

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ивановский государственный энергетический университет
имени В.И. Ленина»

НПО «Санкт-Петербургская электротехническая компания»

V ЮБИЛЕЙНАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

80-летию ИГЭУ посвящается

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ
1 – 2 ноября 2010 г.**

*Под редакцией профессора, доктора технических наук
А.В. Мошкарина*



Иваново

2010

УДК 621.311.621.438

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ // V Всерос. науч.-практ. конф.: 1–2 нояб. 2010 г. Материалы конференции. / Под ред. А.В. Мошкарина. – Иваново: ГОУ ВПО Ивановский государ. энергетический университет, 2010. – 376 с.

В материалах конференции отражены доклады, представленные специалистами ведущих исследовательских организаций, тепловых электростанций, энергетических систем и университетских центров по результатам их исследований в области тепло- и электроэнергетики. Тематика материалов охватывает широкий круг тепло- и электротехнических вопросов, связанных с инновациями в производстве, распределении и потреблении тепловой и электрической энергии, на тепловых электрических станциях, в водоподготовке и водных режимах ТЭС, в системах автоматизации и контроля, а также в разработке программных средств подготовки оперативного персонала.

Редакционный совет

Мошкарин А.В. (д.т.н., проф., председатель), Ларин Б.М. (д.т.н., проф.), Демин А.М. (к.т.н., доц.), Созинов В.П. (д.т.н., проф.), Мурзин А.Ю. (к.т.н., доц.), Козюлина Е.В. (к.т.н., доц.), Ключина С.В. (нач. УИУНЛ).

Секция «Повышение эффективности использования энергоресурсов на промышленных предприятиях и в тепловых сетях»

Председатель: д.т.н., проф. Созинов В.П.

Зам. председателя: к.т.н., проф. Субботин В.И.

В.В. Бухмиров, д.т.н., проф., дир. УМЦ ИГЭУ

СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ ЭНЕРГОАУДИТОРОВ В ИГЭУ

Одним из главных условий выполнения федерального закона № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» [1], принятого Государственной думой РФ 11 ноября 2009 года является наличие в нашей стране квалифицированных специалистов в области производства, передачи и потребления различных видов энергии. И такие кадры в нашей стране есть.

Специалистов-энергетиков готовят три профильных энергетических вуза: Московский государственный энергетический институт (технический университет), Ивановский государственный энергетический университет (ИГЭУ) и Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ), а также на ряде кафедр энергетического профиля в технических университетах. Однако выполнение энергетического обследования источников энергии, передающей тепловой или электрической сети и бытовых или технологических потребителей требует специальных знаний, которые можно приобрести в форме повышения квалификации в одном из действующих базовых образовательных центров по подготовке и повышению квалификации энергоаудиторов.

До выхода в свет Закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности ...» [1] подготовка энергоаудиторов проводилась в Учебно-методических центрах Систем добровольной сертификации, наибольшее распространение среди которых получила система РИЭР (управляющий орган системы «МАЭН»), курируемая Минпромэнерго. В рамках этой системы сертификации РИЭР и открылся Учебно-методический центр ИГЭУ 5 февраля 2009 года, получив все разрешительные документы в АРИЭР «МАЭН».

В соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 1 декабря 2009 г. №1830-р «Об утверждении плана мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности...»

[2] Министерство энергетики РФ выпустило приказ от 7 апреля 2010 г. №148 «Об организации работы по образовательной подготовке и повышению квалификации энергоаудиторов для проведения энергетических обследований ...» [3]. В Приложении 1 к приказу Минэнерго №148 дан перечень базовых образовательных центров по подготовке энергоаудиторов. Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина был включен в этот список по рекомендации трех ведомств: АРИЭР «МАЭН», Министерство образования и науки и Министерство энергетики.

В настоящее время Учебно-методический центр ИГЭУ проводит обучение энергоаудиторов по двум программам, прошедшим сертификацию в системе РИЭР:

- *Энергетические обследования (энергоаудит) тепло- и топливопотребляющих установок и сетей;*
- *Энергетические обследования (энергоаудит) электрических установок и сетей.*

Работая по двум формам обучения (очно-заочной и заочной) на 20 сентября 2010 года своей деятельности Учебно-методический центр ИГЭУ подготовил более 450 энергоаудиторов из 44 регионов Российской Федерации.

Непрерывно совершенствуя содержание курса подготовки энергоаудиторов, наряду с лекционными занятиями, которые заканчиваются, как правило, дискуссией, слушатели приобретают навыки инженерных расчетов на семинарских занятиях. Практические навыки работы с приборами энергоаудита слушатели УМЦ получают, выполняя инструментальное обследование котельной энергетического университета, во время которого проводится и тепловизионная съемка объекта.

Занятия на курсах повышения квалификации в Учебно-методическом центре проводят опытные специалисты-энергоаудиторы, которые сами активно участвуют в проведении энергетических обследований. Наряду с работниками нашего ВУЗа к проведению занятий привлечены ведущие специалисты-практики из Иванова, Ярославля, Владимира и Москвы.

Все слушатели УМЦ ИГЭУ получают комплект раздаточных материалов, подборку нормативно-методических документов в печатном виде и на CD-диске. По окончании обучения энергоаудиторы проходят итоговое тестирование, по результатам которого им выдается Удостоверение о краткосрочном повышении квалификации государственного образца и Сертификат соответствия системы РИЭР.

Отметим некоторые наиболее важные аспекты, связанные с выполнением Закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эф-

фективности ...» [1], рассматриваемые в рамках учебных программ УМЦ ИГЭУ:

- *Энергетическая стратегия России на период до 2020 года;*
- *Управление энергосбережением. Определение стоимости энергетических обследований. Обоснование источников финансирования;*
- *Основы договорных отношений при использовании ТЭР;*
- *Анализ показателей энергетической эффективности;*
- *Основы передачи тепловой и электрической энергии. Балансы тепловой и электрической энергии;*
- *Расчет нормативов технологических потерь при передаче тепловой и электрической энергии, расчет удельных расходов топлива, расчет нормативов создания запасов топлива;*
- *Инструментальное и документальное обследование объектов;*
- *Практические вопросы энергоаудита;*
- *Определение потенциала энергосбережения;*
- *Разработка программ энергосбережения;*
- *Оформление отчета и энергетического паспорта.*

В наших планах расширение номенклатуры программ подготовки энергоаудиторов. Разрабатываются программы повышения квалификации объемом большим, чем 72 часа, включая программу переподготовки объемом до 500 учебных часов. Существующие программы подготовки энергоаудиторов широкого профиля в следующем 2011 году будут дополнены учебными программами узкой направленности: энергоаудит зданий и сооружений, энергоаудит промышленных котельных и т.д. Завершается работа над учебными программами подготовки экспертов по расчету нормативов технологических потерь тепловой и электрической энергии, расчету нормативов удельного расхода и запасов топлива.

Нисколько не умаляя заслуг коллег из других базовых образовательных центров, отметим ряд преимуществ обучения специалистов-энергоаудиторов в Учебно-методическом центре ИГЭУ:

- ИГЭУ – государственный университет;
- ИГЭУ – профильный энергетический университет;
- ИГЭУ – университет, располагающий высококвалифицированными преподавателями во всех отраслях энергетики;
- ИГЭУ – активный участник на рынке энергоаудита.

Библиографический список

1. **Федеральный Закон** 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. **Распоряжение Правительства** Российской Федерации от 1 декабря 2009 г. №1830-р «Об утверждении плана мероприятий по энергосбережению и повышению в Российской Федерации, направленных на реализацию Федерального закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

3. **Приказ Министерства** энергетики РФ от 07.04.2010 г. №148 «Об организации работы по образовательной подготовке и повышению квалификации энергоаудиторов для проведения энергетических обследований в целях эффективного и рационального использования энергетических ресурсов».

В.И. Мешков, техн. директор (ООО ТД «Теплопромпроект», г. Москва)

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ КЕРАМОВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

В данной статье использованы данные, полученные в результате обследования изоляции и обмуровки 80 энергоблоков, или около 10 % всех технологических мощностей России, обследованных Испытательным центром ОАО «Фирма Энергозащита» с 1982 года по 2004 год и продолжающихся по настоящее время. Для детальной информации заинтересованные лица могут обратиться к статье под названием «Состояние тепловой изоляции на электростанциях РАО ЕЭС России» под редакцией М.Г. Звонарева, кандидата технических наук, руководителя испытательного центра ОАО «Фирма Энергозащита», опубликованной в журнале «Энергосбережение» [1].

Общий вывод данного обследования следующий: «В целом состояние тепловой изоляции в энергетике следует признать неудовлетворительным, хотя положение может быть исправлено долгой постоянной работой, в соответствии с Циркуляром Ц-01-2004 (Т) «Организация контроля за состоянием и ремонтом обмуровки и тепловой изоляции в целях снижения потерь тепла и температур до нормативных значений».

Величина сверхнормативных потерь тепла через теплоизоляцию и обмуровку, исходя из 140 млн кВт действующих мощностей тепловых электростанций России, с учетом потребления ими газа, мазута и угля, оценивается «Фирмой Энергозащита» в 3 млрд. руб. в ценах 2003 года. В

2010 году эта величина увеличилась в 2-3 раза из-за роста цен на энергоносители.

В данной статье также идет речь о Приложении №1 к СНиП 2.09.14-88 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов», в котором из указанных 16 позиций изделий, пригодных к использованию для изоляции энергетического оборудования, 7 позиций практически не производится, а 4 позиции волокнистых изделий в качестве изоляции имеют ряд характерных особенностей. Рассмотрим эти позиции волокнистой изоляции подробнее:

- стекловолокнистые изделия, ограничены по применению температурой горячей поверхности 180 °С;

- изделия из минеральной ваты с модулем кислотности ниже 1,8, из-за рекристаллизации волокна, в сочетании с вибрационным воздействием, саморазрушаются в прилегающем к горячей поверхности слое, в результате чего конструкция сохраняет расчетные характеристики не более 3-6 месяцев на температурах 400° и выше. Результат – повышение теплопотерь в 2,5 раза через год или до 30% при меньших температурах. Соответственно, согласно п. 2.12 СНиП, их не следует использовать для оборудования и трубопроводов, подвергающихся ударному воздействию и вибрации, к которым относятся практически все энергетическое оборудование;

- изделия из базальтового супертонкого волокна (БСТВ) и изделия из минеральной ваты энергетической с модулем кислотности 2,2 определены как вибростойкие и рекомендованы к использованию до 700 °С. Однако, и этим изделиям свойственны также процессы деградации (плюс железистый распад волокна у БСТВ), что и минеральной вате с модулем кислотности ниже 1,8. В результате повышение теплопроводности конструкций из этих изделий составляет 25 % через 2-3 года, и оно продолжает возрастать при дальнейшей эксплуатации. Кроме того, отмечены многократные случаи усадки БСТВ с объемной массой 60 кг/м³ при обязательном минимуме 80 кг/м³ в связи с исключительной трудоемкостью уплотнения этого материала. В результате чего сразу после установки, теплопроводность конструкции оказывается на 20 % выше той, что заложена в проекте. Отмечу, что данные изделия не имеют постоянной плотности и подвержены процессу вибрационного уплотнения, так как в них отсутствуют процессы релаксации из-за свободно-пространственного расположения волокон в холсте;

- изделия из муллитокремнеземистого керамического волокна МКРР-130 и МКРВ-200 служат на энергетическом оборудовании неопределенно долго, поскольку их рабочая температура 1150 °С, но имеют по-

вышенное вибрационное уплотнение в процессе эксплуатации. Кроме того, их волокна связаны между собой органическим связующим, которое выгорает, и механическая прочность мата обеспечивается только за счет переплетения волокон, а значит, очень мала.

Вывод: большинство материалов, традиционно применяемых в энергетике, не в состоянии обеспечить норматив тепловых потерь в соответствии со СНиП 2.04.14-88 на нормативный срок службы в 10-15 лет, за исключением комбинированной конструкции или новых высокотехнологичных керамоволокнистых материалов.

Далее приведем примеры расчетов толщин, плотностей, сроков службы и прогноза изоляционных конструкций, произведенных ОАО «Фирма Энергозащита» для поверхности температурой 400 °С и выше для трубопровода диаметром 325 мм (острый пар – самый протяженный трубопровод широко распространенного блока 200 МВт) для обеспечения действующей нормы СНиП.

1. Изоляция матами БСТВ.

Толщина изоляционного слоя 320 мм, плотность не менее 80 кг/м³. После демонтажа повторному использованию не подлежит. Прогноз – превышение нормативных потерь на 25 % и более после 3-х лет эксплуатации.

2. Изоляция матами БСТВ в обкладке из стеклоткани КТ-11 для сьемности конструкции.

Толщина изоляционного слоя 320 мм плотность более 80 кг/м³. Один монтаж/демонтаж – это 25 % потерь объема. Прогноз – превышение нормативных потерь на 25÷30 % после 3-х лет эксплуатации. Существенный недостаток – высокая стоимость.

3. Изоляция из матов прошивных базальтовых энергетических. Толщина изоляционного слоя – 180 мм плотность более 80 кг/м³. После демонтажа повторному использованию подлежит не более 65 % материала. Прогноз – превышение нормативных потерь на 25÷30 % после 3-х лет эксплуатации.

4. Изоляция из матов прошивных базальтовых энергетических с модулем кислотности 2-2,2 в обкладке из стеклоткани КТ-11 для сьемности конструкции. Толщина изоляционного слоя - 180 мм, плотность более 80 кг/м³. После демонтажа повторному использованию подлежит не более 65 % объема. Прогноз – превышение нормативных потерь на 25÷30 % после 3-х лет эксплуатации.

5. Комбинированная изоляция: первый слой – 40 мм муллитокремнеземистой ваты МКРР-130 и 240 мм холста БСТВ. Демонтаж нежелателен. При одном демонтаже потери МКРР из-за низкой механической

прочности и 25 % от объема холста БСТВ. Прогноз – без изменений характеристик материалов – 10-15 лет.

6. Комбинированная изоляция: в обкладке из стеклоткани КТ-11 – первый слой 40 мм МКРР130 и 240 мм холста БСТВ в обкладке из стеклоткани Т-23. Монтаж - демонтаж до 7-10 раз. Потери возрастут на 10÷15 % после 2-3 демонтажей за счет снижения объемов БТЦВ, прилегающих к МКРР-130. Высокая стоимость изделия. Прогноз - 10-15 лет.

7. Комбинированная изоляция: первый слой МКРР-130 и 150 мм матов прошивных базальтовых энергетических. Демонтаж нежелателен. При демонтаже - потери в обоих слоях. Прогноз – 10-15 лет.

8. Комбинированная изоляция: первый слой – 40 мм МКРР-130 в обкладке из стеклоткани КТ-11 и 150 мм матов прошивных базальтовых энергетических в обкладке из стеклоткани Т23. После 2-3-х демонтажей потери порядка 10÷15 % матов из-за охрупчивания базальта. Прогноз – 10-15 лет. Высокая стоимость.

Таким образом, при рассмотрении всех 8-ми вариантов можно сделать вывод, что применяемые материалы либо не обеспечивают соблюдение нормативных потерь, либо не подлежат демонтажу, либо дорогостоящие. И во всех вариантах, используемые в настоящее время холсты и маты из базальтовых материалов в период эксплуатации приводят к теплотерям и разрушаются вследствие охрупчивания и без муллитокремнеземистого волокна. Их применение нежелательно.

Данные исследования проводились в то время, когда на российском рынке не были широко представлены высокотехнологичные изделия из керамического (муллитокремнеземистого) волокна, а именно иглопробивные одеяла (маты). Данный материал идеально подходит для теплоизоляции и обмуровки энергоблоков и широко применяется в таких странах как Евросоюз, Америка, Япония, Китай в огромных объемах. Он лишен всяких вышеперечисленных недостатков.

Преимущества керамоволокна:

- Срок службы до 25 лет.
- Монтаж/демонтаж - неограниченное количество раз.
- Температура применения – 1150 °С. Только в нашей компании

ООО ТД «Теплопромпроект» имеется марка керамических матов ЛУТХ - 1140° с температурой применения 950 °С, соответственно с меньшей ценой. Этот материал не охрупчивается и может многократно применяться даже при «отпуске» сварных швов на трубопроводах.

- Обладает высокой механической прочностью из-за структуры полотна, пронизанной в перпендикулярном направлении теми же волокнами.
- Не виброуплотняется и не слеживается по той же причине. Прекрасно держит форму и релаксирует при сжатии.
- Имеет три постоянных плотности: 96,128,160 кг/м³. Его не нужно уплотнять, он постояен в своих геометрических размерах.
- Широкий диапазон типоразмеров в отличие от волокнистых материалов, применяемых сейчас (длина одеял от 20 м до 4 м, а ширина 610 мм и 1220 мм).
- Имеет толщины: 6, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 мм. В результате их комбинаций можно подобрать оптимальную толщину без перерасхода материала.
- Гибок и эластичен, при оборачивании даже небольших диаметров, держит толщину и плотность.
- Монтируется очень просто и удобно с гарантией плотности по всей монтажной поверхности.
- Легко режется, кроится, делаются отверстия при помощи самых простых ручных инструментов.
- Не нуждается в обкладках из тканей, металлических сеток и т.п. для многократного применения за счет самой структуры полотна.
- Обладает низкой теплопроводностью, как все волокнистые материалы.
- При попадании влаги, масла, после высыхания и форма и все теплофизические показатели сохраняются.
- Не подвержен действию кислот, за исключением фтористоводородной и фосфорной.
- Негорючий материал и не содержит никаких связующих, в отличие от МКРР-130 и МКРР-200.
- Экологически безопасен, как БТСВ, и является заменителем асбеста.
- По цене соизмерим с волокнистой изоляцией.

По нашим расчетам массовое применение одеял (матов) из керамического волокна даст экономический эффект в энергетическом комплексе России от 3 до 5 млрд. руб. за счет снижения трудоемкости, долговечности, многократности применения и упрощения обслуживания данных материалов по сравнению с традиционными теплоизоляционными материалами. А главное, с их внедрением будут предотвращены теплопотери,

которые не наступят через 2-3 года и не будут прогрессивно увеличиваться в дальнейшем.

Керамоволокнистая теплоизоляция широко используется в машиностроении, черной и цветной металлургии, стекольной и керамической промышленности, и, к сожалению, мало в энергетике по ряду субъективных причин.

С появлением низкотемпературных керамоволокнистых матов ЛУТХ и их приемлемой ценой этот материал должен занять одно из ведущих мест в ряду теплоизоляционных материалов, применяемых в энергетическом комплексе.

Хочется отметить, что в нашей компании имеются иглопробивные одеяла не только муллитокремнеземистого состава ($Al_2O_3 + SiO_2$), а так называемые «растворимые» (на основе оксида кальция). Они применяются в тех агрегатах, где предъявляются повышенные экологические требования. При всех тех же теплотехнических и физико-механических характеристиках, они, при попадании в организм человека, там же растворяются из-за своего химического состава.

Применение современных высокотехнологических керамоволокнистых материалов в энергетике можно сравнить с заменой ламп накаливания на энергосберегающие, дров и угля – на газ.

В заключение нужно привести примеры применения одеял из керамоволокна в энергетике и котлостроении. Нашими клиентами в этой области явились такие известные компании как ЗАО «ЭНЕРГОМАШ (Белгород)» (материалы для котла-утилизатора Астраханской ТЭЦ), ОАО «ДОРОГОБУЖКОТЛОМАШ» (материалы для котла – утилизатора УВ – 60/150), ЗАО «ИНТЕРТЕХЭЛЕКТРО», Ноябрьская ПГЭ, ЗАО «ЭВАН», ООО завод «ГАЗПРОММАШ», ОАО «Каширский завод металлоконструкций и котлостроения» (материалы для котла-утилизатора Пр-230/56,3-7,61/0,65-527/207 для ПГУ-230 Южной ТЭЦ, котла-утилизатора Пр-228/47-7,86/0,62-515/230 для ПГУ-450 ТЭЦ-22 Южная, котёл-утилизатор паровой для Юго-Западной ТЭЦ, котёл-утилизатор на Сочинской ТЭЦ) и другие.

Библиографический список

1. М.Г. Звонарев, к.т.н, доцент «Состояние тепловой изоляции на электростанциях РАО «ЕЭС России», журнал «Энергосбережение», № 4/2004.

**В.И. Субботин, проф., к.т.н, В.П. Созинов, проф., д.т.н.,
Л.И. Тимошин, к.т.н., доц., О.Н. Махов, к.т.н., доц.,
Е.С. Ставровский, к.т.н., доц. (ИГЭУ), В.В. Омельченко, нач. цеха
теплогазовоздухоснабжения (ТГВС), Е.Л. Тимошин, нач. оперативно-
ремонтной службы цеха ТГВС (ОАО «Монди» Сыктывкарский ЛПК)**

ЭНЕРГОАУДИТ СИСТЕМЫ ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Анализ работ в области энергосбережения при производстве сжатого воздуха показывает, что существующие методы оценки энергозатрат в системе основываются в основном на расчете эффективности работы элементов системы воздухообеспечения (СВС).

Целью работы является выявление возможностей повышения эффективности СВС лесопромышленного комплекса (ЛПК) при помощи комплексного термодинамического, аэродинамического, гидравлического и технико-экономического анализа системы и ее элементов, разработка на этой основе путей снижения потерь в системе и предложений по реализации энергосберегающих мероприятий. Достижение указанной цели осуществляется путем проведения энергоаудита системы производства и распределения сжатого воздуха. Он позволяет проанализировать использование основных энергоресурсов: электроэнергии и воды в данном производстве, удельные показатели на выработку сжатого воздуха, выявить место их нерационального использования, разработать программу энергосберегающих мероприятий и проектов.

В рамках энергетического аудита на компрессорных станциях КС-1 и КС-2 было проведено инструментальное обследование работающих компрессоров, градирни, установки осушки воздуха. Главная цель инструментального обследования – дать по агрегатную оценку работе компрессоров, оценить эффективность работы воздухоохладителей градирни, установки осушки воздуха.

Инструментальное обследование проводилось в соответствии с «Методикой определения энергетической эффективности работы установок компрессорных станций» и «Временной методикой проведения энергетического аудита компрессорной станции».

Для проведения необходимых измерений использовались показания переносных приборов таких как, термометр цифровой ДТ-250, пирометр Raytek-Raunger 5T, ультразвуковой расходомер Portaflow (МК11-R360), а также показания штатных приборов щита управления станции.

В настоящее время КС № 1 выступает в роли вспомогательной компрессорной станции для покрытия пиковых нагрузок воздухоснабжения ЛПК, на ней установлены малопроизводительные и энергозатратные поршневые компрессоры. Основной же станцией является компрессорная станция № 2, оснащенная более производительными центробежными компрессорами К-250 (4 шт.). Цеховая себестоимость по КС № 1 – 287,33 руб/тыс.м³, КС № 2 – 42,38 руб/тыс.м³.

Выполненное инструментальное обследование компрессоров КС №2 и термодинамический анализ их работы показывает, что компрессоры № 1 и № 2 имеют худшие термодинамические показатели, а именно изотермический КПД, и удельные расходы электроэнергии (соответственно: № 1 – 60,91 %; 125,913 и № 2 – 61,98 %; 124,659 кВт·ч/тыс. м³). Для компрессора К-250 паспортные данные: изотермический КПД $\geq 65\%$, удельный расход электроэнергии 106,666 кВт·ч/тыс.м³. Учитывая низкий КПД этих компрессоров и большой срок эксплуатации, необходим их капитальный ремонт с заменой роторов.

Поскольку производительность каждого поршневого компрессора не измеряется, а только их общая, поэтому работоспособность этих компрессоров оценили по удельной работе сжатия. В летний период года она находится в интервале 228÷263 кДж/кг, а в зимний – 238÷277 кДж/кг при необходимом давлении 8,5÷9 кгс/см². Все это говорит об удовлетворительной работе поршневых компрессоров. Однако цеховая себестоимость КС №1 больше цеховой себестоимости КС № 2 в 6 раз. На основании вышеизложенного КС № 1 лучше держать в резерве.

Существующая вентиляционная градирня (3 секции) работает не эффективно, температурный перепад 3,1 °С, что меньше паспортного (8 °С). Причины недоохлаждения: недостаток разбрызгивателей, засорение, недостаточная поверхность орошения. Охлаждение воздуха в ВО осуществляется в данном случае за счет большого расхода воды 1115 м³/ч (по результатам обследования) вместо 744 м³/ч (паспортные данные компрессоров). На основании изложенного требуется новая градирня на 4 секции.

Обследование охладителей воздуха компрессоров КС № 2 и его анализ показывает, что только один ВО компрессора № 4 соответствует нормативу: воздух охлаждается до 37 °С, обеспечивая минимальную работу сжатия в секции. Воздухоохладители остальных компрессоров не обеспечивают необходимое охлаждение (температура воздуха 45-56 °С).

Проанализировано влияние температуры атмосферного воздуха на производительность КС № 2. Так для компрессора К-250 производитель-

ность компрессора изменяется на 27 % от 14,2 тыс. м³/ч (- 30 °С) до 10,29 тыс. м³/ч (+ 30 °С). Таким образом, в летнее время при Т = 25-30 °С компрессор может создать производительность только ~ 10 тыс. м³/ч. Минимальная производительность в летний период КС №2 (4-х компрессоров) составляет 35 тыс. м³/ч, а максимальная в зимний - 54 тыс. м³/ч. Полученные аналитические зависимости изменения производительности КС № 2 от температуры воздуха при заданном давлении приведены в табл. 1.

Таблица 1. Зависимость производительности компрессора от температуры воздуха

Абсолютное давление на нагнетание, бар	Значение
8,4	$V = - 222 t + 49280$
8,5	$V = - 245,6 t + 47485$
8,7	$V = - 201,46 t + 47477$
8,8	$V = - 229,72 t + 42549$
9	$V = - 417 t + 44007$

Определено количество выпадающей влаги в компрессорах КС № 2 (охладители воздуха), агрегатах воздушного охлаждения, блоках осушки воздуха (1421,6 кг/ч), а также количество водяных паров, уносимых в трубопроводы технологического воздуха (185,8 кг/ч).

Были построены графики потребления сжатого воздуха за последние три года. По графикам не выявлено сезонного изменения потребления воздуха. По максимальным расходам сжатого воздуха рассчитывалась аэродинамика сетей, составлен генеральный план предприятия с нанесением воздухопроводов. Разница между потреблением и выработкой технологического воздуха составила 17 %, осушенного – 5 %. На некоторых участках скорость сжатого воздуха высока (до 18 м/с). При существующей схеме давления у многих потребителей соответствует технологическому регламенту. Более низкие реальные давления удаленных потребителей обусловлены утечками сжатого воздуха, несанкционированными врезками. Предлагаемый первый этап реконструкции – отключение сторонних удаленных потребителей, не входящих в состав ЛПК. При поддержании давления в рамках технологического регламента у потребителей в результате расчетов получено необходимое избыточное давление компрессорных станций, которое составило для технологического воздуха: компрессорной №1 - 7,67 кг/см²; компрессорной №2 - 8,92 кг/см²; для осушенного воздуха: компрессорной №1 - 6,42 кг/см²; компрессорной №2 - 6,16 кг/см².

Второй этап реконструкции предполагает включение новых потребителей по программе развития комбината и децентрализацию удаленных

потребителей, при этом используются в работе обе компрессорные станции. В результате расчетов получили избыточные давления технологического воздуха: компрессорной №1 – 7,67 кг/см²; компрессорной №2 – 9,25 кг/см²; для осушенного воздуха: компрессорной №1 – 6,42 кг/см²; компрессорной №2 – 6,16 кг/см².

По результатам аэродинамического расчёта можно сделать следующие выводы и предложить мероприятия.

В аэродинамическом расчёте всех предложенных вариантов суммарное падение давления на участках главной магистрали получилось больше за счёт тех участков, где скорость превышает допустимую. На этих участках необходимо переложить трубопроводы (увеличить диаметр) или рядом проложить дополнительный. В результате можно существенно снизить давление сжатого воздуха на выходе с компрессорной станции.

– для увязки давления у потребителей необходимо установить в цеховую сеть сжатого воздуха регуляторы давления (в настоящее время ближние от компрессорных станций потребители имеют давления, превышающие давления по технологическому регламенту, а дальние - недостаток;

– необходимо установить расходомеры перед всеми потребителями, чтобы иметь реальную картину распределения сжатого воздуха по предприятию. По реальной разнице между выработкой на компрессорных станциях и потреблением можно судить о величине потерь в сетях и принимать соответствующие оперативные действия;

– децентрализация системы воздухообеспечения не даёт экономического эффекта за счёт экономии электроэнергии, но повышает её надежность, исключая при периодическом использовании сжатого воздуха у удаленных потребителей, перемерзание воздухопроводов, большие утечки через неплотности.

Третий этап реконструкции предполагает перенос всех нагрузок на вторую компрессорную станцию, при этом потребители такие же как и при втором этапе реконструкции.

Предлагается на КС № 2 установка в существующем здании компрессора К-500 и новой 4-х секционной вентиляторной градирни по 500 м³/ч воды, т.е. на 2000 м³/ч, рядом с существующей. В результате аэродинамического расчета получили давления технологического воздуха: компрессорной №2 – 9,25 кг/см², для осушенного воздуха: компрессорной №2 - 6,46кг/см².

Выполненное ТЭО по этому варианту показывает, что себестоимость производства воздуха после установки нового оборудования составит 73,76 руб/тыс.м³ вместо 83,27 до реконструкции, планируемый годовой

экономический эффект 5232,5 тыс.руб/год, срок окупаемости капитальных вложений в реконструкцию 4,2 года; чистый годовой доход от реконструкции 5064,7 тыс.руб/год; чистый дисконтированный доход от проведения реконструкции 2905 тыс.руб, индекс доходности (при ставке дисконта 20 %) $PI = 1,13$.

Таким образом, расчеты показывают, что проведение реконструкции для данных условий экономически целесообразно.

Технико-экономические расчеты, выполненные по реконструкции КС № 2 с импортными компрессорами Comegon моделей TA 20 000 и TA 9 000 (2 шт.), показали нецелесообразность применения этих вариантов в связи с большой стоимостью оборудования.

Ввод в эксплуатацию компрессора К-500 позволит отказаться от услуг КС № 1, что даст возможность исключить попадание масла в сжатый воздух, более рационально распределить воздухопотоки к потребителям, перейти на децентрализацию воздухообеспечения отдаленных потребителей, тем самым обеспечить надежное и качественное воздухообеспечение основных потребителей.

*А.Г. Лаптев, д.т.н. (кафедра «ТВТ» КГЭУ),
М.И. Фарахов, д.т.н., директор (ООО Инженерно-внедренческий
центр «Инжесхим»), Р.М. Минигулов, к.т.н., нач. департамента
(ОАО «НОВАТЭК»)*

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ НА УСТАНОВКАХ КОМПЛЕКСНОЙ ПОДГОТОВКИ И ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

В работе рассмотрено решение ряда задач, связанных с повышением эффективности проводимых процессов и энергоресурсосбережением, доведенных до промышленного внедрения на установках очистки и переработки углеводородных смесей с большим экономическим эффектом.

Газ, подаваемый в магистральный газопровод, должен быть очищен от механических и агрессивных химических примесей и осушен.

Природный газ, добываемый из месторождений, обычно содержит различные механические твердые и жидкие примеси в виде песка, пыли, воды, масла, конденсата, сварочного грата, окалины, сернистых соединений и др. Жидкие примеси - частицы воды и конденсата, скапливаясь в

пониженных местах газопровода, также сужают его сечение и способствуют образованию гидратных и гидравлических пробок. Все это может привести к значительному снижению пропускной способности газопровода, в результате увеличения коэффициента гидравлического сопротивления и потерь давления газа.

Важным показателем газа, влияющим на надежность работы газоперекачивающих агрегатов и износ трубопроводов, является содержание механических примесей. Исходя из опыта эксплуатации газотранспортных систем, оно должно составлять не более 3 мг на 1 м³ газа.

Аппараты для очистки газов и паров от твердых и жидких механических включений являются важной составляющей частью при комплектации технологической аппаратуры в энергетике, а также в химической, нефтехимической и родственными им отраслям промышленности. Разнообразие условий работы установок и поставленных задач вызывают необходимость в создании новых конструкций сепарирующей аппаратуры или модернизации действующей.

Основные методы энерго- и ресурсосбережения используемые и развиваемые в данной работе при подготовке природного газа заключаются в следующем:

1. Очистка природного газа перед подачей в транспортные трубопроводы от дисперсной фазы (мелкие капли и твердые частицы). Это обеспечивает снижение гидравлического сопротивления трубопроводов, т.к. известно, что даже при концентрации дисперсной фазы 0,1 кг/кг перепад давления каналов увеличивается на 25 %, при 0,3-0,4 кг/кг - в два раза. Соответственно возрастает и мощность, необходимая на перекачку газа.

2. Перед подачей природного газа в теплообменные аппараты удаление дисперсной фазы обеспечит значительное снижение термического сопротивления теплопередающих поверхностей и стабильную работу теплообменников. Это дает экономию энергоносителей (тепло- или хладагентов).

3. Очистка природного газа от дисперсной фазы перед подачей в аппараты установки комплексной подготовки газа (УКПГ). При этом достигаются цели:

- а) увеличение срока службы абсорбентов;
- б) снижение гидравлического сопротивления адсорберов;
- в) снижение гидравлического сопротивления трубопроводов и другого оборудования;
- г) повышение ресурса оборудования.

Процессы переработки газов можно разделить на 2 группы: первичные и вторичные. К первичным отнесены процессы выделения из при-

родных и нефтяных газов отдельных компонентов и фракций. К вторичным отнесены процессы глубокой переработки отдельных компонентов или фракций, выделяемых из газовых смесей (пиролиз индивидуальных углеводородов, производства моторных топлив из конденсата, производства газовой серы и т.д.)

Основные методы энергосбережения при вторичной переработке углеводородов следующие [1]:

1. Для процессов ректификации – использование высокоэффективных контактных устройств взамен устаревших и оптимизация режимов работы колонн. Это обеспечивает снижение расхода флегмы, и, соответственно, расходов теплоносителей в кипятильниках и дефлегматорах.

2. Для процессов абсорбции и хемосорбции – внедрение высокоэффективных контактных устройств и распределителей фаз, которые обеспечивают значительное снижение гидравлического сопротивления колонн и расхода энергии на подачу газов и паров.

3. Очистка газов, паров и жидкостей от дисперсной фазы отрицательно сказывается и на работе тепло- и массообменного оборудования. Например, удаление свободной воды из углеводородных смесей, удаление масляного тумана из газов, очистка газов от мехпримесей и т.д.

Кроме энергосбережения перечисленные выше методы также обеспечивают повышение качества выпускаемой продукции на предприятиях химической, нефтехимической, газовой и других отраслей промышленности.

Очистка природных газов

Для обеспечения высокого коэффициента эффективности работы действующего газопровода, поступающий в него газ для дальнего транспорта должен быть очищен от механических примесей, влаги, сероводорода, углекислоты и других посторонних веществ (включений). Очистка и осушка газа осуществляется на специальных установках, размещаемых на головных сооружениях магистральных газопроводов и на газоразделительных станциях.

Для модернизации основного оборудования очистки природного газа авторами используются разработанные научно-технические решения. Среди них мультикассетные кольцевые сеччатые сепарационные насадки - МКН. Их отличительная особенность - возможность полной разборки, позволяющая проводить регулярное техническое обслуживание промывкой и пропаркой в разобранном виде без дополнительных затрат материалов, которые ведут к загрязнению окружающей среды. Экономиче-

ский эффект от внедрения насадок МКН составляет более 25 млн. руб. в год. Кроме насадок МКН в газосепараторах успешно используются контактные элементы «Инжехим».

Для условий добычи углеводородов в районах Крайнего Севера разработан вариант модернизации установки для комплексной подготовки природного газа, включающая систему для осушки газа, состоящую из адсорберов для сорбции и регенерации, теплообменников и трубопроводов. С целью снижения энергозатрат технологическая схема установки дополнительно снабжена контуром растепления грунтов и трубопроводами для антифриза, причем трубопроводы вывода газа регенерации из адсорберов соединены с теплообменниками и трубопроводами для антифриза.

Использование установки позволяет сократить годовой расход электроэнергии на 240 тыс. кВт за счет отключения четырех АВО газа регенерации мощностью 11 кВт каждый и годовой расход тепла на 6800 Гкал.

Массообменные процессы

Для модернизации колонных аппаратов разделения углеводородов в ИВЦ "Инжехим" разработаны регулярные насадки и распределители потоков. Насадки обеспечивает высокую разделяющую способность в широком интервале нагрузок по газу (пару) и жидкости.

Авторами разработаны несколько видов неупорядоченной насадки. Все они отличаются технологичностью изготовления, простотой конструкции и обеспечивают высокие массообменные характеристики и низкое гидравлическое сопротивление.

Разработанные насадки нашли успешное применение в десятках тепло- и массообменных колоннах на предприятиях ТЭК. Например, для разделения этаноламинов и этиленгликолей. Экономический эффект от энергосбережения и повышения качества продукции составляет более 50 млн. руб. в год только на двух установках.

Решены задачи энергосбережения при переработке тяжелых остатков нефтяных топлив на Сургутском заводе стабилизации конденсата (ЗСК) и их эффективной утилизации с получением тепловой и электрэнергии. Сделаны расчеты и разработана эффективная конструкция вакуумной колонны для переработки тяжелого остатка основной колонны установки получения моторных топлив ЗСК, обеспечивающая уменьшение затрат энергии на нагрев.

Разработаны высокоэффективные тарельчатые и насадочные контактные устройства вакуумной колонны, обеспечивающие снижение энергозатрат на разделение.

Разделение гетерогенных жидких сред

При разделении гетерогенных систем используются пустотелые отстойники. Однако такой способ очистки жидкостей в современных условиях часто является малоэффективным. Для повышения эффективности используются тонкослойные отстойники. Такие отстойники оборудуются специальными сепарирующими пластинами. Степень очистки жидкостей от дисперсной фазы в таких отстойниках повышается в несколько раз.

Решена задача очистки углеводородных топлив от свободной воды на установках Сургутского ЗСК за счет модернизации отстойников.

Сепарационные блоки выполняются в виде закрепленных в специальной каркасной конструкции пакетов тонких металлических пластин из нержавеющей стали. Геометрия пластин и специально организованная ориентация их в объеме позволяют в десятки раз увеличить эффективность реконструированных отстойников.

Из полученных результатов на одной из ректификационных установок Сургутского ЗСК следует, что после внедрения данных отстойников тепловая нагрузка (расход греющего пара) на подогревание смеси снижена на 0,3 т/час, а в испарителе – 0,5 т/ч. За год эксплуатации это дает около 6000 тонн экономии греющего пара. Экономия условного топлива составляет 1800 т/год [2].

Аналогичные тонкослойные отстойники внедрены на различных производствах ОАО «Казаньоргсинтез», ОАО «Нижнекамскнефтехим» и других предприятиях ТЭК.

Как показывает опыт работы авторов модернизацию технологических установок и аппаратов можно выполнять опираясь на потенциал научно-производственных фирм и предприятий РФ.

ИВЦ «Инжехим» имеет собственное производство для изготовления массообменных и сепарационных насадок, барботажных тарелок, распределителей фаз и другого оригинального оборудования.

Библиографический список

1. **Фарахов М.И., Лаптев А.Г., Минеев Н.Г.** Основы расчета и модернизация теплообменных установок в нефтехимии в 2-х частях. – Казань: Изд-во Казанск. энергетического ун-та, 2010. – 700 с.
2. **Лаптев А.Г., Фарахов М.И.** Разделение гетерогенных систем в насадочных аппаратах. Казань: КГЭУ, 2006. - 342 с.

В.К. Пыжов, к.т.н., проф. (ИГЭУ), С.В. Саванов, директор (МУП Ивгортеплоэнерго), В.И. Субботин, к.т.н., проф. (ИГЭУ)

К УСТАНОВЛЕНИЮ НОРМАТИВОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛОТЫ НА ОТОПЛЕНИЕ И РАСХОДА ВОДЫ НА ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ ДЛЯ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Для установления нормативов потребления коммунальных услуг (теплоты на отопление и воды на горячее водоснабжение (ГВС)) в многоквартирных жилых зданиях г. Иваново при отсутствии в большинстве из них приборов учета предложено использовать действующие нормативные документы, Постановления Правительства [1, 2], показания счетчиков и узлов учета расхода холодной, горячей воды и количества теплоты на ГВС и отопление, периодические научные издания, результаты научных исследований и программные комплексы, разработанные авторами предлагаемых материалов.

При установлении нормативов потребления коммунальных услуг применен метод *аналогов, экспертный и расчетный* метод [1, 2].

Метод аналогов рекомендуется использовать при наличии данных, полученных в результате измерения количества потребляемых коммунальных услуг общедомовыми и квартирными приборами учета.

Экспертный метод следует применять, если результаты измерений количества потребления коммунальных услуг коллективными приборами учета в многоквартирных зданиях недостаточны для применения метода аналогов.

Одни только перечисленные выше методы установления потребления коммунальных услуг не позволяют оценить эффективность использования энергии и разработать мероприятия по повышению энергетической эффективности потребления энергии. Следует отметить, что и применение «расчетного» метода, приведенного в [1], также не позволяет судить об эффективности использования энергии.

При определении нормативов должны учитываться технологические потери (например, технически неизбежные и обоснованные потери горячей воды и теплоты) и коммунальные услуги, предназначенные для содержания общего имущества, и не учитываться расходы коммунальных ресурсов, возникающие в результате нарушения требований технической эксплуатации, правил пользования жилыми помещениями и содержания общего имущества в многоквартирном доме.

Анализ источников и потребителей теплоты и горячей воды на отопление и ГВС в г. Иваново позволил сделать ряд важных выводов.

Теплоснабжение многоквартирных жилых зданий осуществляется от централизованных тепловых сетей, от бойлерных и котельных. Большая часть теплоты поступает по сетям централизованного теплоснабжения. Владельцами многоэтажных зданий являются МПЖХ и ТСЖ (ЖСК). Потребителями теплоты на отопление в основном являются 5-ти, 9-ти и 10-ти этажные панельные и кирпичные здания типовых серий.

По данным Ивановского ДСК и проектного института «Ивгражданпроект» жилые здания преимущественно оборудованы однетрубными системами отопления с нижней разводкой с П-образными стояками и с прокладкой магистральных трубопроводов (прямого и обратного) в техническом подполье («теплом» подвале). В панельных 9-ти и 10-ти этажных зданиях серии 90 и 90.1 выпуск удаляемого из помещения воздуха осуществляется на технический этаж («теплый» чердак).

Приведенное сопротивление теплопередаче стен, окон, покрытий и полов (перекрытий над техническим подпольем) для всех зданий примерно одинаковы (за исключением панельных зданий серии 90.1, построенных после 1999 года, в которых выполнены требования энергосбережения [4]).

72 здания указанных выше серий оборудованы узлами учета расхода теплоты и горячей воды на отопление и ГВС. 39 многоквартирных жилых зданий, оборудованных узлами учета, принадлежат МПЖХ.

По большинству зданий (даже имеющих узлы учета) отсутствуют проекты (архитектурно-строительные, отопление, вентиляция и водоснабжение), а иногда и технические паспорта.

Объемы и отапливаемые площади зданий, максимальные тепловые нагрузки и удельные характеристики тепловых потерь (неправильно называемые «удельными отопительными характеристиками») некоторых жилых зданий приходилось принимать по договорам на теплоснабжение.

Для определения нормативов на отопление и ГВС при отсутствии проектных данных для большинства жилых зданий г. Иваново было принято решение:

– определить конструктивные параметры и серии проектов жилых зданий, оборудованных узлами учета, с применением «фотоаудита» и уточнить для конкретных зданий геометрические и конструктивные параметры ограждающих элементов аудиторами ИГЭУ;

– провести с использованием разработанного авторами программного комплекса «Энергоаудит» определение нормативов потребления теплоты на отопление, выполнение оценки энергетической эффективности и со-

ставление энергетического паспорта с мероприятиями по энергосбережению для зданий, оборудованных узлами учета.

Программный комплекс «Энергоаудит» позволяет в соответствии с действующими нормативными документами [3-5] оценить теплозащитные свойства ограждающих конструкций здания и сравнить их с требуемыми по санитарно-гигиеническим условиям и энергосбережению. С помощью комплекса проверяется степень остекления и кратность воздухообмена и определяются потери теплоты через ограждающие элементы здания и затраты теплоты на нагрев воздуха.

Применение комплекса «Энергоаудит» дает возможность учитывать внутренние тепловыделения (от бытовых приборов, людей, искусственного освещения) и теплопоступление от солнечного излучения в течение года.

Определение нормативов потребления теплоты с использованием комплекса «Энергоаудит», и методов, описанных выше, позволило установить:

1. Норматив потребления теплоты на отопление жилых многоквартирных зданий различных типовых проектов и разной этажности практически постоянен и при температуре воздуха в помещении равной 18 °С находится в пределах от 0,008 до 0,010 Гкал/м² общей отапливаемой площади здания в месяц года. Для одного из зданий сопоставление удельных расходов теплоты на создание микроклимата, определенное различными методами, приведено на рис. 1.

2. Потребление теплоты, отнесенное к общей жилой площади квартир жилого здания, увеличивается на 12–18 %. Если принять в среднем это увеличение для указанной выборки по зданиям равным 15 %, то норматив потребления теплоты, отнесенной к 1 кв. метру общей отапливаемой площади квартир здания, будет находиться в пределах 0,009–0,012 Гкал/м².

3. Заметного влияния архитектурно-строительных и теплотехнических параметров и этажности зданий на значение норматива потребления теплоты на отопление с использованием программного комплекса «Энергоаудит» установить не удалось.

4. Если учитывать дополнительные затраты теплоты системой теплоснабжения (на компенсацию тепловых потерь трубопроводами магистралей и стояками систем отопления, проложенных в «теплом» подвале и «теплом» чердаке), а также учесть низкий уровень регулирования тепловой нагрузки, норматив потребления теплоты на отопление может быть увеличен по рекомендации [6] на 15-30 %, и в этом случае составит

0,0100÷0,0140 Гкал/м² общей отапливаемой площади квартир в месяц года.

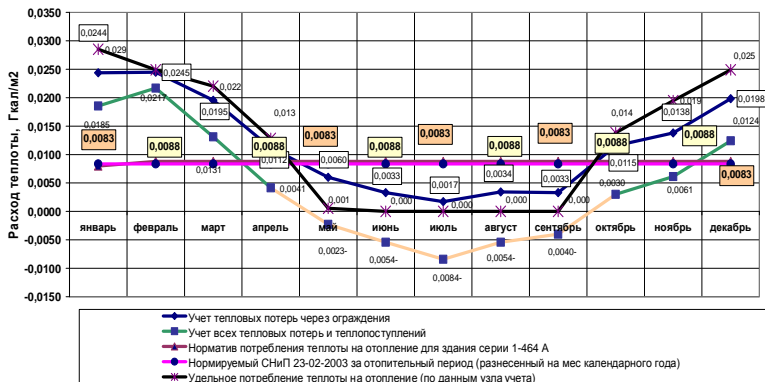


Рисунок 1 - Удельное потребление теплоты на отопление 5-ти этажным зданием серии 1-464А

(на квадратный метр отапливаемой площади жилого здания со стенами из э-слойных панелей)

5. Норматив потребления теплоты на отопление определенный «расчетным» методом [1,2] для жилых зданий постройки до 1999 года и высотой от 5 до 9 этажей должен быть принят равным 0,0144 Гкал/м², для зданий 10-13 этажей – 0,0138 Гкал/м², а для 14-ти этажных зданий – 0,0142 Гкал/м². Для зданий построенных после 1999 года норматив потребления теплоты на отопление для зданий указанных этажностей находятся в диапазоне от 0,0082 до 0,0066 Гкал/м².

Считаем уместным отметить, что указанный норматив для многоквартирных зданий является, на наш взгляд, завышенным и приближенным. Норматив базируется на значении укрупненного показателя максимального теплового потока на отопление, рекомендовавшегося для выбора тепловой мощности источника централизованного теплоснабжения при отсутствии проектов (см. СНиП 2.04.07-86* «Тепловые сети» (отменен с 1 октября 2003 г.)).

7. Обработка информации с узлов учета расходов теплоты и горячей воды на отопление и ГВС показала, что большинство узлов учета фиксируют суммарные расходы теплоты на отопление и горячее водоснабжение, что затрудняет или практически делает невозможным выделение отдельной статьей затрат теплоты на отопление зданий. Многие из рассмотренных узлов учета работают со сбоями. Это явилось одной из при-

чин затруднения в получении информации по потребленной теплоте и расходу теплоносителя за каждый месяц отопительного сезона особенно по зданиям МПЖХ.

Спасло положение то, что во многих панельных жилых зданиях серии 1-464-А и кирпичных зданиях серии 1-447 горячее водоснабжение отсутствует и, следовательно, узлы учета фиксируют только расходы теплоты и горячей воды, идущие на отопление. Норматив потребления теплоты, рассчитанный по показаниям этих узлов учета, с достаточно высокой точностью совпадает с нормативом потребления теплоты на отопление, рассчитанным по программному комплексу «Энергоаудит» и находится в пределах 0,0100 до 0,013 Гкал/м² (рис. 1).

Из проведенных исследований и анализа различных методов установления нормативов потребления теплоты для многоквартирных жилых зданий г. Иваново, а также с учетом технического состояния и эффективности регулирования систем теплоснабжения и отопления и уровня тепловой защиты большинства эксплуатируемых зданий можно сделать вывод, что принятый Постановлением Главы г. Иваново норматив потребления теплоты на отопление на 2005 год и оставленный без изменения новой Администрацией г. Иваново на 2006 год и равным 0,017 Гкал на кв.м отапливаемой площади в месяц года является завышенным.

Можно рекомендовать к утверждению для жилых зданий г. Иваново норматив потребления теплоты на отопление равным 0,0100÷ 0,0140 Гкал на кв. м общей отапливаемой площади квартир в месяц года при поддержании в здании температуры 18 °С (для зданий, построенных после 1999 года, рекомендуется установить нижнюю границу указанного норматива).

В 2010 году в Иваново норматив на отопление принят равным 0,0145 Гкал/м².

При установлении норматива на отопление «человеческий фактор» проявляется в основном только при организации внутренних тепловыделений (включение большего или меньшего количества бытовых приборов, различное количество жителей, проживающих в квартирах аналогичной площади и т.п.). Также возможно частичное влияние человека на увеличение потерь теплоты зданием (открытие форточек, оставление открытых дверей в подъездах). В настоящее время, в связи с повсеместной установкой двойных дверей и охранной сигнализации, указанные статьи тепловых потерь менее значимы, чем в прежние времена).

На потребление же горячей воды на гигиенические и бытовые нужды «человеческий фактор» оказывает существенное влияние. При отсутствии учета потребленной горячей воды непосредственно в квартире, в условиях, когда стоимость этой услуги с каждым годом резко возрастает, чело-

век может потреблять воду в неразумных количествах и не быть заинтересованным в снижении этого потребления (закрытие крана, длительные сливы воды при тупиковых системах через свои водоразборные устройства с попыткой добиться требуемой температуры, особенно в ночное время).

Установка приборов учета на вводе горячей воды в жилое здание практически не снижает потребление, но позволяет установить фактические расходы горячей воды в целом на здание. В этом случае потребление горячей воды усредняется для жителей, по-разному использующих эту коммунальную услугу. Таким образом, можно сделать вывод, что норматив потребления горячей воды с использованием каких-то математических моделей рассчитать, по нашему мнению, невозможно.

Единственный метод установления нормы потребления горячей воды - это анализ нормативных документов [1, 2, 7] и опыта эксплуатации систем потребления горячей воды в жилых зданиях, в которых установлены коллективные приборы учета расхода горячей воды и дополнительно приборы учета установленные непосредственно в квартирах.

По нашему мнению, норматив должен быть установлен таким, чтобы в выяснении истинного значения расхода и качества потребленной горячей воды были заинтересованы как потребитель, так и поставщик этой услуги.

Установление норматива потребления горячей на нижнем разумном уровне заставит снабжающую организацию разбираться с потреблением, заботится о качестве поставляемой услуги [2], снижать необоснованные потери воды и, может быть, по собственной инициативе устанавливать или хотя бы инициировать установку узлов учета на вводе в проблемные жилые здания.

До 2007 года норматив потребления горячей воды, равный 150 литром в сутки или 4,56 куб. м в месяц на жителя, вероятно, был установлен делением отпущенной горячей воды источником на количество жителей, потребляющую эту услугу. При таком способе установления «норматива» все потребители ставятся в одинаковые не лучшие условия, а поставщик горячей воды не заинтересован в установке узлов учета у потребителей и снижении потерь теплоты на источнике и в сетях и обеспечении требуемого качества ГВС.

Для установлении норматива потребления горячей воды были определены значения расходов горячей воды в месяц по показаниям узлов учета (счетчиков) и, косвенно, после обработки платежных ведомостей РКЦ г. Иваново за отопительный период за несколько лет для 28 жилых многоквартирных зданий МПЖХ. Указанная информация позволила сделать

вывод, что в квартирах, где установлены счетчики горячей воды максимальное усредненное значение расхода воды менее 1,5 куб. м в месяц на одного жителя (50 литров на одного жителя в сутки). Обработка данных общедомовых узлов учета за отопительный период для 32 жилых зданий позволила сделать вывод, что расход горячей воды не превышает: для 22 зданий – 3,0 куб. м на жителя в месяц (100 литров на одного жителя в сутки); для 6-ти зданий – 3,5 куб. м на жителя в месяц (115 литров на одного жителя в сутки); для 4-х зданий эта величина находится в пределах от 4,30 до 4,97 куб. м. Следует отметить, что к зданиям последней группы пристроены или в них встроены помещения общественного назначения.

Определение норматива расчетным методом [1, 2] вызывает затруднение, т.к. необходимо установление количества процедур потребления горячей и холодной воды в неделю, информация о выборе количества которых в [1, 2] отсутствует.

Авторами на основе экспертных оценок принято, что каждый житель использует в неделю: ванну – 2 раза; душ – 7 раз; раковину – 28 раз; мойку кухонную – 35 раз; унитаз – 35 раз и расходует воду на: общеквартирные нужды – 7 раз; содержание общего имущества здания – 7 раз.

В соответствии с [1, 2] температура горячей, холодной и потребляемой воды принята соответственно равной 60, 9 и 37 °С.

Анализ соотношения потребленной холодной и горячей воды при различных температурах поступающей горячей воды (нормативная температура равна 60 °С), показал, что повышение температуры горячей воды до 80 °С снижает потребление воды до 2,32 куб. м на одного жителя в месяц. Понижение же температуры до 40 °С увеличивает расход воды до 5,31 куб. м.

Нормативы потребления горячей, холодной воды и общий расход воды, определенные с учетом методики [1, 2], соответственно равны 3,23, 4,91 и 8,14 куб. м на одного жителя в месяц в здании в 5 этажей (106, 162 и 268 литров на одного жителя в сутки). Для жилых многоквартирных зданий в 10 и 15 этажей значения нормативов несколько выше.

С учетом нормативных требований [7], расчетного метода [1,2] и результатов определения расходов воды в зданиях с установленными узлами учета в целом на здании и в отдельных квартирах расход воды на ГВС для многоквартирных жилых зданий г. Иваново должен составлять не более 3,20-3,50 куб. м в месяц (105-115 литрам в сутки) на одного жителя.

Библиографический список

1. **Постановление** Правительства РФ от 23 мая 2006 г. № 306. “Об утверждении Правил установления и определения нормативов потребления коммунальных услуг”.

2. **Постановление** Правительства РФ от 23 мая 2006 г. №307 “О порядке предоставления коммунальных услуг гражданам”.
3. **ТСН 23-307-2000 ИО**. Энергетическая эффективность в жилых и общественных зданиях. Нормативы по теплозащите зданий. /Госстрой России.- М.: ФГУП ЦПП, 2000. – 30 с.
4. **СНиП 23-02-2003**. Тепловая защита зданий. /Госстрой России.- М.:ФГУП ЦПП, 2003. – 26 с.
5. **СП 23-101-2004**. Проектирование тепловой защиты зданий. /Госстрой России.- М.: ГУП ЦПП, 2004. -144 с.
6. **Методика** распределения общедомового потребления тепловой энергии на отопление между индивидуальными потребителями на основе показаний квартирных приборов учета теплоты (МДК 4-07.2004).
7. **СНиП 2.04.01-85***. Внутренний водопровод и канализация зданий./Госстрой России. -М.: ГУП ЦПП, 2000. – 60 с.

А.В. Гаранин, Гос. инспектор по энергетическому надзору (Северо-Западное управление федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору), В.К. Пыжов, к.т.н., проф. (ИГЭУ)

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОГО МИКРОКЛИМАТА ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ И ОЦЕНКИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ

Созданная авторами модель динамического микроклимата [1, 2] была реализована в среде MS Visual Basic 6.0 и проверена на реальном объекте, в качестве которого был взят одноэтажный производственный корпус машиностроительного завода, расположенного в г. Химки Московской обл. Стены корпуса $\delta = 380$ мм выполнены из глиняного кирпича. Окна – двойное остекление в отдельных деревянных переплётках. Перекрытие корпуса – железобетонные крупнопанельные плиты, теплоизоляция – пенобетон. Объём здания – 58778 м^3 . Режим работы односменный.

В течение семи дней (с 13 по 20 декабря 2006 г.) измерялась средняя температуры внутреннего воздуха и производилось сравнение её с температурой, полученной в результате моделирования (рис. 1). Для выполнения моделирования также замерялись тепловыделения: от «активного» оборудования и от систем поддержания микроклимата. При расчёте с использованием модели нестационарных температурных полей в ограждающих конструкциях шаг по времени был принят равным 300 с, а по координате – 0,01 м.

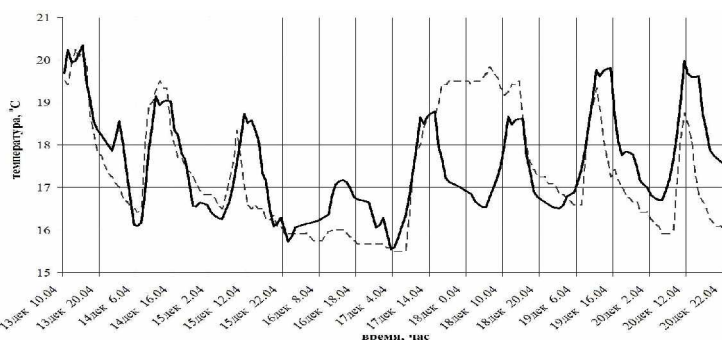


Рис. 1. Изменение средней температуры внутреннего воздуха.

— Фактическое изменение средней температуры внутреннего воздуха

--- Изменение температуры внутреннего воздуха (результат моделирования)

Сопоставление результатов математического моделирования и данных измерений позволяет отметить, что динамика изменения температуры, полученная в результате моделирования, совпадает с построенной по результатам измерений. Максимумы и минимумы рассчитанной зависимости наблюдаются в те же моменты времени, что и у полученной в результате измерений. Абсолютные значения температур не значительно отличаются друг от друга.

Правильность задания граничных условий на поверхностях ограждающих конструкций проверена с помощью тепловизионной съёмки. Сравнение замеренных и рассчитанных температур представлено на рис. 2 и табл. 1.

Таблица 1. Сравнение рассчитанных температур на наружной поверхности стен и данных тепловизионной съёмки

Ориентация стены по сторонам горизонта	восток	запад	север	юг
Температура, замеренная с помощью тепловизора, К	279,0	279,0	278,0	282,0
Температура, рассчитанная с помощью модели динамического микроклимата, К	274,1	273,2	272,7	276,5
Относительная погрешность измерений, %	1,7	2,1	1,9	1,9

Проведенное сопоставление позволяет отметить адекватность математического моделирования реальным процессам, протекающим в объекте моделирования.

Для годового цикла выполнено определение затрат энергии с использованием математической модели как для фактического режима эксплуатации здания, так и при условии внедрения различных энергосберегающих мероприятий. Параметры наружного воздуха взяты за 2006 год для г. Москва из архива погодных условий: <http://meteo.infospace.ru>.

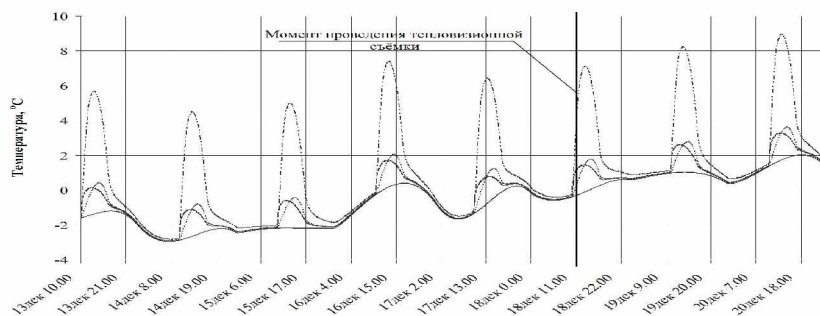


Рис. 2. Изменения температур наружных поверхностей стен во времени (расчёт):

- температура на наружной поверхности северной стены;
- - - температура на наружной поверхности восточной стены;
- · - · - температура на наружной поверхности южной стены;
- температура на наружной поверхности западной стены

Технологические процессы, проходящие в здании, не позволяют снижать температуру внутреннего воздуха ниже $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ в любое время суток.

Сравнение основных показателей эффективности всех вариантов моделирования представлено в табл. 2. За базовый взят вариант расчёта, учитывающий инфильтрацию наружного воздуха и поддержание в нерабочее время температуры внутреннего воздуха $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в рабочее время постоянно $21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такой закон изменения температуры принимался во всех вариантах, кроме последнего, в котором поддерживается динамический микроклимат (табл. 2). Теплозащитные свойства ограждений здания в базовом варианте приняты существующими. По отношению к базовому варианту определены затраты теплоты и холода в % остальных вариантов моделирования (табл. 2).

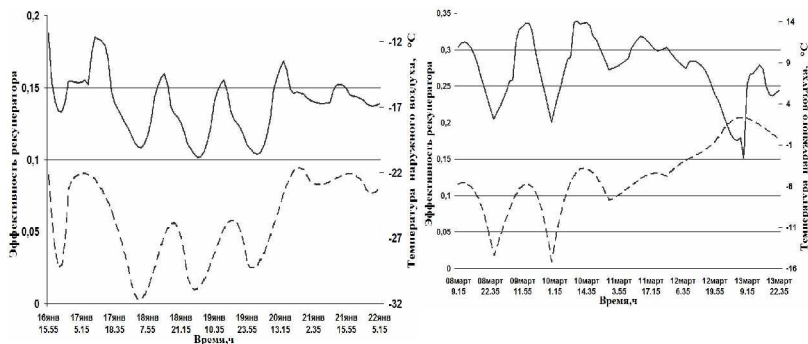
Здание имеет большую площадь остекления и, как следствие, большие затраты теплоты на нагрев инфильтрационного воздуха. Это снижает эффективность применения части энергосберегающих мероприятий и в первую очередь теплоизоляции. Самый эффективный вариант из всех рассмотренных – это применение рециркуляции. При запрещении применения рециркуляции на первое место по эффективности выходит рекуперация теплоты удаляемого из здания воздуха.

Изменение эффективности рекуператора для случаев наибольшей и наименьшей рекуперации представлено на рис. 3.

Максимум эффективности составил 0,35 и достигался при температурах наружного воздуха в около минус $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако при температурах наружного воздуха ниже минус $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ возникает опасность «замерзания

Таблица 2. Сравнение затрат теплоты и холода вариантов моделирования

№ и краткая характеристика варианта	Годовые затраты теплоты СКВ, ГДж/год (% к базовому варианту)	Годовые затраты холода СКВ, ГДж/год (% к базовому варианту)
1. Отсутствие инфильтрации.	49534 (96,2)	3141 (93,8)
2. Наличие инфильтрации. (Базовый вариант).	51486 (100)	3347 (100)
3. Наличие инфильтрации, теплоизоляция стен с внутренней поверхности пенополистеролом $\delta=50\text{мм}$,	51105 (99,3)	3293 (98,4)
4. Наличие инфильтрации, теплоизоляция стен с наружной поверхности пенополистеролом $\delta=50\text{мм}$	51105 (99,3)	3293 (98,4)
5. Наличие инфильтрации, теплоизоляция стен с наружной поверхности пенополистеролом $\delta=100\text{мм}$	50983 (99,0)	3285 (98,1)
6. Наличие инфильтрации, рециркуляция внутреннего воздуха ($n=95\%$)	5309 (10,3)	1571 (46,9)
7. Наличие инфильтрации, применение пластинчатого рекуператора	42868 (83,3)	3344 (99,9)
8. Наличие инфильтрации, теплоизоляция стен с наружной поверхности пенополистеролом $\delta=50\text{мм}$, рециркуляция внутреннего воздуха ($n_r=95\%$)	4898 (9,5)	1550 (46,3)
9. Наличие инфильтрации, создание динамического микроклимата.	51583 (100,2)	3590 (107,3)



Случай наименьшей рекуперации Случай наибольшей рекуперации
 Рис. 3. Изменение эффективности рекуператора во времени.
 ——— эффективность рекуператора
 - - - - температура наружного воздуха

поверхности нагрева» со стороны выхода внутреннего воздуха и часть наружного воздуха приходится пропускать через байпас, что снижает эффективность рекуператора. С учетом отмеченного при температуре наружного воздуха около минус 30 °С эффективность рекуператора не превышает 0,1. При наружной температуре выше плюс 5 °С происходит падение температурного напора в рекуператоре и эффективность становится ниже 0,1.

В случае создания динамического микроклимата (9-й вариант) закон изменения температуры внутреннего воздуха представляет собой гармонические колебания с амплитудой 3,2 °С, частота 4,8 1/ч. Верхняя граница колебаний 24,3 °С; нижняя 18,0 °С. В этом случае скорость изменения температуры внутреннего воздуха составляет 9,5 °С/ч, что больше минимально допустимого значения (4 °С/ч) [4]. В не рабочее время по требованиям технологического процесса температура принималась равной 18 °С. Закон изменения температуры внутреннего воздуха для создания допустимого динамического микроклимата представлен на рис. 4. Данный вариант моделирования не предполагает применение энергосберегающих мероприятий.

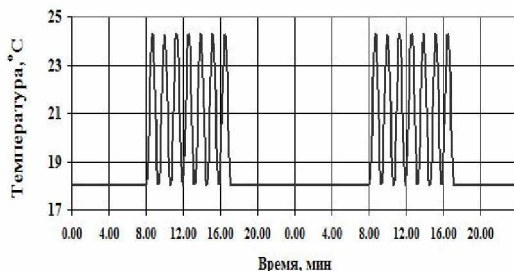


Рис. 4. Заданный закон изменения температуры внутреннего воздуха при организации динамического микроклимата

динамического микроклимата (за период равный двум суткам), который необходимо поддерживать для получения закона изменения температуры внутреннего воздуха в соответствии с рис. 4.

Из рис. 5 видно, что система кондиционирования работает в резкорежимном режиме.

На поддержание такого климата потребовались дополнительные затраты теплоты 0,2 %, и холода 7,3 %. Годовые потери теплоты зданием выросли на 10,8 %, а количество холода, которое необходимо внести в здание, – на 20,1 %.

Для определения площади поверхностных воздухонагревателей и охладителей и их максимальной мощности, необходимой для создания динамического микроклимата в течение всего года, за расчётную температуру внутреннего воздуха целесообразно принимать максимальную из требуемого закона её изменения, а расчётные параметры наружного воздуха – по параметрам группы «В».

Таким образом, при создании динамического микроклимата следует принимать во внимание некоторое увеличение расхода теплоты и холода и мощности воздухонагревателей и воздухоохладителей по отношению к созданию климата с постоянными параметрами

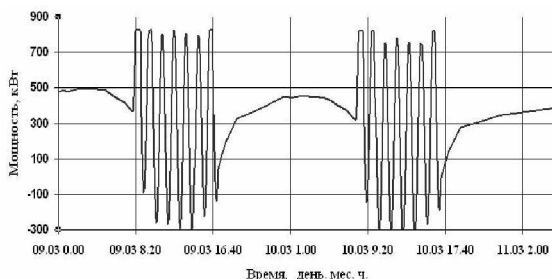


Рис. 5. Количество энергии, подаваемой в помещение при создании ДМ.

Библиографический список

1. **Гаранин, А.В.** Моделирование динамического микроклимата: Юбилейный сборник научных трудов к 100-летию со дня рождения профессора Черкасского В.М. / А.В. Гаранин, В.К. Пыжов – Иваново: ГОУ ВПО "ИГЭУ имени В.И.Ленина", 2005. – С.108–116.
2. **Гаранин, А.В.** Моделирование теплоустойчивости многослойных ограждающих конструкций. А.В. Гаранин, В.К. Пыжов // Вестник ИГЭУ –2004. – вып. 6. С.20–24.
3. **ГОСТ 12.1.005-88*** Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Введ.1989-01-01. – М.: Стандартинформ, 2006. – 49 с.
4. **Ловцов, В.В.** Системы кондиционирования динамического микроклимата помещений / В.В. Ловцов, Ю.Н. Хомуцкий –Л.: Стройиздат 1991. –149 с.

А.Н. Крылова, аспирантка, А.Г. Лантев, д.т.н. (каф. «ТВТ» КГЭУ)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АППАРАТОВ РЕГЕНЕРАЦИИ ДИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ НА УСТАНОВКАХ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

В последнее время все большее внимание уделяется использованию природного газа – экономичному виду топлива. Показателями, характе-

ризующими преимущество природного и попутного газа перед другими видами топливно-энергетических ресурсов, являются чистота и однородность химического состава, высокая теплота сгорания, удобство транспортировки и распределения при помощи газопроводов, удобство использования и т.д. [1].

Разделение пластовой продукции газоконденсатных месторождений на фракции производится на газоперерабатывающих заводах и промысловых установках с применением абсорбционных, адсорбционных, хемосорбционных, конденсационных и других процессов [2]. С целью извлечения паров воды и предупреждения образования и отложения гидратов на стенках газопроводов производится осушка природного газа. При осушке газа стремятся уменьшить содержание влаги в газе до такой степени, чтобы пары воды в газопроводе не достигали состояния насыщения (точки росы) и, следовательно, не могли конденсироваться.

Осушка газа осуществляется на специальных установках твердыми (хлористый кальций, силикагель, алюмогель, молекулярные сита и др.) или жидкими (диэтиленгликоль ДЭГ и триэтиленгликоль ТЭГ) веществами, а также с использованием холода, вырабатываемого специальными холодильными машинами или получаемого путем снижения высокого давления газа в штуцерах. Чаще всего для осушки газа используют жидкие сорбенты ДЭГ и ТЭГ, имеющие целый ряд преимуществ перед другими сорбентами, и холод, получаемый путем дросселирования газа в штуцерах [3].

На Заполярном НГДУ ООО «Ямбурггаздобыча» сырой природный газ поступает в блок разделения. Он представляет собой вертикальный аппарат, нижняя, кубовая часть аппарата используется как ёмкость для сбора отсепарированной жидкости.

В средней и верхней частях аппарата размещены 4 тарелки. Первая над кубовой частью – сепарационная, предназначена для отделения от газа жидкой фазы. На ней установлено 112 центробежных сепарирующих элементов. В середине аппарата две массообменные тарелки, содержащие по 190 массообменных элементов. На этих тарелках осуществляется отмывка газа рефлюксной водой от солей и механических примесей. Рефлюксная вода подается на верхнюю массообменную тарелку из емкости установки регенерации ДЭГа.

Верхняя тарелка предназначена для улавливания из потока газа капельной жидкости, она также оснащена 112 сепарирующими элементами.

Газ, очищенный от пластовой воды, мехпримесей и солей, отводится с верха блока разделения и подается в блок абсорбера. Абсорбер состоит из трех функциональных секций:

нижняя, кубовая – используется как емкость для сбора жидкости;
средняя – массообменная;
верхняя – каплеотбойная.

Газ поступает в нижнюю часть блока абсорбера, поднимается в среднюю его часть, где на массообменных насадках «ZULZER» происходит осушка газа за счет контакта с высококонцентрированным (регенерированным) РДЭГом. РДЭГ подается в абсорбер насосами блока установки регенерации на верхнюю и на среднюю часть насадочной массообменной секции.

После этого газ поступает в верхнюю – каплеотбойную секцию, предназначенную для предотвращения уноса ДЭГа с газом. Секция оборудована сепарационными ступенями с насадками “ZULZER” и фильтр - коагулирующими насадками.

Осушенный газ отводится с верха абсорбера и подается в магистральный газопровод.

Рассмотрим возможные основные пути совершенствования аппаратов установки осушки природного газа.

Минимальная реконструкция контактных устройств в ряде случаев может снизить энергозатраты на 5÷10 %. В качестве минимальной реконструкции массообменных тарелок в абсорбере можно отметить следующие изменения и дополнения в конструкции:

- улучшения структуры потоков за счет секционирования;
- изменения формы и высоты перегородок;
- установка отбойников;
- организация второй зоны контакта фаз;
- оптимизация свободного сечения контактных устройств [4].

Рассматривается замена сепарационных тарелок на вертикальный сетчатый каплеуловитель и массообменных тарелок на низкопрофильную колпачковую тарелку производства компании «Инжехим» в блоке разделения. Производительность данных тарелок выше на 50 %, эффективность массопереноса на 40 % по сравнению с ситчатыми тарелками и стандартными колпачковыми.

Также рассматривается техническое решение по замене насадки в абсорбере на регулярную насадку «Инжехим» (рис. 1). У регулярной насадки гофры смежных листов расположены перекрестно по отношению друг к другу и образуют каналы для потока паровой фазы. Поверхность насадки может иметь специальную обработку в виде регулярных выступов или просечных элементов. Поставляется в виде модификаций с различной удельной поверхностью (от 70 до 250 м²/м³) из стальной нержавеющей ленты толщиной от 0,15 мм до 1 мм. Насадка предназначена для ректи-

фикационных и абсорбционных колонн диаметром от 1 до 8 м. Характеризуется высокой разделяющей способностью при низком гидравлическом сопротивлении.

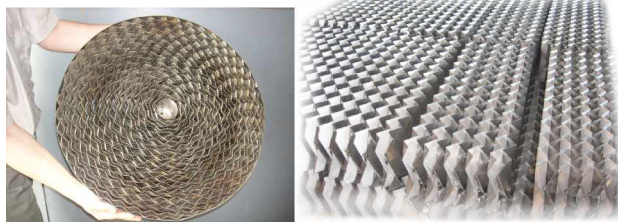


Рис. 1. Регулярные насадки «Инжехим»

В верхней каплеотбойной секции планируется установить сетчатый каплеуловитель (рис. 2) и фильтр-коалесцер. Сетчатый каплеуловитель состоит из сегментов, намотанных из предварительно гофрированной рукавной вязаной сетки. В данном устройстве верхние сегменты имеют большую в сравнении с нижними объемную плотность укладки сетки. Каплеуловитель работает как за счет инерционных эффектов, так и за счет барботажа газа через слой жидкости, удерживаемой в сетке (при факторах скорости более 5). Кроме того, конструктивное исполнение контактной части (при необходимости) существенно облегчает ее обслуживание. Специальная конструкция опорной решетки уголкового типа существенно увеличивает диапазон работы устройства при обеспечении слива сепарированной жидкости.

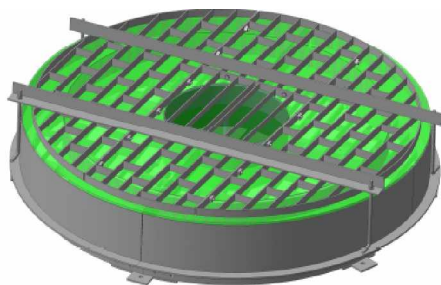


Рис. 2. Сетчатый каплеуловитель

Фильтр-коалесцеры имеют в качестве фильтрующего элемента нетканое полотно, из углеродных волокон диаметром 6÷8 мкм. Применяемые

неметаллические материалы не меняют своей структуры и свойств при пропарке до температуры 250 °С, что позволяет осуществлять их регенерацию. Фильтр-коалесцеры обеспечивают высокоэффективное выделение из газового потока капель диаметром 1 мкм и менее, снижая унос дисперсной жидкой фазы (абсорбента в абсорбционных аппаратах).

Регенерация НДЭГа осуществляется следующим образом. Диэтиленгликоль из абсорбера поступает в дегазатор, где из него выделяется и отводится растворенный газ, затем в разрыхлитель, в котором поток успокаивается в коагулирующей секции, затем за счет разности плотностей НДЭГ отстаивается от конденсата и дополнительно выветривается. Далее он поступает в блок фильтров, где очищается от механических загрязнений и солей.

После блока фильтров поток НДЭГа делится на две части. Часть потока (с температурой 10÷20 °С) направляется в здание огневой регенерации. Основной поток НДЭГа поступает на рекуперацию тепла РДЭГа в сдвоенные теплообменники НДЭГ - РДЭГ. НДЭГ проходит по трубному пространству четырёх последовательно подключённых секций теплообменников и нагревается теплом встречного потока РДЭГа до температуры 98 °С.

Нагретый поток НДЭГа направляется в здание огневой регенерации в блок огневых регенераторов.

Блок огневых регенераторов представляет собой многофункциональный агрегат, состоящий из следующих аппаратов:

- колонна регенерационная, оснащена верхней тарелкой дефлегматора, четырьмя секциями регулярной насадки из рукавной сетки (три нижние секции высотой по 1,5 м, одна верхняя – 0,5 м) и распределительными тарелками, расположенными над секциями с регулярной насадкой;
- испаритель вакуумный представляет собой горизонтальный цилиндрический аппарат, установленный на металлической раме над ёмкостью буферной. Внутри аппарата размещен жаротрубный блок с инъекционной горелкой;
- ёмкость буферная – аппарат со встроенным рекуперативным теплообменником РДЭГ – НДЭГ. Теплообменник кожухо-трубный с U-образными трубами, двухходовой по трубному пространству;
- дымовая труба с горизонтальным газоходом, присоединённым к выходу жаровых труб испарителя.

В регенерационной колонне рассматривается установка регулярной рулонной насадки «Инжехим».

Замена устаревших контактных устройств в блоках разделения, абсорбера и огневых регенераторов на высокоэффективные насадки и сепарационные элементы «Инжехим» значительно повысят эффективность узла осушки природного газа и снизится время регенерации абсорбента.

Библиографический список

1. **Максимов Ю.И., Максимова И.Ф., Пляскина Н.И., Скопина Л.В.** Проблемы развития газовой промышленности Сибири. Новосибирск: Наука, 1983. – 156 с.
2. **Верчинская С.В., Дигуров Н.Г., Синицын С.А.** Химия и технология нефти и газа: учебное пособие. М.: Форум, 2009. – 400 с.
3. **Бекиров Т.М.** Первичная переработка природных газов. М.: Химия, 1987. – 256 с.
4. **Ясавеев Х.Н., Лагтев А.Г., Фарахов М.И.** Модернизация установок переработки углеводородных смесей. Казань: КГЭУ, 2004. – 307 с.

В.М. Захаров, к.т.н., проф.; Н.Н. Смирнов, ст. препод. (ИГЭУ)

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭФФЕКТ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ОКОН С ТЕПЛОТРАЖАЮЩИМИ ЭКРАНАМИ

Снижение энергопотребления зданий в условиях постоянного удорожания топлива является актуальной задачей для экономики нашей «северной» страны с достаточно холодным климатом, особенно, если учитывать наличие сильной конкуренции с иностранными производителями, имеющими сравнительно низкую энергоёмкость продукции. Энергия в жилых, общественно-административных и производственных зданиях тратится на компенсацию трансмиссионных потерь через ограждающие конструкции, подогрев воздуха в системах механической вентиляции и на инфильтрацию, подогрев воды на ГВС, искусственное освещение, технологию и т. д.. В этом случае доля затрат от общего энергопотребления на трансмиссионные теплопотери и инфильтрацию в среднем по стране составляет от 10 до 60 % в зависимости от местоположения и типа зданий. Здание с минимальным потреблением тепловой энергии – это здание, в котором теплопотери через оболочку сведены к экономически обоснованному минимуму.

В настоящее время в целях снижения нагрузок на системы вентиляции, отопления и ГВС в общественно-административных и производственных зданиях применяют новые теплоизоляционные материалы, де-

журный режим отопления, рекуперацию, установку автоматических термодатчиков у отопительных приборов, утилизацию теплоты вытяжного воздуха с промежуточным теплоносителем в системах механической вентиляции и т.п.

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 приходится на его светопрозрачную часть [1].

Современные энергосберегающие конструкции окон имеют ряд существенных недостатков [1]. Так, применение окон с высокой степенью герметичности вызывает увеличение кратности воздухообмена, и задачи энергосбережения не решает, а лишь изменяет её условия, перекладывая теплопотери через неплотности в окнах на теплопотери в системе вентиляции. Конструкции окон, ориентированные на снижение конвективной составляющей и теплопроводности (многослойное остекление, вакуумирование или заполнение стеклопакетов малотеплопроводными газами), значительно снижают уровень поступления в помещение солнечного света (в т.ч. полезных для здоровья человека УФ-лучей), а также имеют высокую стоимость и громоздкость. Окна, понижающие долю тепла, передаваемого излучением, за счет использования теплоотражающих покрытий, достаточно энергоэффективны, поскольку доля тепла, передаваемого излучением, может достигать 80 %, и её понижение заметно отразится на теплопотерях окна. Однако широкое применение теплоотражающих покрытий ограничено их высокой стоимостью, обусловленной сложной технологией нанесения покрытий и дороговизной материалов, а также снижением коэффициента светопропускания до 50 %, вызывающим дополнительные затраты на искусственное освещение внутри помещений.

Для повышения коэффициента сопротивления теплопередаче светопрозрачной конструкции без увеличения затрат на искусственное освещение нами был предложен вариант применения в темное время суток теплоотражающих экранов, которые снижали бы тепловые потери от лучистого (и в меньшей степени от конвективного) теплообмена, не вызывая уменьшения значения светопрозрачности окна в светлое время суток. Теплоотражающие экраны задерживают тепловое излучение преимущественно в инфракрасной области.

Учитывая, что в течение отопительного периода в Центральном регионе РФ средняя продолжительность светового дня составляет около 8 ч, то остальные 16 часов оконные проёмы могут быть закрыты теплоот-

ражающими экранами. Для обоснования данного предложения в табл. 1 приведены значения среднемесячной длительности светового дня, отнесенного к длительности суток, в разных городах РФ для некоторых месяцев отопительного периода.

Таблица 1. Среднемесячная длительность светового дня в сутках в различных городах Российской Федерации, %

Город	Месяц		
	Ноябрь	Январь	Март
Краснодар	39,7	36,4	49,9
Москва	34	32	49
Иваново	33,3	30,7	49,1
Санкт-Петербург	30,9	25,8	49,5
Мурманск	23	6	52

Было исследовано несколько конструкций энергосберегающих оконных блоков с применением теплоотражающих экранов. Отправной точкой исследования послужила конструкция блока, предложенная сотрудниками ИГЭУ еще в 2000 году. Для удобства обслуживания в данную конструкцию были внесены некоторые конструктивные изменения. На рис. 1 приведена конструкция оконного блока, который состоит из корпуса 1, с установленным в нем шкивом 2, который с помощью тросика 6 перемещает металлический экран 4, свернутый в рулон. Экран открывается (закрывается) по мере необходимости дистанционно от кнопки или в автоматическом режиме от системы управления микроклиматом. Сворачивание и разворачивание экранов осуществляется с помощью системы электроприводом.

Для управления процессом теплообмена через окно и повышения его термического сопротивления также между слоями остекления устанавливались жалюзи с горизонтальными поворотными элементами, выполненными из полированного алюминия. Проводились экспериментальные исследования зависимости термического сопротивления окна вышеуказанной конструкции от угла наклона к горизонту поворотных элементов жалюзи α .

Исследования проводились в лаборатории АНО «Ивановостройиспытания» в сертифицированной климатической камере [1]. Данная камера состоит из двух отделений (холодного и теплого). В холодном отделении можно поддерживать температуру воздуха до минус 25 °С, а в теплом – до плюс 30 °С. Для моделирования условий окружающей среды в холодном отделении воздух рециркулирует вдоль поверхности испытуемого образца, обеспечивая теплообмен с интенсивностью теплоотдачи

$20 \div 25 \text{ Вт/м}^2\text{С}$, а в теплом отделении теплообмен обеспечивался естественной циркуляцией воздуха и излучением от ограждений климатической камеры. Температура воздушной среды, поверхностей теплообмена (стекло, деревянной оболочки окна) измерялись с помощью хромель-копелевых термопар, а тепловые потоки – с помощью накладных тепломеров. Вышеуказанные датчики подключены к 96-канальному измерителю теплопроводности ИТ-2-96, причем полученная информация сразу же обрабатывается и передается на ЭВМ.

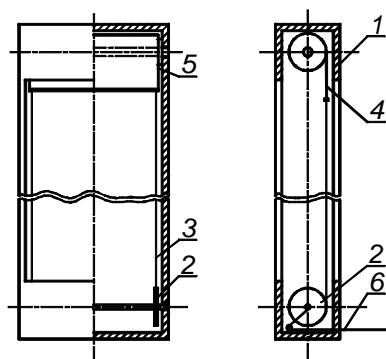


Рис. 1. Конструкция оконного блока с теплоотражающим непрозрачным металлическим сплошным экраном:

1 - корпус; 2 – шкиф; 3 – направляющая; 4 - теплоотражающий экран; 5 – пружина; 6 – управляющий тросик.

В качестве базовой конструкции (контроль 1) использовался деревянный оконный блок (размеры $1000 \times 1000 \times 140$ мм) с одним остеклением 4М1, а также, с раздельными переплетами (контроль 2), состоящий из ОСП 4М1-10-4М1 и стекла 4М1 (площадь светопрозрачной части – $0,672 \text{ м}^2$, площадь всего окна – 1 м^2)

Выход системы на стационарный режим теплопередачи при изменении условий (поднятие-опускание экрана, изменение угла наклона поворотных элементов жалюзи и т.д.) достигался в течение 10-15 минут в зависимости от тепловой инертности конструкции.

Опыты (табл. 2) с использованием алюминированной фольги толщиной 70 мкм в качестве экрана, установленного между стеклами окна, показали увеличение приведенного сопротивления теплопередаче на 26 % по сравнению с базовым вариантом (контроль 2), в то же время увеличение термического сопротивления светопрозрачной зоны окна составило 48 %. Применение такой непрозрачной конструкции целесообразно в темное

время суток, которое является доминирующим в течении отопительного периода практически на всей территории России.

Таблица 2. Значения приведенного термического сопротивления в зависимости от вида конструкции оконного блока*

Описание конструкции окна (материал и расположение экрана)	Приведенное термическое сопротивление теплопередаче светопрозрач. части, $R_{0}^{пр}$, ($м^2 \cdot 0C/Вт$) / %	Среднесуточное приведенное термическое сопротивление теплопередаче, $R_{0}^{пр,сут}$ ($м^2 \cdot 0C/Вт$) / %	Тепловые потери окна площадью $1 м^2$, за отопит. период, $Q_{год}$, Гкал	Снижение тепл. потерь (экономия) за отоп. период, %
Контроль 1	0,348 / 100	0,452 / 100	0,289	-
Контроль 2	0,568 / 100	0,606 / 100	0,191	-
Внутри метал. экран (контроль 1)	0,537 / 149	0,573 / 127	0,201	30
Между стеклом и стеклом метал. экран (контроль 2)	0,841 / 148	0,768 / 126	0,155	19
Между стеклом и стеклом метал. жалюзи ($\alpha=90^0$) (контроль 2)	0,813 / 143	0,753 / 124	0,157	17,8
Между стеклом и стеклом метал. экран + метал. экран внутри (контроль 2)	1,197 / 211	0,942 / 155	0,128	33
Экран снаружи, внутри и между слоями остекления (контроль 2)	1,323 / 233	0,996 / 164	0,122	36

*- рассчитано для условий отопительного периода Ивановской области

Следовательно, временным введением дополнительной конструкции в окно мы регулировали его термическое сопротивление.

Следует отметить, что благодаря применению экранов 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.

Относительно установки металлического жалюзи следует отметить тот факт, что максимальное приведенное термическое сопротивление $R_{пр}^0 = 0,813 м^2 \cdot 0C/Вт$, было получено при $\alpha = +90^0$, когда жалюзи полностью перекрывали световой проем (рис. 2). При этом воздушная прослойка межстекольного пространства разделялась на две, снижая конвек-

тивную составляющую теплообмена. Образовавшийся теплоотражающий экран снизил лучистую составляющую, поскольку каждый поворотный элемент выполнен из алюминия с высокой теплоотражающей способностью.

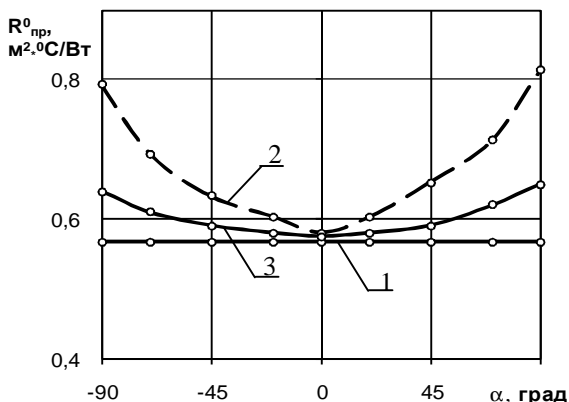


Рис. 2. Зависимость приведенного термического сопротивления окна от угла наклона к горизонту поворотных элементов жалюзи:

1 – оконный блок без жалюзи (контроль 2); 2 – оконный блок с жалюзи из полированного алюминия; 3 – оконный блок с жалюзи из алюминиевых ламелей, покрытых краской.

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

Для принятия решения о применении сплошного металлического экрана или металлических жалюзи в качестве энергосберегающего мероприятия необходимо руководствоваться следующими соображениями: стоимость металлических жалюзи на порядок выше стоимости сплошного экрана ввиду более сложной конструкции, но жалюзи могут плавно регулировать процесс инсоляции и светопоступления, что немаловажно для создания микроклимата в помещении в летний период. Но даже при угле $\alpha = 0^\circ$, жалюзи заметно снижают поступление дневного света в помещение. Исходя из вышесказанного, металлические жалюзи следует устанавливать в окна имеющих южную, юго-восточную и юго-западную ориентацию, а сплошные металлические экраны – на северной, северо-восточной и северо-западной сторонах здания.

Существующие центральные (или индивидуальные) системы управления автоматически смогут опускать защитные тепловые экраны в нужное время суток, обеспечив снижение тепловых потерь через окна. Данное обстоятельство весьма существенно, так как на существующих промышленных предприятиях площадь оконных проемов составляет от 20 до 70 % от общей площади ограждающих конструкций.

Применение в темное или нерабочее время суток на промышленных предприятиях помимо дежурного режима отопления, увеличенной рекуперации в системах вентиляции еще и теплоотражающих металлических экранов, 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 диапазоне от 10 до 36 % (как видно из табл. 2) в зависимости от географической широты расположения объекта и климатических данных для региона (табл. 1).

В то же время, в отличие от конструкций с использованием теплоотражающих покрытий, нанесенных на стекло, окна с регулируемым сопротивлением на основе экранов не вызывают увеличения потребления электрической энергии на искусственное освещение, что особенно актуально для производственных цехов с высокими нормами освещенности рабочих мест. Следует заметить, что не исключается вариант совместного применения в конструкциях окон теплоотражающих экранов и стекла с селективным покрытием.

В летнее время, применение металлических жалюзи с солнечной стороны здания, снизит поступление солнечной энергии в помещение, тем самым сократив затраты энергии в системах кондиционирования воздуха.

Библиографический список

1. **Банников А.В., Захаров В.М., Смирнов Н.Н.** Применение окон с регулируемым сопротивлением теплопередаче для оптимизации режимов работы систем энергоснабжения зданий // Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на промпредприятиях и ТЭС: Межвуз. сб. науч. тр. / ГОУВПО СПб ГТУ РП. – СПб., 2006. – С. 170–174.

*О.Н. Махов к.т.н., доц. (ИГЭУ),
В.И. Французов, к.т.н., доц. (СПбГТУРП, г. С.- Петербург)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В топливном балансе страны при выработке электроэнергии доля газа на данный момент составляет 65 %. На электростанциях КПД газовых котлов находится на уровне 92÷94 %.

Однако во множественных промышленно развитых странах в законодательном порядке запрещено прямое сжигание газообразного топлива в топках котлов. Это одна из причин, почему на данный момент многие западные фирмы, специализирующиеся в этом направлении и теряя свой рынок на Западе, усиленно начали освоение нашего рынка.

Газ у нас сжигается не только для выработки электроэнергии, но и тепла для коммунальных нужд. Надо помнить, что на КЭС газ, в первую очередь сжигается для выработки электроэнергии. При этом большая часть тепла (порядка 60 % от теплоты сгорания газа) в конечном итоге теряется. Известно, что максимальный КПД конденсационного цикла на наших КЭС составляет 40 %. Существующая паротурбинная технология такова, что остальное тепло просто выбрасывается в окружающую среду. Это не относится к теплоэлектроцентралям, в которых пар из регулируемых отборов теплофикационных турбин используется на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, повышая КПД теплодинамического цикла до 65 %. Выбросы ТЭС способствуют тепловому загрязнению окружающей среды.

На данный момент уже используются новые технологии, когда рабочим телом цикла является не только пар, а непосредственно само топливо, в частности, газ. Такой подход с успехом используется в газотурбинных установках (ГТУ) и газопоршневых агрегатах (ГПА).

Достоинство ГТУ и ГПА, в отличие от паротурбинных, заключается в том, что цикл выработки электроэнергии начинается при температурах более 1000 °С, а не при температуре 500÷550 °С. Если при сгорании газа в ГТУ и ГПА можно получить температуру рабочего тела порядка 1500÷1700 °С, то в этом случае эффективность использования потенциала газа в два с лишним раза больше, чем при использовании паротурбинной технологии. Хотя резервы повышения эффективности и у них не исчерпаны.

Эффективный КПД при выработке электроэнергии по паротурбинной и газотурбинной технологии находится примерно на одном уровне – 30÷37 % (у ГПА – около 40 % и более). В ГТУ и ГПА рабочим телом является горячий газ, образующийся при сжигании топлива, и это рабочее тело после газовой турбины имеет настолько высокий потенциал (400÷580 °С), что его весьма легко утилизировать известными способами.

По оценкам экспертов, в России от 40 до 50 % ТЭС и ТЭЦ, которые отработали свой расчетный ресурс. Если не будет идти строительство новых станций, страна скоро вообще может остаться без генерирующих мощностей.

Хорошей альтернативой газовых ТЭС являются ГТУ достаточной мощности, в которых котлы-утилизаторы после ГТУ постепенно вытеснили бы существующие (отработавшие ресурсы) газовые котлы. А остальная схема – паропроводы, паровая турбина, генератор, водоподготовка и электрическая часть – использовались бы по их прямому назначению, не требуя новых капитальных затрат.

Мировой опыт говорит, что в этом случае удельная стоимость надстройки существующих ТЭС ГТУ составит от 15000 до 20000 руб/кВт. Такая надстройка позволяет снизить параметры пара (температуру и давление) для оставшейся части ТЭС практически без ущерба для КПД обновленной электростанции. А снижение давления и, особенно, температуры пара позволяет намного (в 3-5раз) увеличить оставшийся ресурс работы старого оборудования, что избавляет от необходимости их замены.

Следует добавить, что ввод надстроек ГТУ на существующих ТЭС или котельных занимает меньше года. При обновлении котельных коммунального хозяйства также можно и нужно применять ГТУ. В третьем тысячелетии при использовании газа как топлива при производстве электрической и тепловой энергии вода и пар как рабочее тело должны уступить место газу и продуктам его сгорания.

Внедряя электрогенерирующие установки в коммунальных котельных, можно обеспечивать электрической энергией не только собственные

нужды но и сторонних потребителей. При этом ее себестоимость будет в два раза ниже, чем покупка на стороне. Средняя удельная стоимость 1кВт установленной мощности в котельных при вводе ГТУ, включая стоимость всех работ, не превысит 15000 руб/кВт.

Однако использование ГТУ в котельных связано с определенными трудностями. Особенностью использования в котельных выхлопных продуктов сгорания ГТУ является то, что коренным образом меняются условия до сжигания продуктов горения в горелках котла, поскольку объем выхлопных газов, используемых для горения, резко отличается от объема воздуха.

По паспортным характеристикам отечественных ГТУ расчетным путем получены следующие значения отношения объемов продуктов сгорания при совместной работе с ГТУ и воздуха при автономной работе котла для наиболее характерных режимов (табл. 1). Как видно, объем продуктов сгорания в 6-7 раз превышает объем воздуха. Это объясняется повышенными коэффициентами избытка воздуха и температурами продуктов сгорания.

Таблица 1. Расчетные значения отношения объемов продуктов сгорания при совместной работе с ГТУ и воздуха при автономной работе котла для наиболее характерных режимов отечественных ГТУ

Расчетные параметры	Мощность ГТУ, МВт				
	2,5	4	8,6	16	25
α_r	6	5	3,9	3,5	3,4
$U_{п.с.}/U_v$	7	6,5	6,4	6,3	6,6

Существующие горелочные устройства, предназначенные для автономной работы котлов, непригодны для использования выхлопных газов ГТУ, и необходима их конструктивная переделка с увеличением проходного сечения.

В настоящее время известны только единичные данные исследования специализированной горелки для сжигания продуктов горения в атмосфере выхлопных газов ГТУ, конструкция которой резко отличается от типовых горелок котлов. Эти исследования не дали окончательных результатов. Поэтому до создания приемлемых конструкций горелок практически реальным решением в настоящее время является использование схемы, при которой продукты горения сжигаются в существующих горелках с воздушным дутьем, а выхлопные газы ГТУ сбрасываются в топку помимо горелок.

При расчете такой схемы необходимо помимо обычных соотношений теплового баланса дополнительно соблюдать условие равенства аэроди-

намических сопротивлений газового тракта в сравниваемых вариантах (автономной работы котла с паспортными характеристиками и при совместной с ГТУ работе котла). Необходимость привлечения аэродинамического условия обусловлена тем обстоятельством, что температура выхлопных газов ГТУ существенно ниже, чем продуктов сгорания получаемых от горелок котла. Поэтому единица объема продуктов сгорания ГТУ передает в котле меньшее количество тепла по сравнению с продуктами сгорания от горелок котла, требуя в то же время для пропуска газов через конвективные поверхности такого же размера проходного сечения.

В целом же использование ГТУ в котельных с водогрейными и паровыми котлами дает экономическую выгоду в размере от 10 до 30 % по сравнению с питанием от внешних электросетей за счет более дешевой выработки электроэнергии от собственного источника. Не менее важным моментом является возможность обеспечения максимальной теплофикационной нагрузки путем сжигания газа в горелках котла в среде выхлопных газов, однако реализация этой наиболее выгодной схемы требует конструктивной переделки существующих горелок, использующих воздушное дутье.

*В.И. Субботин, к.т.н, проф., Л.И. Тимошин, к.т.н., доц.,
С.В. Васильев, к.т.н., доц. (ИГЭУ), Б.А. Медведев, директор,
С.Ф. Клемко, гл. инж. (ОАО Яргортеплоэнерго)*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОДА ПАРОВОДОГРЕЙНОЙ КОТЕЛЬНОЙ В МИНИ-ТЭЦ

Основными направлениями экономии топлива котельными являются снижение потерь тепловой энергии парогенерирующими и теплоиспользующими установками, теплопроводами, использование вторичных энергетических ресурсов, а так же применение когенерации на источниках энергоснабжения.

В настоящее время значительный рост цен на энергоресурсы приводит некоторых руководителей промышленных предприятий к принятию решений о строительстве собственной мини-ТЭЦ.

Анализ существующих эффективных технологий комбинированного производства тепловой и электрической энергии позволяет выдвинуть несколько

основных направлений «малой» энергетики. В данном докладе мы рассмотрим некоторые варианты применения когенерации на источнике энергоснабжения, а именно, реконструкция котельной № 12 «Яргортеплоэнерго» с переводом в мини-ТЭЦ. В связи с организационной сложностью передачи избыточной электрической энергии в систему приходится рассматривать только возможность выработки электрической энергии на собственные нужды предприятий.

В котельной установлены 4 паровых котла (ДЕ-16-14 ГМ – 2 шт., ДКВр10-13 – 2 шт.), два водогрейных котла КВ ГМ 20-150 и один паровой ДКВр 10-13, переведенный в водогрейный режим, работающие на систему отопления и ГВС.

Максимальная выработка теплоты котельной № 12 приведена в табл. 1.

Таблица 1. Максимальная выработка теплоты

Наименование потребителя	Теплота, МВт		
	Отопление и вентиляция	ГВС	Всего
Существующие потребители котельной	30,478	3,642	35,011
Вновь присоединяемые потребители котельной № 12	14,044	8,727	23,027
Всего:	45,413	12,369	57,782
С учетом потерь собственных нужд	49,954	12,740	62,695
Лето	–	9,899	9,899

Отпуск теплоты потребителям при различных температурных режимах приведен в табл. 2.

Электрическая нагрузка на собственные нужды котельной приведена в табл. 3.

Таблица 2. Отпуск теплоты потребителям

Расчетный режим	Отпуск теплоты, МВт			Значение расчетной температуры, °С
	Отопление, вентиляция	ГВС	Суммарный	
Максимально-зимний	39,0	10,6	49,6	- 31
	48	36	84	
Наиболее холодного месяца	23,5	10,636	34,2	- 11,6
	80		16	
Средний за отопительный период	18,1	10,636	28,7	- 4,5
	20		56	
Летний	–	8,51	8,51	
		2	2	

Таблица 3. Электрическая нагрузка на собственные нужды котельной № 12

Наименование величин	С учетом коэффициента использования	Без учета коэффициента использования
Электрическая нагрузка существующего оборудования, кВт	850,66	1137
Электрическая нагрузка вновь устанавливаемого оборудования, кВт	425,625	567,5
Суммарная электрическая мощность, кВт	1 276,285	1 704,50
Летний период, кВт		597

Выполнен расчет тепловой схемы котельной при четырех различных температурных режимах: максимально-зимнем, наиболее холодном, среднеотопительном и летнем, в результате которого был определен расход пара, требуемый на покрытие собственных нужд котельной.

Величины расхода пара для различных температурных режимов приведены в табл. 4.

Таблица 4. Расход пара давлением 0,3 и 0,2 МПа

Наименование расчетной величины	Значение			
	Максимально-зимний	Наиболее холодный	Среднеотопительный	Летний
Расход пара, $p=0,3$ МПа, т/ч	56,84	44,9	40,3	13,45
Расход пара, $p=0,2$ МПа, т/ч	57,01	45,06	40,46	13,53

Для покрытия собственных нужд по электрической энергии были рассмотрены три варианта реконструкции.

1. Установка турбогенератора с противодавлением между котлоагрегатом и потребителем. Так как температурный график 95/70, то можно использовать противодавленческие турбины со следующими параметрами пара на выходе турбины: давление – 0,2±0,3 МПа; температура 119,6±132 °С.

Предлагается установить два турбогенератора ТГ 0,75 А/ 0,4 Р13/2 мощностью 750 кВт. Параметры свежего (сухого) пара: абс. давление 1,3 (1,0-1,4), МПа; температура, 191 (t_s - 250°С). Абсолютное давление пара за турбиной – 0,2 (0,15-0,3) МПа; расход пара, 14,4 т/ч.

Выполнен расчет тепловой схемы мини-ТЭЦ с давлением насыщенного пара 0,3 и 0,2 МПа. Результаты расчета приведены в табл. 4.

Как видно из табл. 4 в летний период находится в работе 1 турбина, а в отопительный – 2. Излишки пара направляются через РУ.

2а. С учетом прироста тепловых нагрузок установить газопоршневые электроагрегаты ГДГ 80 (3 шт. по 500 кВт) отечественного производства.

2б. С учетом прироста тепловых нагрузок установить газопоршневые электроагрегаты ДГ -68 М (2 шт. по 800 кВт).

3. С учетом прироста тепловых нагрузок установить газопоршневые агрегаты фирмы JENBACHER – JMS 212 с $N_{\text{сум}} = 1485$ кВт.

Приведенные расчеты показали, что реализация проекта позволяет полностью обеспечить потребности котельной в тепловой и электрической энергии. Основные экономические данные представлены в табл. 5.

Таблица 5. Сводная таблица капитальных затрат и показателей коммерческой эффективности по рассмотренным вариантам

Показатель	Вариант №1	Вариант №2 а	Вариант №2 б	Вариант №3
Капитальные затраты, млн.руб	22,5	30,654	27,374	37,868
Планируемый годовой экономический эффект, млн.руб/год	11,131	8,345	9,163	6,327
Срок окупаемости капитальных вложений, лет:				
простой	2,35	4,23	3,29	5,65
дисконтированный	2,98	6,53	5,43	10,85
Чистый дисконтированный доход, млн. руб:				
при норме дисконта 13 %	45,039	20,352	31,340	9,348
при норме дисконта 18 %	28,805	8,092	17,227	-
Индекс доходности:				
при норме дисконта 13 %	3,00	1,66	2,14	1,25
при норме дисконта 18 %	2,28	1,26	1,63	-
Тариф на отпускаемую тепловую энергию котельной № 12 до проведения реконструкции, руб/Гкал	526,33	526,33	526,33	526,33
Тариф на отпускаемую тепловую энергию котельной № 12 после проведения реконструкции, руб/Гкал	425,17	450,49	443,06	468,83

Как видно из табл. 5 наиболее экономически выгодным при существующих ценах на оборудование является вариант № 1.

На сегодняшний день, как показывает опыт, создание на предприятиях собственных мини-ТЭЦ является экономически эффективным решением. Осуществление подобных проектов приводит к снижению расходов, связанных с энергообеспечением предприятий, повышению надежности энергоснабжения. Однако высокие цены на импортные газопоршневые электроагрегаты увеличивают срок окупаемости мини-ТЭЦ.

*Д.Ю. Коломиец, инж. тепловых сетей
(РУП «Витебскэнерго» филиал Оршанская ТЭЦ)*

ПУТИ ЭКОНОМИИ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ СКРЫТЫХ РЕЗЕРВОВ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ И ТЭЦ

С 2005г в г. Орша, как и по всей республике Беларусь в рамках выполнения постановления №1820 Совета министров РБ, осуществлялось массовое оснащение отопительных систем и установок горячего водоснабжения приборами регулирования расхода тепловой энергии. К осенне-зимнему периоду 2009-2010г доля охвата регуляторами температуры по зоне Оршанской ТЭЦ составила 90 %. Отопительный период 2005-2006г. был последним отопительным периодом, когда теплосети г. Орши и большинства теплоисточников, входящих в состав РУП «Витебскэнерго», настраивались и работали по эксплуатационным температурным графикам. Для г. Орши это соответственно 120/70 °С со срезками 95/63 °С. Режим отпуска тепла в указанный период соответствовал качественному методу регулирования.

Массовое внедрение РТ и, вследствие этого, переход на качественно-количественный метод регулирования отпуска тепла, позволил теплотехнической группе ЦДС РУП «Витебскэнерго», разработать скорректированные температурные графики работы тепловой сети. Впервые режимной группой Оршанской ТЭЦ были выполнены гидравлические расчеты и осуществлена наладка тепловых сетей с учетом скорректированных графиков.

При этом основные изменения коснулись графика нормативной температуры обратной сетевой воды от систем отопления (рис. 1). Вместо классического графика температур сетевой воды в обратном трубопроводе при $t_{2p} = 70$ °С был применен скорректированный в сторону уменьшения в соответствии с прилагаемой номограммой:

Это позволило установить расходы теплоносителя от большинства теплоисточников РУП «Витебскэнерго» в соответствии с расчетным температурным графиком, работая при этом по более низкому эксплуатационному графику.

Возможность установить работы в таком режиме как раз обусловлена наличием существовавших скрытых резервов в системах теплоснабжения города – выполненных с запасом системах отопления, дополнительном, по срав-

нению с проектным, утеплении объектов, завышенных договорных нагрузках на теплоснабжение по сравнению с фактическим.

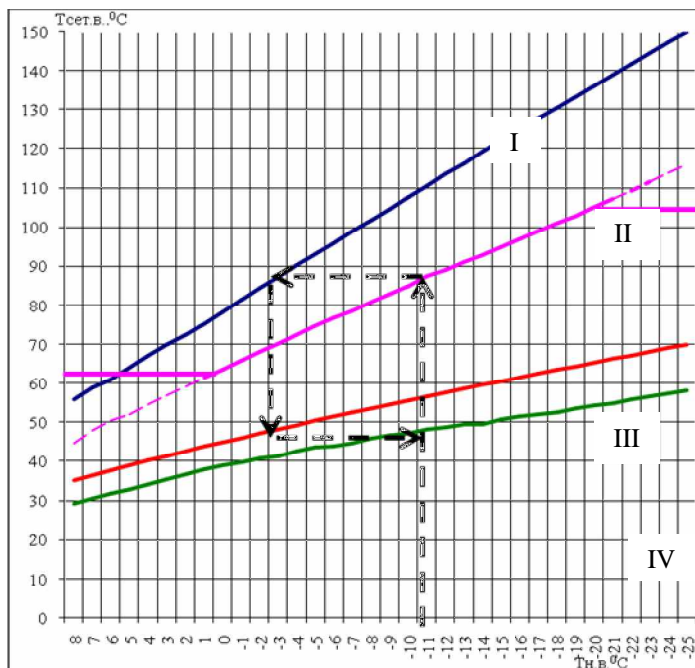


Рис. 1. Номограмма для определения нормативной температуры обратной сетевой воды от систем отопления при несовпадении эксплуатационного графика с расчетным:
 I – температура подачи по графику 150-70 °С; II – температура подачи по графику 120-70 °С; III - температура обр. воды по графику 150-70 °С; IV - температура обр. воды по графику 120-70 °С

Персоналом Оршанской ТЭЦ совместно коммунальными службами была проведена значительная работа по наладке систем теплоснабжения города с учетом выше названных положений. И она себя целиком и полностью оправдала – применение скорректированного температурного графика одновременно с увеличением температуры нижней срезки для подающего трубопровода с 63 до 68-70 °С дало значительный экономический эффект. На примере Оршанской ТЭЦ видно, что благодаря росту температурного перепада теплоносителя во всем диапазоне температур окружающей среды (на 10-11 °С), по сравнению с ОЗП 2005-2006 гг. цир-

куляция по зоне её теплоснабжения уменьшилась. И это при том, что отпуск тепла вырос за счет передачи на теплоисточник тепловых нагрузок 5 районных котельных (рис. 2 и табл. 1).

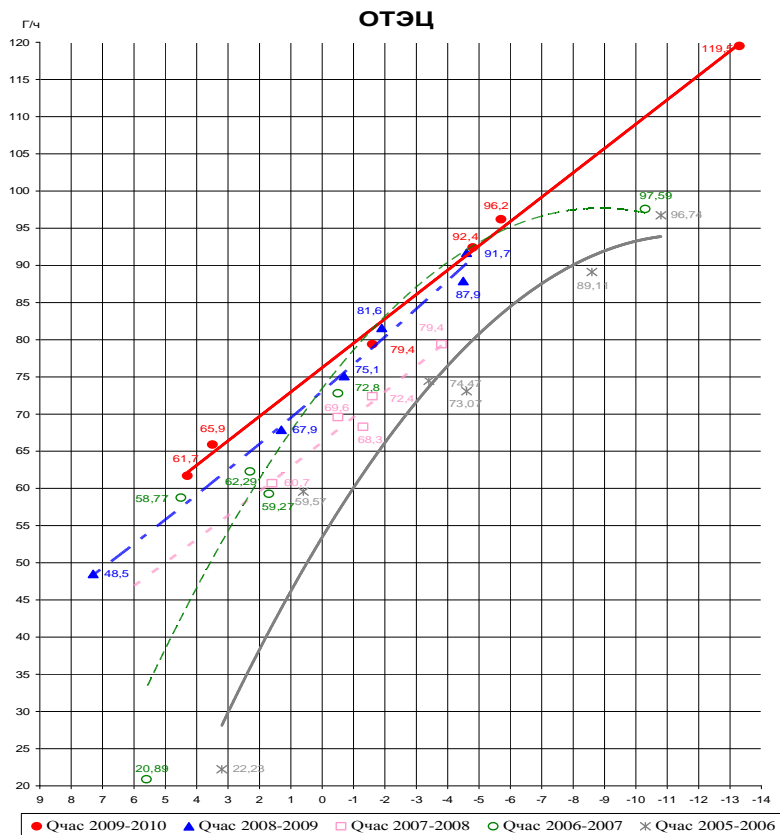


Рис. 2. Отпуск тепла от ОТЭЦ в ОЗП 2009-2010 гг. по сравнению с ОЗП 2005-2006 гг.

Оршанская ТЭЦ получила возможность переключить на себя дополнительные тепловые нагрузки (около 63 Гкал/ч при средней нагрузке на ГВС) не увеличивая располагаемый напор на источнике, оставив без изменения диаметры основных магистралей, и не включая в работу понижительную насосную станцию. При этом у всех потребителей города сохранены располагаемые напоры, необходимые для надежной работы зависи-

мых отопительных систем, а давление в обратном трубопроводе не превысило 0,55 МПа.

Таблица 1. Изменение циркуляции от ОТЭЦ в ОЗП 2009-2010гг по сравнению с ОЗП 2005-2006гг.

Теплоисточник	Отопительный период		Изменение циркуляции		Режим положительных температур, тнв =+3 °С			Среднеотопительный режим тнв =-2 °С		
	2005-2006	2009-2010			Температурный перепад теплоносителя					
	Циркуляция т/ч	Циркуляция т/ч	тт/ч	%%	2006-2005	2009-2010	Изменение	2005-2006	2009-2010	Изменение
ОТЭЦ+РК "Орша Восточная" РК "Барань"	3177	2988	-189	5,9	5,8	25,9	10,1	9,6	0,7	11,1
					2,6	21,1	8,5	9,3	6,3	7
	639	443	-196	30,7	6,2	20,1	3,9	8,5	5,3	6,8

Экономия электроэнергии на перекачку сетевой воды с ноября по февраль отопительного периода 2008-2009 гг. в сравнении с периодом 2005-2006 гг. по ОТЭЦ составила 1113 МВт·ч, а всего по РУП «Витебскэнерго» 11169,7 МВт·ч.

Другой положительной стороной указанного выше процесса явилось приведение температур в помещениях потребителей до нормативных величин 18-20 °С, исключив существовавшие ранее перетопы, т.е. теплоисточник больше не греет бессмысленно окружающую среду, а потребитель не переплачивает (в условиях 100 % оснащения систем теплоснабжения приборами учета) за дополнительное тепло, в котором он собственно и не нуждался.

Подводя некоторый итог, необходимо отметить, что в условиях неизбежного роста цен на энергоносители и планомерному доведению тарифов за энергию населению до уровня 100 % сохранится и сможет развиваться та энергосистема, которая будет максимально использовать весь потенциал уже в ней заложенный, либо вновь приобретаемый. В нашем случае мало просто оснастить потребителей приборами регулирования – воспользоваться всеми преимуществами, которые даёт автоматика в условиях наличия запаса мощности заложенного в систему нашими отцами и дедами – такова задача инженеров-энергетиков.

**В.П. Созинов, д.т.н. проф. (ИГЭУ),
А.Н. Корягин, инж. (ООО НТЦ «Промышленная энергетика»)**

СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОПOTЕРЬ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

В последнее время вопросам энергосбережения в России уделяется особое внимание на уровне правительства и президента РФ. В связи с этим разработан ряд законодательных документов, направленных на повышение эффективности использования энергетических ресурсов.

В ноябре 2009 года вышел новый Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1] определяющий широкомасштабные действия во всех областях промышленности и жилищно-коммунальном секторе. Особое внимание уделено вопросам учета энергоносителей и контроля их потребления и транспортировки. Все энергообеспечивающие организации должны строго отслеживать потоки энергоносителей.

В принятом законе сформулированы основные принципы правового регулирования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, определены полномочия органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, описан механизм государственного регулирования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, говорится о необходимости проведения энергетических обследований и развития энергосервисных контрактов.

В законе также определен механизм государственной поддержки в области энергосбережения и государственный контроль за соблюдением требований законодательства об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и ответственность за их нарушение.

С 2009 года в России введен новый порядок расчета и обоснования нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии (приказ Минэнерго РФ от 30 декабря 2008 г. №325) [2]. Согласно этому документу для каждой тепловой сети должны разрабатываться нормативы технологических потерь при передаче тепловой энергии, которые применяются при проведении объективного анализа работы теплосетевого оборудования и определении тарифов на отпускаемую потребителям тепловую энергию. Эффективность практической реализации установ-

ленного порядка расчета технологических потерь в тепловых сетях напрямую зависит от точности измерения тепловых потерь в реальных условиях эксплуатации.

К нормативам технологических потерь при передаче тепловой энергии относятся потери и затраты энергетических ресурсов, обусловленные техническим состоянием теплопроводов и оборудования и техническими решениями по надежному обеспечению потребителей тепловой энергией.

При выборе вида тепловой изоляции основываются, как правило, на соотношениях «цена-качество». Если цена тепловой изоляции определяется рыночной стоимостью, то качество можно разбить на ряд показателей эффективности использования. К показателям эффективности теплоизоляционной конструкции относят: коэффициент теплопроводности, паропроницаемость (влагопроницаемость), изменение теплопроводности на высоких температурах, стойкость к многократному перепаду температур как окружающей среды так и теплоносителя, устойчивость к кислотам, щелочам, солям, маслам, бензинам, по горючести материал тепловой изоляции. Вода оказывает существенное влияние на важный показатель эффективности теплоизоляционных материалов – теплопроводность.

Так, например, в случае попадания воды в материал из минеральной ваты или пенополиуретана теплопроводность теплоизоляции резко увеличивается в несколько раз. Кроме этого, снижается срок службы как изоляции так и самих трубопроводов. При монтаже технической теплоизоляции одним из ключевых моментов является достижение герметичности теплоизоляционной конструкции, что часто сложно добиться. В результате при негерметичности теплоизоляционной конструкции увеличивается количество местных потерь тепла, а также проникает влага внутрь материала, и это приводит к снижению термического сопротивления изоляции. Следствием этого являются высокие тепловые потери, увеличивается многократно риск коррозии оборудования и трубопроводов под изоляцией, тем самым сокращается их срок службы. При монтаже тепловой изоляции необходимо добиваться полной герметичности теплоизоляционной конструкции как на прямых участках так и на различных углах, поворотах, тройниках, различной арматуре: вентилях, задвижках, кранах и т.д.

После монтажа тепловой изоляции необходимо контролировать ее состояние путем проведения испытаний или непрерывного мониторинга.

Единственная действующая методика проведения испытаний [3] подразумевает отбор типичной теплотрассы, осушение её, восстановление изоляции и собственно испытания с созданием

замкнутого контура циркуляции. Испытания должны проводиться при отключенных абонентах с обеспечением циркуляции теплоносителя через перемычки на абонентских тепловых пунктах. Важными требованиями являются постоянный расход теплоносителя и установившийся перепад температур 8-10 °С. Соблюдение этих требований приводит к необходимости одновременного испытания весьма значительных районов тепловых сетей с большими эксплуатационными затратами.

Кроме того, в процессе проведения испытаний не всегда удается надежно отключить все ответвления, что приводит к значительным утечкам воды из испытываемого кольца и снижению достоверности полученных результатов. Поэтому на практике испытания тепловых сетей на тепловые потери до недавнего времени проводились крайне редко или не проводились вообще.

Данная методика не пригодна для поучастковых испытаний. В то же время тепловые сети ремонтируются частями, с большой разницей во времени. Состояние тепловой изоляции на отдельных участках неодинаково, хотя владельцу тепловых сетей необходимо знать наиболее проблематичные места, при этом испытания должны проводиться, по возможности, без вскрытия теплоизоляционных конструкций.

Следующим затруднением в получении достоверных результатов при тепловых испытаниях водяных сетей является несоответствие условий проведения испытаний и реальным условиям эксплуатации. Также строгое соблюдение стационарного температурного режима невозможно, так как на практике в большей или меньшей степени неизбежны отклонения от этого режима. Возникает необходимость в разработке и теоретическом обосновании методики определения потерь теплоты на отдельных участках водяных сетей, приспособленной для испытаний при обычном нестационарном температурном режиме. В то же время использование накладных расходомеров ограничено прямыми участками в камерах, точностью измерений и необходимостью иметь большое количество дорогостоящих приборов.

Из-за отсутствия надежной и простой методики испытания тепловых сетей контроль состояния тепловой изоляции большей частью осуществляется только визуально – путем внешнего осмотра. При таком подходе трудно оценить действительные характеристики теплоизоляционного материала, например, снижение коэффициента теплопроводности за счет увлажнения и уплотнения изоляции. В то же время эти факторы приводят

к значительному увеличению тепловых потерь по сравнению с нормативными значениями.

Для организации постоянного контроля состояния тепловой изоляции предлагается оборудовать тепловые сети регистраторами температуры, с помощью которых возможно осуществить проведение тепловых испытаний. Сами испытания рекомендуется проводить методом «температурной волны», суть которого заключается в следующем.

В испытываемой тепловой сети выбираются участки определенной длины, на которых требуется оценить состояние тепловой изоляции. На концах испытываемого участка закрепляются датчики, которые одновременно и непрерывно фиксируют температуру теплоносителя. Результаты записываются прибором-регистратором с заданным интервалом по времени. В некоторый момент времени на источнике теплоты температура сетевой воды искусственно повышается обслуживающим персоналом на $5 \div 10$ °С, выдерживается определенное время при этом значении, а потом снова понижается до первоначальной величины. Датчики регистрируют изменения температуры во времени. Этот характер изменения температуры зафиксирован оба датчика, установленные по концам испытываемого участка. Отличие заключается в том, что график для конечного датчика будет сдвинут по времени и «размыт». Следует учесть, что скорость движения температурной волны несколько меньше скорости движения жидкости. Поэтому для определения реального расхода теплоносителя необходимо вводить поправочные коэффициенты. Снижение максимума температуры по длине участка обуславливается не только тепловыми потерями, а большей частью турбулентным перемешиванием элементов жидкости внутри трубопровода. Из чего следует, что тепловые потери можно определить по разнице площадей под кривыми, зафиксированными датчиками в начале и конце участка.

Сопоставляя полученные результаты с нормативными тепловыми потерями, можно сделать вывод о техническом состоянии тепловой изоляции в момент проведения испытаний.

Библиографический список

1. **Федеральный закон** РФ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты российской федерации» № 261-ФЗ от 23 ноября 2009 года.
2. **Приказ Минэнерго** России от 30 декабря 2008 г. N325 «Об организации в Министерстве энергетики РФ работы по утверждению нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии».

3. РД 34.09.255-97 Методические указания по определению тепловых потерь в водяных тепловых сетях.

Е.Г. Авдюнин, д.т.н., проф., А.Б.Трояновский, инж. (ИГЭУ)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ КОТЛА ПТВМ-100 ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

Система теплоснабжения может быть представлена в виде единой системы, состоящей из двух и более последовательно взаимосвязанных циркуляционных колец. Расчетный анализ проводился для рабочего диапазона теплопроизводительности котла при ступенчатом снижении его относительной тепловой нагрузки от номинальной (100 %) до минимально допустимой. При нагрузках $Q/Q_n \leq 0,6$, когда снижаются интенсивность образования топливно-воздушной смеси и температурный уровень в зоне горения, ухудшение полноты сгорания топлива в расчетах учитывается повышением тепловых потерь q_3 и q_4 . В целях совершенства смесиобразования для снижения топочных потерь при нагрузках $Q/Q_n \leq 0,6$ предусматривается увеличение коэффициента избытка воздуха α''_T .

Потеря теплоты от наружного охлаждения котла при пониженных нагрузках, %, определяется из выражения:

$$q_5 = q_5'' \cdot \frac{Q_n}{Q}, \quad (1)$$

где q_5'' и Q_n – характеристики, принимаемые из расчета котла на номинальную нагрузку (базовый вариант).

Расчетная схема котла представляет совокупность трех однолинейных схем последовательно соединенных участков газохода и поверхностей нагрева применительно к газовому, водяному и воздушному трактам котла. Применительно к отдельному тракту, учитывая его особенности, присваивается определенный тип (ТЕ), который принимается согласно рекомендациям [4, 5]. Исходные условия для выполнения расчетного анализа и его результаты записывают в табл. 1.

Строится график изменения КПД котла η_k в зависимости от теплопроизводительности Q , образец которого представлен на рис. 1. По максимальному значению КПД $\eta_k^{\text{макс}}$ определяется экономическая теплопро-

изводительность котла, соответствующая его оптимальной нагрузке. Расход топлива на котел определяется, м³/ч:

$$B_{\text{эк}} = \frac{Q_{\text{эк}} \cdot 100}{Q_{\text{р}}^{\text{п}} \cdot \eta_{\text{к}}^{\text{макс}}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{р}}^{\text{п}}$ – располагаемая теплота топлива, ккал/ч.

Таблица 1. Исходные условия и результаты вариантных расчетов котла ПТВМ-100

Наименование	Режимы			
	1	2	3	4
Относительная нагрузка $Q/Q_{\text{ном}}$	1,0	0,8	0,6	0,4
Теплопроизводительность Q , Гкал/ч	100	80	60	40
Температура воды на входе в котел $t'_{\text{к}}$, °C	65	65	65	65
Температура воды на выходе из котла $t''_{\text{к}}$, °C	150	135	126	115

Энергетическая (топливная) характеристика представляет зависимость расхода топлива от теплопроизводительности котла. Ее принято выражать в двухлинейном виде с точкой перелома, соответствующей экономической нагрузке котла (рис. 1):

$$B = B_{\text{xx}} + b_1 \cdot Q + (b_2 - b_1) \cdot (Q - Q_{\text{эк}}), \quad (3)$$

где B_{xx} – расход топлива на "холостой ход" энергоустановки при $Q = 0$; b_1 и b_2 – относительные приросты расхода топлива.

Значения относительных приростов расхода топлива можно определить по формулам:

$$b_1 = \frac{B_{\text{эк}} - 1,05 \cdot B_4}{Q_{\text{эк}} - Q_4}; \quad b_2 = \frac{B_1 - B_{\text{эк}}}{Q_1 - Q_{\text{эк}}}; \quad (4)$$

где B_1 , B_4 , Q_1 , Q_4 – соответственно расходы топлива и теплопроизводительность котла при первом и четвертом режимах, т/ч.

Расход топлива на холостой ход энергоустановки, т/ч:

$$B_{\text{xx}} = 1,05 \cdot B_4 - b_1 \cdot Q_4. \quad (5)$$

После расчета значений b_1 , b_2 и B_{xx} получают итоговую формулу энергетической характеристики и строят графики, представленные на рис. 1.

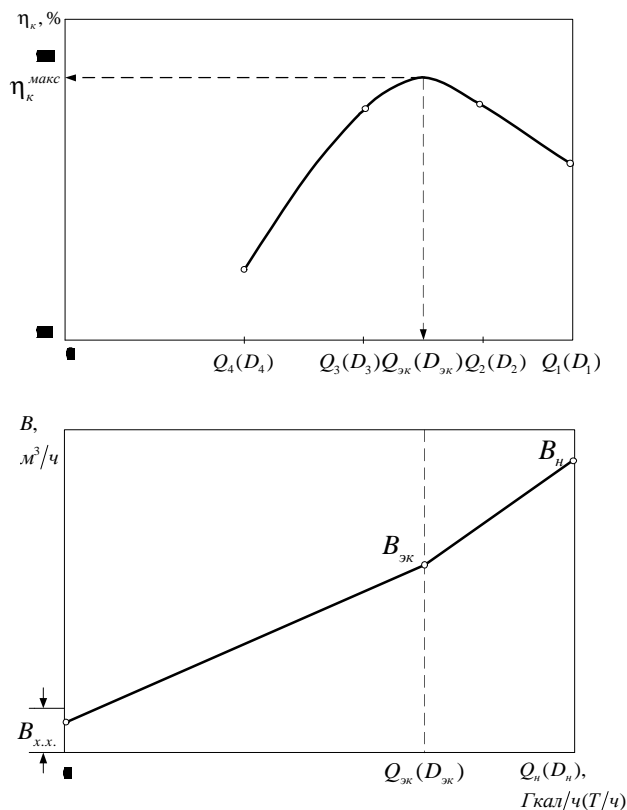


Рис. 1. Определение оптимальной нагрузки котла и расчет его энергетической характеристики

По результатам вариантных расчетов изображаются графики, показывающие изменение температуры уходящих газов ϑ_{yx} , температуры газов на выходе из топочной камеры $\vartheta''_т$, коэффициента избытка воздуха в уходящих газах α_{yx} в зависимости от значений Q .

Расчеты проводились для водогрейного котла ПТВМ-100. Минимальное значение КПД котла (брутто) с уменьшением теплопроизводительности от 105,3 до 39,8 Гкал/ч при низких температурах наружного воздуха (-12 до -40 °С) возрастает в пределах от 88 до 91,9 %, что соответствует зависимости

$$\eta_k^{\min} = 88,1 + 0,17(105,3 - Q_k)^{0,75}. \quad (6)$$

Максимальное абсолютное отклонение расчетных данных от результатов математической обработки не превышает 0,1 %.

Соответственно при снижении нагрузки температура уходящих газов уменьшается до 99 °С, а температура на выходе из топки – до 1010 °С, что допустимо по условиям нормальной эксплуатации водогрейного котла. При теплоте сгорания природного газа 10170 Ккал/м³ с увеличением производительности в указанных ранее пределах расход топлива возрастает от 5330 до 13863 м³/ч и аппроксимируется зависимостью

$$V_r = 13863 - 198(105,3 - Q_k)^{0,89}. \quad (7)$$

Максимальное относительное отклонение расчетных данных от результатов математической обработки не превышает 3,1 %.

При постоянно повышающейся стоимости топлива практический и экономический интерес представляет изменение КПД котла (брутто) и расхода топлива в зависимости от температуры наружного воздуха при неизменной теплопроизводительности. Расчеты проводились при $Q = 105,3$ Гкал/час и температуре воздуха от 0 до -40 °С. В результате исследований были получены следующие данные (см. табл. 2)

Обобщающие зависимости для КПД котла и удельного расхода топлива имеют следующий вид

$$\eta_k = 88,15 + 0,0291(t_{нар} + 40)^{1,07} + 0,17(105,3 - Q_k)^{0,75}; \quad (8)$$

$$b_r = 20143 - 8,43(t_{нар} + 40) - 287,7(105,3 - Q_k)^{0,89}. \quad (9)$$

Таблица 2. Результаты исследований

Наименование характеристики	Котел ПТВМ-100		
	0	-20	-40
Температура наружного воздуха, °С	0	-20	-40
КПД котла (брутто), %	89,65	88,8	88
Расход газа, м ³ /ч	13630	13745	13863

Как установлено, для котла ПТВМ-100 удельный расход условного топлива зависит от температуры наружного воздуха и теплопроизводительности агрегата. При $t_{нар} = -40$ °С, $b_y = 190-200$ кг у.т./Гкал, а при $t_{нар} = 0$ °С, соответственно $185 \div 198$ кг у.т./Гкал.

В результате решения задачи получены численные зависимости и разработан аналитический аппарат, которые позволяют обеспечить определение оптимальных параметров состояния технологических параметров водогрейных котлов. В качестве критерия оптимальности при решении задачи может быть принят минимум полных затрат на реализацию процесса нагрева воды.

Библиографический список

1. **Носков А.И** Руководство для пользователей: справочные материалы по программе ТРАКТ / А.И. Носков. Подольск, 1984. 40 с.
2. **Методические указания** по теме «Тепловой поверочный расчет паровых котлов на ЭВМ ЕС» / В.Л. Гудзюк [и др.]. Иваново, 1989. 36 с.
3. **Производственные и отопительные котельные** / Е.Ф. Бузников [и др.]. М.: Энергия, 1974. 232 с.
4. **Котлы малой** и средней мощности и топочные устройства: Отраслевой каталог 15–83 / Г.М. Вишерской [и др.]. М., 1983. 225 с.
5. **Тепловой расчет** котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н.В. Кузнецова [и др.]. М.: Энергия, 1973. 296с.

*Ю.К. Коломиец, инж. тепловых сетей
(РУП «Витебскэнерго» филиал Оршанская ТЭЦ)*

ВАКУУМНАЯ СУШКА ИЗОЛЯЦИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОЛИРОВАННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ

В процессе широкого внедрения в системах теплоснабжения предварительно-изолированных (ПИ) трубопроводов при хранении, монтаже и эксплуатации ПИ-трубопроводов по различным причинам (воздействие атмосферных осадков, затопление траншей, несоблюдение технологической дисциплины монтажа ПИ-трубопроводов) в межтрубное пространство за счет высокой сорбционной способности поступает влага, которая приводит к замоканию ППУ-изоляции, и, в результате, к снижению электрического сопротивления изоляции, разрушению металла стальной трубы и тепловым потерям из-за роста теплопроводности ППУ-изоляции.

Увлажнение изоляции по длине более 3 метров требует замены трубы, а до 3 метров – оболочки с изоляцией и проводов СОДК, что является весьма затратным мероприятием.

С целью восстановления свойств тепловой изоляции ПИ-трубопроводов инженерами Оршанской ТЭЦ РУП «Витебскэнерго» Коломийцем Ю.К., Жуком Д.Н. и Коломийцем Д.Ю. были разработаны и опробованы на практике 4 запатентованные полезные модели, позволяющие вести вакуумные осушку ППУ-изоляции неразрушающими методами.

Основные достоинства метода вакуумной сушки следующие:

1. Поддержание состояния изоляции в пределах нормы до ремонта в межотопительный период.
2. Возможность ремонта полиэтиленовой оболочки после удаления влаги без отключения ПИ-трубопроводов и замены труб, переразделки участков трубопроводов длиной до трех метров, муфт, отсутствие необходимости последующего запенивания.
3. Исключение необходимости восстановления проводов СОДК, поврежденных при демонтаже.
4. Снижение объемов строительных работ как по вскрытию сети, так и по благоустройству территории после ремонтных работ.
5. Отсутствие вредного воздействия жидких компонентов для формирования ППУ-изоляции на персонал и окружающую среду.
6. Снижение тепловых потерь, темпов старения изоляции и, как следствие, затрат топлива на теплопотери.
7. Исключение повторного намокания отремонтированной муфты за счет перетока влаги от насыщенных пограничных участков.

1. Устройство для восстановления изоляции ПИ-трубопровода

Основной задачей в решении предложенной полезной модели является удаление влаги из пространства между стальной трубой и паронепроницаемой полиэтиленовой оболочкой с целью приведения показателей теплоизоляции в соответствие с требованиями нормативно-технической документации.

Поставленная задача решена следующим образом.

Предложено устройство для восстановления изоляции ПИ-трубопроводов, содержащее вакуумный насос, снабженный запорной и регулирующей арматурой, соединенные вспомогательным трубопроводом, для подключения вакуумного насоса через нижнее отверстие в изоляционной оболочке, а также баллон сжатого азота, снабженный запорной и регулирующей арматурой, соединенные вспомогательным трубопроводом, для подключения баллона сжатого азота через верхнее отверстие в изоляционной оболочке.

Устройство для восстановления свойств пенополиуретановой изоляции ПИ-трубопровода показано на рис. 1.

Вакуумный насос создает градиент движения влаги и неконденсирующихся паров газов. Азот обладает высокой сушильной способностью нейтрального газа, замещает увлажненные пенообразующие газы, ускоряет процесс сушки. Процесс восстановления изоляции занимает от 1 до 15 суток – время, необходимое для удаления влаги из ППУ-изоляции.

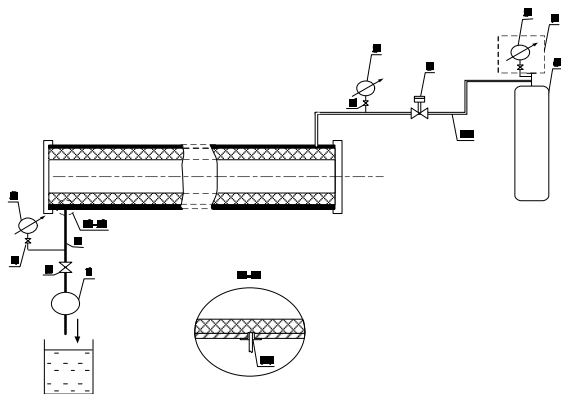


Рис. 1. Устройство для восстановления изоляции ПИ-трубопровода:

1 – вакуумный насос; 2 – регулирующий шаровый кран; 3 – мановакуумметр; 4 – трехходовой кран; 5, 10 – вспомогательные трубопроводы; 6 – баллон сжатого азота; 7 – редуктор; 8 – регулятор расхода; 9 – манометр; 11 – присоединительный штуцер

Контроль осуществляется замерами электрического сопротивления изоляции и рефлектометром.

Применение устройства приводит изоляцию в норму без замены труб, что позволяет снизить затраты, связанные с отключением теплосети и строительными работами.

2. Устройство для ремонта теплогидроизоляции муфты и приграничных участков ПИ- трубопровода

Устройство для ремонта теплогидроизоляции муфты и приграничных с ней участков ПИ-трубопровода работает по аналогичному принципу с вышеописанной установкой.

На рис. 2 показан общий вид предложенного устройства, позволяющего удалить сконденсированные пары влаги не только из муфты но и приграничных с ней участков изоляции ПИ-трубы без ее разборки с целью снижения трудозатрат и повышения надежности.

Работу осуществляют следующим образом:

- в нижней точке муфты 6 сверлят отверстие $2 \text{ } \varnothing 15 \div 20 \text{ мм}$, нарезают резьбу;
- подключают вакуум-насос 1;
- вентилем 2 устанавливают по мановакуумметру 3 разрежение 0,01 МПа;

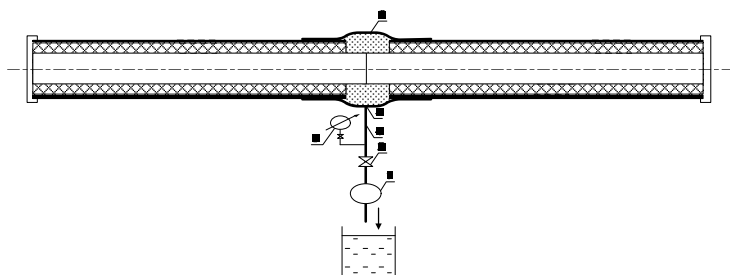


Рис. 2. Устройство для ремонта теплогидроизоляции муфты и приграничных участков ПИ-трубопровода:

1 – вакуумный насос; 2 – регулирующий вентиль; 3 – мановакуумметр; 4 – соединительный трубопровод; 5 – отверстие; 6 – муфта

- с помощью измерительных приборов (на рисунке не показаны) ведут контроль за изменением электрического сопротивления теплоизоляции, рефлектограмм;

- по завершении процесса удаления влаги и приведения параметров в соответствие с требованиями научно-технической документации проводят пневматические испытания муфты на плотность давления 0,5 ати в течение 5 минут.

3. Устройство для удаления влаги из ПИ-трубопровода

После определения приборным методом участка заморозки и с учетом рельефа местности имеется возможность применить устройство для удаления влаги из ПИ-трубопровода. Оно позволяет:

- осуществить осушку ППУ-изоляции предварительно изолированных трубопроводов систем теплоснабжения (особенно, при целостности полиэтиленовой оболочки);

- при необходимости сдвигать сроки ремонта обнаруженных неплотностей как в стальной трубе (отпотевание сварных швов в процессе эксплуатации), так и защитной полиэтиленовой оболочки, к межотопительному периоду, не допуская распространения влаги по ППУ-изоляции.

Общий вид устройства показан на рис. 3.

Последовательность работ с устройством следующая.

В ближайшей к заморозке камере, а при отсутствии таковой - в шурфе, как можно ближе к нижней точке профиля трассы просверливают отверстие в полиэтиленовой оболочке ПИ-трубы и посредством штуцера

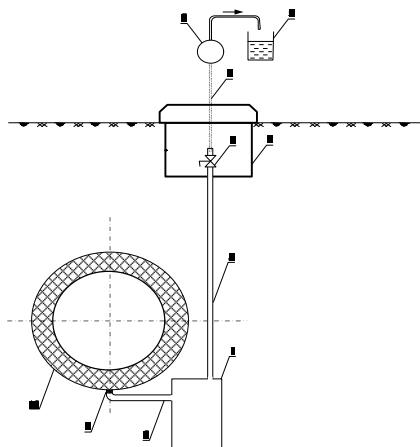


Рис. 3. Устройство для удаления влаги из ПИ-трубопровода:

1 – контрольный водосборник; 2 – соединительный шланг; 3 – горизонтальная и вертикальная соединительные трубы; 4 – штуцер на конце горизонтальной соединительной трубы; 5 – кран шаровой; 6 – типовой ковер; 7 – трубка-шуп полиэтиленовая; 8 – вакуум-насос; 9 – мерная емкость; 10 – ПИ-трубопровод в поперечном сечении.

и трубопроводов монтируют устройство. Вакуум-насосом создают разрежение, равное 0,01 МПа, которое поддерживают 2-3 часа (в зависимости от удаленности места замокания изоляции). Шаровой кран закрывают; под воздействием разницы давлений образуется устойчивый капиллярный поток влагосодержащих газов и конденсата в контрольный водосборник. При этом если замокание изоляции произошло в процессе монтажа, а затем были выполнены герметичные полиэтиленовые муфты, то осушка будет произведена успешно, и устройство можно демонтировать или оставить, как контрольную точку для мониторинга за состоянием изоляции при необходимости переноса срока ремонта на межотопительный период.

4. Осушка с применением вакуумного аккумулятора

Предлагаемое устройство, состоящее из вакуумного аккумулятора, присоединительного патрубка с запорной арматурой, регулятора расхода, присоединительных трубопроводов из стали или резиновых шлангов с мановакуумметрами позволяет вести процесс удаления влаги из ППУ изоляции как при разовой «зарядке» аккумулятора, так и при многократной.

Процесс «зарядки» составляет 5-15 мин, после чего машина может использоваться по её прямому назначению.

Длительность работы устройства – от 45 минут до 3-х суток в зависимости от уставки регулятора расхода и степени насыщенности влагой ППУ изоляции.

Несколько подобных установок позволяют вести сушку ППУ-изоляции ПИ-трубопроводов на протяженных магистралях с локализацией замокших участков, с зарядкой вакуумом с помощью вакуумной машины для откачки воды (рис. 4).

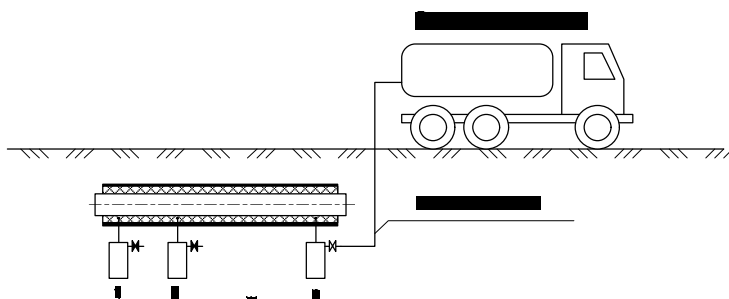


Рис. 4. Сушка с применением вакуумного аккумулятора:

1, 2... n — вакуумные аккумуляторы в шурфах или тепловых камерах

При производстве осушительных мероприятий «зарядка» вакуумных аккумуляторов может производиться централизованно с последующей транспортировкой их к местам восстановления свойств изоляции ПИ-труб, так и при масштабных объемах машина может обеспечивать стационарно установленные аккумуляторы.

Е.Г. Авдюнин, д.т.н., проф., В.А. Магницкий, инж. (ИГЭУ)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СВОБОДНОГО НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ФАКЕЛА

Под гидродинамикой аппарата следует понимать совокупность факторов, связанных с движением и условиями перемешивания (взаимодействия) газовой и твердой фазы. Она оказывает существенное

влияние на процессы переноса, особенно в аппаратах, в которых гидродинамикой определяется продолжительность технологического процесса. Следует иметь в виду, что допустимая температура газа и материала во многом определяется гидродинамической обстановкой в аппарате.

Гидродинамическая обстановка в технологическом оборудовании определяется полем скоростей взаимодействующих фаз, которое, в свою очередь, обуславливает распределение сплошной фазы по времени пребывания в аппарате и его отдельных зонах, а также условия взаимодействия фаз.

В нестационарных условиях время и расстояния в направлении осей координатной системы x, y, z – образуют независимые переменные задачи.

Зависимые переменные, представляющие практический интерес при проектировании включают: U, V, W – компоненты скорости в направлениях x, y, z соответственно; P – давление; t, h – температура или энтальпия теплоносителя и поверхностей теплообмена; m_i – массовая концентрация отдельных компонент теплоносителя.

Все зависимые переменные, исключая давление, описываются соответствующими уравнениями сохранения. Подробный вывод этих уравнений можно найти в литературе [2].

В координатной системе с использованием этих обозначений, **уравнение неразрывности** для потока приобретает следующую форму [1, 2]

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho U_i) = S_m, \quad (1)$$

где ρ – плотность, S_m – источники массы.

Необходимо отметить, что плотность, в общем случае, переменна в пространстве, в основном, из-за температурных изменений.

Уравнение сохранения импульса управляет распределением компонент скорости и выражает влияние следующих механизмов: конвекции, градиента давления, массовых сил объемного характера и вязкого взаимодействия [1, 2]:

$$\frac{\partial (\rho U_i)}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho U_i U_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + S_i + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i}, \quad (2)$$

где P – давление; S_i – источниковый член; τ_{ij} – сдвиговые напряжения.

Дифференциальное уравнение, управляющее **распределением энтальпии (температуры)** в поле течения имеет следующий вид [1, 2]:

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho U_i h) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\lambda}{c_p} \frac{\partial h}{\partial x_i} \right) + S_h, \quad (3)$$

где λ , c_p – коэффициенты теплопроводности и теплоемкости, соответственно; S_h – источниковый член.

Уравнение сохранения химической компоненты смеси имеет следующий вид [1, 2]:

$$\frac{\partial(\rho m_i)}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho U_i m_i) = \frac{\partial}{\partial x_i}(J_{mi}) + R_m, \quad (4)$$

где J_{mi} – диффузный поток; R_m – источник массы.

Соответствующие сдвиговые напряжения, конечно, зависят от градиентов местной скорости и величины вязкости (точнее эффективной вязкости).

$$(\tau)_{ij} = (\mu)_{эфф} (dU_i/dx_j + dU_j/dx_i). \quad (5)$$

Все эти уравнения управляют гидродинамикой рассматриваемого процесса, однако в общем случае их нельзя решить как самостоятельную систему. Для этого необходимо, с одной стороны, знать, как плотность зависит от температуры и концентраций, с другой стороны, нужно определить, или рассчитать пространственное изменение эффективной вязкости. Для более полной информации об этих процессах мы должны решить уравнение энергии для получения распределения температуры, уравнение сохранения компоненты для определения концентраций и уравнения модели турбулентности для вычислений эффективной вязкости.

Проведенное выше рассмотрение дифференциальных уравнений, описывающих конвективный перенос импульса, теплоты, массы и турбулентных характеристик, показывает, что хотя эти уравнения получаются из различных физических принципов (второй закон Ньютона, первое начало термодинамики и др.), все они могут быть представлены в одной стандартной форме. Если обозначить зависимую переменную через Φ , то обобщенное дифференциальное уравнение примет вид

$$d(\rho\Phi)/dt + \text{div}(\rho U_i \Phi) = \text{div}(J_{\phi,i}) + S_\phi, \quad (6)$$

где для ламинарного режима $J_{\phi,i} = \mu/Pr_\phi (d\Phi/dx_i)$, а при турбулентном течении

$$J_{\phi,i} = \mu/Pr_\phi d\Phi/dx_i - \rho U_i' \Phi'. \quad (7)$$

В обобщенное дифференциальное уравнение входят четыре члена: нестационарный, конвективный, диффузионный и источниковый.

Зависимая переменная Φ – обозначает различные величины, такие как массовая концентрация, энтальпия, составляющие вектора скорости и т.д. При этом коэффициенту диффузии и источниковому члену следует придать соответствующий каждой из этих переменных смысл [1, 2].

Для практических целей, чаще всего, достаточно знания средних значений величин, описывающих динамические и переносные свойства изучаемой системы. В таких случаях можно использовать прямые математические модели расчета коэффициентов турбулентного обмена. При этом предполагается, что имеют место быстрые случайные пульсации усредняемой величины около среднего значения. В результате операции усреднения возникают дополнительные члены – так называемые напряжения Рейнольдса, турбулентный тепловой поток, турбулентный диффузионный поток и т.д. Задачей модели турбулентности является выражение этих потоков через средние характеристики течения.

Во многих моделях турбулентности для выражения турбулентных напряжений и потоков используется концепция коэффициентов турбулентной вязкости и диффузии. В результате усреднения по времени уравнения для турбулентного течения имеют тот же вид, что и ламинарного, с той лишь разницей, что коэффициенты молекулярного обмена заменяются на эффективные. Турбулентный поток описывается как

$$-\rho U_i' A' = \mu_n |Pr_{t,\phi} (dA|dx_i) . \quad (8)$$

В этом уравнении $Pr_{t,\phi}$ – турбулентное число Прандтля (Шмидта). Если ввести эффективный диффузионный коэффициент $D_{\phi,\phi} = \mu / Pr_{\phi} + \mu_T / Pr_{t,\phi}$, то

$$J_{\phi,i} = D_{\phi,\phi} (dA|dx_i) . \quad (9)$$

На практике течение в аппаратах чаще всего турбулентно. В этом случае необходимо, как минимум, использование моделей, состоящих из двух уравнений, не содержащих соотношений для масштаба турбулентности. Примером такой модели является широко распространенная $k - \varepsilon$ [1, 2] (кинетическая энергия турбулентности и скорость ее диссипации) модель Харлоу – Накайамы.

Основным является допущение о том, что свойства турбулентности можно охарактеризовать двумя величинами: k и ε . Они позволяют рассчитать значение коэффициента турбулентной вязкости по соотношению Колмогорова

$$\mu_T = C_m \rho k^2 / \varepsilon , \quad (10)$$

где $k = 0,5(U_i')^2$, $\varepsilon = m(dU_i'/dx_i)^2/\rho$.

В аппарате турбулентного моделирования k и ϵ рассматриваются как удовлетворяющие транспортным уравнениям.

$$d(\rho k)/dt + \text{div}(\rho U k) = \text{div}(D_k \text{grad } k) + \mu_T G_k - \rho \epsilon, \quad (11)$$

где G_k – скорость генерации энергии турбулентности.

Однако уравнение для k отличается от уравнения для h присутствием добавочных членов в конце правой части. Первый из этих членов G_k выражает интенсивность порождения турбулентности в единице объема за счет сдвиговых напряжений и градиентов скорости.

$$G_k = \mu_i dU_j/dx_i (dU_j/dx_i + dU_i/dx_j). \quad (12)$$

Второй член $\rho \epsilon$ представляет скорость диссипации энергии турбулентности в единице объема.

Турбулентная вязкость, которая для течений с высокими числами Рейнольдса эквивалентна эффективному значению, связывается с турбулентной энергией и диссипацией простой функцией (10), а $\mu_{\text{эф}} = \mu + \mu_T$. Эмпирическая константа определяется выражением $C_m = \rho k^2/\epsilon \mu$.

Аналогичное уравнение записывается для переменной ϵ .

$$d(\rho \epsilon)/dt + \text{div}(\rho U \epsilon) = \text{div}(D_\epsilon \text{grad } \epsilon) + C_1 \mu_T \epsilon G_k/k - C_2 \rho \epsilon^2/k. \quad (13)$$

Оно очень близко к уравнению для переноса k . Однако источниковый член в правой части содержат две добавочные константы C_1 и C_2 . Полагается, что они также имеют универсальные значения, которые могут быть получены из экспериментов и затем остаются пригодными и для других случаев. Численные значения констант, которые можно рекомендовать для расчетов, указаны в табл. 1, включая три числа Прандтля для энергии турбулентности, температуры и диссипации.

Тот факт, что все интересующие нас дифференциальные уравнения можно рассматривать как частные случаи обобщенного уравнения, позволяют ограничиться численным решением уравнения (6) с соответствующими начальными и граничными условиями.

Таблица 1. Численные значения коэффициентов

C_m	C_1	C_2	Pr_k	Pr_ϵ	Pr_h
0,09	1,44	1,92	1,0	1,3	0,9

Для завершения математической постановки задачи необходимо определить граничные условия. Они определяются режимными и конструктивными характеристиками аппаратов. В начальный момент времени значения всех зависимых переменных полагаются известными. Для рассматриваемых течений имеют значения только граничные

условия на входе в аппарат и вдоль его стенок. В силу особенностей численного метода решения [1, 2] не требуется никакой информации о выходе потока. Гидродинамические граничные условия особенно легко сформулировать для ограничивающих поток твердых, неподвижных стенок: компоненты скорости следует положить равными нулю.

На входе необходимо задать значения всех трех составляющих скорости. Для уравнения энергии и концентрации также имеется необходимость описания условий входа.

Температурные и концентрационные условия на стенках могут быть различного типа. Например, значения температуры стенки и концентрации на ней считаются известными для всех координат. И совсем необязательно, чтобы эти распределения были равномерными. С другой стороны, можно описать и известные интенсивности тепловых потоков или массообмена на стенке. Например, если часть стенки теплоизолирована, тепловой поток равен нулю. Если же другая часть стенки является тепловыделяющей, то тепловой поток, хотя и не равен нулю, но имеет определенное значение. В общем случае можно сказать, что теоретические граничные условия представляются функциями, связывающими температуру стенки и пристенную концентрацию с тепловыми и массовыми потоками.

Из общих соображений можно представить, что потоковые граничные условия могли бы быть выражены математически через спецификацию градиентов на стенке.

На входе в аппарат устанавливают величины энергии турбулентности и скорости ее диссипации. Однако, это сложно сделать из-за отсутствия достоверной информации. Поэтому, следует использовать разумные предположения и сведения, полученные из литературных источников. Обычно кинетическая энергия турбулентности полагается пропорциональной квадрату осредненной входной скорости, а величина диссипации выбирается таким образом, чтобы масштаб турбулентности был величиной порядка $1/10$ от размеров канала.

На твердых стенках энергия турбулентности и скорости ее диссипации равны нулю. Однако это неудобное краевое условие из-за очень сильных изменений k и ϵ , которые происходят в пристенном слое. Практически гораздо удобнее, а иногда и просто необходимо, рассматривать ближайшую к стенке точку поля как единственно возможное место постановки граничных условий.

Такой подход, обычно классифицируют как практику использования пристенных функций. В нем предполагается, что весь пристенный слой

является единым целым, включающим в себя сопротивления переносу тепла и массы, величина которых зависят от числа Рейнольдса и др.

Рассмотренная математическая модель позволила разработать надежную систему утилизации газовых выбросов от стекловаренной печи по производству стеклянных шариков.

Библиографический список

1. **Паганкар С.** Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. - М.: Энергоатомиздат, 1984- 150 с.
2. **Драйздел Д.** Введение в динамику пожаров. Пер. с англ. - М.: Стройиздат, 1990 - 421 с.

Л.В. Ганина, асп. (КГЭУ)

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТОПОЧНОГО МАЗУТА НА ТЭС

Топочный мазут используется на тепловых электрических станциях (ТЭС) в качестве основного, вспомогательного и растопочного жидкого топлива. Качество мазута оказывает существенное влияние на условия его транспортировки, хранения и сжигания, на объем выбросов вредных веществ в атмосферу, а также на работу основного и вспомогательного оборудования ТЭС.

Потребление высокосернистых вязких мазутов в качестве котельных топлив приводит к выбросу больших количеств не только токсичных оксидов серы и азота, но и канцерогенных полициклоаренов, в первую очередь бензапирена и пентаоксида ванадия. В результате образования оксидов серы повышается точка росы уходящих топочных газов, что приводит к образованию серной кислоты и, как следствие, к частым ремонтам и замене хвостовых частей котельных агрегатов из-за их коррозии. Состав уходящих газов при сжигании мазута также зависит от его качества: содержания в нем серы, азота, металлов, полициклоаренов и др. Следовательно, проблема повышения качества топочных мазутов является весьма актуальной в настоящее время.

Повышение эффективности и надежности сжигания мазутов следует рассматривать с двух позиций: экономичности и экологичности. Достижение экономичности в сочетании с подавлением образования токсичных продуктов горения и снижением заноса плотными отложениями поверхностей нагрева при сжигании мазутов, особенно высокосернистых и

супертяжелых, возможно прежде всего путем интенсификации топочного процесса и управления режимом горения. Увеличить интенсивность выгорания мазута можно, совершенствуя газодинамические процессы, создавая специальные горелочные устройства, камеры сжигания и режимы горения. При всех достижениях на этом пути ему присущи и определенные недостатки, основным из которых является увеличенное аэродинамическое сопротивление топочных устройств, требующее повышенных напоров воздуха, что вызывает увеличение расхода энергии на собственные нужды и понижает КПД котлов [1].

Другой простой и эффективный способ повышения интенсивности сжигания жидкого энергетического топлива связан с добавлением в него специальных веществ, улучшающих его эксплуатационные свойства, - многофункциональных присадок, совмещающих антикоррозионные, депрессорные, вязкостные и антиокислительные свойства. Применение присадок основано на связывании агрессивных агентов (ванадия и серы), содержащихся в мазуте или образующихся при его сгорании, с переводом их в неагрессивные и не дающие отложений соединения.

Для предотвращения коррозии теплоэнергетического оборудования, причина которой – ванадий и сера, широко применяются добавки на основе магния, кальция и марганца. В настоящее время разработаны разнообразные виды присадок к мазуту, особенно широко применяемых в США и в Западной Европе, в частности группа присадок ВНИИ НП, присадка ВТИ-4ст, минеральная присадка на алюмосиликатной основе, Protea Coronata M-29 и другие [2].

Целью данной работы является использовать отход теплоэнергетического производства – карбонатный шлам, образующийся при подготовке питательной воды на теплоэлектростанциях, в качестве многофункциональной присадки к топочному мазуту [3]. Важно отметить, что данная присадка не требует затрат на производство и транспортировку. Накопленные объемы шлама водоподготовки, а также его ежегодный прирост являются неограниченным ресурсом для того, чтобы начать их массовое и планомерное применение в энергетической отрасли.

Использование карбонатного шлама возможно только после обезвоживания или сушки при постоянной температуре $t = 120 \div 130$ °С. Высушенный шлам представляет собой сыпучий порошок от серого до бурого цвета с влажностью не более 15 % и массовой долей карбонатов Ca + Mg – 80÷88 %. Состав шламов, образующийся при известковании и коагуляции природных вод, зависит от состава обрабатываемой воды и режима обработки, однако, во всех случаях основным компонентом является кар-

бонат кальция (75÷85 %), а также гидроксиды магния и железа (по 4÷8 %) и кремнекислые и органические соединения.

В настоящее время карбонатный шлам используется для регенерации из него извести, в строительной промышленности для приготовления цементных растворов, а также возможно применение шлама осветлителей в сельском хозяйстве для нейтрализации кислых почв и в энергетике для снижения концентрации сернистого ангидрида при сжигании углей. Однако в области энергетики шлам, образующийся при водоумягчении природных вод тепловых электрических станций, до настоящего времени полезно не используется.

Нами были проведены лабораторные исследования физико-химических показателей шлама водоподготовки Казанской ТЭЦ-1 в соответствии с ГОСТ, результаты которых приведены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-химические показатели шлама водоподготовки КТЭЦ-1

Показатели	Размер частиц шлама, мм					непросеянный
	< 0,09	0,09 – 0,5	0,5 – 1,0	1,0 – 1,4	> 1,4	
Насыпная плотность, г/см ³	0,876	0,833	0,807	0,768	0,824	0,85
Удельная поверхность, м ² /г	4,6	3,3	3,0	2,4	1,4	2,8
Адсорбция, мг/г	2,3	1,65	1,5	1,2	0,75	1,41
Зольность, %	82,31	82,11	-	-	-	89,365
Влажность, %	0,695	0,675	0,675	0,6935	0,6	0,6945
Гранулометрический состав, %	53,91	12,18	6,37	4,99	21,836	100
Растворимость в дистиллированной воде, %	0,56	0,69	0,69	-	-	0,61
Растворимость в осветленной воде, %	0,64	0,58	0,69	-	-	0,44
Растворимость в водопроводной воде, %	0,67	0,72	0,965	-	-	0,56

По приведенным в табл. 1 данным можно сделать вывод, что 53,91 % (масс.) карбонатного шлама водоподготовки имеет размер частиц менее 0,09 мм.

При данной дисперсности обеспечивается большая поверхность реагирования, что будет благоприятно влиять на весь процесс топливоподготовки и сжигания. Кроме того, зольность присадки с диаметром частиц < 0,09 мм значительно ниже, чем непросеянного шлама.

Однако влажность шлама и его растворимость в воде не зависит от дисперсности и колеблется в пределах $0,6 \pm 0,7$ % и $0,5 \pm 0,7$ % соответственно. Таким образом, в качестве присадки целесообразно использовать карбонатный шлам дисперсностью $< 0,09$ мм.

Результаты химического анализа состава обезвоженного шлама осветлителей КТЭЦ-1 приведены в табл. 2.

Таблица 2. Химический состав шлама водоподготовки КТЭЦ-1

Содержание компонентов	Фракция шлама $< 0,09$ мм	Непросеянный шлам
Массовая доля кремнекислоты, %	2,22	3,28
Массовая доля окислов железа, %	4,2	3,85
Сумма массовых долей кальция и магния, %	51,25	48,14
Сумма массовых долей меди и цинка, %	отс.	отс.
Массовая доля сульфатов, %	3,64	5,53
Массовая доля фосфатов, %	отс.	отс.
Потери при прокаливании, %	38,64	39,25

По результатам анализов обезвоженного шлама можно сделать вывод, что суммарное содержание углекислого кальция и углекислого магния должно быть не менее 85 %, а размер частиц не должен превышать 0,09 мм, чтобы его можно было утилизировать в качестве присадки к топочному мазуту.

Данная присадка была испытана на высокосернистом топочном мазуте марки М100, который применяется на Казанской ТЭЦ-1 в качестве резервного топлива. Карбонатный шлам, наименьшей дисперсности, добавлялся к 100 г мазута в количестве 0,1; 0,5; 1; 1,5; 2 и 3 г (% масс.). Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 10585-99 «Топливо нефтяное. Мазут. Технические условия». Осредненные результаты опытов приведены в табл. 3.

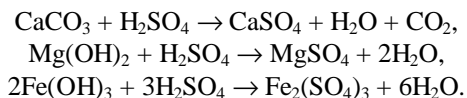
Из табл. 3 видно, что с увеличением массовой доли присадки в мазуте его вязкость и температура застывания снижаются. В связи с этим уменьшаются энергозатраты на подогрев мазута и на его перекачку по трубопроводам. Положительное действие на реологические свойства оказывают соединения Fe_2O_3 , Al_2O_3 , которые находятся в виде аморфных гидроксидов. Содержащиеся в топливе парафины при понижении температуры легко кристаллизуются. При определенных размерах и концентрации кристаллы образуют пространственную структуру, в результате чего топливо теряет подвижность.

Присадка сорбируется на поверхности зарождающихся кристаллов и препятствует их росту и ассоциации.

Таблица 3. Показатели качества топочного мазута марки М100

Определяемый показатель	Средний результат анализа для пробы мазута с присадкой, % (масс.)						
	0	0,1	0,5	1	1,5	2	3
Плотность при 20 °С, кг/м ³	989	1016	991	997	992	995	1000
Содержание серы, %	2,92	2,45	1,44	2,82	2,83	2,86	2,76
Содержание влаги, %	1,7	2	2,1	2,2	2	1,8	2
Вязкость условная при 80 °С, °ВУ	13,4	13,3	13,3	13	12,9	12,8	12,5
Калорийность низшая рабочая, кДж/кг	39375	39467	39259	38984	38876	38133	38644
Температура застывания, °С	7	5	4	4	3,5	2	1
Содержание механических примесей, %	0,22	0,395	0,56	0,67	0,87	1,2	1,44
Зольность, %	0,127	0,377	1,144	1,74	2,21	2,73	3,25
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	отсутствие						слабокислая
Кислотное число, мг КОН/г	~0						

Также предлагаемая присадка позволяет уменьшить генерацию одного из наиболее опасных коррозионных агентов, образующихся при сжигании мазута в парогенераторах, каким является серная кислота, пары которой, конденсируясь на поверхностях нагрева с температурой ниже 330 °С, вызывают их активную коррозию. При проведении экспериментальных исследований было установлено, что содержание серы в испытуемом мазуте при использовании упомянутой присадки снижается. Следовательно, снижение содержания серы в топливе ведет к общему уменьшению выбросов оксидов серы, которые вызывают раздражение органов дыхания и образование кислотных дождей, а также уменьшается интенсивность низкотемпературной коррозии [10]. Экспериментальные исследования по снижению коррозионной активности мазута марки М100 проводились в соответствии с ГОСТ 9.506-87. Образцы котельной стали марки Ст.20 выдерживались в пробах мазута с присадкой и в пробе чистого мазута на водяной бане «Экрос» модель 4310М в течение 20-25 часов при температурах 70, 80, 90 °С. Результаты опыта показали, что образцы выдержали испытание при концентрации присадки 0,1÷3 %. Нейтрализация серной кислоты описывается следующими химическими реакциями:



Продукты реакций уносятся с дымовыми газами и задерживаются в циклонах вместе с другими механическими частицами. При этом образуются порошкообразные рыхлые отложения, которые легко удаляются с поверхностей нагрева под небольшим механическим воздействием (при увеличении скорости газового потока, вибрации и т.д.) или осыпаются под действием своего веса [4]. При определении зольности мазута по ГОСТ 1461-75 было установлено, что зола, полученная при сжигании мазута марки М100 с присадкой, является порошкообразной и более рыхлой по сравнению с золой, полученной при сжигании чистого мазута марки М100. Однако зольность мазута, содержащего присадку, увеличивается. Кроме того, с увеличением массовой доли присадки в мазуте увеличивается содержание механических примесей в рамках ГОСТ (допустимое содержание согласно ГОСТ 10585-99 – не более 1 %).

Учитывая также, что калорийность мазута при добавлении в него присадки в количестве до 1 % от его массы практически не изменяется (допустимое расхождение между параллельными опытами составляет 445 кДж/кг или 106,5 кал/г) можно сделать вывод, что оптимальная концентрация присадки составляет $0,1 \pm 0,5$ % от массы мазута [4].

Таким образом, указанную многофункциональную присадку к топочному мазуту целесообразно рекомендовать к внедрению на Казанской ТЭЦ-1, а также и на других тепловых электростанциях с газомазутными котлоагрегатами. Необходимым условием является суммарное содержание в присадке углекислого кальция и углекислого магния не менее 85 % (масс.).

Библиографический список

1. Белосельский Б.С., Глухов Б.Ф. Подготовка и сжигание высокоподогретых мазутов на электростанциях и в промышленных котельных. М.: Изд-во МЭИ, 1993. - 72 с.
2. Данилов А.М. Применение присадок в топливах. М: Мир, 2005. - 288 с.
3. Зверева Э.Р., Ганина Л.В. Присадка к мазуту. Патент RU №2363722 опубл. 10.08.09.
4. Лаптев А.Г., Зверева Э.Р., Ганина Л.В., Андрияшина И.А. Повышение экологической безопасности мазутных хозяйств// «Энергосбережение и водоподготовка», 2009, № 4 (60), с. 20-21

*П.А. Шомов, директор, А.В. Цыплов, нач. отдела теплоснабжения,
С.М. Кулагин, зам. директора по производству, В.И. Багаев, програм-
мист (ООО НТЦ «Промышленная энергетика»)*

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В условиях рыночных отношений, сложившихся в стране в настоящее время, энергосбережение играет важную роль в деле повышения эффективности производства, конкурентоспособности товарной продукции, обеспечения энергетической безопасности любого предприятия.

Одним из этапов энергосбережения является разработка информационно-аналитических систем (ИАС). Специалистами ООО НТЦ «Промышленная энергетика» была разработана информационно-аналитическая система «Тепло КС» для систем теплоснабжения промышленных площадок. В основу ИАС заложены математические модели котлов, теплоутилизаторов, участков теплосети, насосного оборудования, потребителей тепла и т.д. Расчеты на математических моделях позволяют оценить влияние на энергетическую эффективность и надежность системы теплоснабжения любого предполагаемого изменения режима работы.

Информационно-аналитическая система «Тепло КС» является программным продуктом, предназначенным для эксплуатации в энергетических службах производственных объектов.

ИАС позволяет выполнять 12 основных задач:

- поверочный и наладочный теплогидравлический расчет тепловых сетей;
- моделирование возможных производственных ситуаций;
- мониторинг энергоэффективности теплогенераторов;
- мониторинг отпуска тепловой энергии с целью контроля отпуска тепла в режиме реального времени и сравнения его с требуемым значением;
- мониторинг потребления газа, выявление фактов его перерасхода;
- мониторинг режимов работы сетевых насосов с целью минимизации затрат электроэнергии;
- регулирование режима отпуска тепловой энергии при выбранном способе регулирования и др.
- мониторинг состояния тепловой изоляции с целью выявления случаев

нерациональных тепловых потерь трубопроводами, сравнения их с нормативными значениями.

Расчеты на математических моделях позволяют оценить влияние любого предполагаемого изменения режима работы на энергетическую эффективность и надежность системы теплоснабжения.

В качестве математических моделей при создании информационно-аналитической системы использовались как общеизвестные, так и оригинальные модели, разработанные авторами.

Главный принцип построения программы – комплексная систематизация. Это означает анализ системы теплоснабжения на всех этапах от выбора исходных параметров до расчета перспективных программ и с обязательным учетом взаимосвязи всех элементов, участвующих в процессе производства, передачи и использования тепловой энергии.

Математическая модель тепловой сети построена на двух известных фундаментальных законах Кирхгофа [1]:

1. Сумма расходов, втекающих в каждый узел, равна нулю (или утечке).
2. Сумма падений давления на всех участках замкнутого цикла равна нулю (или сумме действующих напоров).

Эти два фундаментальных закона следует дополнить эмпирической зависимостью падения давления на участке сети от расхода

$$\Delta p = f(q) . \quad (1)$$

Для всех трубопроводных сетей считается оправданным использование зависимости вида

$$f(q) = s - q^2, \quad (2)$$

где s – постоянный коэффициент, называемый сопротивлением.

С использованием матрицы инцидентности графа сети первую систему уравнений Кирхгофа можно записать в виде

$$A - q = Q, \quad (3)$$

где A – матрица инцидентности без последней строки; q – вектор расходов на участках; Q – вектор утечек в узлах.

Вторая система уравнений Кирхгофа может быть получена из системы уравнений, выражающих закон Ома для каждого участка сети

$$A^T - p = H - S - f(q), \quad (4)$$

где A – транспонированная матрица инцидентности; p – вектор давлений в узлах; H – вектор напоров, действующих на участках; S – диагональная матрица сопротивлений участков.

Для достаточно больших трубопроводных сетей описанный подход требует слишком больших затрат машинного времени. Для ускорения процесса решения Кирхгофом предложен метод контурных расходов [2], со-

гласно которому в качестве неизвестных величин выбираются расходы на участках сети (хордах), не входящих в основное дерево (контурные расходы). Количество хорд значительно меньше, чем количество узлов и участков.

$$\begin{cases} A_t q_t + A_c q_c \\ B_s S_t f(q_t) + S_c f(q_c) = ВН \end{cases}, \quad (5)$$

где нижним индексом «t» отмечены величины, относящиеся к участкам, образующим дерево (tree), а индексом «с» – к хордам (chord).

Для решения системы уравнений применяется метод Холесского [3], согласно которому определяется потокораспределение по участкам сети, и в дальнейшем проводится увязка методом контурных давлений.

Данные из математических моделей отображаются и используются для дальнейшего анализа и принятия управленческих решений. ИАС позволяет дистанционно анализировать режимы работы оборудования систем теплоснабжения.

Схема функционирования ИАС «Тепло КС» представлена на рис. 1.

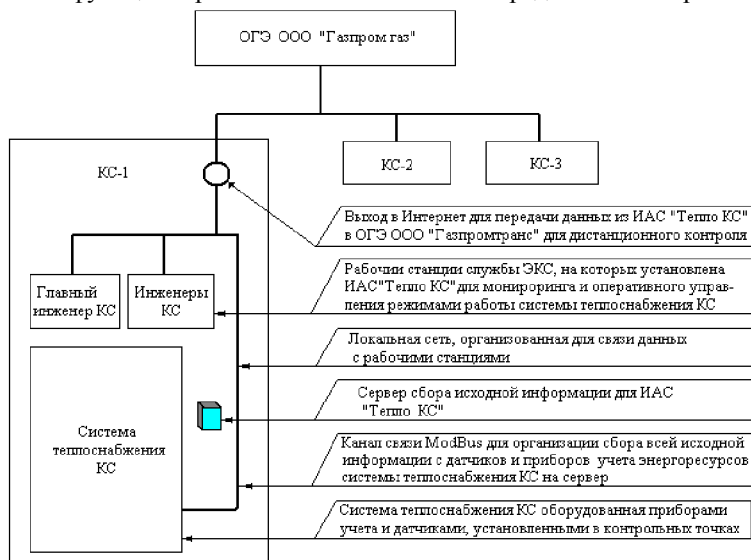


Рис. 1. Схема функционирования ИАС «Тепло КС» для трех компрессорных станций в системе ОАО «Газпром»

Для мониторинга работы тепловых сетей системой «Тепло КС» необходима оперативная информация о текущих параметрах в различных точках системы теплоснабжения. Для этого организована система автоматического сбора исходной информации с основных точек компрессорной станции. Данные по каналам связи в автоматическом режиме поступают на сервер компрессорной станции, где в дальнейшем используются информационно-аналитической системой.

ИАС «Тепло КС» была введена в промышленную эксплуатацию на ряде компрессорных станций ОАО «Газпром». Уже первые месяцы эксплуатации системы дали положительные результаты.

С помощью информационно-аналитической системы «Тепло КС» были просчитаны различные варианты наладки тепловой сети и оптимизации параметров ее работы. В результате был построен пьезометрический график, соответствующий рациональному гидравлическому режиму при сложившихся условиях работы системы теплоснабжения.

Наладка тепловой сети, проведенная в соответствии с рекомендациями ИАС, позволила устранить все имевшиеся недостатки.

Кроме повышения качества теплоснабжения, был получен ощутимый экономический эффект в виде экономии электроэнергии в количестве 48000 кВт·час за отопительный сезон для одной системы теплоснабжения.

Следующий шаг использования ИАС «Тепло КС» выполнен в виде мониторинга отпуска тепловой энергии котельной за некоторый период времени. Анализ базы данных ИАС наглядно продемонстрировал все переключения, проведенные в котельной. Полученная информация позволила своевременно принять необходимые меры для правильной эксплуатации системы теплоснабжения.

Дальнейшим этапом использования ИАС «Тепло КС» стал выбор вариантов повышения эффективности системы теплоснабжения компрессорной станции. Были предложены мероприятия, позволяющие сэкономить до 176 000 м³ природного газа за отопительный период.

Библиографический список

1. Меренков А.П., Хасилев В.Я. Теория гидравлических цепей. М.: Наука, 1985.
2. Меренков А.П., Хасилев В.Я., Каганович Б.М. Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей. М.: Энергия, 1978.
3. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы для инженеров. М.: Высш. шк., 1994.

*А.А. Генварев, вед. н.с., к.т.н., доц., В.В. Сенников, к.т.н., доц.,
В.П. Созинов, д.т.н., проф., М.Г. Козлов, инж., А.Е. Костров, инж.*

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ДВУХТРУБНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ В ОСЕННЕ-ВЕСЕННИЕ ПЕРИОДЫ НОРМАТИВНЫЕ РАСХОДЫ ТЕПЛА НА ОТОПЛЕНИЕ И ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

В двухтрубных тепловых сетях при подключении нагрузки отопления и горячего водоснабжения из-за необходимости поддержания в подающем трубопроводе температуры сетевой воды, обеспечивающей нагрев воды на нужды горячего водоснабжения, $60\div 70$ °С, в весенний и осенний периоды происходит «перетоп», то есть подача на отопление количества тепла, превосходящего необходимое. «Перетоп» вызывает сжигание дополнительного топлива в огромных размерах и ухудшает санитарно-гигиенические условия в отапливаемых зданиях.

Для закрытой системы теплоснабжения температура в подающей линии должна быть не менее 70 °С, чтобы обеспечить нагрев в теплообменниках воды на нужды горячего водоснабжения не менее 55 °С. По температурному графику находим, что при температуре наружного воздуха выше 3 °С необходимая температура в подающем трубопроводе будет ниже 70 °С, то есть будет происходить «перетоп». Чтобы избежать этого, необходимо обеспечить температуру воды, возвращаемой в обратную линию тепловой сети, более высокую, чем температура обратной воды для качественного регулирования системы отопления. Устранение «перетопа» возможно применением схемы, аналогичной схеме с перемычкой и рециркуляционным насосом, используемой в водогрейных котельных [2].

Часть воды из подающего трубопровода перетекает в обратный трубопровод по перемычке, и часть воды из обратного трубопровода рециркуляционным насосом подаётся в подающий трубопровод. При одновременном регулировании производительности насоса изменением числа оборотов и сопротивления регулируемого клапана на перемычке возможно создание необходимых температур t_1 и t_2 при $8 \geq t_n \geq 3$ °С.

Схема абонентского ввода, приведенная на рис. 1, описывается тремя уравнениями 1-го закона Кирхгофа, двумя уравнениями теплового баланса и пятью кубическими уравнениями:

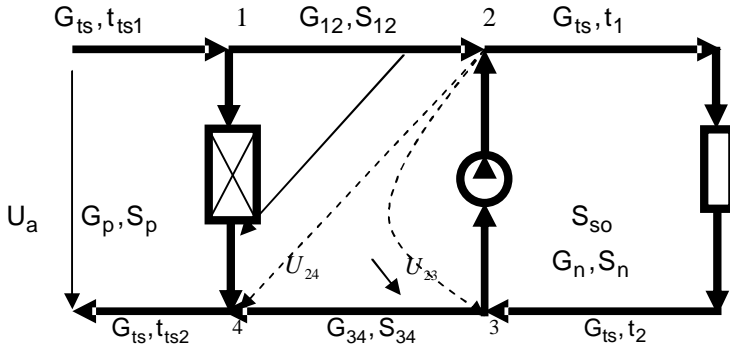


Рис.1. Схема абонентского ввода для устранения «перетопа»

$$\begin{aligned}
 &G_{ts} - G_p - G_{12} = 0, \\
 &G_{12} + G_n - G_{ts} = 0, \\
 &G_{ts} - G_n - G_{34} = 0, \\
 &G_{12} \cdot t_{ts1} + G_n \cdot t_2 - G_{ts} \cdot t_1 = 0, \\
 &G_{34} \cdot t_2 + G_p \cdot t_{ts1} - G_{ts} \cdot t_{ts2} = 0, \\
 &U_a - \sqrt{S_p} \cdot G_p = 0, \\
 &-S_{12}^{(3/2)} \cdot G_{12}^3 + C \cdot S_{12} \cdot G_{12}^2 \cdot \sqrt{S_p} \cdot G_p - C \cdot \sqrt{S_{12}} \cdot G_{12} \cdot S_p \cdot G_p^2 + S_p^{(3/2)} \cdot G_p^3 - \\
 &-C \cdot S_{12} \cdot G_{12}^2 \cdot U_{24} + 2 \cdot C \cdot \sqrt{S_{12}} \cdot G_{12} \cdot \sqrt{S_p} \cdot G_p \cdot U_{24} - C \cdot S_p \cdot G_p^2 \cdot U_{24} - \\
 &-C \cdot \sqrt{S_{12}} \cdot G_{12} \cdot U_{24}^2 + C \cdot \sqrt{S_p} \cdot G_p \cdot U_{24}^2 - U_{24}^3 = 0, \\
 &U_{23}^3 + C \cdot U_{23}^2 \cdot \sqrt{S_{34}} \cdot G_{34} + C \cdot U_{23} \cdot S_{34} \cdot G_{34}^2 + S_{34}^{(3/2)} \cdot G_{34}^3 - C \cdot U_{23}^2 \cdot U_{24} - \\
 &-2 \cdot C \cdot U_{23} \cdot \sqrt{S_{34}} \cdot G_{34} \cdot U_{24} - C \cdot S_{34} \cdot G_{34}^2 \cdot U_{24} + C \cdot U_{23} \cdot U_{24}^2 + \\
 &+ C \cdot \sqrt{S_{34}} \cdot G_{34} \cdot U_{24}^2 - U_{24}^3 = 0, \\
 &S_n^{(3/2)} \cdot G_n^3 - C \cdot S_n \cdot G_n^2 \cdot U_n + C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot U_n^2 - U_n^3 + C \cdot S_n \cdot G_n^2 \cdot U_{23} - \\
 &-2 \cdot C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot U_n \cdot U_{23} + C \cdot U_n^2 \cdot U_{23} + C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot U_{23}^2 - C \cdot U_n \cdot U_{23}^2 + U_{23}^3 = 0, \quad (1) \\
 &S_n^{(3/2)} \cdot G_n^3 + C \cdot S_n \cdot G_n^2 \cdot \sqrt{S_{so}} \cdot G_{ts} + C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot S_{so} \cdot G_{ts}^2 + S_{so}^{(3/2)} \cdot G_{ts}^3 - \\
 &-C \cdot S_n \cdot G_n^2 \cdot U_n - 2 \cdot C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot \sqrt{S_{so}} \cdot G_{ts} \cdot U_n - C \cdot S_{so} \cdot G_{ts}^2 \cdot U_n + \\
 &+ C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot U_n^2 + C \cdot \sqrt{S_{so}} \cdot G_{ts} \cdot U_n^2 - U_n^3 = 0, \\
 &U_n = \text{sign}(H_{n0}) \cdot \frac{n_1}{n} \cdot \sqrt{|H_{n0}|}, \\
 &U_a = -\text{sign}(-H_a) \cdot \sqrt{|-H_a|}.
 \end{aligned}$$

Анализ полученной системы уравнений показывает, что $G_p = G_n$, $G_{12} = G_{34}$.

Смешение потоков происходит в узлах 2 и 4, для которых можно записать выражения для коэффициентов смешения.

$$U_2 = \frac{t_{ts1} - t_1}{t_1 - t_2} \quad ; \quad (2)$$

$$U_4 = \frac{t_2 - t_{ts2}}{t_{ts2} - t_1} \quad . \quad (3)$$

На основании решения системы уравнений 1 и 2 закона Кирхгофа производится построение графика регулирования. Коэффициент смешения в узлах схемы рис. 1 должен быть одинаков и равен при каждой температуре наружного воздуха значению по графику рис. 2.

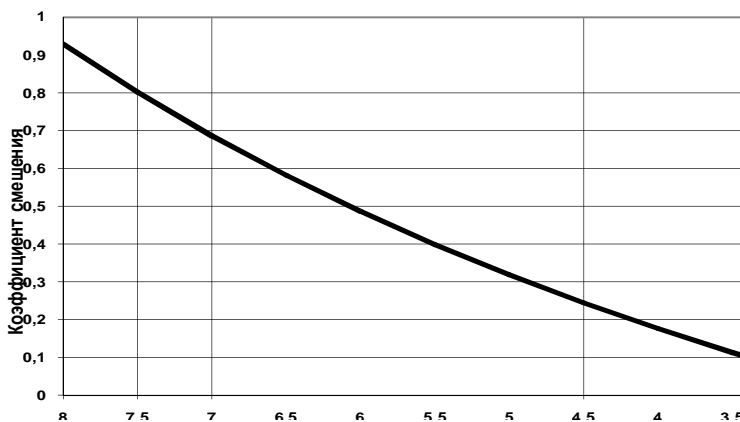


Рис. 2. График зависимости коэффициента смешения от температуры наружного воздуха

На вычислитель управляющей системы подаются сигналы от датчиков только температуры. При увеличении коэффициента смешения в узле 1 выше значения на рисунке 2 подается сигнал на уменьшение числа оборотов насоса и наоборот. При увеличении коэффициента смешения в узле 2 выше значения на рис. 2 подается сигнал на увеличение сопротивления регулируемого клапана и наоборот. Таким образом, поддерживается равенство коэффициентов смешения на основе измерения лишь температур.

Библиографический список

1. **Соколов, Е.Я.** Теплофикация и тепловые сети. / Е.Я. Соколов. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.
2. **Бузников, Е.Ф.** Водогрейные котлы и их применение на электростанциях и в котельных/ Е.Ф. Бузников, В.Н. Сидоров. – М.-Л.: Энергия, 1965. – 240 с.

*А.А. Генварёв, к.т.н., ведущий научный сотрудник,
А.С. Приходько, к.ф.-м.н., программист, В.В. Смирнов, инж.,
Н.Н. Пронин, инж. (ИГЭУ)*

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ «МЕГАПОЛИС» ДЛЯ НАЛАДКИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Энергоресурсосбережение является ключевым звеном реформирования энергетического хозяйства любого предприятия России. Каждый процент экономии топлива и энергии может дать 0,35÷0,4 % прироста национального дохода.

Конечной целью энергоресурсосберегающей политики служит снижение издержек производства и себестоимости любого вида энергии и, соответственно, увеличение прибыли самого предприятия.

Значительный потенциал экономии и рост стоимости энергоресурсов делают проблему энергоресурсосбережения весьма актуальной.

На решение этой проблемы и направлена Федеральная целевая программа «Энергосбережение России».

Данная работа включает в себя разработку методики и проведение обследований системы теплоснабжения и наладка гидравлического режима тепловых сетей от котельной №40 г/п Можайск Можайского муниципального района Московской области в отопительный сезон 2009-2010 гг.

Необходимость проведения разработки мероприятий вызвана регулировкой системы теплоснабжения в связи с многочисленными факторами таких как – значительный износ трубопроводов, изменение температурного графика, увеличение нагрузки, изменения способа присоединения нагрузок в тепловых пунктах потребителей.

Особое внимание было уделено наладке гидравлического режима работы системы теплоснабжения. По уточнённым тепловым нагрузкам с учетом шероховатости и местных сопротивлений трубопроводов выпол-

нены поверочный и гидравлический расчеты наружных тепловых сетей при помощи новейшего программного продукта – «Мегаполис».

Программа имеет богатые возможности по экспорту данных в Excel. Экспортировать можно данные в табличном виде (сводная таблица и отдельные таблицы участков, узлов, источников и т.д.). Экспортируются пьезометры и сами схемы. Таким образом, имеется возможность работать в привычной программе из офисного пакета, переносить данные с компьютера на компьютер без привязки к программе. Работа с поименованными пьезометрами облегчает повторное их составление.

В процессе выполнения расчета имеется возможность контролировать его ход при помощи динамического пьезометра. Это позволяет избежать сложных ситуаций при ошибке ввода данных, сложной ситуации на сети и неадекватности выбранной модели.

Имеется связь с пакетом паспортизации тепловых сетей «ПРОГРЕССОР». Данные, занесенные при паспортизации и выверенные сотрудниками в процессе эксплуатации, попадают в расчетную программу автоматически, как схема, так и характеристики.

К программе прилагается очень простой в освоении и употреблении конструктор для камер, насосных, ЦТП, других подобных объектов. Палитра элементов имеет встроенный и очень простой редактор.

Для отображения результатов имеется не только пьезометр, но и несколько видов диаграмм – круговые, столбчатые, цветковые. Диаграммы могут быть построены по любым численным характеристикам.

В основу положено несколько методов расчета, что снимает вопрос о преимуществах того или иного метода - реализованы все основные методы. Реализованы несколько типов расчета.

Прямой расчет, когда рассчитываются расходы по диаметрам шайб (элеваторов).

Наладочный расчет, когда рассчитываются диаметры шайб (элеваторов) по договорным (требуемым) расходам.

Частичный наладочный расчет, когда проводится наладка всех абонентов, кроме указанных как неналаживаемые.

При расчете учитываются не только напоры, но и характеристики насосов, что, например, существенно при работе насоса через теплообменник котла или бойлера, имеющего большое гидравлическое сопротивление.

В программе присутствует мастер создания схем тепловых сетей, что позволит легко освоить программу.

При выходе из программы или по вызову имеется возможность занести в специальный блокнот пожелания по работе программы, которые можно отправить авторам.

Пример расчета программы представлен на рис. 1.

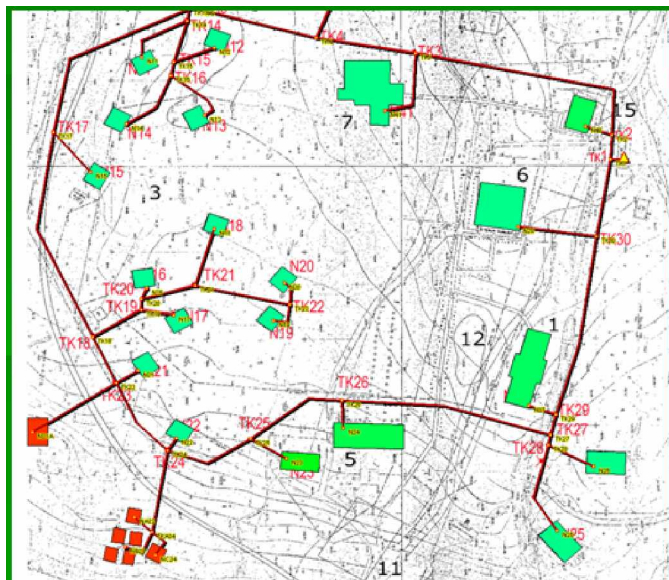


Рис. 1. Пример расчетной схемы в программе «Мегаполис»

При помощи программы «Мегаполис» для конкретного объекта (т/с от котельной №40 г. Можайск) была проведена следующая работа:

- по данным тепловым нагрузкам и гидравлическому расчету проведен расчёт сопел элеваторов и расчёт диаметров дроссельных шайб систем отопления и горячего водоснабжения, определены места их установки;
- разработан гидравлический режим системы теплоснабжения, график регулирования отпуска тепла, обеспечивающие нормальные гигиенические условия в помещениях;
- приведены мероприятия по наладке системы теплоснабжения, выполнение которых обеспечивает разработанный режим.

Исходя из полученных результатов были разработаны мероприятия, обязательные к исполнению в целях улучшения состояния системы теплоснабжения, повышения качества теплоснабжения, а так же уменьшения себестоимости отпускаемой тепловой энергии.

*Д.Н. Жук, инж. тепловых сетей
(РУП «Витебскэнерго» филиал Оршанская ТЭЦ)*

ТРУБОПРОВОДНАЯ АККУМУЛИРУЮЩАЯ СИСТЕМА

Известно, что работа теплоисточников характеризуется неравномерным графиком отпуска тепловой энергии, что вызывает необходимость включения в период нагрузок дополнительных котлоагрегатов и их отключение – при ночных и сезонных провалах.

Это ведет к увеличению затрат на выработку энергии за счет дополнительного расхода топлива, электричества, трудовых и материальных ресурсов, к существенному износу котлоагрегатов и тепломеханического оборудования. Особенно это характерно для межотопительного периода.

Например, теплоэнергетическая система ТЭЦ, схема которой описана в патенте RU 2027027, опубликован 20.01.1995 г., содержит основную теплофикационную турбину, подключенную паровпуском при помощи трубопровода свежего пара к парогенератору и теплофикационным отбором при помощи трубопроводов к основным сетевым подогревателям, и тепловой аккумулятор секционного типа, в котором происходит аккумулярование теплоты посредством ступенчатого подвода свежего пара и изменения фазового состояния теплоаккумулирующих веществ. В результате увеличивается регулировочный диапазон электрической мощности.

Тепловой аккумулятор указанной системы представляет собой сложную дорогостоящую конструкцию. Сложные аккумулярующие системы используют на маневренных ТЭЦ с повышенной расчетной загрузкой теплофикационных отборов турбин.

При отсутствии в теплоэнергетической системе специально оборудованных тепловых аккумуляторов аккумулярование тепла производят действующей сетью за счет перегрева за счет перегрева обратного трубопровода, что ведет к большим тепловым потерям и не дает возможности осуществлять регулирование параметров теплоносителя в широком диапазоне.

На Оршанской ТЭЦ в настоящее время реализуется проект по аккумулярованию тепловой энергии в тепловых сетях, выводимых в резерв в летний период (рис. 1). Она включает в себя существующие действующие магистральные трубопроводы для подачи тепла потребителю, резервные трубопроводы, насосы, запорную арматуру.

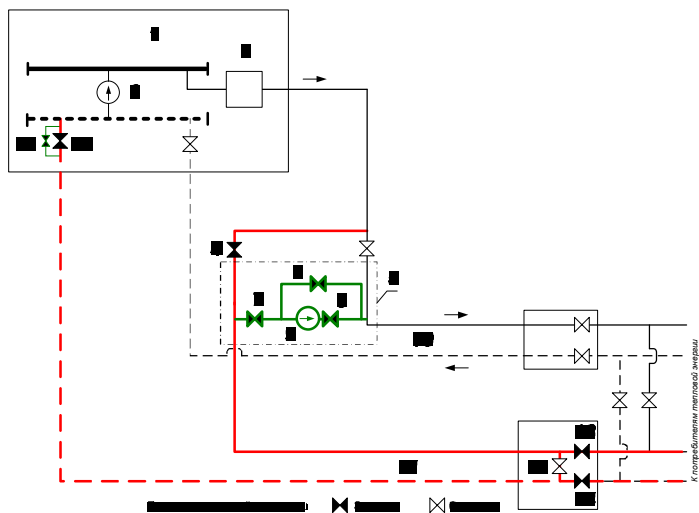


Рис. 1. Принципиальная схема устройства аккумулирования тепла в тепловых сетях (исходное состояние):

1 – теплоисточник; 2 – сетевой насос; 3 – генератор тепла; 4 – запорная арматура на подающем трубопроводе резервной тепломагистрали; 5 – узел обвязки действующей и резервной тепломагистралей; 6, 7, 8 – запорная арматура узла обвязки; 9 – насос узла обвязки; 10 – действующая тепломагистраль; 11 – резервная тепломагистраль; 12 – запорная арматура на перемычке между подающим и обратным трубопроводами в конечной точке резервной тепломагистрали; 13, 14 – запорная арматура после перемычки между подающим и обратным трубопроводами в конечной точке резервной тепломагистрали; 15 – запорная арматура на обратном трубопроводе резервной тепломагистрали на теплоисточнике; 16 – обводная линия на обратном трубопроводе на выводе с теплоисточника резервной тепломагистрали

Исходное состояние установки.

При отключенном устройстве аккумулирования тепловой энергии задвижки 4, 6, 7, 8, 13, 14, 15 и 16 – закрыты. Задвижка 12 – открыта. Запорная арматура 12 на перемычке 13 ТМ-02 открыта. Тепловой аккумулятор не работает.

Зарядка установки

В период ночного провала тепловых нагрузок, для обеспечения бесперебойной работы электро- и теплогенерирующего оборудования излишки тепла направляются в аккумулятор. Происходит его зарядка (рис. 2). Выполняется это следующим образом:

- открываются задвижки 6 и 7 на узлах обвязки 5;

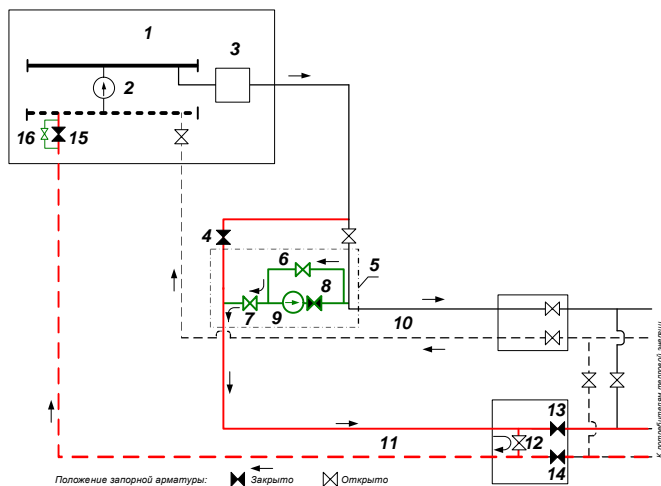


Рис. 2. Процесс зарядки системы аккумулирующей системы

- открывается задвижка 16;
- создаваемый сетевыми насосами напор заставляет двигаться теплоноситель с температурой $56 \div 70$ °С по тепломагистральной 11 из подающего трубопровода в обратный через перемычку 12, вытесняя сетевую воду с температурой $35 \div 40$ °С на источник. Расход регулируется задвижкой 6 или регулятором расхода на необходимую для работы теплогенерирующего оборудования в период провала нагрузок циркуляцию.

Об окончании зарядки аккумулятора свидетельствует достижение возвращаемой резервной тепломагистралью на теплоисточник сетевой воды с температурой подачи.

По завершении зарядки аккумулятора задвижка 6 закрывается.

По окончании зарядки аккумулятор содержит теплоноситель с температурой $65-70$ °С. Циркуляция по нему отсутствует.

Разрядка установки:

В период пика тепловых нагрузок с утра до вечера наколенное тепло направляется из резервной тепломагистральной 11 в действующую тепломагистраль 10 следующим образом (при уже закрытой задвижке 6 и постоянно открытых задвижках 7 и 16):

- открывается задвижка 8;
- включается насос 9;

- с помощью задвижки 8 или регулятора расхода устанавливается требуемая циркуляция через аккумулятор.

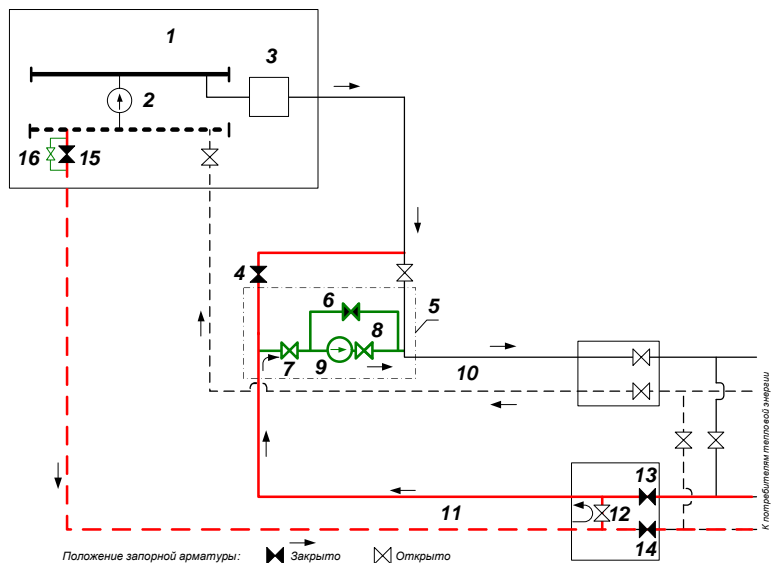


Рис. 3. Процесс зарядки системы аккумулирующей системы

Об окончании разрядки аккумулятора свидетельствует снижение температуры теплоносителя, направляемого к узлу обвязки 5, до температуры обратной сетевой воды.

После полной разрядки аккумулятора насос 9 выключается, закрывается задвижка 8.

Описанное выше устройство представляет собой систему трубопроводов и насосного оборудования, не эксплуатируемого в межотопительный период, в часы провала нагрузок с целью снижения расхода топлива, повышения выработки электроэнергии турбогенераторов, отказа от пуска дополнительных котлов в часы пика нагрузки за счет разрядки аккумулятора, увеличения срока службы котлоагрегата. Отсутствует необходимость строительства типового дорогостоящего бака-аккумулятора, а его функции выполняет система трубопроводов, то есть разнесенный в пространстве накопитель энергии.

Ввиду технической особенности гидравлического распределителя влияние изменений сопротивлений систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения при правильном подборе оборудования, не оказывает влияния на расход сетевой воды в первичном контуре, то есть не изменяет расход, проходящий через источник тепла и не допускает разбалансировку теплогидравлического режима тепловой сети.

Поскольку для нормальной работы теплогидравлического распределителя необходимо незначительное падение давления в нём (0,01÷0,02 МПа), то это налагает определённые условия его применения.

Рассчитаны геометрические размеры термогидравлического распределителя по методике, изложенной в [1], при следующих условиях:

Геометрические размеры различных ТГР вертикального и коллекторного типов в зависимости от подсоединенной нагрузки потребителей приведены в [1].

В тепловых сетях с повышенным температурным графиком, более высоким, чем 95/70 °С, по требованию СНиП не допускается подача теплоносителя с температурой выше 95 °С. Для снижения температуры применяется подмешивание сетевой воды из обратного трубопровода.

В качестве смесителя применяется водоструйный насос, или элеватор, имеющий крайне низкий коэффициент полезного действия (КПД). Его преимуществами являются: простота конструкции, отсутствие движущихся деталей и сохранение постоянным коэффициента смешения при изменении располагаемого перепада напоров перед ним [2].

Располагаемый напор в м. вод. ст. перед элеватором должен быть не менее значения, определяемого по формуле [3]:

$$H_3 = 1.4 \cdot h \cdot (1 + u_{\text{см}}^p)^2, \quad (1)$$

- 1) Количество потребителей – 3;
- 2) Распределение тепловых нагрузок потребителей:
 - отопление 100 % при температурном графике 95/70 °С;
 - вентиляция 10 % при температурном графике 95/70 °С;
 - горячее водоснабжение 20 % при температурном графике 70/30°С;
- 3) Нагрузка источника теплоснабжения на 10 % превышает суммарную нагрузку потребителей;
- 4) Рабочее давление 6 ати, давление испытаний – 1,25 Рраб.

где h – потеря напора в системе отопления при расчётном расходе, м; $u_{\text{см}}^p$ – расчётный коэффициент смешения элеватора.

Например, при температурном графике 150/70 °С $u_{\text{см}}^p = 2,2$. Если $h = 1$, то $H_3 = 14,336$ м вод. ст.

То есть, на $\Delta H = 14,336 - 1 = 13,336$ м вод. ст. требуется создать большой напор на источнике. При этом увеличение затрачиваемой мощности в кВт на привод насосов составляет [4]

$$\Delta N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H}{\eta \cdot 1000}, \quad (2)$$

где $\rho = 951,98$ кг/м³ при температуре 110 °С [3]; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения; Q – подача сетевого насоса, в м³/с; ΔH – увеличение напора сетевого насоса при применении элеваторов, м.в.ст.; $\eta = 0,6$ – КПД насоса.

Таким образом, в тепловой сети с суммарным расходом сетевой воды (циркуляцией) 10000 м³/ч = 2,78 м³/с перерасход электроэнергии на перекачку составляет 576,59 кВт.

Низкий КПД элеватора вызывает значительный перерасход электроэнергии на перекачку сетевыми насосами теплоносителя.

Рассмотрим возможность применения насосного смесительного узла (рис. 2).

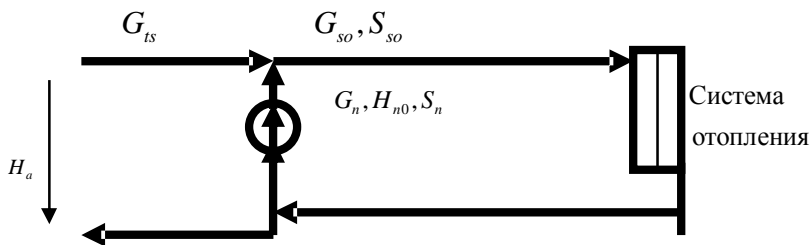


Рис. 2. Схема насосного смесительного узла тепловой сети

Использование насоса в смесительном узле требует обеспечения постоянства коэффициента смешения, обусловленного требованиями СНиП. То есть температура смеси должна быть не более 95 °С.

Коэффициент смешения

$$U_{sm} = \frac{G_n}{G_{ts}}, \quad (3)$$

где G_n – расход воды, перекачиваемой насосом из обратной линии теплотрассы, т/ч; G_{ts} – расход воды, поступающей из подающей линии теплотрассы, т/ч.

Коэффициент смешения может быть записан через температуры воды

$$U_{sm} = \frac{t_1^p - t_3^p}{t_3^p - t_2^p}, \quad (4)$$

где t_1^p – расчётная температура сетевой воды в подающей линии, °С; t_2^p – расчётная температура сетевой воды в обратной линии, °С; t_3^p – расчётная температура смеси, °С.

Для поддержания постоянства коэффициента смешения возможно применение дроссельных органов или регулирование производительности насоса наиболее эффективным способом – изменением числа оборотов.

Наибольшее распространение для привода насосов имеют асинхронные электродвигатели. Их регулирование возможно изменением частоты электрического тока – с помощью частотных преобразователей.

При изменении частоты вращения колеса центробежного насоса на основе теории подобия можно получить: изменение подачи пропорционально отношению нового числа оборотов к расчётному, а изменение напора пропорционально квадрату этого отношения. Использование аналитической зависимости для стабильной характеристики насоса с применением соотношений теории подобия позволяет получить уравнение характеристики насоса при изменении числа оборотов:

$$H = H_0 \cdot \frac{n_1}{n} - S_n \cdot Q^2, \quad (5)$$

где n_1 – новое число оборотов насоса, об/мин; n – расчётное, базовое число оборотов насоса, об/мин.

Система уравнений, описывающая работу смесительного насосного абонентского узла, имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} G_{so} - G_n - G_a &= 0, \quad G_n - U_{sm} \cdot G_a = 0, \\ S_n^{(3/2)} \cdot G_n^3 + C \cdot S_n \cdot G_n^2 \cdot \sqrt{S_{so}} \cdot G_{so} + C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot S_{so} \cdot G_{so}^2 + S_{so}^{(3/2)} \cdot G_{so}^3 - \\ &- C \cdot S_n \cdot G_n^2 \cdot U_n - 2 \cdot C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot \sqrt{S_{so}} \cdot G_{so} \cdot U_n - C \cdot S_{so} \cdot G_{so}^2 \cdot U_n + \\ &+ C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot U_n^2 + C \cdot \sqrt{S_{so}} \cdot G_{so} \cdot U_n^2 - U_n^3 = 0, \\ S_n^{(3/2)} \cdot G_n^3 - C \cdot S_n \cdot G_n^2 \cdot U_n + C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot U_n^2 - U_n^3 + C \cdot S_n \cdot G_n^2 \cdot U_a - \\ &- 2 \cdot C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot U_n \cdot U_a + C \cdot U_n^2 \cdot U_a + C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot U_a^2 - C \cdot U_n \cdot U_a^2 + U_a^3 = 0, \\ U_n &= \text{sign}(H_{so}) \cdot \frac{H_0}{n} \cdot \sqrt{|H_{so}|}, \quad U_a = -\text{sign}(-H_a) \cdot \sqrt{|-H_a|} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

В системе (6) 6 уравнений – 6 неизвестных: G_n , G_{so} , G_a , n_1 , U_n , U_a .

Задаваясь значением независимой переменной H_a – располагаемым напором на абонентском вводе, решение системы (6) даёт значения искомым величин.

Зависимость числа оборотов от располагаемого напора (рис. 1) близка к линейной и может быть реализована в схеме частотного преобразователя. Расходы сетевой воды также близки к линейным и обеспечивают плавное изменение нагрузки системы отопления.

Эксплуатация насосного узла смешения заключается в поддержании постоянства коэффициента смешения $U_{sm} = \frac{t_1^p - t_3^p}{t_3^p - t_2^p}$, определяемого вычислителем по значениям температур t_1, t_2, t_3 . При значении коэффициента смешения меньше расчетного подаётся команда на увеличение числа оборотов насоса и при значении коэффициента смешения больше расчётного, подаётся команда на уменьшение числа оборотов.

Библиографический список

1. **Отчёт** НИР «Разработка систем, обеспечивающих тепловой и гидравлической разбалансированности трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения». Этап 3 / Созинов В.П. – Иваново: 2010. – 239 с.
2. **Соколов, Е.Я.** Теплофикация и тепловые сети. / Е.Я. Соколов. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.
3. **Наладка** и эксплуатация водяных тепловых сетей. Справочник / В.И. Манюк [и др.] – М.: Стройиздат, 1988. – 432 с.
4. **Карелин, В.Я.** Насосы и насосные станции / В.Я. Карелин., А.В. Минаев. – М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.

Ю.И. Евдокименко, науч. сотрудник (ИПМ им. И.Н. Францевича, г. Киев), В.М. Кисель, директор (ООО НИЦ “Градиент”, г. Киев)

ТЕРМОСТРУЙНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕРМОАБРАЗИВНОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ И НАНЕСЕНИЯ АНТИКОРОЗИВНЫХ ПОКРЫТИЙ

Газотермические покрытия из алюминия, цинка и их сплавов являются эффективным способом антикоррозионной защиты стальных конструкций. В настоящее время эти материалы напыляют электродуговой

металлизацией и, значительно реже, газопламенным напылением. Требования к технологическому процессу и покрытиям регламентируются стандартами ГОСТ 9.304-87 «Покрытия газотермические» и ГОСТ 28302-89 «Покрытия газотермические защитные из цинка и алюминия металлических конструкций». Полученные этими методами покрытия имеют высокую пористость (до 20 %, допускаемых стандартами), что обуславливает их невысокую (7÷10 МПа) адгезионную прочность и вызывает необходимость дополнительной обработки – пропитки покрытий лакокрасочными материалами. Высокая пористость покрытий связана с недостаточной скоростью напыляемых частиц, достигаемой в этих технологиях.

Перспективным методом напыления антикоррозионных металлических покрытий является высокоскоростное воздушно-топливное напыление (ВВТН, HVAF-spraying в англоязычной литературе). В процессе ВВТН нагрев и разгон частиц напыляемого материала (порошка или проволоки) происходит в протяженном канале горелки сверхзвуковым высокотемпературным потоком продуктов сгорания углеводородного топлива в воздухе, при этом их скорость при соударении с поверхностью достигает 500 м/с (в традиционных методах – не более 150 м/с). В результате ВВТН-покрытия характеризуются очень высоким качеством, причем качество покрытий именно из цинка, алюминия и их сплавов оказывается наивысшим из полученных газотермическими методами. Они отличаются низкой пористостью, как правило, не превышающей 2 % (во многих случаях она оказывается менее 1 %, что не позволяет использовать рекомендованную стандартом методику ее измерения) и адгезионной прочностью (у алюминиевых сплавов она достигает 35 МПа). При этом производительность процесса ВВТН обеспечивает напыление до 22 кг/ч цинкового покрытия, а стоимость энергоносителей (сжатого воздуха и дизтоплива) на 1 кг покрытия составляет 1,7 \$, что вполне сопоставимо с технико-экономическими показателями электродуговой металлизации.

При нанесении покрытий на крупногабаритные объекты возникает задача высокопроизводительной и качественной подготовки поверхности методами, обеспечивающими удаление остатков краски, масел, загрязнений, ржавчины, создание на обрабатываемой поверхности необходимой шероховатости и адаптированными для применения в полевых условиях. Рекомендованный указанными стандартами и наиболее распространенный метод – струйноабразивная очистка – лишь отчасти отвечает этим требованиям в силу таких своих недостатков, как необходимость предварительного обезжиривания, низкая эффективность снятия окалины и большой расход абразива. Наиболее эффективным методом подготовки

поверхности к напылению (ее очистки, придания ей необходимой шероховатости и ее активация) является термоабразивная очистка (ТАО), которая позволяет получить качество поверхности степени Sa3 по стандарту ISO 8501-1:1988 (белый металл). Современные установки для струйноабразивной очистки, оснащенные сверхзвуковыми соплами, расходуют абразива до 120 кг/м^2 , а установки для ТАО при том же давлении и потреблении сжатого воздуха расходует не более 15 кг/м^2 при значительно более высокой (в 2-4 раза) производительности процесса, достигающей $15 \div 25 \text{ м}^2/\text{ч}$. Применение метода ТАО существенно уменьшает себестоимость предварительной обработки поверхности за счет уменьшения в несколько раз расхода абразивных материалов, сертифицированных в соответствии с санитарными и экологическими нормами, что в сочетании с отсутствием необходимости предварительного обезжиривания поверхности при ТАО делает его также и более экологически привлекательным по сравнению с процессом струйно-абразивной очистки.

В основе процесса ТАО лежит явление разрушения относительно хрупких материалов загрязнений поверхности (оксидов, солей, лакокрасочных материалов) в результате влияния на них высокоскоростной высокотемпературной струи продуктов сгорания и распределенных в ней частиц абразива. Генератором струи является горелка, в камере сгорания которой при повышенном давлении происходит горение воздушно-топливной смеси. Продукты сгорания истекают из горелки через сопло, перед которым в них вводятся частицы абразивного материала. В сопле и затем в сверхзвуковой струе частицы абразива разгоняются до скоростей, достигающих сотен метров в секунду, что и обуславливает высокую эффективность процесса. Процесс ТАО был разработан в СССР в 80-е годы прошлого века и применяется в России и Украине значительно шире, чем где-либо еще.

Конструктивные схемы горелок для термоабразивной обработки и высокоскоростного воздушнотопливного напыления во многом схожи между собой, что определяется общностью газодинамических процессов в них. В обоих случаях необходимо достижение максимальной скорости частиц порошковых материалов, используемых в процессе, а отличие заключается только в требовании к тепловому состоянию частиц – для сохранения твердости абразивных частиц их нагрев должен быть минимальным, а напыляемые частицы должны иметь температуру в диапазоне, определенном для каждого типа материала. Это позволяет создать термоструйную установку, способную реализовать оба технологических процесса. Установка комплектуется двумя специализированными горел-

ками или одной универсальной, обычно – со сменными сопловыми блоками различной конфигурации для каждого типа работ.

В настоящее время установки для ТАО поверхностей и ВВТН антикоррозионных покрытий применяются в машиностроение для зачистки и подготовки поверхностей крупногабаритных металлоконструкций (мосты, трубопроводы, емкости, морские платформы, суда, промышленное оборудование и т.п.) и нанесения на них антикоррозионных покрытий при производстве, монтаже и ремонте; а также в судоремонте и в строительстве для очистки поверхностей от всех видов наслоений и загрязнений, в том числе биологических (морское обрастание, плесень, грибок). В энергетике перспективными областями применения являются металлоконструкции гидроэнергетических сооружений и оборудование водоподготовительных систем.

В последние годы установки для ТАО и ВВТН выпускала в РФ фирма ТЕХМЕД, г. Туапсе (термокинетический металлизатор АТК-12, универсальный аппарат «Торнадо-М»), в Украине - ГИЦ „Львівантикор” (установка „Беркут”), НТФ «Спецтехавтоматика», г. Харьков (установка для газоструйной термоабразивной очистки поверхностей, напыления покрытий и генерирования технологического парагаза), а также НИЦ „Градиент”, г. Киев (установка „Струмiнь” для термоабразивной обработки поверхностей и нанесения антикоррозионных покрытий). Внешний вид последней показан на рис. 1.



Рис. 1. Установка „Струмiнь” для термоабразивной обработки поверхностей и нанесения антикоррозионных покрытий методом ВВТН (НИЦ Градиент, Киев)

Для всех этих установок, предназначенных для работы в полевых условиях и ориентированных на работу с передвижным дизелькомпрессором для подачи сжатого воздуха в горелку, характерны автономность и мобильность, что определяет простоту как их структурных

схем: электроприводы в системах подачи и регулирования рабочих компонентов не применяются, абразив и напыляемые порошки подаются из самоопорожняющихся бункеров, в качестве горючего используется жидкое топливо (дизтопливо или керосин), подаваемое за счет наддува сжатым воздухом напорного топливного бака. Преимуществами жидкого топлива по сравнению с горючими газами является простота его транспортировки и хранения, относительная безопасность применения, стабильность подачи вне зависимости от температуры окружающей среды, высокая теплота сгорания; недостатки – большой объем КС, необходимый для полного сгорания, что увеличивает вес и теплонпряженность горелки, а также сложность осуществления надежного зажигания. Величина расхода воздуха через горелку не превышает $5\div 6 \text{ м}^3/\text{мин}$ при давлении подачи 0,7 МПа (параметры стандартного дорожного компрессора) и, по-видимому, является предельной для ручного термоинструмента, т.к. реактивная тяга его на этом режиме составляет около 100 Н.

Особенностью установки „Струмiнь” является оригинальная система запуска съемным пусковым устройством, представляющим собой импульсную кислородную горелку, сопловой патрубком которой через специальный клапан вводится в камеру сгорания технологической воздушно-топливной горелки. Универсальная горелка ГВО-2М (рис. 2) для проведения ТАО оснащается сопловым блоком, состоящим из короткого сверхзвукового сопла Лавала диаметром 11 мм и цилиндрического разгонного канала длиной 95 мм, причем быстроизнашиваемой деталью является только сам разгонный канал, выполненный из стандартной трубы, что существенно снижает эксплуатационные расходы при ТАО.



Рис. 2. Горелка ГВО-2М установки «Струмiнь» с сопловым блоком для напыления

Сопловой блок для ВВТН имеет общую длину 150 мм и состоит из звукового цилиндрического канала диаметром 10 мм и сверхзвукового диаметром 15 мм, соединенных коническим конфузуром. Варьирование соотношения до- и сверхзвуковых цилиндрических участков обеспечивает возможность оптимизации энергетических параметров (скорости и теплового состояния) напыляемых частиц в зависимости от теплофизических свойств их материала и их размера.

При выборе порошка для напыления нужно в первую очередь учитывать его гранулометрический состав, от которого зависит коэффициент использования материала и свойства покрытий. Анализ рынка порошков алюминия, цинка и их сплавов показывает, что наиболее доступным для потребителей СНГ являются порошки российского производства марок ПА-3, ПА-4 (алюминий), ПЦ-3, ПЦ-4 (цинк). Эти порошки имеют невысокую стоимость (относительно компактного материала), обладают хорошей сыпучестью и в состоянии поставки позволяют получать покрытия достаточно высокого качества. Однако в своем гранулометрическом составе они имеют слишком значительные фракции крупных частиц, участвующих в образовании покрытия и теряемых в процессе напыления. Оптимальные размеры частиц для напыления горелкой ГВО-2М составляют для алюминия +55/-100 мкм, для цинка и цинк-алюминиевого сплава (85/15 мас.) – +70/-120 мкм. Применение порошков цинка и этого сплава с дисперсностью +55/-80 мкм позволяет производить их напыление горелкой с сопловым блоком для ТАО и переключаться из режима очистки в режим напыления без выключения горелки, увеличивая тем самым производительность процесса за счет исключения межоперационных переходов.

Для термоабразивной обработки в установке «Струмь» могут применяться любые абразивы, используемые для струйноабразивной обработки с размером зерен менее 2,5 мм.

Экономические показатели работы установки, рассчитанные в ценах Украины лета 2010 г., показывают, что себестоимость работ по очистке 1 кв.м поверхности составляет $3 \div 7$ \$/м², с учетом, что расход дизтоплива в установке – 11 кг/ч в режиме ТАО, 13 кг/ч в режиме ВВТН, производительность очистки $10 \div 25$ м²/ч в зависимости от требуемой степени очистки и состояния очищаемой поверхности, время работы с учетом подготовительно-заключительных операций – 6 часов за смену, оплата двух работников – средняя по промышленности. Себестоимость антикоррозийного покрытия толщиной 200 мкм при тех же условиях, производительности напыления 12 м²/ч, коэффициенте использования порошка 0,8 и с учетом затрат на предварительную подготовку поверхности 5 \$/м² составляет 17 \$/м² (алюминиевое покрытие) и 24 \$/м² (цинковое покрытие). С учетом рентабельности эти показатели полностью сопоставимы с су-

шествующими ценами на антикоррозионные покрытия, нанесенные дуговой металлизацией и имеющими не столь высокое качество.

Таким образом, можно констатировать, что установки для ТАО и ВВТН антикоррозионных покрытий вполне конкурентноспособны с оборудованием для нанесения таких покрытий традиционными газотермическими методами и перспективны для рынка услуг по антикоррозионной защите.

Д.Н. Жук, инж. (РУП «Витебскэнерго» филиал Оршанская ТЭЦ)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ВОЗВРАТА СЕТЕВОЙ ВОДЫ НА ТЕПЛОИСТОЧНИК

Общеизвестно, что при проведении ремонтных работ, связанных с демонтажем, сваркой, заменой трубопроводов, строительных деталей опор, ремонтом запорной арматуры опорожнение трубопроводов сетевой воды производится путем открытия дренажной запорной арматуры, расположенной в нижних точках сети.

При этом сброс тысяч кубометров сетевой воды производится на рельеф местности, в дренажные колодцы или ливневую канализацию.

С учетом высокой стоимости химической очистки сетевой воды, а также теплоты, содержащейся в ней, наиболее организованные предприятия энергетики, как правило, зарубежные, откачивают воду и перевозят её автоцистернами на теплоисточник, или производят её слив в специально проложенную дренажную канализацию, обеспечивающую её возврат на теплоисточник.

Все вышеуказанные традиционные способы опорожнения являются несовершенными с точки зрения бережного отношения к окружающей среде, экономии на затратах при перевозке автоцистернами, капитальных вложениях на строительство возвратной к теплоисточнику дренажной канализации со станциями перекачки и её содержание.

Поэтому Витебской областной энергосистемой предложен новый принцип (метода, устройства) сбережения энергоресурса сетевой воды и её физических объемов за счет максимального использования уже существующих тепловых сетей при помощи передвижной насосной установки

с устройствами контроля, запорной арматурой, соединительными шлангами, дренажными устройствами и запорной арматурой.

Принципиальная схема решения поставленной задачи приведена на рис. 1.

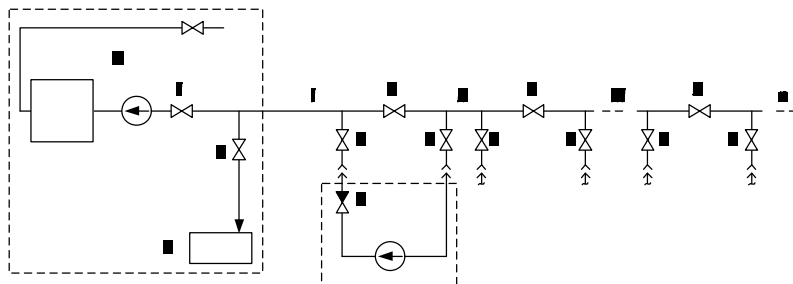


Рис. 1. Принципиальная схема решения задачи:

Г – теплоисточник; 1 – головные задвижки теплосети; 2 – секционирующие задвижки теплосети; 3 – дренажные задвижки с цапковым соединением для шлангов (всас) и рукавов (напор); 4 – насосное устройство с обратным клапаном, шлангами и рукавами с цапковым присоединением; 5 – задвижка на трубопроводе к накопительному баку сетевой воды; 6 – накопительный бак сетевой воды; I, II, III ... n – секционируемые участки теплосети

Пример опорожнения приводится для участка II (обратный трубопровод сетевой воды).

Для опорожнения необходимо:

- закрыть головную задвижку 1 на коллекторе обратной сетевой воды теплоисточника;
- закрыть секционирующие задвижки 2 опорожняемого участка II;
- присоединить к дренажной арматуре 3 с обеих сторон секционирующей задвижки 2 насосное устройство 4;
- открыть запорную арматуру на всасе 3 и напоре 3 насосного устройства;
- включить (запустить) насосное устройство;
- открыть задвижку 5, направив поток сетевой воды из участка II через участок I в накопитель.

Таким же образом производится опорожнение подающего трубопровода.

Использование проектных (по СНиП) перемычек между прямым и обратным трубопроводами в местах секционирования магистралей позволяет вести удаление сетевой воды из любого участка обратного трубопровода через подающий и наоборот, а также через оба одновременно.

В.Г. Арсенов, к.т.н., доц. (ИГЭУ)

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Объективно существует особенность человеческой деятельности, дающая положительный эффект на который она направлена, но вместе с тем сопровождающаяся отрицательными явлениями большой значимости.

В осуществлении программы энергетического использования великой реки Волги был забыт этот основной закон диалектики. При оценке вариантов каскадного использования реки обращалось внимание, в основном на развитие энергетики и водного транспорта.

В итоге, преобразующей природу деятельность человека, экологическая обстановка в бассейне Волги (1,36 млн. кв.км) изменилась, что отражается огромным экологическим ущербом.

Вместе с тем, нельзя забывать и о моральном ущербе – деградации чувства Родины в связи с переселением из зон затопления и гибелью памятников древней русской культуры.

Единичная мощность электрических станций, сжигающих органическое топливо – уголь, нефть и газ постоянно возрастает, а распределение вырабатываемой ими энергии связано с существенными потерями её в электросетях. Это весьма отрицательный фактор современного энергохозяйства.

Значительное количество электроэнергии затрачивается в настоящее время на восполнение этих потерь и, чем больше будет протяженность линий электропередач, тем больше будет затрачиваться жизненных ресурсов – плодородных земель, продуктивных лесов, биопродукции, воды, топлива, на их сооружение и эксплуатацию.

Современные крупные электростанции сооружались без достаточных экологических обоснований; в их проекты закладывались, по существу, лишь энергоэкономические соображения и системы распределения промышленности по регионам страны. Что касается строительства ГЭС использующих природный гидропотенциал рек, то следует сказать, что в настоящее время нет надежных проектных методов, позволяющих выполнять проектирование гидрообъектов с учетом экологических требований. Но, именно эти требования обязательны для соблюдения, во избежание неисправимых вредных последствий в будущем.

Нефть, газ – невозобновляемый природный ресурс, его израсходование несет угрозу человечеству. Безоговорочно разумно использование человеком лишь природных возобновляемых источников энергии.

К возобновляемым источникам энергии относятся: солнечное излучение, ветер, речной сток, приливы, зеленая растительность. Их использование – важнейшая задача современности, но, к сожалению, ей уделяется мало внимания. Это объясняется специфическими трудностями получения тех громадных количеств энергии, в которых нуждается человечество при современных масштабах и концентрации производства.

Очевидно, что в плане решения эколого-энергетической проблемы, прежде всего, следует сказать о комплексном использовании малых рек Волжского бассейна. Малые реки с гидроузлами мощностью до 5000 кВт представляют в целом по стране значительный энергетический ресурс.

Так в годы Великой отечественной войны, вследствие дефицита электроэнергии, было построено значительное количество гидроэлектростанций на малых реках, прекративших существование в послевоенное время под давлением несовершенных экономических соображений.

Оценка энергетической эффективности электростанций стоимостью кВт·ч приемлема лишь для электростанций определенного типа, например, тепловых, сжигающих органическое топливо.

В современных условиях необходим иной, общий критерий оценки, учитывающий значение станции в процессе сбережения природных ресурсов и в экологической проблеме, имеющей международное значение. В этом смысле значение гидростанций даже малой мощности оказывается весьма существенным.

Гидроузлы на малых реках являются не только источником энергии; они представляют собою ресурс поливного земледелия, рыбозаведения и, что особенно важно, являются важным фактором почвообразования и регулирования климата обширных регионов страны. При разумном отношении человека, малые реки могут быть мощным фактором подъема народного хозяйства в бассейнах крупных рек.

Великий русский ученый В.В. Докучаев (1846-1903 гг.) в своих классических трудах указал ряд мер по борьбе с засухами. Важнейшей из этих мер он полагал создание небольших по объему водохранилищ на малых притоках больших рек. Такие водохранилища, взятые совокупно, являются регуляторами влагообмена и биопроцессов в почве и, вместе с тем, серьезным климатообразующим фактором. Несомненно влияние водохранилищ малых рек на плодородие почвы.

Правильным выбором створа малой реки для возведения плотины водохранилища можно обеспечить незатопляемость полезных сельскохозяйственных земель.

Энергетическую эффективность малых рек, при их комплексном использовании для полива и рыборазведения, ориентировочно можно проследить на примере Ивановской области.

При площади Ивановской области 23900 км² и модуле стока 6 л/с 1 км², абсолютное значение среднегодового стока составляет 144 м³ в секунду. Количество малых рек области – 130 и их протяженность около 3595 км. При продольном уклоне малых рек, в среднем 0,5 м/км, располагаемый напор составляет 1800 м.

Неполное использование гидропотенциала, обусловленное местными условиями и распределением напора между реками с различным дебитом, может обеспечить годовую выработку электроэнергии, при числе часов использования 5000 в год около 6 453 800 млн. кВт·ч.

Разумеется, по различным местным условиям, полное использование гидропотенциала малых рек невозможно, но и при частичном использовании эффект сбережения органического топлива оказывается значительным.

Суточные и сезонные графики электрических нагрузок в сельском хозяйстве неравномерны и их покрытие возможно проводить с помощью комплексной гидро-ветроустановки, состоящей из водохранилища на малой реке, гидротурбины с генератором электроэнергии и ветроэлектроустановки (ветродвигатель с генератором). Целесообразность такой установки очевидна. Ввиду непостоянства ветроэнергии при отсутствии ветра, электроэнергия вырабатывается гидроагрегатом за счет транзитного потока и запаса гидроэнергии в водохранилище. При наличии ветра снимается нагрузка с гидроагрегата и передается на ветроустановку. Работа комплекса в целом может быть полностью автоматизирована.

Установкам такого типа в области малой энергетики безусловно принадлежит будущее.

Влияние водохранилищ малых рек на плодородие и процессы почвообразования неоспоримо, и в этом направлении необходима постановка серьезных исследований, приводящих к количественным результатам. Однако, уже сейчас ясно, что отсутствие должного внимания к водному хозяйству малых рек снизило плодородие почв на больших площадях. Поливное земледелие в Центральных областях и в Приволжье, перенос кормодобывания с заливных лугов, ныне затопленных и подтопленных на пашню - следствие этого. Создание крупных водохранилищ ГЭС на

транзитном потоке рек привело к нарушению гидрологической обстановки в бассейнах зарегулированных рек.

Развитие цивилизации ведет к противоречию между деятельностью человечества, направленной на ускоренное использование ресурсов Земли и возможностью природных репродуцирующих процессов. Если в этой области не будет достигнуто равновесное соотношение, то судьба человечества может оказаться трагичной.

Очевидно, наступило время развития энергетики страны на совершенно новых началах, такой энергетикой, которая бы не расточала природные ресурсы, а способствовала их сохранению, умножению и восстановлению. В основе новой энергетики должны лежать принципы создания комплексных энергетических установок на возобновляемых источниках энергии: ветро-, гидро-, био- и солнечных энергоисточниках.

А.В. Новиков, инж. по эксплуатации газопотребляющего оборудования (ООО «УК Тейковский ХБК»), В.К. Пыжов, к.т.н., проф. (ИГЭУ)

СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОТДЕЛКЕ МАТЕРИАЛОВ

Одной из актуальных проблем, требующей быстрого решения, является экономия энергии на уже находящемся в эксплуатации на текстильных предприятиях оборудовании, а также использование вторичных энергоресурсов. Точные данные о фактическом потреблении тепловой энергии оборудованием и удельных энергетических затратах при производстве ткани на предприятиях часто отсутствуют, а энергетические аудиты по устранению этого недостатка либо не проводятся, либо проводятся формально. Также в недостаточной мере проводятся работы по оптимизации потребления энергии оборудованием. Когда к данным работам начинает проявляться интерес, то, как правило, очень быстро и при минимальных затратах на предприятиях достигается значительный экономический эффект.

Примером типичного предприятия в этой области является ООО «УК Тейковский ХБК» (г. Тейково, Ивановская область). Четыре года назад в здании отделочной фабрики было установлено новейшее оборудование иностранного производства. Это позволило расширить ассортимент выпускаемой на предприятии продукции и повысить её качество. В результате проведённого энергетического аудита были выявлены недостатки,

связанные с невысокой энергоэффективностью оборудования и неудовлетворительной работе систем поддержания технологического и комфортного микроклимата.

В реконструируемой отделочной фабрике имеются существенные недостатки в организации общеобменной и местных вытяжных вентиляционных систем. Это приводит к безвозвратным энергетическим потерям на работающем оборудовании и отрицательно сказывается на условиях труда работников.

Авторами в настоящее время разрабатывается математическая модель, позволяющая описывать различные режимы работы отделочного оборудования и систем создания микроклимата. Модель включает в себя не только все значимые параметры технологических процессов отделки тканей, но и параметры микроклимата производственных помещений. Уже сейчас можно определить направления для оптимизации технологических режимов и систем создания микроклимата.

Одним из возможных решений является оптимизация существующей системы поддержания микроклимата в здании новой отделочной фабрики с утилизацией массы и энергии вентиляционных выбросов.

Еще одним направлением улучшения существующей ситуации является изменение технологических режимов отделки ткани. В настоящее время процесс отбеливания, крашения и сушки ткани зачастую связаны с большими затратами отбеливающих, промывочных и красящих материалов и энергоносителей. Эти процессы сопровождаются обильным испарением влаги и выделением токсичных химических соединений, используемых в технологическом процессе. Необходимо внести и исследовать технологические и конструктивные изменения для снижения влажности ткани и уменьшения испарений.

Другим важным направлением повышения технологической и энергетической эффективности является оптимизация режимов отделки тканей.

В качестве направлений оптимизации технологических режимов можно выделить изменение технологии отделки, использование замкнутых производственных циклов и регенерацию энергоносителей.

Перспективным является применение новых способов пропитки тканей при отделке. Коллективом авторов во главе с Капустиным В.П. разработана энергосберегающая технология и оборудование для пропитки тканей методом поверхностного нанесения раствора с минимальным увлажнением материала при остаточной влажности 30 % и ниже вместо 80÷90 % по традиционной технологии. Расход технической воды и тепловой энергии на удаление растворителя сокращается в несколько раз.

В процессах заключительной отделки тканей на аппретурно-отделочных линиях в большинстве случаев пропитка ткани технологическими растворами осуществляется методом погружения полотна в ванну с раствором с последующим отжимом между валами. Этот процесс необходимо организовать так, чтобы оставить в ткани как можно меньшее количество свободной (излишней) влаги для уменьшения расхода тепловой энергии на последующую сушку ткани и исключения нежелательной миграции красителей. При используемых методах пропитки ткани, несмотря на применение усиленных отжимов, остаточная влажность ткани велика и составляет порядка 80÷90 % к абсолютно сухой массе материала.

Новая технология поверхностного аппретирования на плюсовке ПВР успешно прошла испытания и внедряется на отделочных фабриках Ивановского региона при отделке хлопчатобумажных тканей с поверхностной плотностью 100÷280 г/м² и шириной полотна до 200 см. Технология поверхностного аппретирования будет также эффективной при обработке нетканых материалов типа «спанбонд» для придания им свойств огнестойкости и водоотталкивания.

Перспективным направлением при отделке материалов является применение «пенной технологии». Сущность «пенной технологии» отделки состоит в замене использования на разных стадиях отделки полотна большей части жидкости (воды) на воздух (всегда доступный и бесплатный). Вследствие этого резко снижается влагосодержание обработанного материала (в 3-4 раза) и соответственно сокращается расход теплоты и энергии на удаление влаги в процессах тепловой обработки. Также применение в текстильной индустрии «пенной технологии» отделки позволяет существенно сократить объем очищения промышленных сточных вод и улучшить экологическую обстановку на производственном предприятии. Для каждого отделочного процесса свойства пен должны быть строго регламентированы и тщательно контролироваться в ходе процесса с помощью электронной и микропроцессорной техники. На этапе подготовки текстильных материалов пенные среды используются в процессах эмульсирования шерстянных гребенных лент, шлихтования, беления, мерсеризации хлопчатобумажных и карбонизации шерстяных тканей. Пенное крашение текстиля осуществляется с экономией воды на 30 %, энергии на 40 %, красителей и текстильно-вспомогательных веществ до 15 %.

Наиболее широко в мировой практике нашли применение две технологии пенного крашения: швейцарской фирмы Sancowad Ltd и германской Valfoam GmbH. Возможность регулирования толщины слоя нано-

симой пены увеличивает степень фиксации красителей (кислотных, металлокомплексных, дисперсных, катионных и активных), соответственно снижается степень их миграции при условии достаточно высокой растворимости. В результате получаются ровные и прочные окраски на различных фактурах тканей.

В последнее время в текстильной промышленности нашли широкое применение два варианта создания пенных систем – химический (с добавлением специальных вспенивающих добавок или жидкостей с низкой точкой кипения, а также стабилизаторов пены) и механический. Химический способ широко используется при производстве искусственных кож на основе ПВХ и дублирования разных видов тканей для создания гидрофобной подложки. Использование механических пенных систем требует применения специального оборудования – статических и динамических пеногенераторов и считается более прогрессивным в силу стабильности получаемой пены и ее адгезионных характеристик при крашении тканей из синтетических и искусственных волокон.

Ведущими фирмами в мировой текстильной индустрии по разработке технологий пенных отделок и выпуску сопутствующих химических материалов считаются следующие предприятия: Gaston County (США), Mitter, Kusters, Bayer AG (Германия), Monforts (Англия), Stork (Нидерланды). Для нанесения пенных сред на текстильные полотна применяется оборудование различных конструкций и производительности, например: печатные машины с гравированными валами; ракельные механизмы (рабочим органом является металлическая пластина – ракельный нож, равномерно распределяющий пену по всей поверхности текстильного полотна, идущего по транспортерной ленте); сетчатые шаблоны и аппликаторы различного типа.

К числу перспективных направлений можно отнести комплекс научно обоснованных решений с использованием нетрадиционных для текстильной и легкой промышленности физико-химических воздействий: низкотемпературной плазмы, инфракрасного излучения, магнитного поля, высокоскоростных сдвиговых нагрузок и др.

Одним из примеров подобных технологий является метод «магнитно-химического регулирования» взаимодействий в красильно-отделочных композициях и протекания различных процессов при обработке текстильных материалов. Этот метод аккумулирует в себе результаты анализа полувекового опыта успешного использования в различных областях производства воздействия магнитных полей на жидкостные системы, впервые примененного бельгийской фирмой «Эпюро» для предотвращения образования накипи в котельных установках и теплообменной аппара-

ратуре. Однако предварительное воздействие магнитных полей на воду в процессах колорирования текстильных материалов малоэффективно, поскольку не обеспечивает соблюдение высоких требований по стойкости получаемой окраски. Причиной получения неудовлетворительных результатов технологических процессов является неконтролируемый состав примесей технической воды. В результате комплекса фундаментальных исследований, проведенного коллективом ученых из Института химии растворов РАН, ивановских вузов и отраслевых институтов, выявлены уникальные возможности магнитно-химической активации, недостижимые с использованием традиционных химических или физических методов изменения состояния реагентов в растворах: получение обратимых релаксирующих эффектов в изменении свойств растворов; инициирование химической реакции или структурной перестройки в растворах в заданный момент времени по ходу процесса; изменение состояния реагентов в жидкости, находящейся в капиллярно-поровом пространстве волокнистого материала; непосредственное управление сольватацией функциональных групп волокна и усиление пластификации термопластичных полимеров.

Установлено, что с учетом специфики технологического процесса обработки текстильных полотен и вскрытых закономерностей магнитно-химического регулирования состояния систем «технологический раствор - волокно» можно прогнозировать ожидаемый результат и выявить наиболее рациональный вариант воздействия магнитных полей. Причем далеко не все из них и не всегда применимы и могут дать положительный результат. Но в некоторых случаях, как, например, при крашении целлюлозно-полиэфирных материалов смесью активных и дисперсных красителей комплексное использование магнитных воздействий обеспечивает получение взаимодополняющих и усиливающих эффектов: увеличения сорбции и улучшения ровноты нанесения состава при омагничивании в процессе пропитки; получения антимиграционных эффектов при воздействии на мокротожатое полотно; ускорения удаления влаги и целенаправленного изменения свойств продукта промежуточной кристаллизации композиции при сушке; повышения фиксации красителей при снижении температуры термообработки на 30-40 °С в альтернативу существующему за рубежом направлению на ужесточение режимов высокотемпературного прогрева.

Для промышленной реализации разработок, модернизации действующего и создания специального оборудования рекомендованы электромагнитные системы, расчет которых осуществляется, исходя из зада-

ваемых величин ширины полотна, высоты зазора между полюсами, в котором проводится текстильный материал, и напряженности поля в зазоре. Очевидно, что для решения технологических проблем, возникающих при отделке текстильных материалов, и создания благоприятного микроклимата для работников производственных помещений, необходим комплексный подход, учитывающий требования к отделочным производствам и особенности химико-технологических процессов, в частности, использование сертифицированных красителей и текстильных вспомогательных веществ, современных систем водопотребления и водоочистки, а также систем улавливания и удаления вредных газообразных продуктов.

В результате выше изложенного можно сделать вывод, что имеется значительный резерв энергосбережения в технологических процессах отделки тканей, а также существуют перспективные технологии, которые можно внедрить на данном предприятии. Разрабатываемая математическая модель позволит оптимизировать работу оборудования и систем поддержания микроклимата в помещениях отделочных производств.