждающих конструкций должно быть не менее нормируемых значений  $R_{req}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ .

Исследования проводились в лаборатории кафедры ПТЭ ИГЭУ в экспериментальной климатической камере (рис. 1) в соответствии с ГОСТ [1].

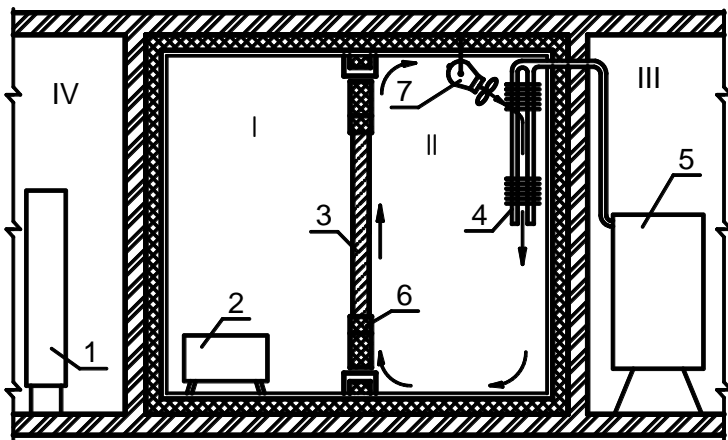


Рис. 1. Схема климатической камеры для проведения испытаний:

I – «теплое» отделение камеры; II – «холодное» отделение камеры; III – машинный зал; IV – помещение с измерительной аппаратурой; 1 – система автоматического сбора данных; 2 – нагревательные приборы; 3 – испытуемый фрагмент стены; 4 – испаритель; 5 – холодильная установка; 6 – теплоизоляционный слой по периметру проема; 7 – вентилятор

Для измерения тепловых потоков, проходящих через испытуемую ограждающую непрозрачную конструкцию, использовался тепломер ИТП-2 фирмы НПО «Практик-НЦ», а для измерения температур – хромель-копелевые термопары, подключенные к электронному потенциометру. В качестве базовой конструкции (контроль) использовался фрагмент стены из пористого ячеистого силикатного 11-дырочного кирпича с отверстиями, заполненными пенополиуретаном с 25÷26% керамзитовых включений (размеры фрагмента 280x250x380 мм). Толщина кирпичной кладки составила 380 мм. В качестве материала изоляции периметра образца использовалась минеральная вата.

Было изучено влияние применения такого конструктивного элемента, как металлический экран, на приведенное термическое сопротивление теплопередаче непрозрачной ограждающей конструкции. При проведении эксперимента в качестве металлического экрана использовалась алюминиевая фольга толщиной 70 мкм, в качестве внутренней фальшпанели – ДСП толщиной 16 мм (рис. 2).

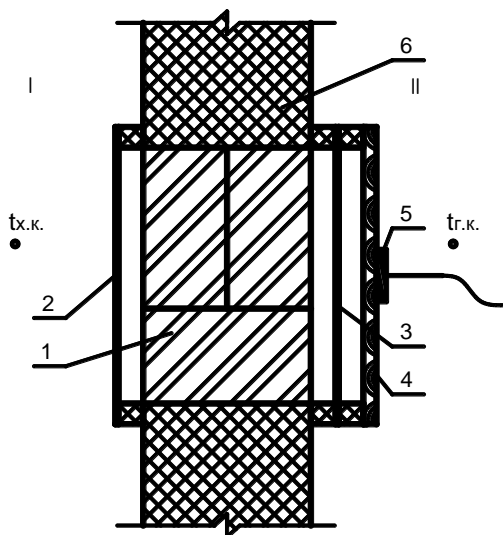


Рис. 2. Конструкция испытываемой непрозрачной ограждающей конструкции с теплоотражающими непрозрачными металлическими экранами:

I – «холодное» отделение камеры; II – «теплое» отделение камеры; 1 – фрагмент стены; 2 – металлический экран, установленный с холодной стороны; 3 – металлический экран, установленный с теплой стороны; 4 – ДСП; 5 – тепломер; 6 – минеральная вата

Измерялись температуры воздуха в «теплом» и «холодном» отделениях климатической камеры, температуры «горячей» и «холодной» поверхностей фрагмента стены, температуры поверхностей металлических экранов и древесностружечной плиты (ДСП).

При проведении эксперимента было отмечено, что стационарный процесс теплопередачи при изменении условий достигался в течение 3-4 суток, хотя при испытании оконного блока с регулируемым сопротивлением теплопередаче на основе использования металлических жалюзи стационарный режим достигался уже через 15-20 мин.

Согласно полученным экспериментальным данным (см. таблицу), использование алюминиевой фольги толщиной 70 мкм в качестве экрана с «теплой» стороны, установленного между кирпичной кладкой и фальшпанелью, привело к увеличению приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента стены до  $1,821 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  (или на 53%), по сравнению с базовым вариантом.

Таблица 1. Значения приведенного термического сопротивления в зависимости от вида непрозрачной ограждающей конструкции

Описание ограждающей непрозрачной конструкции (материал и расположение экрана)	Приведенное сопротивление теплопередаче конструкции, $\text{м}^2\text{°C/Вт} / \%$
Контроль (кирпичная кладка)	1,189 / -
Кладка + ДСП+ экран с «теплой» стороны	1,821 / 153
Кладка + ДСП + экран с «теплой» стороны + экран с «холодной» стороны	2,013 / 169

Применение же дополнительно металлического экрана с «холодной» стороны вызвало увеличение сопротивления до 2,013  $\text{м}^2\text{°C/Вт}$  (или на 69 %), но эффект был значительно меньше. Данный факт, по всей видимости, можно объяснить отсутствием выхода на стационарный режим. Замеры по второму экрану производились лишь спустя трое суток после замены конструкции фрагмента стены, хотя, возможно, требовалось большее время выдержки для выхода на стационарный режим (6-9 суток).

#### Библиографический список

1. ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1994.

*Д.А. Лапатеев, студ.; рук-ли: В.М. Захаров, к.т.н., проф.,  
Н.Н. Смирнов, ст. препод.*

#### **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОТРАЖАЮЩИХ ЭКРАНОВ В ТЕПЛИЦАХ**

Отрасль защищенного грунта (тепличные хозяйства) является индустриальной, высокотехнологичной и энергоемкой. Стремительный рост цен на энергоносители, нарушение паритета цен и прочие экономические факторы в настоящее время поставили под сомнение существование этой отрасли. Сейчас в РФ действует около 2300 га стеклянных теплиц с физическим износом около 80-90%. Расход тепла в отопительный период в таких теплицах в масштабах страны составляет около 30 млн. Гкал в год, что эквивалентно энергии сгорания 3,75 млрд м<sup>3</sup> природного газа. В структуре себестоимости овощной продукции большинства хозяйств затраты на энергоносители



составляют уже 50-60% [1]. Поэтому, без проведения реконструкции тепличных комбинатов, с учетом дальнейшего повышения цен на энергоносители, нам не обойтись.

В качестве энергосберегающих мероприятий при реконструкции теплиц современными строительными организациями предлагаются увеличение высоты теплицы, искусственное досвечивание, использование двухслойного стекла с применением резиновых и ПВХ уплотнителей, реконструкция источника теплоснабжения с введением системы компьютерного управления микроклиматом и т.д. [1].

Нами были разработаны и запатентованы энергосберегающие конструкции теплиц на основе применения теплоотражающих металлических экранов, размещаемых между слоями остекления и с внутренней стороны светопрозрачной конструкции теплицы.

Как известно, теплицы обладают большим процентом остекления (80-95%), поэтому авторами в специализированной сертифицированной лаборатории АНО «Ивановостройиспытания» также были исследованы разработанные энергосберегающие конструкции оконных блоков.

Опыты [2] с использованием алюминиевой фольги толщиной 70 мкм в качестве экрана, установленного между стеклами окна, показали увеличение приведенного сопротивления теплопередаче на 65% по сравнению с базовым вариантом (двойное остекление), в то же время увеличение термического сопротивления светопрозрачной зоны окна составило 93%. Применение такой непрозрачной конструкции целесообразно в темное время суток, которое является доминирующим в течении отопительного периода практически на всей территории России. Следовательно, временным введением дополнительной конструкции в светопрозрачную конструкцию мы регулировали его термическое сопротивление.

Стационарный режим при испытании светопрозрачных конструкций достигался через 15-20 минут после внесения изменений в конструкцию. К сожалению, при высокой относительной влажности (при выращивании огурцов  $\phi = 85 \div 90\%$ , томатов  $\phi = 75 \div 80\%$ ) и температуре (при выращивании огурцов  $t = 25 \div 270\text{C}$ , томатов  $t = 23 \div 250\text{C}$ ) воздуха внутри теплиц и низкой температуре наружного воздуха, на внутренней поверхности остекления образовывался конденсат, который потом замерзал, но наледь образовывалась и в контрольном варианте.

На основании проведенных испытаний был разработан проект реконструкции производственных помещений тепличных хозяйств. Полученные результаты показали существенную экономию тепловой и

электрической энергии при использовании в тепличных комбинатах ограждающих конструкций с «регулируемым» сопротивлением теплопередаче, причем реконструкция теплиц по предлагаемому варианту не приводила к существенным капитальным затратам.

#### Библиографический список

1. Лузик А.И. Использование энергосберегающих технологий при реконструкции теплиц//Мир теплиц. 2007. №6. С. 14-17.
2. Смирнов Н.Н. Снижение нагрузок на системы энергоснабжения зданий при использовании энергосберегающих ограждающих конструкций с теплоотражающими экранами//Вестник ИГЭУ. 2008. №2. С. 59-63.

*В.Е. Азраков, студ.; рук. А.В. Коновалов, к.т.н., доц.*  
**ВОПРОСЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ  
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОГО  
МАТЕРИАЛА**

Технология производства электроизоляционных материалов связана с выбросами вредных веществ. Возникновение загрязнений, т.е. веществ не входящих в постоянный состав атмосферы и неблагоприятно воздействующих на окружающую среду и здоровье человека, происходит на всех стадиях производства. Основными выделяемыми вредными веществами от источников загрязнения являются: фенол, ацетон, уайт-спирит, толуол, а также формальдегид, эпихлоргидрин, этилцеллозольв, этиловый и изопропиловый спирты.

В большинстве случаев состав и количество газовых выбросов зависит от совершенства технологического процесса. Поэтому имеется два пути решения проблемы выбросов: создание эффективных очистных сооружений и разработка принципиально новых безотходных схем получения готовой продукции. Работа второго направления могут привести к решению одной из главных задач науки и техники – задаче создания безотходной технологии.

В настоящее время для очистки газовых выбросов широко применяются методы рекуперации органических продуктов (конденсация, абсорбция) и методы сжигания (термическое, каталитическое).

Сущность метода термического сжигания газовых выбросов состоит в окислении органических веществ кислородом воздуха до двуокси углерода и водяного пара при определённой температуре и времени контакта. Все реакции практически необратимы и идут с выделением тепла, которое в последствии утилизируется в теплообменном оборудовании.

Принцип действия установок каталитического дожигания (УКД) в основном тот же. Разница заключается в том, что с целью интенсификации процесса горения применяют катализаторы, позволяющие снизить температуру горения до 300-500 °С и сократить время пребывания выбросов в камере сжигания. Но затраты на техническое обслуживание УКД довольно велики, поскольку катализатор постепенно теряет свою активность и нуждается в периодической регенерации или замене.

Метод сжигания вредных примесей, способных окисляться, находит всё большее применение в промышленности для очистки технологических и вентиляционных выбросов различных производств.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция 1. Тепловые электрические станции

<i>Асташов Н.С.</i> Схема провеивания возврата до мельничного продукта в пылесистемах с шаровой барабанной мельницей. Рук. <i>Шувалов С.И.</i> .....	3
<i>Митюшов А.А.</i> Оценка микроповрежденности металла паропроводов по остаточной деформации. Рук. <i>Шувалов С.И.</i> .....	4
<i>Зорина Е.М.</i> Обработка результатов вакуумных испытаний турбоагрегата. Рук. <i>Ледуховский Г.В.</i> .....	6
<i>Коротков А.А.</i> Теплохимические испытания деаэраторов. Рук. <i>Ледуховский Г.В.</i> .....	8
<i>Малинина Н.А.</i> Повышение эффективности работы теплосилового цеха ОАО «Северсталь». Рук. <i>Ледуховский Г.В.</i> .....	9
<i>Крюкова К.Е.</i> Анализ работы теплофикационной установки Петрозаводской ТЭЦ. Рук. <i>Поспелов А.А.</i> .....	10
<i>Корниенко Е.А.</i> Реконструкция башенной градирни. Рук. <i>Орлов Г.Г.</i> .....	12
<i>Шаблин Ю.Г.</i> Реконструкция турбин Сургутской ГРЭС-1 для получения отборов пара на потребителя. Рук. <i>Орлов Г.Г.</i> .....	13
<i>Ожерельев Д.Э.</i> Реконструкция ротора ЦВД турбины К-300-240 с активного типа на реактивный. Рук. <i>Орлов Г.Г.</i> .....	14
<i>Рябов Д.М.</i> Утилизация тепла и водяных паров уходящих газов в тепловой схеме ТЭС. Рук. <i>Орлов Г.Г.</i> .....	16
<i>Романов И.С.</i> Выбор рациональной схемы очистки конденсаторов турбин крупных блоков ТЭС. Рук. <i>Орлов Г.Г.</i> .....	18
<i>Лашин А.О.</i> Автоматизированный курс по изучению обслуживания котлов-утилизаторов ТЭС. Рук-ли: <i>Шелыгин Б.Л., Мошкарин А.В.</i> .....	19
<i>Смирнов И.М.</i> Автоматизированный курс по изучению особенностей останова котлов-утилизаторов ПГУ. Рук-ли: <i>Шелыгин Б.Л., Мошкарин А.В.</i> .....	20
<i>Малков Е.С.</i> Автоматизированный курс по изучению пуска котлов-утилизаторов ПГУ в работу. Рук-ли: <i>Шелыгин Б.Л., Мошкарин А.В.</i> .....	21
<i>Лебедев И.С.</i> Разработка АУК по изучению схем регулирования температуры перегретого пара котельной установки неблочных ТЭС. Рук. <i>Муромкин Ю.Н.</i> .....	22
<i>Голыбин М.А.</i> Газовая турбина GT-26 Alstom в проекте	

расширения Петрозаводской ТЭЦ. Рук. Мошкарин А.В.....	23
<i>Бодунова М.С., Козлов А.Е.</i> Анализ показателей ПГУ-210 Новгородской ТЭЦ-20. Рук. Мошкарин А.В.....	24
<i>Мамонова М.С., Жамлиханов Т.А.</i> Реконструкция паровой турбины ПТ-60-130/13 для работы в составе ПГУ-210. Рук. Мошкарин А.В. ....	26
<i>Новожилов Д.А.</i> Анализ показателей работы ПГУ-410 Краснодарской ТЭЦ. Рук. Мошкарин А.В. ....	27
<i>Жамлиханов Т.А.</i> Анализ САПР оборудования и тепловых схем ТЭС. Рук. Мошкарин А.В. ....	29
<i>Жамлиханов Т.А.</i> Особенности эксплуатации блоков ПГУ мощностью 410 МВт на основе зарубежных газовых турбин в условиях отечественного климата. Рук. Мошкарин А.В. ....	31
<i>Моняков А.В.</i> Анализ эффективности вариантов термического обессоливания при расширении Пермской ТЭЦ-9. Рук. Мошкарин А.В. ....	32
<i>Григорьев Е.Ю.</i> Аэродинамические способы повышения вибрационной надёжности кольцевых диффузоров газовых турбин. Рук-ли: <i>Зарянкин А.Е., Парамонов А.Н., Носков В.В.</i> .....	33
<i>Будаков И.В., Буданов В.А.</i> Оптимизация температуры уходящих газов ПГУ-325. Рук. <i>Рабенко В.С.</i> .....	38
<i>Будаков И.В., Буданов В.А.</i> Методика комплексного теплового расчёта двухконтурной бинарной ПГУ утилизационного типа на переменном режиме. Рук. <i>Рабенко В.С.</i> .....	41

## Секция 2. Автоматизация технологических процессов

<i>Анфимичев И.А., Ганиев Э.И., Савельева М.А.</i> Системы экстремального управления в ПТК КВИНТ. Рук. <i>Тетеревков И.В.</i> .....	44
<i>Анфимичев И.А., Ганиев Э.И., Савельева М.А.</i> Адаптивные системы идентификационного типа в ПТК КВИНТ. Рук. <i>Тетеревков И.В.</i> .....	46
<i>Гизатулина С.Ю.</i> Регулирование режима энергосистемы по частоте. Рук. <i>Архангельская Е.Л.</i> .....	49
<i>Продан А.В.</i> Управление мощностью основных агрегатов ТЭС. Рук. <i>Кондрашин А.В.</i> .....	51
<i>Блудова Н.А.</i> Кластерный анализ в задаче оценки факторов надёжности и безопасной эксплуатации оборудования АЭС. Рук. <i>Кондрашин А.В.</i> .....	53
<i>Попов А.А.</i> Разработка учебного стенда на базе	

микропроцессорного контроллера Теконик. Рук. Таланов В.Д.....	54
Карасёв Н.С. Функциональные возможности СКАДА Текон. Рук. Таланов В.Д.....	55
Таланов С.В. Программный метод коррекции расходной характеристики регулирующего органа. Рук. Таланов В.Д.....	56
Чуланов Д.А. Разработка проекта для контроллера фирмы АВВ. Рук. Таланов В.Д.....	58
Кузнецов Д.Ю., Наумов Д.М. Разработка тестирующего модуля «Теория поля». Рук. Горнушкин А. Р.....	59
Наумов Д.М., Антипина А.С. Представление экспериментальных данных линейными функциями. Рук. Горнушкин А.Р.....	62
Печезеров С.Г. Аппроксимация экспериментальных данных методом наименьших квадратов с использованием ортогональных многочленов Чебышева. Рук. Горнушкин А. Р.....	64
Алексамян Е.Р., Меркулов А.М. Автоматизированный тепловой пункт. Рук. Таланов В.Д.....	66

### Секция 3. Технология воды и топлива

Карпычев Е.А. Анализ и пути повышения эффективности работы предварительной очистки ВПУ филиала «ОГК-3» «Костромская ГРЭС». Рук-ли: Опарин М.Ю., Максимов Н.А.....	68
Карпычев Е.А. Выбор коагулянта и флокулянта для коагуляции воды на базе пластинчатого осветлителя. Рук. Опарин М.Ю.....	70
Колегов А.В. Результаты испытаний системы автоматического химконтроля на ивановской ТЭЦ-3. Рук. Ларин А.Б.....	72
Учеваткина В.А. Проблема эксплуатации предочистки на ВПУ «ИвПГУ». Рук. Еремина Н.А.....	73
Кипчатова К.А. Совершенствование контроля за сточными водами химотделения ТЭЦ-ЭВС-2 ОАО «Северсталь». Рук. Ерёмина Н.А.....	75
Сухарев А.С. Очистка сточных вод от нефтепродуктов. Рук. Козюлина Е.В.....	76
Кипчатова К.А., Учеваткина В.А. Анализ методов утилизации отработанного ила. Рук. Ерёмина Н.А.....	78
Чиждова Е.В. Использование присадок для улучшения физико-химических свойств мазута. Рук. Козюлина Е.В. ....	79
Савинов М.П. Совершенствование системы контроля и управления водным режимом II контура АЭС с ВВЭР. Рук. Ларин А.Б.....	81
Касьянов В.А. Разработка автоматизированной обучающей системы «Водоподготовка котлов малой мощности	

УНЦ «ИГЭУ-De-Dietrich». Рук. Козюлина Е.В.....	83
Канаева Н.В. Технология обработки шламовых стоков на ОАО «Акрон» (г. Великий Новгород). Рук. Бушуев Е.Н.....	85
Харламова М.К. Технология водоподготовки на ОАО «Акрон» (г. Великий Новгород). Рук. Бушуев Е.Н.....	86
Павлычева Е.В. Химконтроль водного режима энергоблоков Псковской ГРЭС. Рук. Ларин Б.М.....	87
Суханов Н.С. Совершенствование водоподготовки Ростовской АЭС. Рук. Ларин Б.М.....	89
Красиков И.Ю. Разработка автоматизированной обучающей системы «Очистные сооружения сточных вод промышленных предприятий». Рук. Козюлина Е.В.....	90

#### Секция 4. Теоретические основы теплотехники

Солнышкова Ю.С., Родионов Г.А. К вопросу о паспортизации потребителей топливно-энергетических ресурсов. Рук. Бухмиров В.В.....	92
Пророкова М.В., Родионов Г.А. Энергетическое обследование учреждений здравоохранения на примере МУЗ «Шуйская стоматологическая поликлиника» Рук. Бухмиров В.В. ....	93
Гаськов А.К. Разработка программ энергосбережения для бюджетных организаций. Рук. Бухмиров В.В. ....	95
Гильмутдинов А.Ю. К вопросу определения допустимого количества воздуха, забираемого из главного корпуса ТЭС на технологические нужды. Рук-ли: Бухмиров В.В., Ракутина Д.В.....	97
Макаров С.Н. Реализация на ЭВМ лабораторной работы «Анализ процесса смешения двух потоков воздуха». Рук. Чухин И.М. ....	98
Марков А.О., Коробова Е.О. Разработка лабораторной работы на ЭВМ «Анализ процессов смешения газов в потоке». Рук. Чухин И.М. ....	101
Чухин Н.И. Теплогидравлический расчёт тепловой сети микрорайона ИГЭУ. Рук. Бухмиров В.В. ....	103
Замалютдинов Н.В. Виды и формы энергии. Рук. Созинова Т.Е.....	104
Зимин А.П., Лаврентичев Д.В. Модернизация имитационной модели рекуперативного теплообменного аппарата типа «Труба в трубе». Рук. Созинова Т.Е.....	105
Михайлова К.В., Вацуро Ю.А. Повышение энергетической эффективности многоквартирного дома за счёт утепления	

ограждающих конструкций. Рук. Ракутина Д.В.....	106
Погодин А.И., Зименков А.А. Энергосбережение в быту. Рук. Ракутина Д.В. ....	108
Соснина А.В., Спиридонова М.П. Разработка программы для расчёта экономии тепловой энергии при установке терморегуляторов системы отопления. Рук. Ракутина Д.В.....	110
Лапшин В.Н. Составление теплового баланса здания с применением автоматизированного вычислительного комплекса. Рук. Солнышкова Ю.С.....	112
Барабанова Н.В. Энергетическое обследование ООО «Многоотраслевое производственное объединение «Талинка». Рук. Гаськов А.К.....	114
Коровин М.С. Определение тепловых потоков в твёрдом теле при стационарном режиме для случая, когда коэффициент теплопроводности является функцией температуры. Рук. Козлова И.А.....	115
Чебоксаров Д.Е. Энергоэффективные технологии при производстве, транспортировке и потреблении тепловой энергии. Рук. Бухмиров В.В.....	117

### Секция 5. Промышленная теплоэнергетика

Мальшев К.В. Выбор первичного двигателя мини-ТЭЦ. Рук. Субботин В.И.....	119
Здухова А.С. Расчет тепловой схемы паровой котельной Сольвычегод- ского локомотивного депо в офисном приложении MS Excel. Рук. Махов О.Н. ....	121
Зайкова А.А., Тарасов К.С. Эффективность применения теплоотра- жающих жалюзи в окнах. Рук-ли: Захаров В.М., Смирнов Н.Н. ....	122
Марьянова Е.В., Лапатеев Д.А. Уменьшение потерь через оболочку канала тепловых сетей при использовании энергосберегающих экранов. Рук-ли: Захаров В.М., Смирнов Н.Н.....	124
Марьянова Е.В., Лапатеев Д.А. Разработка стенда по изучению работы холодильной установки. Рук-ли: Захаров В.М., Смирнов Н.Н.....	125
Гусева Д.А. К разработке научно-технологических решений создания современных интеллектуальных систем передачи и распределения энергии. Рук. Сенников В.В.....	126



Гомозов О.С. Разработка и создание устройства для улучшения процесса регулирования отпуска тепловой энергии за счёт применения в тепловых пунктах термогидравлического распределителя. Рук. Сенников В.В.....	127
Мурзин Н.В. О перспективах развития полевого метода прогнозирования динамики пожара в производственном здании. Рук. Овсянников М.Ю.....	129
Трояновский А.Б. Разработка модели оптимизации параметров теплоносителя в тепловых сетях. Рук. Авдюнин Е.Г. ....	131
Клак А.М. Разработка модели оптимизации системы централизованного теплоснабжения. Рук. Авдюнин Е.Г.....	132
Жидков Н.В. Проектирование коммуникаций технологического энергоснабжения. Рук. Арсёнов В.Г. ....	134
Зайкова А.А. Разработка методических указаний по расчёту центробежных насосов. Рук. Тимошин Л.И.....	135
Копылов В.М., Шаров А.В. Повышение энергетической эффективности работы водогрейных котлов. Рук. Васильев С.В. ....	136
Попова Н.Г. Разработка методических указаний по расчёту центробежных вентиляторов. Рук. Тимошин Л.И.....	137
Зайцева Д.А. Принцип расчёта гидравлических характеристик магистрально-разветвлённой водопроводной сети. Рук. Созинов В.П.....	137
Зайкова А.А., Лапатеев Д.А. Разработка и экспериментальное исследование энергосберегающей непрозрачной конструкции здания с применением теплоотражающих экранов. Рук-ли: Захаров В.М., Смирнов Н.Н.....	140
Лапатеев Д.А. Энергетический эффект от применения теплоотражающих экранов в теплицах. Рук-ли: Захаров В.М., Смирнов Н.Н.....	143
Азраков В.Е. Вопросы энергосбережения при производстве электроизоляционного материала. Рук. Коновалов А.В.....	145