

ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

ЭНЕРГИЯ-2017

ДВЕНАДЦАТАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

4-6 апреля 2017 г.
г. Иваново

ТОМ 1

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И.ЛЕНИНА»

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

«ЭНЕРГИЯ-2017»

ДВЕНАДЦАТАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

г. Иваново, 04-06 апреля 2017 г.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 1

ИВАНОВО

ИГЭУ

2017

УДК 620 + 621 + 628

ББК 31

Т 34

Теплоэнергетика. Энергия-2017. Двенадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, 04-06 апреля 2017 г., г. Иваново: материалы конференции. – Иваново: ИГЭУ, 2017. – В 6 т. Т. 1– 260 с.

ISBN 978-5-00062-232-2

ISBN 978-5-00062-235-3 (Т.1)

Доклады студентов, аспирантов и молодых учёных, помещенные в сборник материалов конференции, отражают основные направления научной деятельности в области теплоэнергетики и высшего профессионального образования.

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

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

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

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

Зам. председателя: Макаров А.В., начальник управления НИРС и ТМ.

Члены оргкомитета по направлению: декан теплоэнергетического факультета к.т.н., доц. **С.Б. ПЛЕТНИКОВ**, зав. кафедрой Тепловых электрических станций д.т.н., проф. **Е.В. БАРОЧКИН**, зав. кафедрой Химии и химических технологий в энергетике к.т.н., доц. **Н.А. ЕРЁМИНА**, зав. кафедрой Промышленной теплоэнергетики д.т.н., проф. **В.П. СОЗИНОВ**, зав. кафедрой Автоматизации технологических процессов д.т.н., проф. **В.В. ТЮТИКОВ**, зав. кафедрой Теоретических основ теплотехники д.т.н., проф. **В.В. БУХМИРОВ**, зав. кафедрой Паровые и газовые турбины к.т.н., доц. **А.Л. ВИНОГРАДОВ**, заместитель декана ТЭФ по научной работе доц. **Н.Н. СМЕРНОВ**, инженер **Д.А. ЛАПАТЕЕВ**.

**Секция 1.
ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
СТАНЦИИ**

*Председатель секции
зав. кафедрой «Тепловые электрические станции»
д.т.н., доц. Е.В. Барочкин
Секретарь секции к.т.н., доц. А.Е. Барочкин*

*Н.П. Ананьев, студ.; рук. Р.А. Ильин, к.т.н., проф.
(АГТУ, г. Астрахань)*

**СНИЖЕНИЕ КАПЕЛЬНОГО УНОСА
ВЕНТИЛЯТОРНОЙ ГРАДИРНИ ПУТЕМ
УСТАНОВКИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО
ВЕНТИЛЯТОРА И ОХЛАЖДЕНИЯ
ПАРОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ**

Вентиляторные градирни имеют множество проблем, а именно: создают шум, вибрацию, теряют оборотную воду и выбрасывают воду в атмосферу, нагревая её. Проблема выброса воды в атмосферу, помимо экологического вреда в виде теплового загрязнения окружающей среды, имеет и экономические последствия в виде безвозвратного выброса циркуляционной воды в атмосферу [1]. На рисунках 1 и 2 представлена вентиляторная градирня в классическом и новом исполнении соответственно.

Система в новом исполнении выбрасывает паровоздушную смесь со скоростью 1,0-1,5 м/с. Такое значение скорости движения паровоздушной смеси уже позволяет подойти вплотную к вопросу извлечения воды из паровоздушной смеси в пределах конструкции вентиляторной градирни.

В верхнюю часть вентиляторной градирни дополнительным вентилятором по дополнительной системе воздухораспределения, против движения основного потока паровоздушной смеси подается наружный атмосферный воздух с температурой, которая всегда ниже температуры паровоздушной смеси.

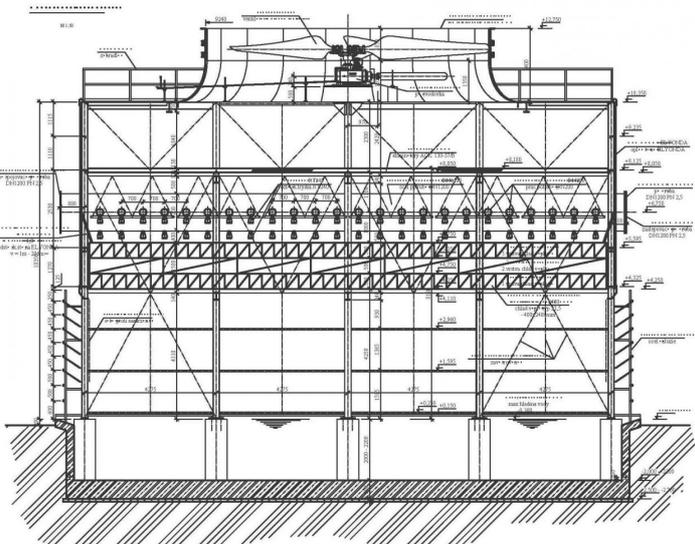


Рисунок 1 – Вентиляторная испарительная градирня в классическом исполнении [2]

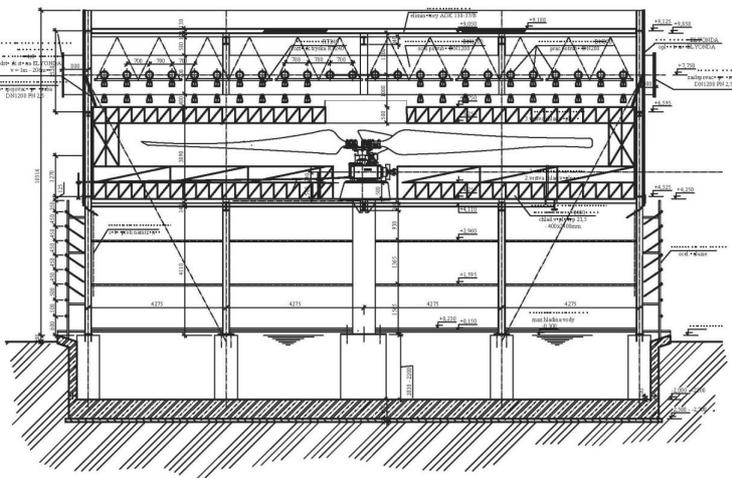


Рисунок 2 – Вентиляторная испарительная градирня в новом исполнении

В верхнюю часть вентиляторной градирни дополнительным вентилятором по дополнительной системе воздухораспределения, против движения основного потока паровоздушной смеси подается наружный атмосферный воздух с температурой, которая всегда ниже температуры паровоздушной смеси. В зоне над разбрызгиванием воды в вентиляторной градирне происходит смешивание нагретой паровоздушной смеси со встречным, более холодным атмосферным воздухом.. Скапливающийся конденсат стекает вниз, на ороситель градирни [3].

Предлагается использовать испаритель теплового насоса в качестве охладителя паровоздушной смеси, выполняющий 2 функции: устранение потери воды из вентиляторной испарительной градирни и нагревания стороннего теплоносителя. Это может быть предварительный подогрев циркуляционной воды (до 70°C) тепловых электростанций или предварительный нагрев сетевой воды в системе теплоснабжения на промышленных предприятиях.

Модернизовав вентиляторную градирню таким образом, мы замедлим поток уходящего из нее воздуха с 6-8 м/с до 1-1,5 м/с, что даст нам возможность уменьшить капельный унос на 85%.

Библиографический список

1. Указ Президента РФ №889 от 4 июня 2008 года “О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики”.
2. СНИП 2.04.02-84. Пособие по проектированию градирен.
3. **В.А. Гладков**. Вентиляторные градирни. М.: Стройиздат, 1976. 216 с.

**Ф.З. Аскарлов, студ.; рук. Э.А. Шайхатова, к.т.н, доц.
(КГЭУ, г. Казань)**

ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ

Проблема повышения коэффициента полезного действия (КПД) процессов выработки электроэнергии всегда была важнейшей проблемой энергетики. Основу традиционной энергетики составляют тепловые электростанции (ТЭС). Именно на них вырабатывается примерно 80 % всей производимой электроэнергии.

Современные ТЭС достигли большого совершенства и их КПД, можно сказать, приблизился к пределу. Перспективы в этом отношении открывают парогазовые установки.

Преимущества парогазовых установок особенно проявляются при доступности и относительно невысокой стоимости природного газа, что характерно для условий России в общем.

Ситуация в электроэнергетике:

- Сооружение установок комбинированного цикла, или ПГУ, стало основной тенденцией развития мировой теплоэнергетики в последние два десятилетия.

- В структуре газ занимает более 50%, а в некоторых регионах - более 90% всего топлива. В перспективах развития электроэнергии в России до 2030 г. планируется освоить газификацию угля, что позволит использовать и твердое топливо.

- В кратко- и среднесрочной перспективе газовая генерация остается более эффективной по сравнению с угольной. Это подтверждается и тем, что генерирующие компании пересматривают свои первоначальные программы ввода новых угольных электростанций в пользу парогазовых.

- Обеспечение значительных вводов энергетических мощностей в сжатые сроки возможно только на базе газовой генерации.

Парогазовые установки - это эталон теплового совершенства установки на органическом топливе. Многообразие парогазовых установок столь велико, что нет возможности рассмотреть их в полном объеме.

По назначению ПГУ подразделяют на конденсационные и теплофикационные. Как нам уже известно, первые из них вырабатывают только электроэнергию, вторые — служат и для нагрева сетевой воды в подогревателях, подключаемых к паровой турбине.

По количеству рабочих тел, используемых в ПГУ, их делят на бинарные и монарные. В бинарных установках рабочие тела газотурбинного цикла (воздух и продукты горения топлива) и паротурбинной установки (вода и водяной пар) разделены. В монарных установках ра-

бочим телом турбины является смесь продуктов сгорания и водяного пара.

Принцип работы самой экономичной и распространенной схемы таков: устройство состоит из двух блоков – газотурбинной и паротурбинной установок. Газотурбинные генераторы приводятся в действие путем преобразования тепловой энергии продуктами сгорания топлива в механическую энергию вращения ротора. Проходя через газовую турбину, продукты сгорания отдают ей лишь часть своей энергии и на выходе все ещё имеют высокую температуру. После газовой турбины продукты сгорания направляются: в котел-утилизатор, где нагревают воду и образующийся водяной пар; паровой котел, действующей паротурбинной установки; высоконапорный парогенератор и т.д.

Паровые энергоблоки хорошо освоены. Они надежны и долговечны. Их единичная мощность достигает 800-1200 МВт, а КПД, представляющий собой отношение произведенной электроэнергии к теплотворности использованного топлива, составляет до 40-41%.

Электрический КПД современных газотурбинных установок составляет примерно 33%. Газотурбинные установки значительно упрощают задачу получения высокой мощности электростанции. Этому способствуют условия размещения, их манёвренность, условия работы, проектный срок службы и низкие капиталовложения самой установки.

По сравнению с паротурбинными энергоблоками равной мощности современные ПГУ имеют высокий КПД (около 52%), меньший расход топлива (на 30-35 %), требуют меньше охлаждающей воды. Они меньше загрязняют окружающую среду теплотой и характеризуются низким уровнем вредных выбросов в атмосферу (для оксидов азота – в 2,5-3 раза). Существенным достоинством ПГУ являются меньшие удельные капиталовложения и объем строительно-монтажных работ.

Масштабы использования ПГУ значительно увеличатся в течение последующих десятилетий вследствие расширения использования природного газа для производства электроэнергии. Эти технологии совершенствуются и будут развиваться по мере промышленного освоения газификации твердого топлива.

*А.А. Бобич, асс., маг.; рук. В.Н. Романюк, д.т.н., проф.
(БНТУ, г. Минск)*

СНИЖЕНИЕ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА НА ВЫРАБОТКУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЭЦ

Для энергосистемы с большой долей комбинированной выработки тепловой и электрической энергии особую актуальность приобретает проблема повышения эффективности работы существующих ТЭЦ и поэтому необходимо применение современных, эффективных парогазовых технологии именно на ТЭЦ [1, 2].

В энергетике одним из показателей характеризующих эффективность работы ТЭЦ является удельный расход топлива (УРТ) на выработку электроэнергии, который определяется по выражению:

$$b_3 = 1 / \eta_{э,абс} [1 / Q_n^p - b_T (\eta_{ит} - \eta_{э,абс})], \text{ кг/ГДж} \quad (1)$$

где $\eta_{э,абс}$ – абсолютный электрический КПД ТЭЦ; Q_n^p – низшая теплота сгорания топлива, ГДж/кг; b_T – удельный расход условного топлива на выработку тепловой энергии, кг/ГДж; $\eta_{ит}$ – коэффициент полезного использования топлива на ТЭЦ.

Из выражения (1) следует, что УРТ на выработку электроэнергии напрямую зависит от коэффициента полезного использования топлива и электрического абсолютного КПД ТЭЦ. Следовательно, необходимо повышать указанные КПД на ТЭЦ за счет системного подхода и внедрения в его рамках современного инновационного оборудования:

- 1) сбросных схем ГТУ вместе с утилизационными [3];
- 2) абсорбционных холодильных машин для стабилизации характеристик ГТУ в межотопительный период [4];
- 3) тепловых аккумуляторов для регулирования мощности энергосистемы [5];
- 4) абсорбционных тепловых насосов для утилизации низкотемпературных потоков теплоты, рассеиваемой с циркуляционной водой в градирнях [6].

Применение ГТУ на ТЭЦ рассматривается уже давно и доказана их эффективность. Применение абсорбционных тепловых насосов (АБТН) как одноступенчатых с отопительным коэффициентом (COP) равном 1,7, так и двухступенчатые с COP – 2,2 на ТЭЦ рассматривается недавно и эффект от их применения изучен не достаточно хорошо. Одноступенчатые АБТН позволяют нагревать потоки до температуры 85 °С, а двухступенчатые до температуры 45 °С. Рассмотрим применение указанных АБТН на ТЭЦ [6].

В тепловой схеме турбогенератора, установленного на ТЭЦ, существуют несколько тепловых потоков, рассеиваемых в окружающей среде за счет охлаждения в градирнях. На примере турбогенератора ПТ-135 с пропуском пара в конденсатор равном 35 т/ч таковыми являются: поток охлаждения циркуляционной воды, мощностью 25,3 МВт, потоки систем охлаждения генератора и масла мощностью 3,5 МВт, суммарной мощностью 28,9 МВт. Установка АБТН на потоке циркуляционной воды позволяет использовать указанный поток теплоты и снижать потребление условного топлива на ТЭЦ на величину 3,3 т/ч. УРТ на выработку электроэнергии при этом снижается на 26 г/(кВт·ч), что составляет 15 % от существующего УРТ [7]. При этом повышается эффективность использования природного газа и достигается снижение годовой потребности импорта природного газа более 1 млн т у. т для условий энергосистемы Республики Беларусь.

Библиографический список

1. **Попырин, Л.С.** Эффективность технического перевооружения ТЭЦ на базе парогазовых установок / Теплоэнергетика. – 2006. – №2. – С. 34 – 39.
2. **Новикова, Т.В.** Масштабы внедрения ПГУ и ГТУ в среднесрочной перспективе / Т.В. Новикова, И.В. Ерохина, А.А. Хорошев // Газотурбинные технологии. – 2005. – №9. – С. 6 – 9.
3. **Романюк, В.Н.** Выбор схем парогазовых установок при модернизации паротурбинных ТЭЦ / В.Н. Романюк, А.А. Бобич, Н.А. Коломыцкая. // Энергия и Менеджмент. – 2013. – № 3. – С. 11–15.
4. **Романюк, В.Н.** Повышение эффективности ГТУ в летний период / В.Н. Романюк, А.А. Бобич, Н.А. и др. // Энергия и Менеджмент. – 2011. – № 1. – С. 18–22.
5. **Романюк, В.Н.** Регулирование генерации электроэнергии при повышении эффективности использования ТЭЦ / В.Н. Романюк, А.А. Бобич и др. // Известия ВУЗов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2012. – № 2. – С. 67–78.
6. **Романюк, В.Н.** Абсорбционные или парокompрессионные тепловые насосы в схемах ТЭЦ / В.Н. Романюк, А.А. Бобич, С.В. Мальков. // Энергия и Менеджмент. – 2013. – № 4-5. – С. 7–10.
7. **Романюк, В.Н.** Абсорбционные тепловые насосы на ТЭЦ Белорусской ОЭС на примере Мозырской ТЭЦ / В.Н. Романюк, А.А. Бобич // Энергия и Менеджмент. – 2015. – № 1. – С. 13–20.

*Е.В. Богдан, студ.; рук. Н.Б. Карницкий, д.т.н., проф.
(БНТУ, г. Минск)*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА

В зарубежной и отечественной энергетике разработано большое количество технических решений, реализующих технологические методы сокращения выбросов оксидов азота. Одним из основных направлений в реализации технологических методов снижения выбросов оксидов азота энергетическими котлами является разработка соответствующих конструкций топочно-горелочных устройств и оптимизация режимов их эксплуатации с учётом эколого-экономических показателей. Эффективность внедрения одних и тех же технологических мероприятий на котлах современных конструкций существенно различается.

Снижение образования оксидов азота при сжигании мазута может достигаться при изменении топочного процесса в направлении снижения температурного уровня или уменьшения концентрации кислорода в зоне интенсивного образования NO_x . В числе методов, основанных на снижении температуры: снижение нагрузки котла, рециркуляция дымовых газов, подача в камеру горения влаги в виде распыления воды или пара. Следует отметить, что рециркуляция дымовых газов является эффективным средством подавления NO_x только при высокой температуре в ядре горения, так как она воздействует на термические NO_x . При низких температурах в топке рециркуляция газов практически не влияет на уровень выбросов NO_x . В числе методов, основанных на изменении избытка воздуха в топке: нестехиометрическое сжигание, снижение избытка воздуха в горелках, ступенчатое сжигание (в котлах с многоярусным расположением горелок), применение специальных горелок (изменение дисперсности мазута, турбулентности потока, интенсивности крутки факела и других параметров).

Природный как энергетическое топливо обладает рядом экологических достоинств по сравнению с твёрдым топливом и мазутом: он не содержит твёрдых примесей, связанного азота и практически не содержит серы. Таким образом, при сжигании природного газа борьба с NO_x является единственным средством, позволяющим обеспечить чистоту атмосферы. Снижение образования оксидов азота при сжигании природного газа может быть достигнуто также двумя основными направлениями, однако нужно учесть, что при некоторых режимах сжигания газа могут образовываться канцерогенные вещества. В группу мероприятий, основанных на снижении температуры, входят: снижение нагрузки котлоагрегата и рециркуляция дымовых газов, "экологи-

ческий впрыск" (как и в случае сжигания мазута). Уникальным мероприятием по снижению вредных выбросов в атмосферу для сжигания газа является уменьшение температуры горячего воздуха. Так, на блоках 300 МВт снижение $t_{гв}$ с 315 до 200 градусов уменьшило NO_x на 40%. Уменьшение $t_{гв}$ с 315 до 30 (отключение калориферов) - на 65%. Следует иметь в виду, что существенное снижение $t_{гв}$ приводит к повышению t_{yx} и снижению КПД котла. Совместное использование рециркуляции газов ($\gamma = 14\%$), впрыск воды (5% от расхода топлива) и снижение α с 1,06 до 1,03 позволило снизить концентрацию оксидов азота в дымовых газах с 0,85 до 0,35 г/м³. В числе методов, основанных на изменении избытка воздуха в топке: снижение избытка воздуха в горелках, специальные горелки, ступенчатое сжигание.

В таблице 1 приведено сравнение эффективности снижения генерации оксидов азота технологическими методами.

Таблица 1 - Сравнение эффективности технологических методов снижения генерации оксидов азота

Метод	Уменьшение выбросов NO_x , %	
	Мазут	Природный газ
Рециркуляция продуктов сгорания	20	60
Уменьшение подогрева воздуха	40	50
Впрыск пара или воды	40	60
Ступенчатое сжигание	40	55
Малый избыток воздуха	20	20
Снижение теплового напряжения топочного объёма	20	20
Комбинация ступенчатого сжигания малого избытка воздуха и сниженного теплового напряжения	35	50
Переход на топливо с малым содержанием химически связанного азота	40	неэффективно

Библиографический список

1. **Стриха И. И., Карницкий Н.Б.** Экологические аспекты энергетики. Мн.: УП "Технопринт", 2001. 375с.
2. **Котлер В. Р.** Оксиды азота в дымовых газах котлов. М.: Энергоатомиздат, 1987. 144 с.
3. **Рихтер П. А.** Тепловые электрические станции и защита атмосферы. М.: Энергия, 1975. 312 с.
4. **Рихтер Л. А., Чернов С. Л.** Защита окружающей среды при сжигании топлива: Экологически чистая ТЭС // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. Тепловые электростанции. теплоснабжение. 1991. Т.6.с.160.

*М.С. Ганюшкин, студ.; В.В. Ощепков, асп.;
рук. С.Д. Иванов, к.ф.-м.н., доц.
(ИРНИТУ, г. Иркутск)*

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ШАРОВОЙ БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЫ Ш-16

Технологические процессы измельчения угля с помощью шаровых барабанных мельниц (ШБМ) весьма энергоемки. Так, расход электрической энергии на пылеприготовление на ТЭС составляет около 25% от общего расхода электрической энергии на собственные нужды, или, что то же самое, около 2% от общей выработки электрической энергии [1]. Поэтому оптимизация рабочих параметров ШБМ с целью снижения этих расходов актуальна.

Функция оптимизации затрат электроэнергии на пылеприготовление имеет следующий вид:

$$\mathcal{E}(\bar{d}) = \frac{\sigma^2}{2E\rho_c\eta_p} \varphi(\bar{d}) + \frac{\Delta P_m(\bar{d})}{\mu\eta_{mv}},$$

где \bar{d} – средний диаметр угольной частицы после размола; σ – предел прочности на сжатие частицы угля; E – модуль упругости материала (модуль Юнга); ρ_c – плотность угольных частиц; η_p – КПД размола частицы ударом; $\varphi(\bar{d})$ – энергия, приходящаяся на измельчение ударом [2]; $\Delta P_m(\bar{d}) = \Delta P_{zom}(\bar{d}) + \Delta P_{инжс}(\bar{d})$ – полное аэродинамическое сопротивление ШБМ; $\Delta P_{zom}(\bar{d})$ – аэродинамическое сопротивление гомогенной пылеугольной газовой смеси в ШБМ; $\Delta P_{инжс}(\bar{d})$ – аэродинамическое сопротивление инъекции угольных частиц в поток; μ – массовая расходная концентрация пыли; η_{mv} – КПД мельничного вентилятора [3].

На рисунке 1 отображены результаты измерений расхода электрической энергии пылесистемы с мельницей Ш-16 (облако точек) при тепловых испытаниях [4] и теоретическая зависимость энергозатрат от среднего диаметра частиц угля (кривая).

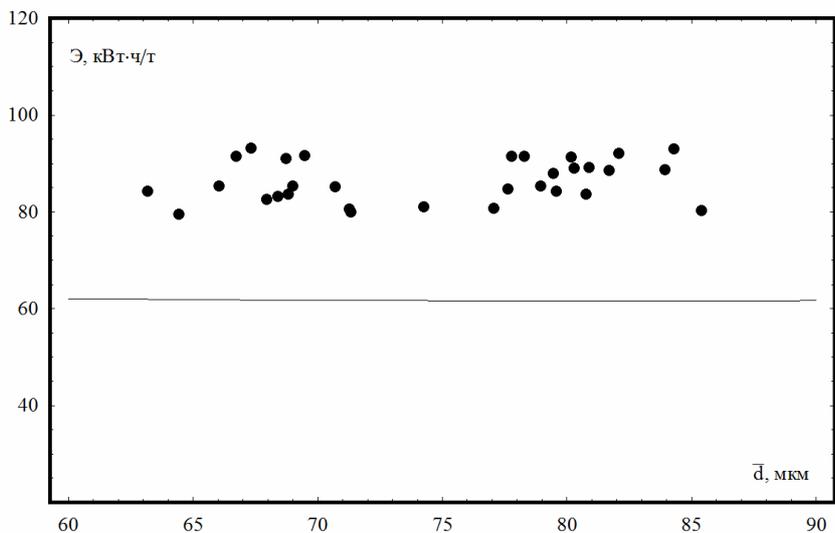


Рисунок 1 — Зависимость затрат электроэнергии на пылеприготовление от среднего диаметра частиц угля

Сформулируем основные результаты:

- получена функция для минимизации энергозатрат на размол угля и пневмотранспорт в ШБМ Ш-16;

- предварительные оценки показывают, что теоретически рассчитанные энергозатраты ниже экспериментальных энергозатрат примерно на 30%.

Библиографический список

1. Левит Г.Т. Пылеприготовление на тепловых электростанциях. М.: Энергоатомиздат, 1990. 384 с.
2. Dr. Yu. Guangbin, М.М. Кузнецова, М.Б. Мараховская, А.А. Алексина. Определение энергозатрат на измельчение твердых материалов // Журнал технической физики. 2015. Т. 86. № 6. С. 145-147.
3. Соколов Н.В. Расчет и проектирование пылеприготовительных установок котельных агрегатов (Нормативные материалы) / Под общей редакцией Соколова Н.В., Киссельгофа М.Л. ОНТИ ЦКТИ, 1971. 312 с.
4. Елизаров В.В., Сеннов В.С. И. Отчет по тепловым испытаниям котла ТП-81 и пылесистемы 5А Иркутской ТЭЦ 9. Иркутск: РЭУ «Иркутскэнерго», 1970. 234 с.

*М.С. Веселов, нач. участка ФДИ (ОАО «РостовАтомтехэнерго»);
М.Е. Кузнецова, студ.; рук. С.В. Беденко, к.ф.м.н., доц.
(НИ ТПУ, г. Томск)*

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ АНАЛИЗА СВРК

Рост промышленности, количества транспорта и др приводит к росту потребляемой электроэнергии. Наиболее рациональным способом обеспечения потребностей в энергии является преобразование ядерной энергии в электричество, поэтому атомная энергетика стала важнейшей отраслью экономики во многих странах мира.

Строительство атомной станции начинается с пуска наладочных работ (ПНР). Начинаются ПНР с функционального опробования оборудования, и заканчивается пуском реактора. В настоящее время крупнейшей организацией по проведению ПНР в России является ОАО «Атомтехэнерго», входящая в концерн «Росатом».

После этапов строительства станции происходит этап вывода реактора на мощность. Для обеспечения безопасности АС при выводе энергоблока на мощность сотрудники участка физических и динамических испытаний (УФДИ) проводят динамические испытания по проверке динамических режимов работы энергоблока.

В настоящей работе будет рассматриваться испытание по отключению одного главного циркуляционного насоса (ГЦН) из четырех работающих реакторной установки (РУ) типа ВВЭР-1000.

По команде руководителя испытаний отключается один ГЦН из четырех работающих. При этом устройство разгрузки и ограничения мощности (РОМ) должно с помощью регулирующей группы снизить мощность реактора в соответствии с проектом. В этом состоянии «холодный» теплоноситель из 3-х петель поступает в отключённую петлю (с отключённым ГЦН) через напорную камеру реактора. После этого «холодный» теплоноситель попадает в парогенератор (ПГ) и дополнительно охлаждается. После ПГ он течёт в сборную камеру реактора. Там он перемешивается с теплоносителем основного потока и распределяется по 3 рабочим петлям в разных пропорциях.

Во время проведения испытаний с помощью системы внутриреакторного контроля (СВРК) регистрируются различные параметры реактора ККС (мощность реактора по параметрам теплоносителя первого контура, мощность петли 1 первого контура и др.). По полученным параметрам сотрудники УФДИ производят анализ и составляют протокол ПНР (испытаний) на оборудовании (системе).

Для минимизации трудовых затрат при работе с огромным количеством однообразных данных была осуществлена разработка приложе-

ния в пакете Matlab, позволяющего сократить время, затрачиваемое на выполнение работы. Для решения поставленной задачи был создан основной М-файл с текстом программы.

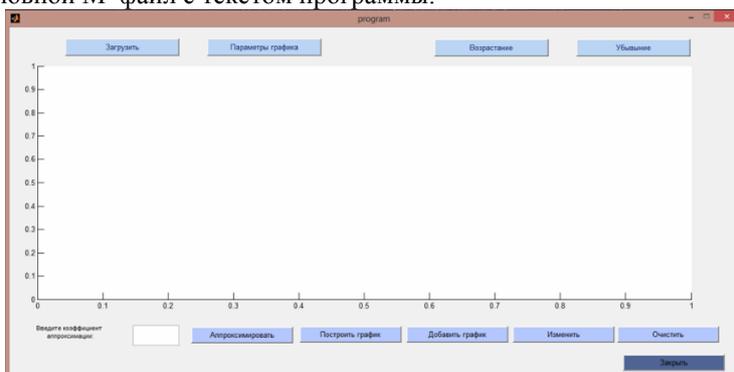


Рисунок 1 – Основное окно программы

Для организации диалога пользователя и программы был разработан графический интерфейс пользователя с использованием GUI системы Matlab, включающий в себя как основное окно, так и дополнительные. Окна имеют в своем составе кнопки, выпадающие меню, поля ввода вывода, таблицы и графики. Ввод исходных данных производится из файла Excel с формированием массива данных. По полученному массиву осуществляется построение графиков зависимости значений ККС от времени. Приложение содержит меню изменяемых параметров графика, для удобного редактирования. Для того чтобы избавиться от лишних рефлексов на графике, приложение имеет возможность аппроксимировать функцию с задаваемым коэффициентом аппроксимации. Так же созданное приложение может исследовать график на возрастание/убывание, результатом чего является таблица с значениями времени и значений ККС, при которых функция возрастает/убывает и график, на котором выводятся точки возрастания/убывания функции. Для удобства работы, существует возможность построения нескольких графиков на одной числовой оси.

Таким образом разработанное приложение позволяет быстро и качественно производить анализ и обработку полученных в результате испытаний с СВРК данных [1].

Библиографический список

1. Кузнецова М.Е., Беденко С.В. Разработка аналитической программы данных СВРК. VII Школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов. 2016 г.

*Ж.А. Манигомба, асп.; Н.Д. Чичирова, д.х.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

ЗАМЕЩЕНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ПИРОЛИЗНЫМ ГАЗОМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРАМИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ГРУППЫ REGIDESO В РЕСУБЛИКЕ БУРУНДИ

Важным показателем уровня развития народного хозяйства и культуры страны является годовое производство и потребление электрической энергии. Общая вырабатываемая электрическая мощность в Республике Бурунди в настоящее время около 68 МВт [1]. Установленная мощность национальной гидроэнергетики составляет 32,85 МВт [1], также экспортируется дополнительно 15,5 МВт. Однако эта мощность не позволяет решить проблему дефицита ЭЭ. Существуют дизель-генераторные станции мощностью 20,5 МВт, с потреблением около 6000 л/час дизельного топлива, которое закупается в Танзании, Конго и Кении.

Проанализировав работу дизелей группы REGIDESO, мы пришли к выводу, что они имеют высокую аварийность и частые выходы из строя с большой потерей дизельного топлива, поставка которого является чрезвычайно дорогостоящей для правительства Бурунди. Поэтому, замена дизельного топлива на пиролизный газ, получаемый из бытовых и промышленных отходов, позволит повысить термодинамическую и экономическую эффективность работы, имеющихся в эксплуатации дизель-генераторов группы REGIDESO.

Отходы Бурунди являются единственным видом топлива, возобновляемым в больших объемах. По оценкам специалистов, возможный их годовой объем в 2017-18 гг. составит около 145 – 150 тысяч тонн только в столице Бурунди Бужумбура [2]. К сожалению эти отходы не нашли своего применения, и в большинстве случаев они либо сжигаются, либо складироваются, что приводит к загрязнению окружающей среды.

Цель работы:

1. Разработать способ получения пиролизного газа из бытовых и органических отходов.
2. Исследовать физическо-химический состав полученного пиролизного газа из бытовых и органических отходов.
3. Создать модель пиролизной установки для промышленного применения

4. Разработать схему дизель-генератора Regideso с пиролизной установкой.

При пиролизе углеродсодержащих отходов образуется в основном два продукта: неочищенный, конденсируемый пиролизный газ и полукоксовый порошок. При охлаждении и очистке полученного пиролизного газа выделяется пиролизный углеводородный дистиллят. В таблице 1 приведен состав низшая калорийность пиролизного газа.

Выход полукоксового порошка при пиролизе достигает 30 – 35 % массы исходного сырья. Выход очищенного пиролизного газа может достигать 70 % массы сырья. Имеющаяся теплотворная способность продуктов, получаемых в процессе пиролиза, повышается, если их использовать сразу, без последующего охлаждения.

Кроме вышеуказанных продуктов, процесс пиролиза обеспечивает получение тепловой энергии при прохождении внутренних экзотермических реакций в реакторах пиролизных установок.

Таблица 1 - Состав получаемого пиролизного газа

№ п/п	Состав пиролизного газа	Процентное содержание, %	Калорийность (низшая), ккал/м ³
1	Углеводороды (C _n H _m)	19 – 20	15 226 – 33 528
2	Метан (CH ₄)	33 – 45	8 555
3	Водород (H ₂)	12 – 28	20 579
4	Оксид углерода (CO)	11 – 18	3 018
5	Углекислый газ (CO ₂)	1,5 – 2,5	–
		ВСЕГО	9 043,4 ккал/м ³

Выработка электрической и тепловой энергии из пиролизного газа возможна двумя путями:

- газогенерирующая установка – дизель-генераторы.
- газогенерирующая установка – паротурбинная установка.

Библиографический список

1. Rapport mensuel d'activités du mois d'Aout 2015 // service équipement électricité de la REGIDESO, 2015, 14p.
2. Rapport du CTB 2013-P.12-13

*Д.И. Менделеев, асп.; Г.Е. Марьин, маш. блока;
рук. Ю.Я. Галицкий, к.т.н, доц.
(КГЭУ, КТЭЦ-2, г. Казань)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ РЕСУРСОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Основная часть традиционной энергетики состоит из тепловых электрических станций, использующих энергию органического и ядерного топлива. На больших станциях может вырабатываться более 90% всей потребляемой энергии, таким образом они являются основой комплекса централизованного электроснабжения потребителей. Одной из особенностью традиционной энергетики являются отработанные технологии, которые используются на протяжении многих лет. Но при этом на станциях возможна дополнительная выработка электроэнергии за счет собственных ресурсов, тем самым позволяя более эффективно использовать затраченные ресурсы.

Разработки в данной сфере ведутся достаточно долгое время, и говорить о том, что это новые технологии не имеет смысла. Новыми могут считаться только способы получения дополнительной энергии, однако, по факту, они часто являются лишь аналогами уже существующих методов или технологий, модернизированных для применения в конкретном случае. Основная проблема в применении таких технологий может заключаться в том, что доля выработки энергии от них составляют лишь малую часть от общей выработки станции и, соответственно, высокую удельную стоимость, но, с другой стороны, если технология не требует дополнительных затрат в эксплуатации и работает относительно эффективно, то весьма целесообразно использовать их в процессе работы станции с целью более полезного использования затраченных ресурсов.

Применительно к самой тепловой станции, то чем она крупнее, тем больше внутренних ресурсов у нее в качестве возможного дополнительного источника электроэнергии. Это как и тепловая энергия (пар, вода), так и кинетическая энергия (сбросы давления, перепады высот). Используя различные методы можно добиться как малой, так и большой эффективности. Какие методы могут быть общими для всех станций, некоторые могут применяться только на определенных станциях из-за различий в технологических схемах. Поэтому исследования в данной области весьма интересны и полезны.

*Д.И. Менделеев, асп.; ру-ли. Д.А. Усков, к.т.н, доц.,
Ю.Я. Галицкий, к.т.н, доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

В связи с истощением запасов ископаемого топлива всё более актуально встаёт вопрос об эффективном использовании энергетических ресурсов. В свете этого актуальны мероприятия по внедрению разработок и технологий для более эффективного использования ресурсов.

Если рассматривать электростанции по количеству генераций, то можно распределить по следующей градации (в отличии от популярной концепции один продукт генерации - одна генерация):

-первая генерации, когда используется только один процесс генерации энергии (ГЭС, ВЭУ, Солнечные ЭС, а также котельные);

-вторая генерация, когда используется два процесса генерации энергии (в данном случае, это тепловые станции, когда первый сначала получают тепловую энергию, затем уже электрическую)

-третья генерация, когда используются три процесса генерации энергии (в данном случае можно рассматривать парогазовые установки, где сначала электроэнергия производится за счет газовой части установки, после генерируется тепловая энергия за счет горячих газов в котле-утилизаторе, и третий этап – производство электроэнергии уже паровой турбиной)

Очевидно, что чем больше число генераций за один цикл, то тем более эффективен сам цикл, а значит и более полезно используются ресурсы, при условии, конечно, если сравнивать однотипные способы производства энергии. Однако, если есть возможность внедрения в технологический цикл производства энергии дополнительной генерации, то можно ожидать положительного эффекта. В качестве примеров можно привести утилизацию тепла охлаждающей воды с помощью тепловых насосов, установка турбодетандеров на перепадах давления, например в отборах газа для ТЭЦ из магистральных трубопроводов и т.д.

Тепловая станция берется за основу по той причине, что уже изначально на ней применяется несколько этапов генерации, а внедрение дополнительных генераций за счет рабочих тел станции (газ, вода, воздух и т.д.) может сделать общий процесс генерации более эффективным.

Л.А. Попова, студ.; рук. Е.А. Бойко, д.т.н., проф.
(СФУ ПИ, г.Красноярск)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОСНОВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПАО «ЯКУТСКЭНЕРГО»

Одной из особенностей энергетического производства является необходимость обеспечения баланса между производством и потреблением электроэнергии и тепла. Режимы работы электростанций определяются в результате распределения нагрузки между параллельно работающими в одной зоне графика нагрузки энергосистемы электростанциями, исходя из экономичности их работы [1]. При краткосрочном планировании решаются задачи, связанные с подготовкой режима энергосистемы на ближайшие сутки или на несколько суток; основной задачей при этом является оптимизация распределения нагрузки между электростанциями ПАО «Якутскэнерго».

В состав ПАО «Якутскэнерго» входят ЯГРЭС, ЯГРЭС-2, ЯТЭЦ. На рисунках 1 и 2 показан сопоставительный анализ выработки электроэнергии и тепла на 2017 год трех электростанций, который наглядно показывает рентабельность оптимизации режимов работы.

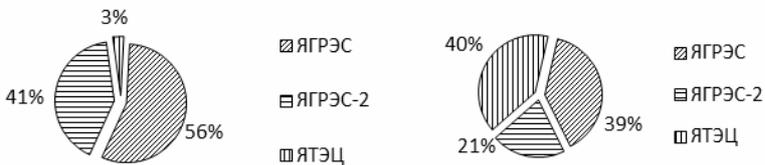


Рисунок 1 – Выработка электроэнергии за год Рисунок 2 – Выработка тепла за год

Одним из основных способов повышения рентабельности работы ТЭС является снижение расхода топлива ($B_{ТЭС}$) при заданном объеме выработки электро- и теплоэнергии ($N_{ТЭС}$). Уменьшение потребления топлива можно достичь путём оптимизации распределения нагрузки между энергоблоками с помощью автоматизированных рабочих модулей.

Основные возможности программного комплекса: оперативное ведение оптимального режима работы электростанции что обеспечивает экономичность и эффективность; перспективное планирование технико-экономических показателей; автоматизированный расчета показателей, входящих в утвержденные энергетические характеристики; оп-

ределение фактических и номинальных значений показателей, включенных в энергетические характеристики оборудования. На рисунках 3 и 4 представлены графики реального распределения средней электрической и тепловой нагрузки на 2017 год.

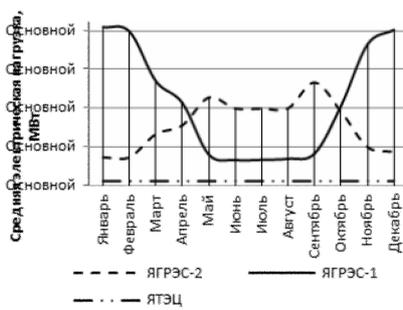


Рисунок 3 – Распределение средней электрической нагрузки

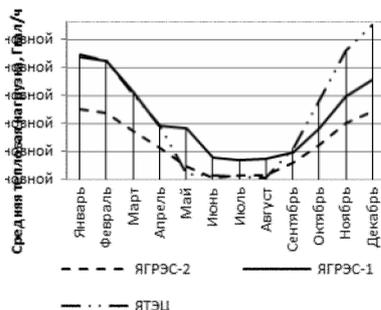


Рисунок 4 – Распределение средней тепловой нагрузки

В качестве примера рассматривается оптимизация режима работы Якутской ГРЭС-2, результат работы автоматизированных рабочих модулей представлен на рисунке 5. Система разработана на языке программирования C++.

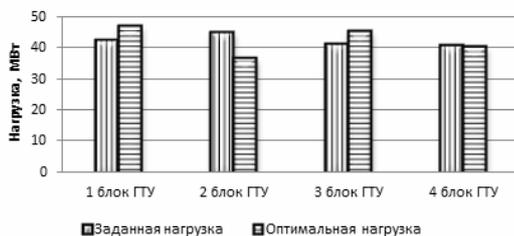


Рисунок 5 – Результат работы программного комплекса на примере ЯГРЭС-2

Применение данной программы для Якутской ГРЭС-2 позволит снизить удельные расходы условного топлива на отпуск электрической и тепловой энергии в размере 0,5% - 3%.

Библиографический список

1. Н.Д. Рога, А.Г. Зубкова, И.В. Мастерова и др. Экономика энергетики : учеб. пособие для вузов ; М.: Издательство МЭИ, 2005.

*Р.А. Ринчинов, маг.; рук. Е.А. Бойко, д.т.н., проф.
(СФУ, г. Красноярск)*

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ТЭС

Эффективность и надежность работы энергетического оборудования во многом определяется уровнем эксплуатации технологических устройств, обусловленный производственной квалификацией оперативного персонала [1]. Одним из рациональных способов повышения качества знаний, навыков, подготовки и тренинга оперативного персонала тепловой электростанции является применение специализированных технических средств обучения. Конечной целью использования компьютерных обучающих систем и имитаторов энергетического оборудования является приобретение и развитие дидактических и инженерно-психологических навыков операторских специальностей с целью снижения аварийных отказов при эксплуатации тепломеханического оборудования. Решение поставленной задачи возможно на основе совершенствования когнитивной, регуляторной и коммуникативных функций эксплуатационного персонала, что, в свою очередь, достигается посредством конструирования процесса обучения и проверки базы знаний с использованием соответствующего программного обеспечения, а также правильного набора и сочетания проблемных задач. При этом специализированное учебно-методическое и программное сопровождение должно обеспечивать совместную и индивидуальную подготовку операторов энергетического оборудования в полном объеме их функциональных обязанностей при наличии средств контроля и управления процессом обучения. Задачи, решаемые с помощью имитационных компьютерных тренажеров, должны порождать ситуацию выбора и использования знаний, характеризующихся определенным составом действий при работе, как на нормальном режиме, так и на режимах, связанных с нарушениями, возникающими при эксплуатации оборудования. Зависимость технологических нарушений по вине персонала в зависимости от численности подготовленного персонала представлена на рисунке 1.

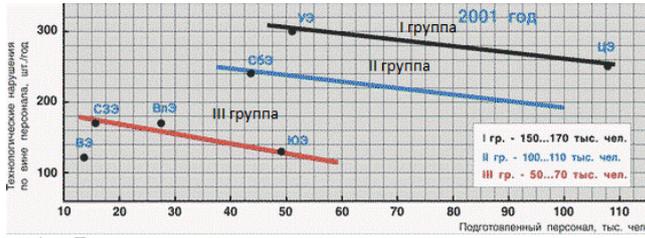


Рисунок 1 – Технологические нарушения по вине персонала в зависимости от численности подготовленного персонала.

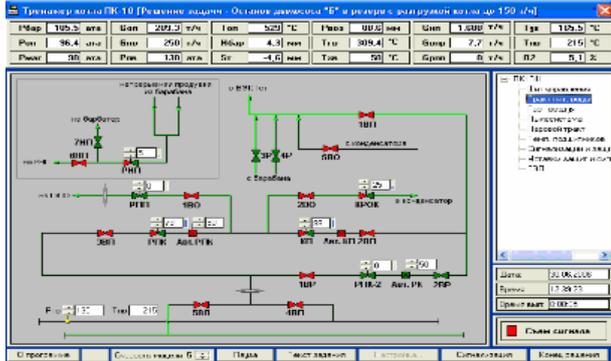


Рисунок 2 – Тренажер котлоагрегата ПК-10Ш.

В значительной степени вышеперечисленным требованиям соответствует учебно-методическое и программное обеспечение для отработки оперативных задач, разработанные на кафедре СФУ ТЭС, Красноярской ТЭЦ-1, станции с поперечной связью котлоагрегата ПК-10Ш и турбоагрегата ПТ-60-90. На рисунке 2 представлен скриншот тренажера котлоагрегата ПК-10Ш. Данное программное обеспечение принято к внедрению и используются при подготовке оперативного персонала котельного и турбинного цехов тепловой электростанции. Техническое средство обучения персонала ТЭС включает учебно-методическое, организационное, технологическое, математическое, программное и техническое обеспечение при решении оперативных задач управления энергетическим оборудованием. В настоящее время данный тренажер проходит этап опытной эксплуатации.

Библиографический список

1. Чачко А.Г. Подготовка операторов энергоблоков. Алгоритмический подход. М.: Энергоатомиздат, 1986. – 356 с.

*Н. В. Седельников, студ.; рук. Е.А. Бойко, д.т.н., проф.
(СФУ, г. Красноярск)*

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ РАБОТЫ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ С ЖИДКИМ ШЛАКОУДАЛЕНИЕМ, СЖИГАЮЩИХ УГЛИ КАНСКО-АЧИНСКОГО БАССЕЙНА

Расширение потребления угольного топлива в России обусловлено освоением углей Канско-Ачинского бассейна. Более половины потребления данных углей приходится на теплоэнергетику Красноярского края. В первую очередь это связано с низкими эксплуатационными затратами на добычу и возможностью осуществления бесперебойной транспортной логистики.

Однако главным отличием использования углей Канско-Ачинского бассейна от многих крупнейших месторождений бурых углей России является наличие специфической минеральной части. Значительное содержание основного оксида CaO в конечном итоге приводит к образованию прочных первичных отложений. В связи с этим выполнена предварительная оценка шлакующих свойств угля Бородинского разреза при помощи компьютерной программы “CORAL” (ВТИ). Результаты, приведенные на рисунке 1, показывают, что данный уголь имеет высокую склонность как к шлакованию топочных экранов, так и к пароперегревательных поверхностей нагрева.

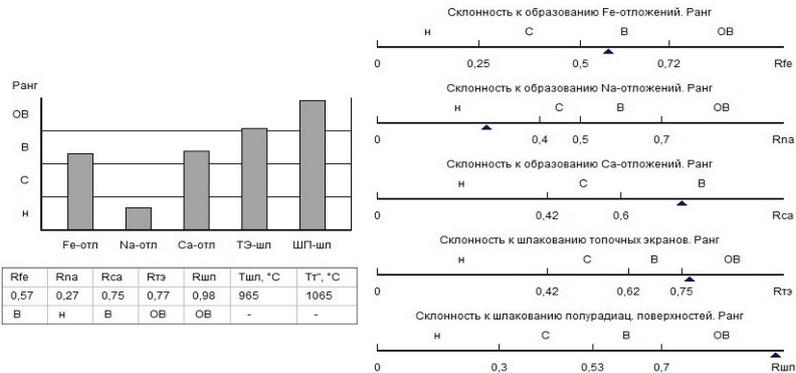


Рисунок 1 – Показатели шлакующих свойств угля Бородинского разреза

Для решения проблемы неконтролируемого шлакования поверхностей нагрева, котлы с жидким шлакоудалением широко использовались на электростанциях Красноярского края. Рассматривая длитель-

ный опыт работы жидкошлачных котлов, наблюдается ряд общих проблем. В первую очередь к ним следует отнести: сниженную паровую нагрузку; высокие значения выбросов оксидов азота; низкий регулировочный диапазон изменения нагрузок; трудности с выходом жидкого шлака, что впоследствии требует использования мазутной подсветки и наличие шлака с низкими потребительскими свойствами.

Практика длительной эксплуатации котлов с жидким шлакоудалением на территории Красноярского края показала, что колебания зольности углей и соответствующее изменение плавкостных характеристик золы приводит к повышению интенсивности шлакования поверхностей нагрева [2].

Поэтому для решения вышеперечисленных проблем предполагается разработать конструктивно-компоновочные и режимные мероприятия, позволяющие повысить эффективность работы котельных агрегатов, сжигающих угли Канско-Ачинского бассейна путем перевода котлов с жидкого на твердое шлакоудаление.

Предметом исследования является изучение комплексных процессов, протекающих в котельных агрегатах с жидким шлакоудалением Сибирской генерирующей компании: БКЗ-320, БКЗ-420 и ПК-38.

Анализируя практику эксплуатации указанных выше котлов, выявлено четыре основных групп причин сниженной паровой нагрузки, к ним следует отнести: режимные факторы, дефекты работы котельного оборудования, изменение качества топлива, а также ошибки проектирования. Нарушение любого из данных факторов в конечном итоге может привести к интенсификации шлакования.

На первоначальном этапе проведена оценка изменения выбросов токсичных оксидов азота NO_x при переводе котлов с ЖШУ на ТШУ. По предварительным расчетам снижение выбросов оксидов азота может составить от 35-40 %. Это обусловлено тем, что уменьшается теплонепределение топочного объема на 45-60 % и снижается температура в зоне активного горения на 10-15 %.

Библиографический список

1. Ильясов В.А., Хворов А.Г., Сокольников Ю.Г., Хрусталеv Г.Н., Коломенский С.И. Конструкторские решения ОАО «СИБЭНЕРГОМАШ» по переводу котлов, работающих на Канско-Ачинских углях, с жидкого шлакоудаления на твердое шлакоудаление / Ползуновский вестник. 2004. № 1. С. 100-105.

2. Котлер В.Р., Штегман А.В. Влияние технологии удаления шлака на вредные выбросы из энергетических котлов. / Сб. международного научно-практического семинара «Золослаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование» под общей редакцией Путилова В.Я., М.: Издательский дом МЭИ, 2007, стр.46-50.

*О.М. Стефановская, студ.; рук-ли В.Ю. Конюхов, к.т.н., проф.;
В. В. Федчишин, к.т.н., доц.
(ИРНИТУ, г. Иркутск)*

ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ

В современном мире все более актуальным становится использование энергосберегающих технологий в теплоснабжении зданий из-за истощения запасов топлива. Функционирование теплоснабжения с помощью нетрадиционных источников энергии не несёт нагрузку на экологическую обстановку, а также имеет высокую степень автономности систем теплоснабжения.

Так, одной из перспективных сторон развития теплоснабжения является использование тепловой энергии земли с помощью тепловых насосов, то есть геотермальной энергетики - производства электрической и тепловой энергии на геотермальных станциях за счет тепловой энергии, которая содержится в недрах земли. Источником такой энергии является тепловой насос - устройство для переноса тепловой энергии от теплоотдатчика с низкой температурой к теплоприёмнику с высокой температурой. В отличие от других теплогенераторов, насос забирает накопленное землей тепло и преобразовывает его.

Использование тепловых насосов имеет ряд преимуществ [1]:

- тепловые насосы работают круглогодично, т.к. используют источник постоянной положительной температуры (грунт, вода);
- обеспечивают пассивное кондиционирование здания;
- на 1 кВт затраченной энергии возможно получить 5-7 кВт тепловой энергии, то есть от 75 до 84% энергии производится бесплатно;
- эксплуатационные затраты в 6 раз меньше, чем при центральном отоплении;
- минимальная зависимость от роста цен на энергоносители;
- отсутствие необходимости пополнения топливных запасов;
- исключена опасность возгораний.;
- возможность строительства в раннее непригодных местах;
- отсутствие согласований и платежей для подключения к тепловым сетям.

Мировое использование геотермальных тепловых насосов насчитывает уже около 50 лет существования. Главными драйверами мирового рынка тепловых насосов стали такие критерии, как удорожание цен на традиционные энергоносители, а также государственное стимулирование их потребления. Объем рынка геотермальных тепловых

насосов, который на протяжении последних 10 лет ежегодно увеличивался на 10-20%, к 2015 г. достиг 245 тыс. шт. Лидерами по объему потребления тепловых насосов являются такие страны, как США и Канада, а в последние годы и Китай, где рост рынка был обусловлен введением государственной поддержки по данному направлению [3].

Опыт использования тепловых насосов в России пока невелик, но условия для их внедрения разработаны. Во-первых, это связано с ростом цен на топливо и электроэнергию, а также повышением экологических требований их использования. Во-вторых, - это активное развитие такого сектора, как малоэтажное строительство [1]. Немало важно и то, что в РФ утверждена Энергетическая стратегия России на период до 2030 г., предусматривающая масштабное внедрение геотермальных тепловых насосов в жилищно-коммунальном хозяйстве страны. В перспективе рост рынка будет ограничиваться нестабильностью экономического положения в стране. Тем не менее, в 2017-2020 гг. ожидается увеличение потребления геотермальных тепловых насосов в Центральном и Южном федеральных округах, связанное с реализацией региональных программ по энергосбережению [2].

Таким образом, обеспечение зданий теплоснабжением с помощью геотермальных энергетических систем, которые в качестве источника используют низкопотенциальное тепло Земли, происходит с минимальными затратами. Также, такой источник энергии надежен в применении и характеризуется способностью использоваться в любой местности в течение длительного времени, а после окончания времени использования достаточно легко возобновляется.

Библиографический список

1. Екимов В.А., Суслов К.В., Герасимов Д.О. Интеграция умного дома в единую энергосистему//Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. 2016. С. 196-198.
2. Максименко В.В., Суслов К.В., Герасимов Д.О. Расчет и классификация тепловых накопителей//Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. 2016. С. 284-288.
3. WESWEN – электронный ресурс. [Точка доступа] : http://weswen.ru/geothermal_energy/

*В.С. Стяжкин, И.А. Бабенко, студ.; рук. В.Н. Потапов, к.т.н, доц.
(УралЭНИИ УрФУ, г. Екатеринбург)*

ДОСТОИНСТВА ВИХРЕВЫХ ГОРЕЛОК С СЖАТИЕМ ПОТОКА НА ВХОДЕ В ТОПКУ

Вихревые горелки факельного сжигания можно разделить на горелки без диафрагмирования (не более 15 %) при выходе потока в топку, хотя стандарты советского периода это не предусматривали, то есть запрещали установку сужающихся конусов на выходе. Действие этих стандартов приостановлено, и такие горелки можно использовать. Эти горелки снова успешно использует ряд лучших фирм. Они также иногда встречаются на старых отечественных котлах и некоторые до сих пор работают безупречно. Подобную базовую схему использована в лучших газовых турбинах Siemens и после 1991 года, они показывают пока лучшие и не превзойденные экологические и экономические характеристики сжигания природного газа на электростанциях.

Сжатие вихря увеличивает скорости, усиливая турбулентность в зоне смешения топлива с воздухом для воспламенения и затянутого горения с дефицитом O_2 для подавления NO_x . Дополнительную турбулизацию вихря обеспечивает выходная кромка конуса, снижая образование канцерогенов на периферии факелов. С другой стороны, потери момента вращения в этих конструкциях, опасны пульсациями и обрывом факела. Устранить пульсации и обрывы Foster Wheeler и Alstom на подобных, также рекордных пылеугольных горелках (рис. 1) обеспечивает установка стабилизатора горения (деформированный конус) и подкрутка с турбулизацией потока особо профилированным спиралевидным регистром. Горелки обеспечивают концентрации NO_x 200–300 mg/m^3 при поддержании концентраций CO около 200 mg/m^3 .



Рисунок 1 – Низкотоксичные пылеугольные горелки

Рекордные результаты сжигания обеспечили отечественные горелки сходных схем на котлах ПК-47 ВТГРЭС, реконструированные по проекту кафедры ТЭС УПИ (рис.2, а) на базе ранних конструкций УО

ОРГРЭС, или Липинского по варианту ЦКТИ (рис.2,б) единичной тепловой мощности 75 МВт. В основу положены результаты экспериментов кафедры ТЭС УПИ, с внедрением оригинального, до того неизвестного способа управления сильно закрученными потоками (вихрями), названного струйным радиальным вдувом (СРВ). Эта технология ранее доказала уникальные возможности стабилизации горения топлива, которые и надежнее и экономичнее, чем установка выходных расщепителей и лопаточных регистров, как это реализовано на лучших современных горелках (рис.1).

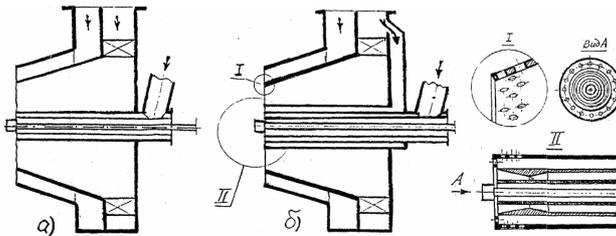


Рисунок 2 – Горелки котлов ПК-47: вариант ЦКТИ–ОРГРЭС (а) и УПИ (б)

Вариант кафедры ТЭС (рис. 2, б) обеспечил как устойчивое снижение концентраций NO_x (до $100\text{--}120 \text{ мг/м}^3$) с практически полным отсутствием химической неполноты сгорания (концентрации CO всего $20\text{--}30 \text{ мг/м}^3$) при сжигании природного газа с рекордным снижении эксплуатационных избытков воздуха за топкой до уровня 1,02. В более полном объеме технологии СРВ может заменить выходные конуса на цилиндры с перфорированными стенками. Через перфорацию стенки в закрученный поток достаточно подать 20–25 % воздуха, подводимого к горелке со скоростями, достигающими 30–50 % от максимальных скоростей в закрученном потоке, как это было также сделано ранее в оригинальной конструкции на опытном котле ЦКС-УПИ (рис. 3).

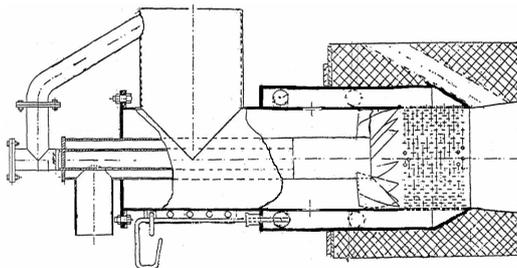


Рисунок 3 – Горелка опытного котла ЦКС-УПИ

Д.И. Федоренков, Д.И. Гатауллин, студ.; рук. Р.В. Бускин, ст. преп.

(КГЭУ, г. Казань)

КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СБРОСНЫХ ВОД СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЭС

Нормативные требования «Правил охраны поверхностных вод» от 21 февраля 1991 года ограничивают повышение температуры в водных объектах более чем на 8°C зимой и на 5°C летом. Техническая вода ТЭС возвращается в водоем сильно нагретой, примерно на $10...15^{\circ}\text{C}$, в следствии её подогрева в основном потребителе – конденсаторе.

Тепловое загрязнение водоемов сбросными водами ТЭС и АЭС ухудшает санитарное состояние водоемов-охладителей в сторону усиления роста условнопатогенных и патогенных форм. Температура является одним из мощных экологических факторов, во многом определяющим интенсивность биологических процессов в водоеме. Все это требует научного обоснования норм подогрева вод и контроля температурного режима сбросных вод [1]. Не укладываясь в рамки нормативного требования, ТЭС вынуждены выплачивать колоссальные штрафы, достигающие 100 млн. рублей в год. Проблема контроля и регулирования температуры технического водоснабжения является актуальной, поскольку носит помимо экологического, еще и экономический характер.

Кроме традиционного способа измерения температуры водоемов-охладителей термомпарами, используют передовой «Способ контроля температурного режима тепловых сбросов ГРЭС в водоемах-охладителях»[2], запатентованный группой ученых во главе с академиком РАН Бухариным О.В., предусматривающим отбор проб воды из сбросного канала и определение в ней качественных характеристик антилизоцимактивных бактерий (уровня активности). Температура воды считается оптимальной, если уровень антилизоцимной активности не превышает 6 мкг/мл. При уровне 7 мкг/мл и выше температурный режим считается неблагоприятным.

Методы регулирования температуры сбросных вод системы технического водоснабжения ТЭС применяемые в России:

1) наиболее простым способом снижения температуры забираемой воды является установка 1...3 барьеров на дне водоема-охладителя между сбросным и водозаборным каналами. В результате повышается эффективность охлаждения сбросной циркуляционной воды теплоэлектростанции. Но данный метод рационален при небольшом превышении температуры циркуляционной воды.

2) установка градирни или пруда-охладителя между подводящим и отводящим каналами прямоточной системы водоснабжения. Достоинством такого метода является повышенная экономичность и снижение затрат на эксплуатацию расширенного комплекса теплоэлектростанций, т.к. предлагаемое использование градирни и пруда-охладителя реализует охлаждение водой без повышения солесодержания и позволяет избегать специальную химическую обработку, например фторированием, а также продувку и подпитку системы специально подготовленной осветленной водой. Однако возрастают капиталовложения и затраты станции на собственные нужды.

3) охлаждение циркуляционной воды в пруде-охладителе[3], более эффективным использованием зеркала испарения пруда-охладителя за счет подъема придонных слоев воды подачей части сбрасываемой теплой воды в придонную часть в зоне водозабора. Закрутка потока сбрасываемой теплой воды происходит через расширяющиеся насадки с внутренними криволинейными винтообразными направляющими, установленные на трубопроводе под углом 45° к течению транзитного потока и размещенные на уровне зеркала воды в пруду. Забор воды осуществляется селективным водозабором. Недостатком данного изобретения является недостаточный теплообмен из-за неполного использования контакта между зеркалом воды пруда-охладителя и холодным атмосферным воздухом.

В Европе осуществлён полный переход с прямоточной системы водоснабжения, переоборудованием и оптимизацией всех станций в пользу оборотной с башенными, вентиляторными градирнями, а также с «сухими» градирнями[4]. К недостаткам «сухих» градирен относят большую площадь занимаемой территории, что недопустимо для станций, находящихся в черте города, и их бесполезность в жаркую погоду.

Библиографический список

1. Кузнецов С.И. Микрофлора озер. Л.: Наука, 1970. 131 с.
2. Способ контроля температурного режима тепловых сбросов ГРЭС в водоемах-охладителях: пат. 2052816 Рос. Федерация. № 96114309/04; заявл. 11.07.1996; опубл. 20.09.1998.
3. Способ охлаждения циркуляционной воды в пруде-охладителе: пат. 2162919 Рос. Федерация. № 99109829/03; заявл. 07.05.1999; опубл. 10.02.2001.
4. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. М.: Энергия, 1967. 286 с.

*Д.Р. Халиулин, асп.; рук. Н.Д. Чичирова, д.х.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОДА КАЗАНСКОЙ ТЭЦ-1 НА БЕССТОЧНУЮ СХЕМУ

В связи с высокими требованиями, предъявляемыми к качеству добывочной воды для паровых и водогрейных котлов в теплоэнергетике, исходную природную воду подвергают физико-химической обработке, в результате которой образуется значительное количество высокоминерализованных сточных вод. Объем этих вод напрямую зависит от применяемой технологии водоподготовки, поэтому все большее признание получают такие проектные решения, которые позволяют минимизировать отрицательное воздействие водоподготовки на окружающую среду и использовать сточные воды в качестве исходных вод, т.е. технологии, приближенные к биосферосовместимым.

В соответствии с требованиями Федерального закона Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и Федерального закона от 07.12.2011 № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении» одними из целевых показателей деятельности организации, осуществляющей горячее водоснабжение, являются показатели очистки сточных вод и повышение энергетической эффективности путем экономного потребления воды.

Таким образом, требования об эффективном и рациональном использовании ТЭС водных ресурсов приобретают новую остроту, а сокращение водопотребления и снижение объемов сточных вод является задачей не только экологической, но и экономической.

В докладе будут рассмотрены моменты по реализации технических решений перевода Казанской ТЭЦ-1, находящейся в черте города, на работу по бессточной схеме. ТЭЦ расположенные в пределах города сталкиваются со следующими проблемами: большое количество высокоминерализованных сточных вод, которые сбрасываются в городскую канализацию; превышение ПДК в сточных водах по многим компонентам; возможные проблемы с поставкой большого объема исходной воды; финансовые ограничения; ограниченное пространство станции.

Одним из предложенных вариантов является, перевод КТЭЦ-1 на бессточную систему оборотного охлаждения с градирнями БГ-2600.

*Э.А. Шайхатова, Ф.З. Аскарлов, студ.;
рук. А.Ш. Низамова, к. т.н, доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЭС

Тепловые и атомные электростанции потребляют значительное количество воды для конденсации пара в конденсаторах паровых турбин, обеспечиваемое техническим водоснабжением электростанции. Воду, направляемую в конденсаторы для охлаждения отработавшего в турбине пара называют как технической так и охлаждающей или циркуляционной водой

До последнего времени основным источником водоснабжения ТЭС служили реки. Однако расход воды реки, т. е. её дебет в течение года меняется: равнинные реки максимум расхода имеют весной и осенью, горные в период таяния снегов. Помимо рек источниками водоснабжения могут быть озёра, моря, артезианские скважины.

Системы циркуляционного водоснабжения подразделяют на прямоточные, смешанные и оборотные. Выбор источника и системы водоснабжения зависит от количества воды, потребляемой в различное время года, минимального расхода воды в реке в тот же период времени и её температуры.

Прямоточная система водоснабжения применяется только в том случае, если минимальный расход воды в реке не меньше потребности в воде ТЭС. При прямоточной системе нужно учитывать санитарные требования, требования рыбоохраны, наличие площадок для строительства ТЭС и возможность их использования. Прямоточная система водоснабжения в техническом и экономическом отношении наиболее совершенна. Однако в последнее время её применение ограничивается отсутствием технических и экономических возможностей (необходимого запаса воды, санитарных условий и др.).

Оборотная система циркуляционного водоснабжения применяется, если по техническим или экономическим причинам нельзя использовать прямоточную. Она выполняется с прудами-охладителями, градирнями и брызгальными бассейнами.

Но в настоящее время даже для конденсационных установок при новом строительстве применяется оборотная система водоснабжения. Связано это с тем что: стало сложнее соблюдать экологические требования, т.к. повысилась установленная мощность на станциях; применение оборотного водоснабжения вместо прямоточного позволяет существенно уменьшить расход природной воды.

**Ю.Е. Барочкин, асп.; А.М. Потапов, маг.;
рук-ли Г.В. Ледуховский, к.т.н., доц.; В.П. Жуков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ДЕАЭРАЦИИ ПЕРЕГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ

Предложена математическая модель деаэрации перегретой жидкости при попадании её в зону пониженного давления, базирующаяся на термодинамическом подходе. Для оценки эффекта деаэрации рассматривается механизм захвата растворенного кислорода паровыми пузырьками при их мгновенном образовании за счет уменьшения давления. Считается, что при парообразовании пузырьки пара «захватывают» число молекул (массовую долю) растворенного кислорода пропорционально мольной доле пара в смеси, которая соответствует объемной доле компонента в смеси. При таком подходе выражение для расчета относительного уменьшения массовой концентрации растворенного кислорода в воде на входе и выходе ступени получено в виде

$$\frac{C_2}{C_{20}} = \frac{1}{\frac{Ar}{Ku} + 1},$$

где C_{20} и C_2 – массовая концентрация растворенного кислорода в воде

на входе и на выходе ступени соответственно; $Ar = \left(\frac{\rho_g}{\rho_n} - 1 \right)$ – критерий Архимеда (ρ_g – плотность воды; ρ_n – плотность пара); $Ku = \frac{r}{c\Delta T}$ –

критерий Кутателадзе (ΔT – охлаждение деаэрируемой воды в ступени; c , r – удельная теплоемкость воды и удельная теплота парообразования соответственно).

Согласно полученному выражению, десорбция растворенного кислорода при деаэрации перегретой воды определяется, главным образом, величиной охлаждения воды в аппарате ΔT , которая, в свою очередь, зависит от давления в деаэраторе и температуры воды перед ним.

Для проверки адекватности модели использованы результаты натурных испытаний вакуумной двухступенчатой деаэрационной установки, первой ступенью которой является деаэратор центробежно-вихревого типа, а второй ступенью – капельные деаэрационные устройства, смонтированные в деаэраторном баке. Установка работает

при подаче на деаэрацию воды, перегретой относительно температуры насыщения при рабочем давлении в ступенях.

На рисунке выполнено сопоставление опытных данных с результатами расчетов по предложенной модели, полученных для аналогичных условий каждого опыта.

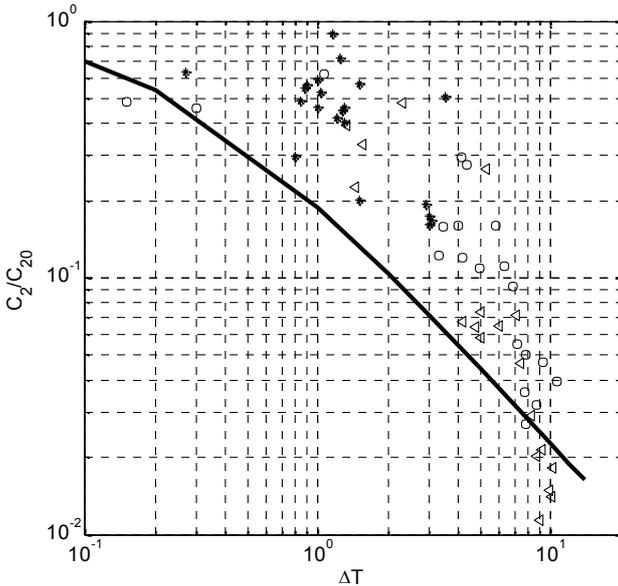


Рисунок — Сопоставление результатов расчета (линия) и экспериментальных данных (точки) по десорбции растворенного кислорода в установке: * — в центробежно-вихревой ступени, o — в капельной ступени, Δ — совместно в вихревой и в капельной ступенях

При качественно верном прогнозировании экспериментальных данных модель количественно дает заниженные значения остаточной концентрации растворенного в воде кислорода. Такие результаты можно объяснить тем, что термодинамический подход не учитывает время пребывания воды в аппарате, а полученное заниженное содержание растворенного в воде кислорода соответствует асимптотическому по времени состоянию. Для количественной корректировки представленное математическое описание процесса должно быть, очевидно, уточнено путем введения поправки на реальное время пребывания воды в ступени, что рассматривается авторами как направление дальнейших исследований.

*Ю.Е. Барочкин, асп.; рук. Г.В. Ледуховский, к.т.н., доц.,
В.Н. Виноградов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ГИДРОКАРБОНАТОВ И ГИДРОЛИЗА КАРБОНАТОВ В ПАРОВЫХ КОТЛАХ ТЭС СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ

В паровых котлах ТЭС среднего давления, работающих на химически очищенной воде, протекают процессы термического разложения гидрокарбонатов и гидролиза карбонатов, сопровождающиеся выделением в пар свободного диоксида углерода. Максимальная концентрация в паре свободного диоксида углерода $C_2^п$, мг/дм³, может быть оценена по формуле [1]:

$$C_2^п = \left[Щ_{о}^{пв} (\dots) + Щ_{ф}^{пв} \dots \right] \dots ; \quad \sigma = \frac{2Щ_{ф}^{пв}}{Щ_{о}^{пв}}. \quad (1)$$

где $Щ_{о}^{пв}$ и $Щ_{ф}^{пв}$, мг-экв/дм³ – щелочность питательной воды (за деаэраторами питательной воды) соответственно общая и по фенолфталеину; σ и σ_k – степень термического разложения гидрокарбонатов и гидролиза карбонатов соответственно в деаэраторе питательной воды и котле.

Относительно значений σ_k в опубликованных данных имеются лишь ориентировочные данные в зависимости от рабочего давления в котле. Более точную оценку можно получить только по каждому конкретному объекту, поскольку на величину σ_k оказывает влияние, в частности, капельный унос котловой воды в пар. Такая задача возникает при моделировании газообмена в системах отпуска пара внешним потребителям ТЭС рассматриваемого типа.

Для идентификации модели (1) требуются экспериментальные данные по $C_2^п$ при различных значениях $Щ_{о}^{пв}$ и $Щ_{ф}^{пв}$. При условиях каждого опыта параметр идентификации σ_k подбирается таким образом, чтобы обеспечить совпадение экспериментальных и расчетных значений $C_2^п$. По полученным данным определяется регрессионная зависимость σ_k от режимных параметров работы котла (например, нагрузки).

В докладе рассматриваются результаты идентификации модели для условий разных энергообъектов. На рисунке приведен пример приме-

нительно к котлам КГТ-25/2,4-380 ПГУ-ТЭС ЗАО «Родниковская энергетическая компания» (г. Родники Ивановской обл.). В данном случае σ_k можно принять равным 0,74 во всем диапазоне нагрузки котла, при этом результаты расчета $C_{\text{CO}_2^{\text{п}}}$ совпадают с экспериментальными данными со средним квадратическим отклонением 2,0 %. Отметим, что опубликованные данные [1] для рассматриваемого случая дают рекомендуемое для расчетов значение $\sigma_k = 0,87$, что существенно отличается от значения σ_k , полученного при идентификации.

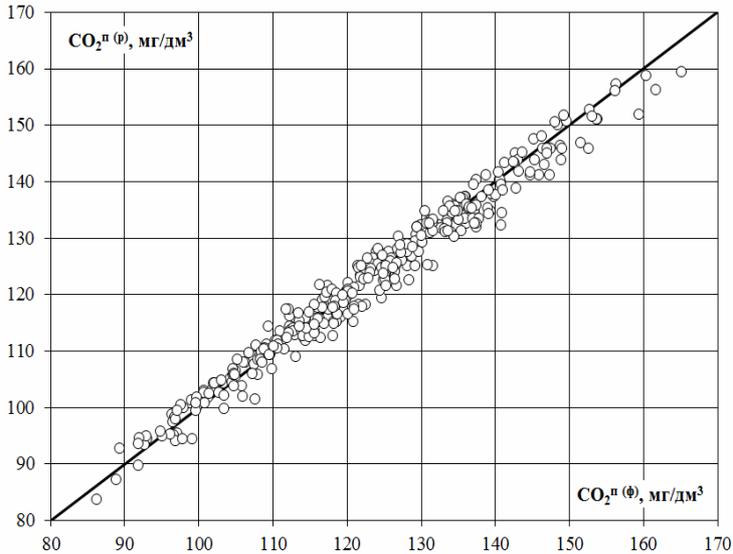


Рисунок – Сопоставление результатов расчета массовой концентрации свободного диоксида углерода по модели термического разложения гидрокарбонатов и гидролиза карбонатов с экспериментальными данными применительно к котлам ПГУ-ТЭС ЗАО «Родниковская энергетическая компания»: индексы (ф) и (р) относятся соответственно к экспериментальным (фактическим) и расчетным значениям концентрации; точки – результаты расчета при найденном в ходе идентификации модели (1) значении σ_k при условиях разных опытов; линия – совпадение результатов расчета и экспериментальных данных

Библиографический список

1. Кострикин, Ю.М. Водоподготовка водный режим энергообъектов низкого и среднего давления: Справочник / Ю.М. Кострикин, Н.А. Мещерский, О.В. Коровина – М.: Энергоатомиздат, 1990 – 252 с.

*А.Е. Волков, маг.; рук. Б.Л. Шелыгин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА «П-102» ПРИ ПРОЕКТНЫХ УСЛОВИЯХ РАБОТЫ ГТЭ-6П

Одной из задач технической политики в электроэнергетике России на период до 2030 г. является использование на электростанциях парогазового цикла и переоснащение газовых котельных в ПГУ-ТЭЦ или ГТУ-ТЭЦ.

Котел-утилизатор (КУ) марки «П-102», установленный в ПАО «Т Плюс», отпускает перегретый пар низкого давления (5÷7 ата) и сетевую воду текстильным предприятиям. Целью анализа являлось определение его показателей применительно к проектным условиям эксплуатации ГТЭ-6П (электрическая мощность 5÷6 МВт, температура наружного воздуха 15°С) при трех возможных режимах работы:

- 1) утилизация газов после ГТУ-6П;
- 2) утилизация теплоты газов после ГТУ-6П при сжигании в топке КУ дополнительного энергетического топлива;
- 3) автономный режим работы КУ (без утилизации газов ГТУ-6П) при сжигании энергетического топлива в количестве, соответствующем тепловой нагрузке котла.

Исследование выполнялось с использованием программы расчета котлов «ТРАКТ». Коэффициент избытка воздуха за ГТУ принят равным $\alpha_{\text{ГТУ}}=3,9$. Величина непрерывной продувки не превышала 5%. Температура пара поддерживалась на уровне 235°С.

Для режима №1 при КПД ГТУ 0,246÷0,257 расход топлива в ее камере сгорания (КС) составлял 2008÷2398 $\text{нм}^3/\text{ч}$. При температурах газов на входе в КУ 470÷480°С расход пара равен 14,1÷16,6 т/с. При температурах уходящих газов 97÷102°С КПД КУ (брутто) равен 0,75÷0,8, а КПД утилизации 0,58÷0,6.

Для режима №2 при обеспечении паропроизводительности КУ в пределах 20÷50 т/ч расход дополнительно сжигаемого топлива составлял 960÷2380 $\text{нм}^3/\text{ч}$. При этом температура газов за топкой 1150÷1240°С, а КПД КУ возрастает до 0,83÷0,89. Для режима №3 при неработающей ГТУ и паропроизводительности КУ 20÷50 т/ч расход топлива в его топочную камеру составлял 1565÷3885 $\text{нм}^3/\text{ч}$ при температурах уходящих газов 80÷101°С. Результаты исследований используются при организации практических и лабораторных занятий для подготовки специалистов теплоэнергетического направления.

*Л.С. Егоркина, студ.; рук. С.Д. Горшенин, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ ЛАЗА НА АЭРОДИНАМИКУ ПОТОКА ЗА ОСЕВЫМ ДЫМОСОСОМ

Осевые дымососы нашли широкое применение в трактах уходящих газов мощных отечественных блоков, в состав которых входят энергетические котлы паропроизводительностью от 950 т/ч.

Для соединения осевого дымососа с газоходом обычно применяется диффузор-переходы с круглого сечения кольцевого диффузора на прямоугольное сечение газохода. Известно, что диффузор-переходы обладают достаточно высоким сопротивлением, величина которого может составлять до 15 % от суммарного сопротивления тракта внешних газоходов [1]. Причиной этого является резкое расширение проходного сечения газохода за срезом внутреннего корпуса кольцевого диффузора, которое приводит к обширному срыву потока в виде вихревого шнура [2]. Вихревой шнур может распространяться достаточно далеко вглубь газохода (до 12-ти эквивалентных диаметров), вызывая большую неравномерность полей скоростей и повышенные потери напора.

Одним из способов минимизации негативных явлений, связанных с образованием вихревого шнура является установка обтекателя за внутренним корпусом кольцевого диффузора дымососа [1].

Результаты исследований аэродинамической схемы внешних газоходов блока 1200 МВт Костромской ГРЭС [1], показали, что установка обтекателей способствует снижению коэффициента местного сопротивления тракта внешних газоходов на 4÷10%. При этом, эффект от установки обтекателя зависит от длины диффузор-перехода. Однако приведенные выше значения являются предельной оценкой, поскольку при расчете эффекта не учитывалось влияние имеющихся элементов каркаса кольцевого диффузора дымососа и ремонтного лаза на структуру потока.

Ремонтный лаз является плохообтекаемым телом, сечение которого имеет форму овала с размерами 800х600 мм. Такая форма определяет не только повышенные затраты электроэнергии на привод дымососа, но и является источником нестационарных вихрей, оказывающих динамическое воздействие на конструкции и элементы газоотводящего тракта.

Для оценки влияния лаза на аэродинамические характеристики потока с использованием программного комплекса FlowVision были проведены специальные аэродинамические исследования следующих ва-

риантов расчетной модели кольцевого диффузора дымососа и диффузор-перехода за ним: без обтекателя и с наличием лаза (Вариант №1); без обтекателя и лаза (Вариант №2); при наличии обтекателя и лаза (Вариант №3); при наличии обтекателя и без лаза (Вариант №4).

Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Коэффициенты сопротивления диффузор-переходов газоходов блока 1200 МВт Костромской ГРЭС при наличии или отсутствии лаза и обтекателя кольцевого диффузора дымососа

Наименование	Номер варианта			
	№1	№2	№3	№4
Коэффициент сопротивления, ед				
Нитка А	0,189	0,171	0,162	0,148
Нитка Б	0,169	0,141	0,139	0,122
Нитка В	0,161	0,136	0,144	0,119
Снижение коэффициента сопротивления относительно варианта №1				
Нитка А	-	0,018	0,027	0,041
Нитка Б	-	0,028	0,03	0,047
Нитка В	-	0,025	0,017	0,042

Анализ данных таблицы 1 показывает, что наличие лаза более чем вдвое сокращает эффект от установки обтекателя за кольцевым диффузором дымососа, при этом эффект только от ликвидации лаза практически соответствует эффекту от установки обтекателя при сохранении лаза.

Библиографический список

1. Салов, Ю. В. Реконструкция внешних газоходов блока 120 МВт Костромской ГРЭС / Ю. В. Салов, В. В. Варнашов, С. Д. Горшенин // Вестн. ИГЭУ – 2009. – вып. 4. – С. 11-15.
2. Экк Б. Проектирование и эксплуатация осевых вентиляторов// Перевод с немецкого, – Москва, - 1959.

*А.П. Зимин, асп.; С.Д. Горшенин, к.т.н., ст. преп.;
рук. Г.В. Ледуховский, к.т.н.; доц., В.П. Жуков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СВЕДЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ БАЛАНСОВ ПО ДАННЫМ ТЕХНИЧЕСКОГО УЧЕТА В ЗАДАЧАХ РАСЧЕТА ТЭП ПГУ-ТЭС

Ранее нами предложен ряд методов сведения материальных и энергетических балансов в энергетических системах сложной структуры в условиях неопределенности исходной информации [1]. В рамках настоящего этапа работы выполнена реализация предложенных методов при решении задач расчета технико-экономических показателей (ТЭП) ПГУ-ТЭС «Международная» (г. Москва).

Разработка математической модели структуры потоков в тепловой схеме водопаровой части ТЭС, алгоритмов совместного сведения материальных и энергетических балансов выполнена в соответствии с [1]. Дополнительно разработана подсистема сведения материальных и энергетических балансов по газотурбинным установкам (ГТУ), обеспечивающая определение балансовых значений расхода воздуха на компрессор, расхода топлива в камеру сгорания, расхода дымовых газов за турбиной, теплофизических параметров указанных теплоносителей, электрической мощности, а также потерь тепловой энергии по установке. Алгоритмы реализованы в виде программного модуля в составе программно-технического комплекса ТЭС по расчету фактических и номинальных ТЭП работы оборудования.

В таблице приведен пример результатов использования разработанных программных модулей за один из месяцев применительно к энергоблоку ПГУ-1 (ГТУ-1, 2; котлы-утилизаторы КУ-1, 2; паровая турбина ПТ-3). Верхние значения в строках таблицы соответствуют ГТУ-1 или КУ-1, нижние – ГТУ-2 или КУ-2; единственные значения в строках относятся к ПТ-3 или в целом к ПГУ-1. Выявлено, что сведение балансов по данным технического учета слабо влияет на фактические и номинальные значения удельных расходов условного топлива, поскольку при расчете фактических значений используются только данные коммерческого учета количества сожженного топлива, отпущенной электрической и тепловой энергии, а на результат расчета номинального количества сожженного топлива влияют лишь показатели ГТУ. Однако промежуточные ТЭП без проведения работы по сведению балансов оказываются существенно искаженными и неувязанными между собой. При реализации предложенного метода сведения

балансов не только устраняется этот недостаток, но и обеспечивается практически полное соответствие номинальных и фактических значений ТЭП, что позволяет оценить качество нормативно-технической документации ТЭС по топливоиспользованию (НТД по ТИ). Без сведения балансов выявленные несоответствия фактических и номинальных ТЭП были бы отнесены на недостатки НТД по ТИ, либо на резерв тепловой экономичности по его составляющим.

Таблица – Основные показатели работы оборудования ПГУ-ТЭС при расчете без сведения балансов («Б–») и со сведением балансов («Б+»)

Наименование показателя, единица измерения	Фактическое значение		Номинальное значение	
	Б–	Б+	Б–	Б+
КПД брутто ГТУ, %:				
– при расчете по прямому балансу	35,02	35,02	35,35	35,35
	33,37	33,37	33,48	33,48
– при расчете по обратному балансу	31,94	35,02	35,35	35,35
	36,43	33,37	33,48	33,48
– отклонение (абс.)	-3,1	0,0	0,0	0,0
	3,1	0,0	0,0	0,0
КПД брутто КУ, %:				
– при расчете по прямому балансу	78,73	78,59	78,64	78,64
	69,03	79,83	80,11	80,11
– при расчете по обратному балансу	77,48	78,54	78,64	78,64
	80,82	79,90	80,11	80,11
– отклонение (абс.)	-1,3	-0,1	0,0	0,0
	11,8	0,1	0,0	0,0
Удельный расход тепла брутто на выработку электроэнергии ПГУ, кДж/(кВт·ч)	8516	9860	9881	9881
Удельный расход условного топлива:				
– на отпуск электроэнергии ПГУ, г у.т./(кВт·ч)	208,0	207,8	204,6	204,6
– на отпуск тепловой энергии ПГУ, кг у.т./ГДж	34,78	34,82	34,87	34,82
Перерасход (+) или экономия (–) топлива, т у.т.	72	83	-	-

Эффективность сведения балансов обусловлена повышением точности прогнозирования ТЭП при формировании заявок на рынке электроэнергии и мощности, возможностью оперативного обнаружения неисправностей в работе системы мониторинга ТЭП, выявленными резервами тепловой экономичности в количестве 1308 т у.т. за год.

Библиографический список

1. Задача многокритериальной регуляризации потоков энергии и теплоносителя в энергетических системах сложной структуры / Г.В. Ледуховский, В.П. Жуков, Е.В. Барочкин и др. // Вестник ИГЭУ. – 2013. – вып. 6. – С. 5-10.

*К.А. Касаткин студ.; рук. Г.Г. Орлов к.т.н., проф.
(ИГЭУ, Иваново)*

ВОСПОЛНЕНИЕ УТЕЧЕК ПАРА И ВОДЫ В ЦИКЛЕ ТЭС, СЖИГАЮЩЕЙ ГАЗОВОЕ ТОПЛИВО

Стремление создать малоотходные технологии при получении электроэнергии на ТЭС приводит исследователей к разработке комбинированных установок для получения не только электроэнергии и тепла, а также углекислоты и обессоленной воды из уходящих дымовых газов [1].

На рис.1 представлена установка для получения конденсата из уходящих дымовых газов ТЭС для компенсации утечек в цикле станции при сжигании газового топлива. Влага из дымовых газов котельного агрегата выделяется в контактном теплообменнике, путем конденсации водяных паров из уходящих газов, отдавая тепло воде, циркулирующей по контуру: контактный теплообменник – вакуумный испаритель. Образовавшийся в испарителе пар направляется в поверхностный регенеративный подогреватель, а его конденсат – в конденсатор турбины на компенсацию утечек.

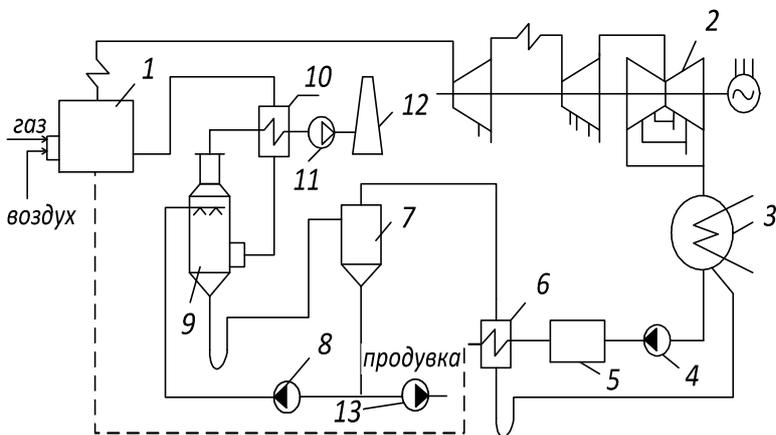


Рисунок 1 – Установка для получения конденсата из уходящих дымовых газов котельного агрегата: 1 – котельный агрегат; 2 – турбогенератор; 3 – конденсатор; 4 – конденсатный насос; 5 – блочная обессоливающая установка; 6 – подогреватель низкого давления; 7 – вакуумный испаритель; 8 – циркуляционный насос; 9 – контактный теплообменник; 10 – подогреватель уходящих газов из теплообменника 9; 11 – дымосос; 12 – дымовая труба; 13 – насос продувки.

Для расчёта предложенной нами схемы (рис.1) была разработана программа в среде Delphi, позволившая определить параметры всех основных составляющих элементов установки, а также выявить экономический эффект от её использования.

Как показали проведённые по разработанной нами программе расчёты, применительно к блоку 800 МВт, в контактном теплообменнике можно получить от 32,0 до 48,0 т/ч конденсата водяных паров из уходящих дымовых газов, что вполне достаточно для компенсации утечек в цикле. Это мероприятие позволяет резко снизить затраты на приготовление добавочной воды, осуществляемое на химводоочистке. Срок окупаемости установки не превышает полугода, а затраты энергии на собственные нужды установки составляют около 200 кВт.

Библиографический список

1. А.С. 78438 от 22.09.1980 / Орлов Г.Г. / М. кл³ F 25 В 29/00// Опубликовано 23.01.1981. Бюллет. изобр. №3

*А.А. Ключкин студ.; рук. Г.Г. Орлов к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

ПОЛУЧЕНИЕ КОНДЕНСАТА ВОДЯНЫХ ПАРОВ ПРИ СУШКЕ УГЛЯ

При использовании на электростанциях влажного топлива иногда осуществляют его предварительную подсушку перед сжиганием в котельном агрегате. При подсушке снижается влажность топлива и повышается его теплотворная способность. Обычно бурые угли подсушивают с начальной влажности 30-39% до влажности 12-14%, а каменные угли с влажности 8-12% до влажности 1-2%. Благодаря удалению влаги улучшается сыпучесть угля, и его хранение и транспорт становится надежнее, улучшаются условия размола угля и повышается производительность мельниц. Сжигание топлива со стабильной влажностью происходит более устойчиво. Повышение теплотворной способности топлива позволяет выполнить котельный агрегат более компактным.

При предварительной паровой подсушке угля паровые сушилки и угольные мельницы с их вспомогательным оборудованием образуют общую сушильно-размольную систему. Оборудование такой системы пылеприготовления объединяют обычно в отдельную установку, расположенную в отдельном здании которое называют *центральным пылезаводом* (ЦПЗ).

Общая технологическая схема электростанции включает в этом случае, кроме турбинной и парогенераторной установок, дополнительно ещё сушильно-размольную установку, которая имеет связь по пару с главной турбиной, а по размолотому углю связь с бункером пыли ЦПЗ и бункером выли котла в главном корпусе.[1]

Основным теплоносителем и рабочим телом на ТЭС является вода и водяной пар, которые в процессе работы, частично теряются и эти потери приходится восполнять водой из химводоочистки (ХВО) ТЭС.

Чтобы сократить затраты на ХВО нами была рассмотрена и рассчитана схема получения конденсата из водяных паров, выходящих из сушилки топлива (рис.1). В паровую сушилку подается топливо с влажностью 39%, а на выходе подсушенное топливо имеет влажность 16%. Пар на сушку топлива подается из отбора турбины и проходит через пароохладитель (ПО). Для нагрева части питательной воды, что повышает экономичность ТЭС, так как повышается температура питательной воды на входе в котел. Выпар из сушилок направляется в контактный теплообменник, где происходит частичная конденсация выделенной в сушилке влаги. Затем конденсат поступает в вакуумный испаритель, через механический фильтр. Пар из вакуумного испарителя поступает на калориферы котла, где осуществляется нагрев воздуха котла, а конденсат пара поступает в конденсатор турбины, тем самым компенсируются утечки цикла.

По расчётам при сушке угля можно выделить достаточно конденсата, чтобы восполнить потери в цикле, вызванные утечками.

Литература

1. Михайлов Н. М. Вопросы сушки топлива на электростанциях. М.- Л. «Госэнергоиздат». 1957. - 152 с.

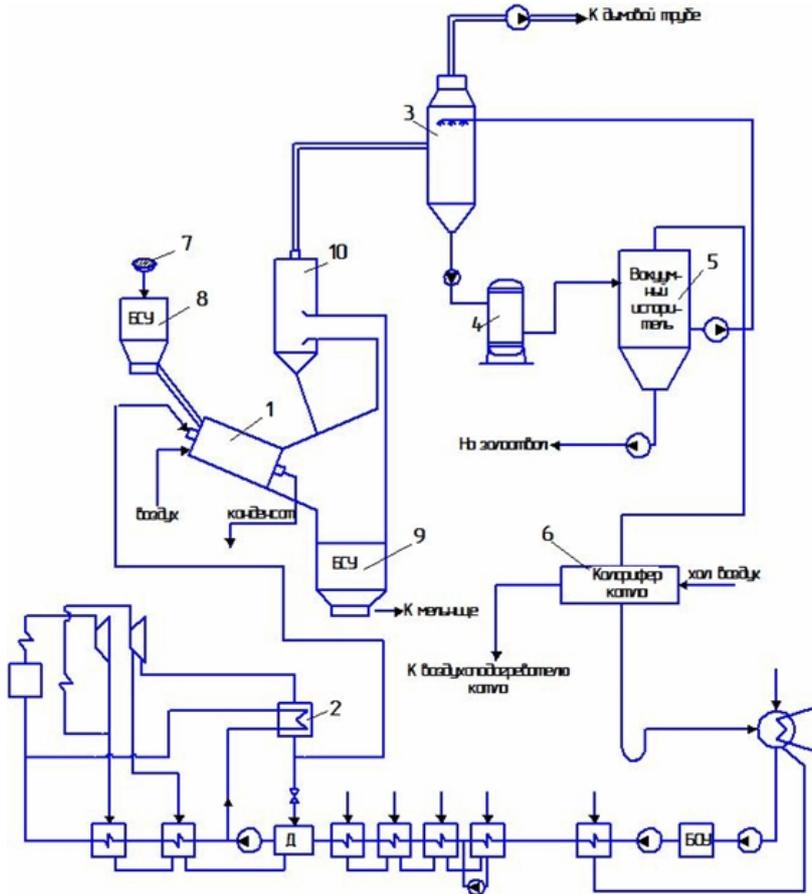


Рисунок 1 – Схема использования влаги, выделенной при подсушке топлива в цикле электростанции: 1-паровая трубчатая сушилка; 2-пароохладитель для отбора пара на сушку топлива; 3-контактный теплообменник; 4-механический фильтр; 5-вакуумный испаритель; 6-калорифер котла; 7-транспортёр с углем; 8-бункер сырого угля; 9-бункер сухого угля; 10-циклон

С.С. Коновальцева, студ.; рук. А.Е. Барочкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА НУЖДЫ ГВС

При разработке схем теплоснабжения городов особое внимание уделяется расчету перспективной тепловой нагрузки объектов новой застройки, которая складывается из расходов тепла на отопление, горячее водоснабжение (ГВС) и вентиляцию.

Завышение тепловых нагрузок потребителей приводит к следующим негативным последствиям:

- неправильному определению величины резерва или дефицита тепловых нагрузок источников централизованного теплоснабжения;
- неправильному определению перспективных гидравлических режимов тепловых сетей;
- дополнительным капитальным затратам при строительстве новых источников теплоснабжения с избыточными тепловыми мощностями;

Организации-застройщики чаще всего осуществляют расчет максимальной нагрузки ГВС возводимых зданий по упрощенному методу:

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{макс}} = Q_{\text{ГВС}}^{\text{ср}} k_{\text{ч}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{ГВС}}^{\text{ср}}$ - средняя нагрузка ГВС, Гкал/ч; $k_{\text{ч}}$ - коэффициент часовой неравномерности потребления ГВС (принимается равным 2,5).

Коэффициент $k_{\text{ч}}$ принимается по данным Справочника по наладке и испытанию тепловых сетей. Для жилых домов чаще всего используется значение 2,5, что не соответствует действительности.

Для оценки фактической величины максимального расхода тепла на ГВС использовались данные почасового учета отпущенной тепловой энергии от Ижевской ТЭЦ-1 за три месяца неотапительного периода в 2015 г. (рис. 1). По результатам анализа среднее значение коэффициента $k_{\text{ч}}$ в июне составляло 0,193, в июле – 0,145, в августе – 0,176.

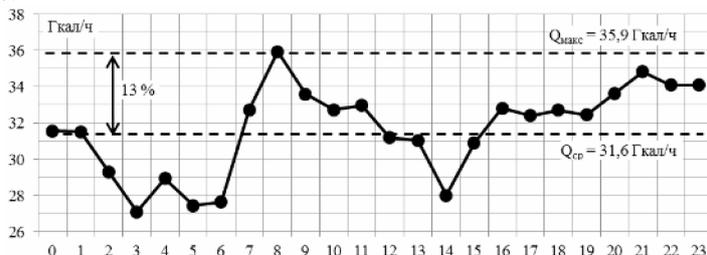


Рис. 1. Отпуск тепловой энергии на нужды ГВС от ТЭЦ-1 по часам за 1.06.2015 г.

*М.А. Корнилова, А.Л. Крылова, А.Д. Максимова, студ.;
рук. Г.В. Ледуховский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ САКМАРСКОЙ ТЭЦ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ПО ДАННЫМ ЗА ФАКТИЧЕСКИ ОТРАБОТАННЫЙ ПЕРИОД

При перспективном планировании режима работы ТЭЦ (как правило, на предстоящий год) возникает задача оценки показателей работы оборудования с расчетом плановых значений удельных расходов условного топлива на отпуск тепловой и электрической энергии. Эта задача решается на основе нормативно-технической документации ТЭЦ по топливоиспользованию, включающей энергетические характеристики оборудования и макет расчета номинальных показателей его тепловой экономичности. При этом напрямую использовать указанный макет для прогнозирования технико-экономических показателей (ТЭП) при изменении состава работающего оборудования, параметров окружающей среды, отпуска тепла потребителям и прочих условий невозможно, либо такое использование оказывается сопряжено с допущениями, приводящими к появлению существенных ошибок. Задача осложняется еще и тем, что в большинстве случаев реальный уровень тепловой экономичности оборудования значимо отличается от номинального, устанавливаемого энергетическими характеристиками.

Таким образом, для конкретной ТЭЦ требуется разработка математической модели, которая позволяла бы прогнозировать показатели работы оборудования в плановом периоде с опорой на показатели его работы в базовом периоде и учитывать при этом изменение параметров работы отдельных агрегатов при изменении внешних условий. В докладе рассматриваются результаты разработки такой модели применительно к Сакмарской ТЭЦ (г. Оренбург).

Модель объединяет подмодели расчета показателей турбоагрегатов, энергетических котлов, пиковых водогрейных котлов, а также механизмов, установок и аппаратов тепловых и электрических собственных нужд. Структура всех подмоделей унифицирована, использован следующий порядок расчета. После выбора базового периода (одного из фактически отработанных месяцев), наиболее близкого к планируемому по значениям внешних факторов, из соответствующей базы данных загружаются фактические значения основных и промежуточных показателей работы каждого агрегата ТЭЦ. По энергетическим характеристикам оборудования автоматически рассчитываются исходно-

номинальные значения основных показателей агрегатов, а также известные поправки к ним на отклонение фактических значений показателей от исходно-номинальных. Сопоставление фактических и номинальных (исходно-номинальных с прибавлением известных поправок) значений показателей позволяет вычислить сумму прочих, не учтенных в составе основных, поправок к исходно-номинальным значениям показателей. Эта «балластная» суммарная поправка учитывает, в числе прочего, несовершенство нормативно-технической документации ТЭЦ по топливоиспользованию. Далее, при изменении нагрузок агрегатов, температуры сетевой воды и прочих режимных параметров в плановом периоде относительно соответствующих значений в базовом периоде определяются новые исходно-номинальные значения показателей работы агрегатов и известных поправок на отклонение значений внешних факторов от фиксированных условий. По каждому рассматриваемому показателю вычисляется плановое значение, при этом суммируется его новое исходно-номинальное значение, новая сумма известных поправок и вычисленная на этапе расчета показателей базового периода «балластная» поправка. Таким образом, модель позволяет учитывать фактически достигнутые показатели тепловой экономичности и, что важно, при отсутствии изменений возвращает показатели его работы в базовом периоде.

Алгоритм обеспечивает итерационное сведение теплового баланса отпуска тепла из регулируемых и нерегулируемых сверх нужд регенерации отборов турбоагрегатов, теплового баланса выработки тепла брутто энергетическими котлами, электрического баланса затрат энергии на собственные нужды. Модель представлена в виде файла MS Excel и полностью автоматизирована. Энергетические характеристики оборудования ТЭЦ подключены к алгоритму после их оцифровки. Собственно удельные расходы топлива по ТЭЦ рассчитываются по утвержденному нормативными документами алгоритму [1]; предусмотрен выбор метода отнесения суммарных затрат топлива на отпуск электрической и тепловой энергии (физический метод или метод раздельного производства).

Полученная таким образом модель успешно использована при расчете перспективных топливных балансов Сакмарской ТЭЦ при разработке вариантов развития схемы теплоснабжения г. Оренбурга.

Библиографический список

1. РД 34.08.552-95. Методические указания по составлению отчета электростанции и акционерного общества энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования: разраб. АО «Фирма ОРГЭС»; утв. Министерством топлива и энергетики.

*В.А. Ломиногин, А.С. Корнева, студ.; рук. А.Е. Барочкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ТУРБОДЕТАНДЕРНОЙ УСТАНОВКИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЭЦ

На ТЭЦ имеется возможность использовать в качестве источника электроэнергии вторичные энергоресурсы (ВЭР). С целью использования энергии природного газа, теряемой при снижении давления с 1,2 МПа до 0,1 МПа на регуляторах давления в ГРП, предлагается рассмотреть возможность применения турбодетандерной установки. В конечном итоге возможно использовать потенциальную энергию природного газа для выработки электроэнергии.

Турбодетандерная установка представляет собой устройство, в котором энергия потока транспортируемого природного газа преобразуется сначала в механическую энергию в детандере, а затем в электрическую энергию в генераторе.

Основными составными частями ДГА являются сам детандер, электрический генератор, теплообменники подогрева газа, регулирующая и запорная арматура, системы регулирования, КИП и автоматики (рис. 1).

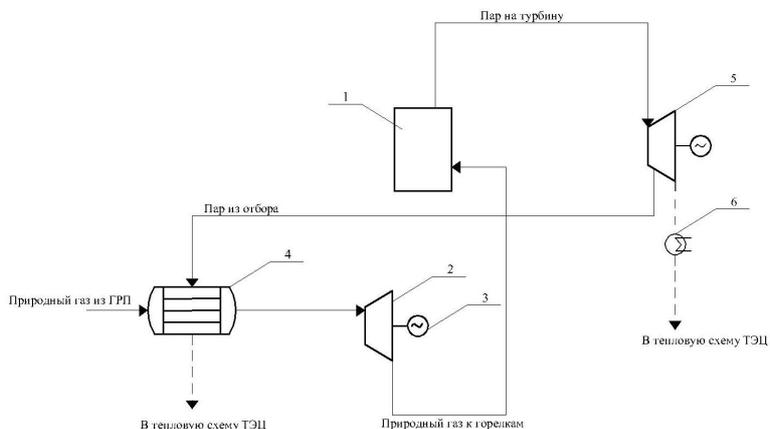


Рисунок 1 – Схема турбодетандерной установки: 1 - котел; 2 - турбодетандер; 3 - электрогенератор; 4 - подогреватель газа; 5 - паровая турбина; 6 – конденсатор

Необходимость подогрева газа перед турбодетандером вытекает из условия поддержания положительной температуры газа на выходе

турбины, для предотвращения конденсации газа на лопатках турбины, т.к. при снижении давления газа происходит понижение его температуры. Поэтому при разработке мероприятия рассматриваются установки, в которых подогрев газа производится перед детандером за счет тепла пара из теплофикационного отбора.

Использование электроэнергии, вырабатываемой за счет потенциальной энергии сжатого природного газа, на сегодняшний день теряемой при дросселировании на ГРП, является ничем иным, как доработкой схемы газоснабжения станции и устранением одной из причин нерационального использования энергетических ресурсов.

В качестве примера возможного использования турбодетандерной установки произведен анализ и расчет технико-экономических показателей работы установки в случае её применения на Сакмарской ТЭЦ, расположенной в г. Оренбург.

В соответствии с газодинамическими данными на ГРП-2 Сакмарской ТЭЦ ОАО «Оренбургская ТГК», целесообразно применение энергосберегающей турбодетандерной установки разработки ООО «ТурбоДЭн» номинальной мощностью 4000 кВт: ЭТДА-4000.

Поскольку расход газа, потребляемого ТЭЦ, увеличивается в зимние месяцы и уменьшается летом, то выработка электроэнергии турбодетандерной установкой в течении года будет меняться.

В результате разработки мероприятия, получены следующие технико-экономические показатели:

1. Выработка электроэнергии турбодетандером составит до 33127,76 МВт*ч в год, в том числе:

- в номинальном режиме установка будет работать пять месяцев в году (3624 часа) и выработает 14496 тысяч кВт*ч электроэнергии;

- еще более шести месяцев (4376 часов) установка будет работать с мощностью от 2410 кВт до 3640 кВт и выработает 18631 тысяч кВт*ч;

2. Капиталовложение составляют 64,192 тысяч рублей с НДС.

3. Простой срок окупаемости мероприятия составил 2,86 года, дисконтируемый – 4,89 лет.

4. Срок реализации мероприятия 1 год и 3 месяца.

Данное мероприятие относится к среднезатратным инвестиционным проектам и имеет небольшой срок окупаемости, что говорит о хороших технико-экономических условиях для его реализации на станции.

Использование турбодетандерной установки на ГРП станции позволит получать дешевую электроэнергию, которую выгодно использовать на собственные нужды ТЭЦ.

*А.В. Макушина, студ.; рук-ли М.Ю. Зорин, к.т.н., доц.,
Г.Г. Орлов к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЫБОР СХЕМЫ ДЕАЭРИРОВАНИЯ ДЛЯ ПГУ-325

Кислородная коррозия металла трубопроводов и оборудования на ТЭС является наиболее опасной, так как она проявляется в виде небольших язвин. Чтобы устранить это явление, необходимо осуществить процесс удаления из воды растворенных в ней газов, что называется деаэрацией. Наибольшее распространение получил термический способ деаэрации воды, в котором растворимость в воде газов с повышением ее температуры уменьшается, а при температуре, равной температуре кипения, газы почти полностью удаляются из воды. Таким образом, содержание агрессивно-коррозионных газов в воде после деаэрации не превышает $7\div 10$ мг/л. Система регенерации схем ПГУ носит упрощенный характер, поэтому перед нами встал ряд вопросов: какая система деаэрации питательной воды будет самой эффективной и рациональной, к какому отбору паровой турбины подключить деаэратор, и какое давление поддерживать в нем.

Для ПГУ-325 мы рассмотрели семь вариантов деаэрации воды в тепловой схеме: в первом установлен деаэратор Д-0,02 МПа, из которого вода насосом подается в барабаны высокого и низкого давления, а сепарат ЦВД сливается в конденсатор; во втором установлен тот же Д-0,02 МПа, а сепарат ЦВД идет в него; в третьем установлен деаэратор Д-0,12 МПа, а сепарат ЦВД идет в конденсатор; в четвертом применен Д-0,02 МПа с одним питательным насосом для барабана низкого давления, а сепарат ЦВД поступает в конденсатор; в пятом та же схема 4, но сепарат ЦВД идет в деаэратор; в шестом установлен деаэратор Д-0,12 МПа, слив сепарата ЦВД в деаэратор, питательный насос один для барабана низкого давления; в седьмом бездеаэраторная схема деаэрации воды осуществляется в барабане низкого давления.

Из проведенных расчетов было получено, что схема ПГУ-325 по варианту 5 имеет наивысший КПД ($\eta = 52,16\%$) по сравнению с другими схемами имеющими деаэратор, но самой лучшей оказывается схема с деаэрацией в барабане котла, КПД достигает $\eta = 53,02\%$.

На основании вышеизложенного и ввиду заметно большего преимущества в экономичности из 7-ми рассчитанных схем для практической реализации целесообразно применить 7-ую схему, так как она имеет наивысший КПД $\eta = 53,02\%$, встроенный деаэратор может быть расположен в любом месте барабана низкого давления. Его работа основана на принципе распылительной деаэрации питательной воды.

*Д.А. Морокин, студ.; рук. С.И. Шувалов, д.т.н., профессор.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ШАРОВОЙ БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Шаровые барабанные мельницы являются универсальным измельчителем, способным размалывать угли различных марок. Основным их недостатком является высокие затраты на пылеприготовление. Наиболее перспективным направлением снижения энергозатрат является совершенствование структуры системы измельчения, связанное с совершенствованием отдельных узлов и изменением направлений массопотоков в пылесистеме.

Для анализа вариантов модернизации пылесистем с шаровыми барабанными мельницами разработана математическая модель, в которой производится расчет процессов измельчения и классификации и оценивается изменение удельных затрат электроэнергии относительно базового варианта пылесистемы.

Барабанная мельница представлена в виде цепочки однотипных ячеек идеального вытеснения, в которые за один цикл последовательно поступает материал из предыдущей ячейки, происходит один цикл нагружения и перенос измельченного материала в следующую ячейку. Количество ячеек соответствует количеству нагружений материала за один проход через барабан. Процесс измельчения описывается с помощью селективной и распределительной функций, причем вид этих функций соответствует линейному распределению. Основным допущением модели является постоянство скорости перемещения материала вдоль барабана независимо от размера частиц.

Процесс классификации описывается с помощью кривой разделения, соответствующей вероятности выделения частиц определенного размера в готовую пыль. Для расчета кривая разделения аппроксимируется двухпараметрической зависимостью.

Принципиальным отличием этой модели является то, что для идентификации ее параметров необходимо указать только максимальную производительность реальной пылесистемы при заданной тонкости готовой пыли, тип сепаратора и граничный размер разделения без предоставления геометрических параметров мельницы и прочностных свойств размалываемого материала.

На основании этой модели разработана компьютерная программа и проведены варианты расчеты режимов работы промышленных мельниц, которые показали хорошую сходимость расчетных результатов с результатами испытаний.

*Л.М. Панов, маг.; рук. Б.Л. Шелыгин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА «П-88» ПРИ ПРОЕКТНОЙ НАГРУЗКЕ ПГУ-325 И ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

На сегодняшний день в теплоэнергетике Российской Федерации наиболее перспективными считается парогазовые установки (ПГУ). Повышенная сложность ПГУ, включающую газотурбинную установку (ГТУ) и котел-утилизатор (КУ), компенсируется наилучшими экономическими показателями. Поэтому изучению этих технических объектов должно уделяться повышенное внимание.

Показатели КУ «П-88» определяется условиями работы входящей в состав ПГУ-325 ГТУ марки «ГТЭ-110». Анализ выполнен при нагрузках $88 \div 110$ МВт, близких к проектному значению, и изменении температуры наружного воздуха в диапазоне $-30 \div 30$ °С.

Исследование проводилось с использованием расчетной модели КУ «П-88», созданной с помощью программного продукта «ТРАКТ». В качестве топлива принят природный газ. Коэффициент избытка воздуха за камерой сгорания (КС) ГТУ принимался в пределах $2,87 \div 3,53$. При этом температура воздуха за компрессором составляла $275 \div 366$ °С, температура газов за камерой сгорания ГТУ находилась в пределах $1005 \div 1085$ °С

Для нагрузок $88 \div 110$ МВт и повышении температуры наружного воздуха от -30 до 30 °С КПД ГТУ (брутто) изменяется от $0,31$ до $0,36$. При этом установлены топливные характеристики, согласно которым расход топлива возрастает в пределах $25600 \div 33400$ $\text{нм}^3/\text{ч}$.

С увеличением электрической мощности ГТЭ-110 при проектной температуре наружного воздуха $t_{\text{нар}} = 15$ °С температура газов перед КУ возрастает в пределах $509 \div 521$ °С. При проектной мощности и возрастании $t_{\text{нар}}$ на $30 \div 60$ °С ее значение изменится на $15 \div 30$ °С.

В таких условиях температура пара высокого давления составляет $420 \div 500$ °С, а его расход равен $130 \div 158$ т/ч. Температура пара низкого давления находится в диапазоне $230 \div 239$ °С при расходе $33,7 \div 39,6$ т/ч.

При температуре уходящих газов $102 \div 108$ °С КПД КУ (брутто) составляет $0,77 \div 0,83$.

Представленный материал заложен в методические разработки для изучения студентами переменных режимов работы КУ электростанции.

*Р.М. Колмаков; А.А. Абрамов студ.;
рук. А.А. Поспелов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

АНАЛИЗ РАБОТЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ОРЛОВСКОЙ ТЭЦ

На Орловской ТЭЦ в качестве источников теплоты, обеспечивающих внутростанционные и городские тепловые сети горячей водой, используются три теплофикационные установки (ТФУ), установленные в машинном зале и смонтированные в схемах обвязки турбоагрегатов Т-110/120-130 ТМЗ ст. № 5,6,7. Каждая из этих установок включает два горизонтальных сетевых подогревателя типа ПСГ-2300-3-8 (ПСГ-1,2), питающиеся паром соответственно от нижнего и верхнего теплофикационного отбора, а также конденсатные насосы и соответствующие трубопроводы с арматурой.

Для покрытия пиковых нагрузок тепловой сети используются водогрейные котлы типа ПТВМ-100 ст. № 1, 2.

Тепловые сети станционных и внешних потребителей – водяные, двухтрубные, закрытые. Отпуск тепловой энергии в сетевой воде потребителям г. Орла осуществляется по пяти направлениям – системам теплоснабжения, каждая из которых гидравлически изолирована.

В соответствии с проектом Орловской ТЭЦ предусмотрено центральное качественное регулирование отпуска тепла потребителям путём изменения температуры теплоносителя в соответствии с температурным графиком – 150/70 °С в прямом трубопроводе при сохранении постоянного расхода теплоносителя. Фактически утвержденный температурный график заложен на уровне 110/70 со срезкой на 100°С.

Общая подключённая тепловая нагрузка к ТЭЦ в горячей воде составляет 593 Гкал/ч.

Целью проведения анализа работы теплофикационной установки Орловской ТЭЦ являлось:

1) выявление «узких мест», с точки зрения обеспечения надёжности и эффективности работы оборудования ТФУ при достигнутых расходах сетевой воды 14600 м³/ч и использовании утверждённого температурного графика теплосети 110/70 со срезкой на 100°С;

2) определение эффективности работы ТФУ и станции в целом, выражающейся в показателях удельных расходов топлива на отпуск тепловой и электрической энергии, а также в показателе величины условной прибыли ТЭЦ, определяемой разностью дохода, полученного от продажи тепловой и электрической энергии потребителям, и затрат денежных средств на оплату топлива.

По результатам выполненных расчётов выявлено:

1. Недоотпуск тепловой энергии (в сравнении с нормативным отпуском тепла, рассчитанным в соответствии с утверждённым температурным графиком) в тепловые сети города за отопительный период составил 546758 Гкал.

2. Фактический расход сетевой воды через трубопроводы ТФУ Орловской ТЭЦ (с учётом собственных и производственно-хозяйственных нужд) доходит до 15000 т/ч.

3. Фактический удельный расход сетевой воды системы теплоснабжения во всем диапазоне температур наружного воздуха приближается к $40 \text{ м}^3/\text{Гкал}$, что более всего соответствует температурному графику 95/70 °С. В этом случае расчетный расход сетевой воды от Орловской ТЭЦ для обеспечения договорной нагрузки подключенных к ОТЭЦ потребителей – 593 Гкал/ч, должен бы быть не менее $23720 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Таким образом, достигнутый на «сегодняшний день» расход сетевой воды через станционные теплосетевые трубопроводы в количестве 15000 т/ч следует считать **предельным**.

4. Дальнейшее подключение прогнозируемых тепловых нагрузок (198,5 Гкал/ч; [Л-6]) возможно лишь при условии перевода системы теплоснабжения города на температурный график 130/70 или 150/70 °С.

5. Поверочный гидравлический расчёт трубопроводов ТФУ показывает, что при переводе системы теплоснабжения города на график 150/70 со срезкой на 115°С не потребуется расшивки действующих трубопроводов ТФУ Орловской ТЭЦ для подключения, в перспективе, дополнительной тепловой нагрузки (198,5 Гкал/ч).

6. Поверочный расчёт показателей работы ТЭЦ при отпуске тепла потребителю по утверждённому температурному графику 110/70°С, по сравнению с отчётным отпуском тепла в отопительный период, показал упущенную выгоду 110 млн. руб. от недоотпуска тепла потребителям при работе турбоагрегатов по электрическому графику нагрузок.

Авторами выполнен поверочный расчёт показателей работы ТЭЦ при отпуске тепла в систему теплоснабжения города по температурному графику 150/70 со срезкой на 115°С. При этом упущенная выгода от недоотпуска тепла потребителям в отопительный период составила бы 77 млн. руб., что на 33 млн. руб. меньше, нежели при отпуске тепла по температурному графику 110/70°С. В тоже время, перевод теплосети города на температурный график 150/70°С при срезке на 115°С позволит обеспечить подключение дополнительных потребителей тепловой энергии и повысить эффективность работы ТЭЦ.

*А.М. Потапов, маг.; С.Д. Горшенин, к.т.н., ст. преп.;
рук. Г.В. Ледуховский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ В КАВИТАЦИОННО-СТРУЙНОМ ДЕАЭРАТОРЕ

Рассматривается задача разработки имитационной модели рабочей зоны кавитационно-струйного деаэрационного устройства «АВАКС» в программном комплексе FlowVision. Целью исследований является расчет поля статических давлений в вихревом потоке воды. Эта информация необходима для разработки математической модели деаэрации перегретой воды в устройствах рассматриваемого типа.

Рабочая зона деаэратора «АВАКС» представляет собой участок трубопровода, перед входом в который коаксиально расположен шнековый завихритель. На выходе рабочей зоны коаксиально установлен стабилизатор, представляющий собой обтекатель сложной формы, через отверстие в центре которого осуществляется отсос пара эжектором. В рабочей зоне аппарата формируется вихревой поток, в котором вода под действием центробежных сил оттесняется к стенке трубопровода, а в центре образуется вакуумная полость.

Для проведения численных экспериментов разработана упрощенная геометрическая модель (рисунок 1) в виде цилиндрического участка, ограниченного на входе обтекателем. Выходной стабилизатор при моделировании не учитывается, поскольку он не участвует в процессе формирования потока воды в рабочей зоне аппарата. Моделировалось однофазное потенциальное течение несжимаемой жидкости с использованием модели свободной поверхности и стандартной $k-\varepsilon$ модели турбулентности. Выбор граничных условий осуществлялся в соответствии с реальными режимными параметрами работы деаэратора, имевшими место в условиях экспериментальных исследований. Принятые граничные условия отражены в таблице.

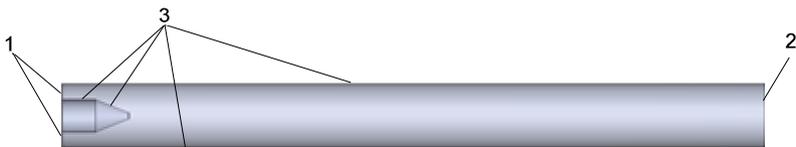


Рисунок 1 – Упрощенная геометрическая модель рабочей зоны деаэратора: 1 – входное сечение (граничное условие «Вход»); 2 – выходное сечение (граничное условие «Выход»); 3 – стенка (граничное условие «Стенка»)

Таблица – Принятые граничные условия

Граничное условие	Тип граничного условия	Параметр	Значение
«Вход»	Вход / Выход	Нормальная массовая скорость	В соответствии с результатами экспериментальных исследований
«Выход»	Вход / Выход	Свободный выход	
«Стенка»	Стенка	–	Прилипание

Начальная расчетная сетка задана неравномерной со сгущением в области входного обтекателя. С учетом функции подсеточного разрешения геометрии итоговое число расчетных ячеек составило около 75 тысяч. Сходимость расчета оценивалась по величинам невязок скорости среды в выходном сечении и давления во входном сечении модели.

При обработке результатов расчета по длине модели выделен ряд поперечных сечений, в каждом из которых строились эпюры распределения статических давлений вдоль радиуса в горизонтальном и вертикальном направлениях. По полученным эпюрам и вычислялось среднее статическое давление в потоке воды в данном сечении модели (рисунок 2), после чего строилась искомая зависимость (рисунок 2, г).

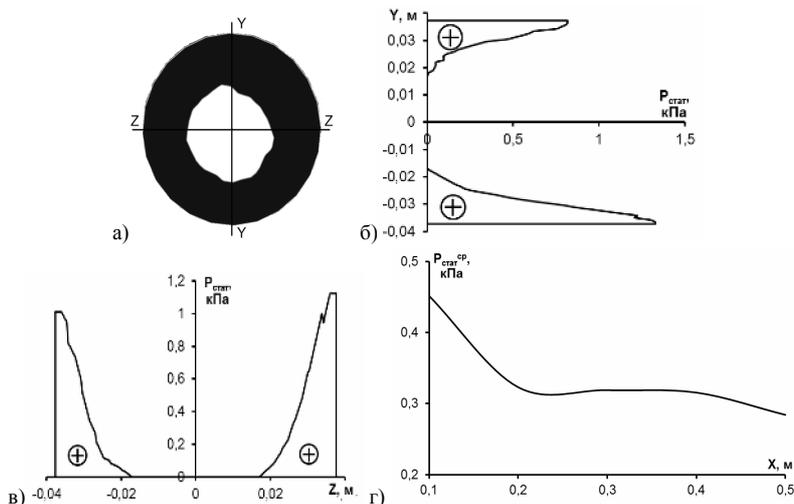


Рисунок 2 – Результаты расчета для одного из поперечных сечений модели и распределение среднего статического давления в потоке по длине участка: а – распределение воды по сечению; б и в – распределение избыточных статических давлений вдоль оси Y и оси Z сечения соответственно; г – распределение среднего избыточного статического давления потока по длине X рабочей зоны

А.Д. Скурихина, студ.; рук Г.Г. Орлов, к.т.н., проф.

(ИГЭУ, Иваново)

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРООХЛАДИТЕЛЯ, УСТАНОВЛЕННОГО НА ОТБОРЕ ПАРА К СУШИЛКЕ ВЛАЖНОГО ТОПЛИВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ОПТИМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

При сжигании на ТЭС влажных бурых углей иногда применяют их паровую подсушку в специальных сушилках, что позволяет повысить теплотворную способность топлива за счет испарения влаги из него и создать более компактный котельный агрегат [1]. Пар для сушки угля отбирают из регенеративного отбора турбины, однако его температура на входе в сушилки, по условиям работы турбины подшипников, не должна превышать 180°C . Обычно в пар, для снижения его температуры, впрыскивают воду (рис.1, позиция 12). Более рациональным вариантом является установка пароохладителя (ПО) на потоке пара, отбираемого к сушилке (рис.1). Эффективность установки ПО оценивалась по методу коэффициентов изменения мощности [2].

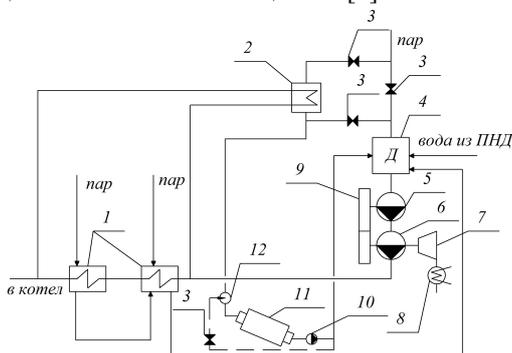


Рисунок 1 – Схема охлаждения пара, подаваемого на сушилку топлива: 1 – подогреватель высокого давления; 2 – пароохладитель; 3 – запорная арматура; 4 – деаэрактор; 5 – бустерный насос; 6 – питательный насос; 7 – турбопривод питательного насоса; 8 – конденсатор; 9 – редуктор; 10 – конденсатный насос; 11 – топливная паровая трубчатая сушилка; 12 – впрыскивающее устройство для снижения температуры

Стоимость топлива, сжигаемого на тепловой электростанции, существенно влияет на срок окупаемости ПО и его оптимальные характеристики: поверхность нагрева, температурные напоры, количество воды, отводимое на ПО. Зависимость оптимального температурного напора от стоимости топлива и коэффициента теплопередачи (k) при числе часов использования установленной мощности блока 7000 пред-

ставлена на рис.2. Цена тонны условного топлива изменялась от 500 до 6000. Большой диапазон изменения k (от 0,3 до 1,0 кВт/(м²*К) обусловлен наличием ряда методик его расчета, которые дают различные значения. Из графика видно, что значение коэффициента теплопередачи оказывает более существенное влияние на температурный напор на холодном конце ПО, а температурный напор на его горячем конце оказывается приблизительно постоянной.

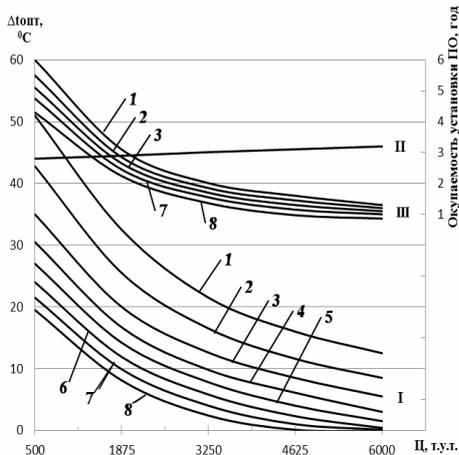


Рисунок 2 – Оптимальные температурные напоры в зависимости от стоимости топлива и коэффициента теплопередачи:

I – на холодном конце пароохладителя: 1 – $k=0,3$ кВт/(м²*К); 2 – $k=0,4$ кВт/(м²*К); 3 – $k=0,5$ кВт/(м²*К); 4 – $k=0,6$ кВт/(м²*К); 5 – $k=0,7$ кВт/(м²*К); 6 – $k=0,8$ кВт/(м²*К); 7 – $k=0,9$ кВт/(м²*К); 8 – $k=1,0$ кВт/(м²*К); II – на горячем конце пароохладителя; III – срок окупаемости ПО.

Автором проведен технико-экономический и функционально-стоимостной анализ эффективности ПО, получены графические зависимости оптимальных характеристик такого ПО применительно к блоку 500 МВт с турбиной К-500-240 ЛМЗ. Как показали расчеты, срок окупаемости данной установки существенно зависит от цены сжигаемого топлива и представлен на графике (рис.2).

Библиографический список

1. Михайлов Н.М. Вопросы сушки топлива на электростанциях. М.,Л: Госэнергоиздат, 1957.- 152 с.
2. Рубинштейн Я.М., Щепетильников М.И. Исследование реальных тепловых схем ТЭС и АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1982. – 272с.

*М.М. Соловьев, маг.; Д.А. Терентьев, студ.;
рук. Б.Л. Шельгин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА «П-102» ПРИ ДОПУСТИМЫХ НАГРУЗКАХ ГТЭ-6П

Перспективным направлением технического перевооружения отечественных ТЭЦ является внедрение парогазовых установок (ПГУ).

С целью эффективного энергообеспечения потребителей в ПАО «Т Плюс» в ходе реконструкции существующего оборудования внедрена энергоустановка для выработки электрической и тепловой (пар низкого давления, сетевая вода) энергий, включающие:

- газотурбинную установку (ГТУ) марки ГТЭ-6П;
- котел-утилизатор (КУ) марки П-102.

В проектном режиме электрическая мощность ГТЭ-6П составляет 6,0 МВт, согласно которой КУ сконструирован на паропроизводительность 50 т/ч.

В зависимости от условий потребления электрической энергии мощность ГТЭ-6П может находиться в диапазоне 4÷7 МВт.

КУ энергоустановки является пассивным элементом, зависящим от работы ГТУ. Ранее выполнено исследование показателей КУ «П-102» при нагрузках ГТЭ-6П, близких к номинальному значению 5÷6 МВт.

В работе выполнен анализ возможностей КУ при пониженных (4÷5 МВт) и повышенных (6÷7 МВт) нагрузках ГТЭ-6П в режимах:

- утилизации теплоты уходящих из ГТУ газов;
- утилизации теплоты уходящих из ГТУ газов при сжигании в КУ «П-102» дополнительного топлива.

Задача решалась с помощью модели расчета КУ «П-102». При температуре наружного воздуха 15°C коэффициент избытка воздуха за ГТУ принят равным 3,9. Для нагрузок 4÷5 МВт применительно к утилизационному режиму КПД ГТУ $\eta_{ГТУ} = 0,227 \div 0,242$, а расход топлива в КС возрастает в диапазоне 1776÷2082 $\text{нм}^3/\text{ч}$. Применительно ко второму режиму расход дополнительно сжигаемого топлива $V_{\text{доп}}$ снижается от 2771 до 2585 $\text{нм}^3/\text{ч}$. Для нагрузок 6÷7 МВт при работе в утилизационном режиме с изменением $\eta_{ГТУ}$ в пределах 0,251÷0,2535 расход топлива в КС возрастает в диапазоне 2409÷2783 $\text{нм}^3/\text{ч}$. Применительно ко второму режиму значение $V_{\text{доп}}$ уменьшается с 2399 до 2213 $\text{нм}^3/\text{ч}$. Полученные результаты подготовлены для внедрения в учебный процесс подготовки работников теплоэнергетики страны.

*М.А. Спирина, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ДИАЛОГОВОЙ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА ПВД С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ПАРООХЛАДИТЕЛЕЙ

В настоящее время на ТЭС подогреватели высокого давления (ПВД), а на установках с промежуточным перегревом пара и часть подогревателей низкого давления (ПНД), выполняются со специальными отсеками для съема перегрева пара, поступающего в них. Эти отсеки называются пареохладителями (ПО) и они могут быть либо встроены в корпус ПВД либо быть вынесенными. Рассмотрим эти схемы. На рис. 1 показаны ПВД с ПО различных типов: встроенные (рис. 1а); вынесенные на всем потоке питательной воды типа Виолет (рис. 1б); вынесенные на частичном отводе потока питательной воды типа Рикара-Никольного (рис. 1в).

Авторами для ЭВМ была разработана диалоговая система расчета параметров пара, воды и расходов пара на ПВД с различными ПО. Все расчеты выполнялись с использованием упрощенных уравнений для воды и водяного пара [1, 2]. Результаты расчета для 3-х схем: со встроенным ПО (рис. 1а), вынесенным ПО по типу Виолет (рис. 1б) и вынесенным ПО по типу Рикара-Никольного (рис. 1в) представлены в табл. 1. Кроме того, разработанная программа позволяет так же для блоков, у которых питательный насос приводится вспомогательной турбиной (рис. 1), определить расход пара на приводную турбину питательного насоса. Расчет ПВД в диалоговом режиме с ЭВМ занимает время от 10 до 15 мин.

Таблица 1 – Доли расходы пара на ПВД и ТПН

№	ПВД-1	ПВД-2	ПВД-3	ТПН
схема а)	0,066791	0,072949	0,054194	0,036853
схема б)	0,065817	0,086546	0,053167	0,036853
схема в)	0,065059	0,081134	0,052368	0,036853

Выводы:

1. При установке вынесенных ПО по типу Виолет и Рекара-Никольного повышается температура питательной воды на входе в котельный агрегат и для вновь создаваемых блоков целесообразно проектировать котел на новую повышенную температуру питательной воды.

2. В целом установка ПО вынесенного типа позволяет повысить экономичность и получить экономию топлива.

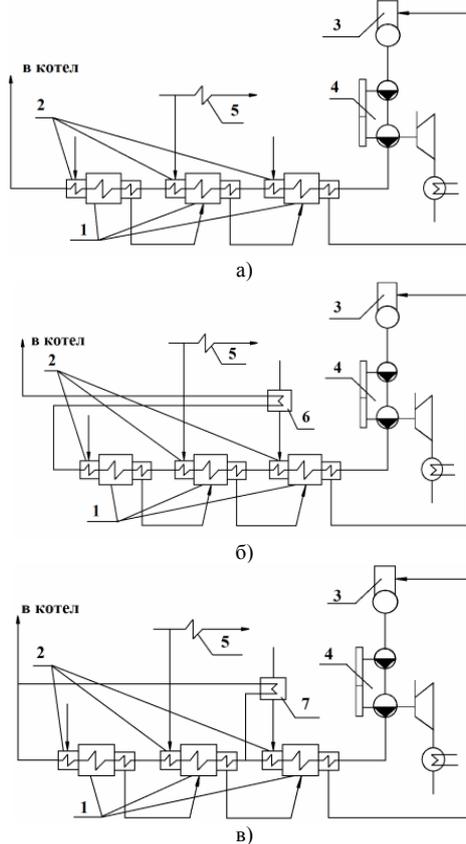


Рисунок 1 – Схемы с различными типами включения пароохладителя: а – схема со встроенными пароохладителями; б – схема с вынесенным пароохладителем по типу Виолен; в – схема с вынесенным пароохладителем по типу Рикара-Николюного; 1 – ПВД; 2 – встроенный ПО; 3 – деаэратор; 4 – питательная установка; 5 – пароперегреватель; 6 – ПО по типу Виолен; 7 – ПО по типу Рикара-Николюного.

Библиографический список

1. Ривкин С.Л., Кремневская Е.А. Уравнение состояния воды и водяного пара для машинных расчетов процессов и оборудования электростанций // Теплоэнергетика. – 1977. – №3. – с.69-73.
2. Литинецкий В.В., Ривкин С.Л., Кремневская Е.А. Алгоритм расчета термодинамических свойств водяного пара на ЭВМ // Теплоэнергетика. – 1986. – №3. – с.48-50.

*А.А. Тесов, студ.; рук. С.Д. Горшенин, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УЛУЧШЕНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ПОТОКА ЗА ОСЕВЫМ ДЫМОСОСОМ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ И ПОЛОЖЕНИЯ ЛАЗА

Осевые дымососы нашли широкое применение в трактах уходящих газов энергетических котлов паропроизводительностью от 950 т/ч. Конструктивная схема осевого дымососа включает в себя всасывающий карман, лопаточный аппарат и выходной кольцевой диффузор, образованный стенками внешнего и внутреннего корпусов. Во внутреннем цилиндрическом корпусе расположен опорный подшипник вала, доступ к которому осуществляется через специальный лаз, расположенный рядом с выходным сечением кольцевого диффузора.

Участки сопряжения осевых дымососов с газоходами обладают достаточно высоким сопротивлением (до 15 % от суммарного сопротивления тракта внешних газоходов) [1]. Одним из способов снижения их сопротивления является установка обтекателя за внутренним корпусом кольцевого диффузора дымососа. Это способствует снижению коэффициента местного сопротивления тракта внешних газоходов на (4–10) % [1]. Однако указанный эффект является завышенным, поскольку при его расчете не учитывалось влияние ремонтного лаза на структуру потока.

На предыдущем этапе исследований показано, что пренебрежение влиянием лаза на аэродинамику потока более чем вдвое завышает эффект от установки обтекателя за кольцевым диффузором дымососа поскольку ремонтный лаз является плохообтекаемым телом. При этом эффект только от ликвидации лаза практически соответствует эффекту от установки обтекателя при сохранении лаза. Поскольку ликвидация лаза недопустима и приведет к прекращению доступа к заднему опорному подшипнику вала дымососа, в рамках настоящей работы предложено решение, направленное на улучшение обтекаемости лаза путем придания ему каплевидной формы.

Рассмотрено два варианта положения лаза улучшенной формы: 1 – положение лаза соответствует исходному варианту (под углом 45° к горизонту); 2 – положение лаза изменено на горизонтальное. Эффект от изменения формы и положения лаза определен для аэродинамической схемы газоходов блока 1200 МВт Костромской ГРЭС по результатам численного моделирования в программном комплексе FlowVision. Полученные значения коэффициентов сопротивления рассмотренных моделей с улучшенной формой лаза сопоставлены со зна-

чениями этого показателя, полученными для модели, в которой отсутствует лаз и установлен обтекатель за кольцевым диффузором (исходный вариант). Результаты сопоставления приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Коэффициенты сопротивления диффузор-переходов газоходов блока 1200 МВт Костромской ГРЭС при изменении формы и положения лаза и наличии обтекателя

Наименование	Номер варианта		
	Исходный вариант	№1	№2
Коэффициент сопротивления, ед / Снижение коэффициента сопротивления относительно исходного варианта			
Нитка А	0,148 / –	0,165 / 0,017	0,155 / 0,007
Нитка Б	0,122 / –	0,141 / 0,019	0,126 / 0,004
Нитка В	0,119 / –	0,147 / 0,028	0,121 / 0,002

Из таблицы 1 видно, что наиболее удачным является горизонтальное расположение лаза улучшенной формы. При этом величина коэффициента сопротивления в среднем на (3–5) % ниже, чем у исходного варианта. Установка обтекателя улучшенной формы под углом 45° горизонту нецелесообразна, поскольку в этом случае поверхность лаза расположена не вдоль линий тока, а под углом к ним и является источником более интенсивных вихреобразований, чем лаз исходной формы.

Библиографический список

1. Салов, Ю. В. Реконструкция внешних газоходов блока 120 МВт Костромской ГРЭС / Ю. В. Салов, В. В. Варнашов, С. Д. Горшенин // Вестн. ИГЭУ – 2009. – вып. 4. – С. 11-15.

*А.С. Тюленев, студ.; рук. С.И. Шувалов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ТЭС

Высокоэкономичная работа энергоблока во многом зависит как от эффективности работы оборудования, так и квалификации обслуживающего персонала. Интенсивность обучения персонала можно повысить, используя тренажеры оборудования, основанные на физических законах, определяющие протекание основных процессов.

Для создания тренажера энергоблоков разработана имитационная модель теплообменных аппаратов регенеративного подогрева воды, учитывающая изменение фазового состояния и режимов течения греющей среды и вместе с ними коэффициентов теплоотдачи отдельных зон подогревателей.

Расчет процесса теплообмена производится по зонам в направлении движения греющей среды и обогреваемой жидкости. Для подогревателей с горизонтальным размещением греющих поверхностей нагрева учитывается изменение температуры обогреваемой среды по высоте теплообменника, для подогревателей с вертикальными пучками расчеты проводятся по средней температуре обогреваемой среды.

Модель учитывает процессы охлаждения и конденсации греющего пара, охлаждения конденсата, вскипания конденсата в подогревателе при падении давления в подогревателе, конденсации пара из паровоздушной смеси на струях холодной жидкости в смешивающем подогревателе, а также изменение коэффициентов теплоотдачи при изменении расходов и параметров греющей и обогреваемой сред.

Входными параметрами модели являются тип и типоразмер (марка) подогревателя, параметры и расходы греющей и обогреваемой сред. В зависимости от марки подогревателя из базы данных определяются конструктивные параметры отдельных участков подогревателя, по расходам и параметрам сред находятся зоны охлаждения и конденсации греющей среды и рассчитываются коэффициенты теплопередачи зон.

Для проведения расчетов в среде *Delphi* разработан вычислительный комплекс, оформленный в виде отдельного блока компьютерного тренажера и позволяющий проводить обучение персонала как в целом при изучении тепловой схемы, режимов работы блока и отдельно процессов теплообмена в подогревателях ТЭС.

Вычислительный комплекс будет использован на кафедре ТЭС для обучения студентов и повышения квалификации работников ТЭС.

*А.Д. Хвостов, Е.В. Соловьева, студ.;
рук. Б.Л. Шельгин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА «П-88» ПРИ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ГТЭ-110

Парогазовые установки утилизационного типа (ПГУ) на основе современных ГТУ являются наиболее совершенными энергетическими установками по показателям экономичности и маневренности.

В зависимости от нагрузки потребителя изменяется вырабатываемая электрическая мощность ГТУ $N_{ГТУ}$. В ходе эксплуатации ПГУ электростанции работают в переменных режимах, когда их технологические показатели отличаются от расчетных значений.

Предварительно выполнены исследования изменения характеристик котла-утилизатора (КУ) при нагрузках ГТЭ-110 88÷110 МВт.

Для изучения особенностей работы ПГУ-325 при переменных режимах следует знать показатели КУ «П-88» при пониженных (66÷88 МВт) и повышенных (110÷133 МВт) нагрузках ГТЭ-110.

Анализ проводился, используя расчетную модель котла «П-88», созданную с помощью программы «ТРАКТ». Проверка режимов проводилась при температуре наружного воздуха $t_{нар}=15^{\circ}\text{C}$ и максимальном значении коэффициента избытка воздуха за ГТУ, равным 3,9.

Для нагрузок 66÷88 МВт увеличение электрической мощности ГТЭ-110 при постоянном значении $t_{нар}=15^{\circ}\text{C}$ приводит к возрастанию температуры газов перед КУ в пределах 478÷484 °С. В таких условиях температура пара высокого давления находится в диапазоне 380÷420 °С при его расходе 112÷130 т/ч. Температура пара низкого давления составляет 220÷230 °С, а его расход равен 30,1÷33,7 т/ч. При температуре уходящих газов 95÷98 °С КПД КУ составляет 0,7÷0,77.

Применительно к нагрузке 110÷133 МВт при неизменной температуре наружного воздуха $t_{нар}=15^{\circ}\text{C}$ повышение электрической мощности ГТЭ-110 приводит к увеличению температуры газов перед КУ в диапазоне 521÷530 °С. При этом происходит изменение температуры пара высокого давления от 500 до 515 °С при расходе 158÷186 т/ч. Также происходит изменение температуры пара низкого давления в пределах 236÷240 °С и его расхода 39,6÷43,5 т/ч. КПД КУ (брутто) равен 0,83÷0,85 при температуре уходящих газов 102÷104 °С.

Полученные результаты будут применены кафедрой ТЭС при изучении студентами особенностей эксплуатации КУ энергоустановок.

**Секция 2.
ПРОМЫШЛЕННАЯ
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

*Председатель секции
зав. кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»
д.т.н., проф. В.П. Созинов
Секретарь секции к.т.н., проф. В.М. Захаров*

*А.Н. Сурикова, магистр.;
рук. С.В. Лукин, д.т.н., проф.
(ВоГУ, Вологда)*

**РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ УСТАНОВОК ПО
ВЫПАРИВАНИЮ ВЛАГИ ИЗ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

В последнее время находят применение установки по выпариванию влаги из нефтепродуктов, называемые блоками разделения нефтешламов (сокращенно БРНШ). Нефтешламом обычно является эмульсия масла и воды, иногда содержащая твердые примеси. Данные установки появились относительно недавно и, поэтому в настоящее время в литературе нет исследований тепловой работы таких установок. В связи с этим, существующие блоки разделения нефтешлама имеют низкую производительность. Решением данной проблемы является разработка мероприятий по повышению эффективности работы выпарной установки.

В выпарной установке теплота, идущая на процесс паробразования, подводится от водогрейного котла с номинальной тепловой мощностью 95 кВт. Номинальная мощность котла не используется непрерывно, что связано с недостаточной поверхностью теплообмена нагревателя маслошлама. Предлагается увеличить теплообменную поверхность нагревателя, и, следовательно, производительность аппарата в несколько раз.

Кроме того, предлагается использовать пар, выходящий из выпарного аппарата, в специальной утилизационной ступени, что позволит повысить производительность всей установки еще в 2 раза.

В целом, с учетом потерь теплоты, уходящей в окружающую среду, предлагаемые мероприятия позволят повысить производительность

всей установки, включая утилизационную ступень, в $6\div 7$ раз по сравнению с существующим уровнем.

При тепловом расчете таких установок не принимаются во внимание процессы тепло- и массообмена, протекающие при выпаривании влаги из нефтешлама. Считается что процессы протекают быстро и не влияют на работу БРНШ. [1] При этом тепловая эффективность работы БРНШ-3 и удельный расход топлива определяются максимальным расходом пара. Настоящим исследованием было установлено, что максимальная паропроизводительность установки прямо пропорциональна влагосодержанию и диаметру капель влаги в обводненном нефтешламе.

Повысить производительность установки можно за счет увеличения числа полок испарителей, причем, ширина полок не влияет на максимальную производительность, однако расстояние по высоте между соседними полками не должно быть слишком маленьким, иначе при перетекании слоя эмульсии с полки на полку не будет перемешивания ее слоев и не будет возникать «свежая» поверхность эмульсии.

Очевидно, что при одних и тех же размерах корпуса выпарного аппарата число полок $2N$ теоретически может быть сделано бесконечно большим, однако на практике это число не может быть больше D/h_{\min} , где D – внутренний диаметр цилиндрического корпуса выпарного аппарата; h_{\min} – минимальное расстояние по высоте между соседними полками.[2] В этом случае степень осушки нефтешлама может быть намного более глубокой.

Библиографический список

1. Лыков А.В. Тепломассообмен: Справочник. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
2. Исаченко В.Л. и др. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981. – 417 с.

*А.Р. Аляутдинов, асп.; рук. Г.П. Власенко, к.т.н., доц.
(НИУ МЭИ, г. Москва)*

ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПРОДУКТОВ ПОСЛЕ ИХ ОБРАБОТКИ В СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Сублимационная сушка — один из наиболее совершенных способов удаления влаги из объекта сушки. Благодаря высокому качеству получаемых продуктов, сублимационная сушка получила широкое применение в разных отраслях: пищевая промышленность, фарминдустрия, прикладная биотехника. Данный метод имеет ряд преимуществ: позволяет сохранить до 90 – 95% основных витаминов, питательных веществ, белковых комплексов, вкусовых, цветовых и ароматических свойств. Организация процесса сублимационной сушки при атмосферном давлении позволяет экономить электрическую энергию [1].

Экспериментальным путем было определено, что конечная влажность продуктов после процесса сушки достигает 20 % [2]. Данное значение характеризует окончание процесса сублимационной сушки, после которого необходимо досушивание в инфракрасной тепловой камере. В ходе проводимых экспериментов данное пороговое значение определялось с помощью весового анализатора влажности. Но процесс измерения влажности в анализаторе занимает значительное время, что недопустимо при попытке внедрения метода сублимационной сушки продуктов в массовое производство. Поэтому требуется разработать экспресс-метод измерения влажности продуктов после сушки, который будет занимать меньше времени.

Цель настоящей работы заключается в разработке экспресс-метода определения влажности продуктов в процессе сублимационной сушки посредством измерения их электропроводности. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- составлена физическая и математическая модель процесса измерения электропроводности;
- на основе полученных моделей проведены опыты измерения электропроводности. На первом этапе необходимо рассмотрен эталонный продукт (влажность которого составляет около 20 %);

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке экспресс-метода определения влажности продуктов в процессе сублимационной сушки, который позволит с высокой степенью точности и за короткое время определять необходимые характеристи-

ки процесса сублимационного обезвоживания влагосодержащих материалов при атмосферном давлении.

Научная новизна работы заключается в получении новых зависимостей значений электропроводности от влажности и пористости для различных продуктов и уточнении сведений о свойствах сублимированных веществ.

Результаты исследования показали, что мёд не может быть использован в качестве эталонного продукта с влажностью 20% для использования в экспресс-методе определения влажности. Максимальное полученное значение влажности различных образцов не превышало 15%, что опровергает имеющиеся в литературе данные.

После анализа результатов измерения электрического сопротивления рассматриваемых экземпляров мёда обнаружено, что для экземпляра со средним значением влажности 15% полученное значение сопротивления составляет около 1400 Ом·м (Рис.1). Это значение близко к предполагаемым значениям, полученным на основе физической и математической моделей (≈ 700 Ом·м). Не смотря на то, что значение влажности 20 % не было достигнуто в рамках данной исследовательской работы, такое приближение экспериментальных результатов к модельным расчетным значениям даёт надежду, что достоверность теории будет доказана в ближайшее время. Но для этого потребуются дополнительные измерения.

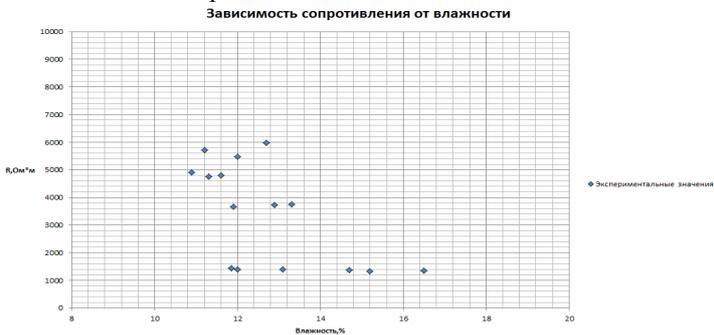


Рисунок 1 - Зависимость электрического сопротивления от влажности объекта исследования.

Библиографический список

1. Атмосферная сублимационная сушка пищевых продуктов / [Б. П. Камовников, А. В. Антипов, Г. В. Семенов, И. А. Бабаев; Редактор Г. А. Гусева]. - М.: Колос, 1994. - 253 с.
2. А.В. Лыков Теория сушки –М: Энергия , 1968

*А.В. Астафьев, студ.; рук. Р.Б. Табакаев, к.т.н.
(ТПУ, г. Томск)*

ТЕРМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА НИЗКОСОРТНЫХ ТОПЛИВ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В России более 60 % территории находится в зоне децентрализованного тепло- и электроснабжения [1]. На этих территориях расположены отдаленные и труднодоступные населенные пункты, «централизация» которых экономически нецелесообразна (низкая плотность населения, удаленность от энергетических ресурсов и др.). Энергоснабжение этих населенных пунктов обеспечивается, как правило, дизельными электростанциями, теплоснабжение – котельными на привозном твердом топливе. Главной проблемой децентрализованного тепло- и электроснабжения в этом случае является высокая стоимость привозного топлива, обусловленная дополнительными затратами на транспортировку. Особенно острой эта проблема становится для поселений, доставка топлива до которых возможна только автомобильным, речным или воздушным транспортом: высокие издержки на транспортировку топлива приводят к себестоимости выработки более 50 рублей за 1 кВт·час [2].

Одним из вариантов решения этой проблемы видится в вовлечении местных ресурсов низкосортного топлива (торфа, биомассы, низкокачественных бурых углей и т.п.) в энергетическое использование для обеспечения нужд автономного тепло- и электроснабжения. Эти ресурсы, как правило, распространены повсеместно и легко извлекаемы при добыче. Однако главными сдерживающими фактором использования низкосортных топлив являются их теплотехнические и механические свойства: высокие значения зольности и влажности, низкая теплота сгорания, расквашиваемость, смерзаемость и др. В связи с этим переработка низкосортных топлив с целью энергетического использования является актуальной задачей научных исследований.

Настоящая работа направлена на комплексное исследование теплотехнических свойств низкосортного топлива и выработку предложений по его переработке в энергетически ценные продукты.

В работе исследованы наиболее распространенные в России виды низкосортного топлива: биомасса, представленная несколькими видами древесины и соломой, торф, бурый уголь. Согласно аттестованным методикам ГОСТ и при помощи высокоточного аналитического оборудования определены теплотехнические характеристики (табл. 1). Минеральная часть топлив исследована рентгенофлуоресцентным и

рентгенофазным анализами, количественное содержание массовой доли диоксида углерода карбонатов определено ускоренным объемным методом согласно ГОСТ 13455-91.

Таблица 1 – Теплотехнические характеристики исследуемых низкосортных топлив

Теплотехническая характеристика	Биомасса			Образец торфа			Бурый уголь	
	солома	древесная щепа	сосновые опилки	№ 1	№ 2	№ 3	таловский	монгольский
Зольность на сухую массу A^d , %	2,8	1,9	1,6	32,6	22,8	25,4	23,4	13,2
Выход летучих веществ V^{daf} , %	78,5	81,5	83,4	62,9	74,8	70,7	60,6	45,7
Низшая теплота сгорания Q_i^f , МДж/кг	17,7	17,1	18,1	7,6	11,8	11,4	14,6	19,5

Определен выход продуктов полукоксования по ГОСТ 3168-93 и исследованы теплотехнические характеристики получаемых при этом продуктов. Установлено, что после полукоксования теплотворность органической части углеродистого остатка из угля и торфа вырастает на 20-30%, однако более высокое значение зольности приводит к незначительному увеличению теплоты сгорания при пересчете на рабочее значение. В этом случае возможно проводить предварительную обработку сырья с целью снижения зольности получаемого углеродистого остатка за счет удаления карбонатов (содержание карбонатов в пробах исходного торфа составило 8-20% масс.). Термическое воздействие на органическую и минеральную части топлива способствуют протеканию экзотермических реакций, суммарный эффект от которых составил от 230 до 1400 кДж/кг.

При полукоксовании биомассы удается получить углеродистый остаток с высоким содержанием углерода, низкой зольностью и теплотой сгорания около 30 МДж/кг, что позволяет на его основе изготавливать топливо конкурентоспособное каменному углю.

Библиографический список

1. Самылин А., Яшин М. Современные конструкции газогенераторных установок // ЛесПромИнформ. – 2009. – № 1. – С. 78–86.
2. Парников Н.М. Повышение энергетической эффективности комплексов децентрализованного электроснабжения на примере Республики Саха (Якутия): Автореферат ... дисс. канд. техн. наук. – Томск: ТПУ, 2009. – 23 с.

*Е.Г. Бойко, студ.;
рук-ли Д.Б. Муслина, к.т.н., Т.А. Петровская, старш. препод.
(БНТУ, г. Минск)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЗАВОДОВ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ЛЬНОТРЕСТЫ

В связи с необходимостью разработки новой долгосрочной стратегии совершенствования экономики Беларуси на период до 2030–2050 гг., гармонично сочетающей инновационные и эволюционные изменения хозяйственного механизма, чрезвычайно актуально определиться с тенденциями дальнейшего развития промышленных предприятий непосредственно на местах, поскольку поддержка государства не может быть бесконечной. Уже к 2020 г. в мире прогнозируется резкий рост стоимости всех ресурсов, что вызовет падение производства на фоне растущего загрязнения окружающей среды, и вызванное им изменение климата [1, 2]. В этой связи разработка первоочередных мер по подготовке не только экономического механизма страны, но и каждого предприятия в отдельности к грядущим изменениям на сырьевых и энергетических рынках и необходима, и очень своевременна.

Лен сегодня занимает должное место в хозяйственном комплексе Беларуси. Благодаря наличию требуемого сочетания почвенно-климатических условий это традиционная белорусская сельскохозяйственная культура, характеризующаяся уникальными потребительскими свойствами, стабильным спросом внутри страны и за ее пределами [3]. Государство вложило большие инвестиции в развитие отрасли: только на модернизацию льнозаводов 1 трлн 428 млрд BYR, на закупку новой техники 1 трлн 425 млрд BYR. В 2015 г. отрасль должна выйти на эффективную работу по переработке на 18 предприятиях страны 60 тыс. т льноволокна высокого качества [3].

На фоне приведенных затрат по обновлению материально-технической базы отрасли необходимо незамедлительное устранение узких мест, которые могут замедлить темпы выхода льноводства на позиции, отвечающие требованиям времени. Одним из проблемных мест в технологии переработки льнотресты является сушка сырья, что связано с климатическими особенностями Беларуси и России. Актуальность задачи объясняет обилие работ, посвященных изучению процесса сушки и разработке конструкций сушилок [4]. В подавляющем числе случаев рассматривается конвективная сушка в конвейерных сушилках, приме-

нение которых сложилось исторически из технологий ручной уборки, складирования и транспортировки льнотресты. Сушка тресты на упомянутых сушилках происходит в слое непосредственно перед тереблением. С переходом к комплексной механизации всех перечисленных процессов на первичную переработку на заводы поступают рулоны $1,2 \times (1,5-1,6)$ м, массой до 250 кг, которые складировуются и сырье поступает на сушку непосредственно перед дальнейшим переделом. Период перед началом складирования рулонов и окончанием переработки растягивается на 252 дня и, в случае влажного сырья, за это время треста перегнивает. Лен наиболее трудоемкая сельскохозяйственная культура агропромышленного комплекса Беларуси [3] и такие потери ее недопустимы. Размотка рулона и сушка тресты в существующей технологической цепи происходит непосредственно перед тереблением, когда продукт, по описанным причинам, уже потерян. Требуется разорвать жесткую связку процесса сушки и трепания тресты.

Решены или решаются многие узкие места, связанные с выращиванием льна, переработкой качественного сырья. Среди проблем, которые подлежат устранению, находится и сушка тресты, поступившей на предприятия первичной переработки. Нерешенность проблемы приводит к порче тресты непосредственно в тюках, поступающих на переработку, когда в ходе длительного хранения сырье загнивает и теряется, что приводит к большим потерям материальным и моральным, затрудняет дальнейшую модернизацию из-за снижения прибыли и удлинения срока возврата инвестиций. Ситуация требует изменения и решение соответствующих задач весьма актуально, в связи с чем ниже рассматривается возможный комплекс взаимосвязанных мероприятий. Наконец, требуются мероприятия по снижению энергетической составляющей себестоимости обработки тресты.

Библиографический список

1. **Пророков, Н.** «Пределы роста»: мир приближается к коллапсу [электронный ресурс]: – 2014. – Режим доступа: <http://theoryandpractice.ru/posts/9566-predely-rosta> – Дата доступа: 11.09.2014.
2. **Медоуз, Д.** Пределы роста. 30 лет спустя / Д. Медоуз, Й. Рандерс, Д. Медоуз. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 342 с.
3. **Голуб, И.А.** Инновационные разработки для белорусского льноводства / И.А. Голуб // Льноводство: реалии и перспективы. – Материалы Международной науч.-практич. конференции. – аг. Устье Оршанского р-на Витебской обл., 27–28 июня 2013 г. – РУП «Институт льна». – Могилев. – 2013. – С. 3–8.
4. **Баринов, А.А.** Имитационная модель системы управления положением слоя льносырца перед его трепанием [Текст] / А.А. Баринов, Е.Л. Пашин // Наука, сельское хозяйство и промышленность – пути развития и ожидаемые результаты. – Вологда, 2008. – С. 213-214.

*Ю.Н. Звонарева, асп.; рук. Ю.В. Ваньков (д.т.н., проф.)
(КГЭУ, г.Казань)*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

При управлении современными системами теплоснабжения решаются вопросы обеспечения потребителей требуемыми параметрами теплоносителя, связанные с установкой заданных давлений, распределением потоков и т.п.

Решение более сложных задач, таких как прогнозирование поведения многокольцевой системы теплоснабжения города, на которую работают одновременно несколько источников тепла, при различных внешних условиях, требует внедрения электронного моделирования режимов работы тепловых сетей.

В частности оптимизация взаимодействия элементов наружных и внутренних инженерных систем на пути от источника теплоты до потребителя позволяет более полно реализовать имеющийся потенциал ресурсосбережения. Экономия энергии достигается за счет рационального отпуска тепловой энергии, регулирования гидравлического режима и внедрения автоматизированных тепловых пунктов, являющихся связующим звеном внутренних и внешних тепловых сетей [1].

Инструментом решения основных проблем, имеющихся в конкретной тепловой сети, являются компьютерные модели, дающие возможность определить гидравлический и тепловой режим системы.

Моделирование режимов отпуска тепла при помощи электронной схемы позволяет анализировать варианты загрузки теплофикационного оборудования с точки зрения минимизации затрат на передачу тепла, удельных расходов топлива на отпуск тепловой и электрической энергии с учетом возможностей тепловой сети при транспортировке теплоносителя.

Результаты ранее проведенных нами исследований [2] показали, что пакеты программ, созданные для моделирования работы систем теплоснабжения, позволяют рассчитывать установившиеся режимы, упуская из вида динамичность системы. В этом случае имеется необходимость верифицировать полученные результаты на физических моделях (лабораторных стендах, экспериментальных установках).

Лабораторные стенды позволяют проводить оценку адекватности теоретических моделей управления режимами работы инженерных систем без риска нанесения ущерба реальным объектам в случае проведения натурных исследований.

Сопоставление результатов, полученных при различных способах (математическое моделирование, лабораторный эксперимент) позволяет дать более точную оценку энергетической эффективности внедряемых энерго- и ресурсосберегающих мероприятий.

Результаты проведенных исследований [3] показали, что значительное влияние на гидравлический режим системы теплоснабжения, оказывает уровень оснащённости потребителей системы АИТП в 60%. При этом значении требуется значительное увеличение располагаемого напора на входе в рассматриваемый контур, следовательно, и увеличение давления в подающем трубопроводе. Повышение давления сетевой воды может привести к возникновению аварийных либо переходных гидравлических процессов, вызванных колебанием давления в системе теплоснабжения города в целом. Этого нельзя допускать с точки зрения надежности эксплуатируемых систем теплоснабжения, являющейся одним из важнейших факторов при осуществлении договорных отношений между теплоснабжающими организациями и потребителями тепловой энергии.

Отсутствие так называемых «перетоков» и «недоотпусков тепла» позволяет экономить не только потребителям на приобретении качественных услуг, но и генерирующим компаниям на топливе и ремонте основного и вспомогательного оборудования.

Библиографический список

1. Применение средств автоматизации Danfoss в тепловых пунктах систем центрального теплоснабжения зданий. Пособие. RB.00.H8.50.-М.:ООО «Данфосс», 2014. 63 с.
2. **Звонарева Ю.Н., Ваньков Ю.В.** Энергосбережение в системах теплоснабжения крупных муниципальных объединений, запитанных от нескольких источников тепла// Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326. – № 11.
3. **Звонарева Ю.Н., Ваньков Ю.В., Назарычев С.А.** Оценка экономического эффекта для потребителей при установке автоматизированных узлов учета и регулирования тепловой энергии // Инженерный вестник Дона, 2015, №4 URL: iv.don.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3315

Е.В. Измайлова, к.т.н.
(КГЭУ, г. Казань)

КЛАССИФИКАЦИЯ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Для диагностирования трубопроводных систем используются интегральные способы контроля, в частности метод акустической эмиссии (АЭ) [1]. Информационные параметры, которые должны фиксироваться при анализе сигналов АЭ: порог, относительно которого рассчитывается число осцилляций; амплитуда; длительность; время нарастания сигнала; относительная энергия сигнала [2].

Для дискретной АЭ вводятся следующие информационные параметры: общее число импульсов; активность АЭ; суммарная АЭ; скорость счета; распределение временных интервалов между отдельными АЭ импульсами; спектральная плотность дискретной АЭ.

Для построения системы распознавания источников сигналов АЭ на базе искусственных нейронных сетей были проведены исследования, где источником сигналов АЭ был источник Су-Нильсена [3]. Для классификации входных данных параметров АЭ предложена нейронная сеть LVQ (Learning Vector Quantization – сети векторного квантования) (рис. 1).

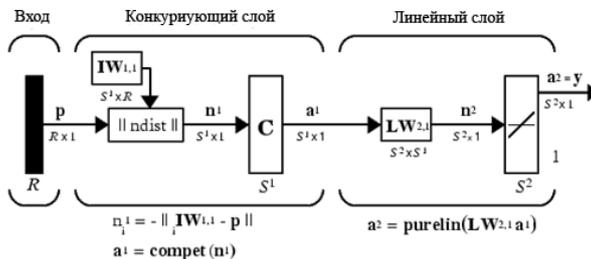


Рисунок 1 - Структура нейронной сети LVQ

Нейронная сеть состоит из двух слоев: скрытый (конкурирующий слой) и линейный выходной слой. Используемая в работе нейронная сеть имела 12 нейронов в конкурирующем слое и 2 нейрона в выходном слое, что соответствует двум типам распознаваемых сигналов. Количество нейронов конкурирующего слоя выбиралось методом подбора. Создание и обучение нейронной сети проводили с применением среды графического программирования LabVIEW и, созданной в ней, программы «Спектралы» [4].

Создание нейронной сети подразумевает прохождение следующих этапов (рис. 2). Нейронная сеть может обучаться по одному из двух алгоритмов обучения: тренировка и адаптация. В случае адаптации входные вектора предоставляются нейронной сети в порядке их представленном пользователем (учителем), а в случае тренировки – случайным образом. Метод тренировки применяется чаще.



Рисунок 2 - Этапы проектирование систем на базе искусственных нейронных сетей

В качестве входных параметров были выбраны следующие: амплитуда сигнала, общее число импульсов, время нарастания сигнала, продолжительность и относительная энергия. Таким образом, учитывая количество датчиков (4 датчика GT350) и указанный набор характеристик, на вход нейронной сети подавали вектор, состоящий из 20 значений. Указанная нейронная сеть относится к классу сетей, обучение которых производится при помощи учителя. Поэтому полученные экспериментальные данные были разделены на 2 группы. Первая использовалась для создания и обучения нейронной сети, вторая – для проверки ее работоспособности. Для классификации сигналов АЭ возможно применять нейронные сети, поскольку они достаточно успешно справляются с классификацией сигналов.

Библиографический список

1. **Зиганшин Ш.Г., Ваньков Ю.В., Измайлова Е.В.** Монография «Контроль технического состояния трубопроводов акустическими методами» – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2015. – 160 с. ISBN 978-5-00019497-3.
2. **Иванов В.И., Бигус Г.А., Власов И.Э.** Диагностика безопасности. Акустическая эмиссия. Под общ. ред. академика РАН Клюева В.В. – М.: РОНКТД, 2011. – 192с.
3. **Измайлова Е.В., Ваньков Ю.В.** Реализация источника Су-Нильсена для проверки работоспособности акустико-эмиссионной аппаратуры. / Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Измерения: Состояние, перспективы развития». Челябинск: ЮУрГУ. 2012. Т. 1, С. 115-117.
4. **Измайлова Е.В.** Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015661072 «Spektralys» / Авторы: Измайлова Е.В., Ваньков Ю.В., Назарычев С.А., Малахов А.О. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 16.10.2015 г.

*Д.С. Карев, А.Б. Иванченко, студ.; рук. В.М. Мельников, к.т.н., доц.
(ВлГУ, Владимир)*

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ЕЕ ПЕРЕДАЧЕ ПО ТЕПЛОПРОВОДАМ С ПРИМЕНЕНИЕМ CAD/CAE-ТЕХНОЛОГИЙ

Целью работы является повышение точности определения потерь теплоты при транспорте теплоносителя в системе централизованного теплоснабжения за счёт учёта неравномерности гидравлических и теплофизических параметров движения теплоносителя. Для достижения поставленной цели были решены следующие основные задачи: проведен предварительный расчет начальных параметров теплоносителя, определены граничные параметры внешней поверхности теплопровода, в программном комплексе SolidWorks смоделирована 3D-модель теплопровода, включающая три элемента: теплоноситель, труба, изоляционный слой, в программном комплексе ANSYS Fluid Flow (CFX) и ANSYS Steady-State Thermal выполнен расчет теплового потока через поверхность трубопровода, разработана методика расчета величины тепловых потерь.

Построение трёхмерной модели было выполнено в CAD-программе SolidWorks. Построены 3D модели теплоносителя, металлической трубы и теплоизоляционного слоя. Расчёт выполнялся в 4 этапа. На первом этапе в CAD-программе SolidWorks строится 3D-модель тепловой сети системы централизованного теплоснабжения, на втором этапе осуществляется разбивка тепловой сети на участки и элементы местных сопротивлений, при этом за участок принимается элемент с постоянным расходом, а за местное сопротивление – элемент разветвления потоков. Третий и четвертый этапы выполняются в программном комплексе ANSYS. На третьем этапе осуществляется гидравлический расчет в ANSYS Fluent, на четвертом этапе – расчёт теплопередачи через поверхность теплопровода поршня в программном комплексе ANSYS Steady-State Thermal. В результате расчёта были получены поля распределения давления и температуры внутри теплопровода.

Полученные таким образом в ANSYS Fluid Flow (CFX) данные экспортируются в виде граничных параметров внутренней поверхности цилиндрической стенки теплопровода для каждого участка (местного сопротивления). Граничными условиями наружной поверхности изолированного теплопровода является расчетная температура воздуха в зимний период и коэффициент теплоотдачи поверхности изолированного теплопровода. В результате расчета получаем плотность теплового потока на внешней поверхности теплопровода. Среднее значение

плотности теплового потока через цилиндрическую стенку изолированного теплопровода (местное сопротивление) умножается на площадь поверхности теплопровода. Таким образом рассчитываются потери теплоты на участке (местном сопротивлении). Следующим шагом определяется величина теплового потока, транспортируемая теплоносителем в конце участка (местного сопротивления) теплопровода. Полученное значение применяется для расчета падения температуры теплоносителя по длине участка (местного сопротивления) теплопровода.

При расчете последующего участка (местного сопротивления) в качестве начальных параметров подставляются значения, полученные при расчете предыдущего участка (местного сопротивления) теплопровода. Дополнительно для каждого участка определяется величина потерь тепловой энергии в результате утечек теплоносителя, т.к. потери тепловой энергии на участке тепловой сети включают потери тепловой энергии теплопередачей через теплоизоляционную конструкцию теплопровода и тепловые потери с потерями и затратами теплоносителя [1].

Результатами выполнения данного расчета является:

1) построение трёхмерной модели системы централизованного теплоснабжения;

2) разработка методики моделирования гидравлического процесса движения теплоносителя по участку (местному сопротивлению) теплопровода в программе ANSYS Fluent;

3) разработана методика расчёта плотности теплового потока через тепловую изоляцию теплопровода в программе ANSYS Steady-State Thermal;

4) разработана методика расчёта потерь тепловой энергии при её передаче и падения давления при движении теплоносителя по участкам теплопровода.

Использование данной методики проведения расчётов позволяет получать более точные расчётные данные за счёт выполнения связанных задач, исключающего осреднение переходных параметров [2].

Библиографический список

1. **Карев Д.С.,** Мельников В.М. Методология анализа повышения энергетической эффективности работы системы централизованного теплоснабжения // IX Семинар ВУЗов по теплофизике и энергетике: сборник материалов докладов / в 4 т. Т. II. – Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. – 248 с. С. 191-202.

2. **Карев Д.С.,** Мельников В.М. К вопросу определения потерь теплоты при ее передаче по тепловым сетям. Материалы докладов IX Международной молодежной научной конференции «Гинчуриные чтения» / под. общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. В 3 т.; Т. 2. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2014. – 224 с. С 58-59.

**В.Н. Куценко, асп.; Н.Н. Сеницын, д.т.н., профессор.
(ЧГУ, г. Череповец)**

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В КУСКЕ УГЛЯ ПРИ СУШКЕ В ТРУБЕ – СУШИЛКЕ

Для улучшения физических свойств топлива его подсушивают. Данный процесс может осуществляться в коротких сушильных трубах. Для оценки температурного поля кусков угля в трубе - сушилке разработана математическая модель прогрева частиц топлива сферической формы, позволяющая оценить температурное поле по сечению куска и положение фронта испарения влаги.

Целью исследования является определение координаты фронта и поля температуры в сухой и влажной частях. Приведем математическую модель одномерного симметричного процесса сушки шара из угля, которая включает в себя сквозное уравнение теплопроводности, общее для влажной и сухой зон шара:

$$c(T) \cdot \rho(T) \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} \cdot \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{2\lambda(T)}{r} \cdot \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \quad (1)$$

Интегрируемое в области: $0 \leq r \leq R_0$; $0 \leq \tau \leq \tau_k$; начальное условие: $T|_{\tau=0} = T^0$; граничное условие: при $r = 0$, $\partial T(0, \tau) / \partial r = 0$; при $r = R_0$, $-\lambda(T) \frac{\partial T(R_0, \tau)}{\partial r} = \alpha [T_{\text{ср}} - T(R, \tau)]$

При этом выделение теплоты фазового перехода в уравнении (1) учитывают с помощью эффективной теплоёмкости $c_{\text{эф}}$. Данное уравнение в общем случае может быть решено только численным методом. При использовании явной схемы аппроксимации производных по координате температуру в следующий момент времени $(n+1)$ в N внутренних узлах определяют по формуле:

$$T_i^{n+1} = T_i^n + \frac{\Delta \tau}{c(T_i^n) \cdot \rho(T_i^n) \cdot \Delta r^2} \cdot [\lambda_{i+1/2} \cdot (T_{i-n} - T_i) - \lambda_{i-1/2} \cdot (T_i - T_{i-1})]^n, \quad (2)$$

Погрешность численного решения будет зависеть от настроенных параметров алгоритма N и ΔT . Для выбора этих параметров выполнили тестирование численного решения задач путём оценки погрешности баланса теплоты в теле в процессе моделирования реального объекта [1], путем составления уравнение баланса в момент времени τ :

$$Q_{\text{пр}} = Q_T \quad (3)$$

где $Q_{\text{пр}}$ - количество теплоты, пришедшее в тело за время τ ; Q_T - количество теплоты, оставшееся в теле к моменту времени τ . При исполь-

зовании метода конечных разностей эти балансы вычисляются приближённо. Для оценки погрешности моделирования определяют:

$$\varepsilon = (Q_{np} - Q_T) / Q_{np} \cdot 100\% \quad (14)$$

Численное решение практически совпадает с точным при $N = 124$. При этом $\varepsilon = 0,92$, $\Delta T = 2K$.

На рис. 2 представлено сравнение расчётных данных с экспериментальными [2]:

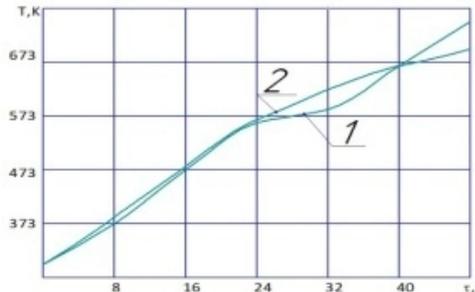


Рисунок 1 - Прогрев частицы интинского угля: $d = 16,74 \cdot 10^{-3}$ м, $T_{cp} = 952K$, $w_b = 5,5$ м/с. 1- опытная кривая [4] при $\tau/R_0 = 0,8$; 2- расчётная кривая при $\tau/R_0 = 0,8$.

Анализ полученных данных показал удовлетворительное совпадение расчётных и экспериментальных кривых прогрева. Резкое возрастание скорости прогрева частицы при $T = 36$ с (кривая 1) соответствует момент воспламенения летучих. Удовлетворительное совпадение расчётных и экспериментальных данных по прогреву частиц твердого топлива позволяет использовать данную методику при анализе процессов, происходящих при нагреве частиц топлива.

Библиографический список

1. **Кабаков З.К.** Математическое обеспечение металлургических процессов. Мет. указания и выполнение лабораторной работы "Тестирование математических моделей тепловых процессов". Учеб.-метод. пособие. Череповец. ЧГУ. 2010-89с.
2. **Любов В.К.** Совершенствование топливно-энергетического комплекса путём повышения эффективности сжигания топлив и вовлечение В энергетический баланс отходов переработки биомассы и местного топлива. Дис. докт. техн. наук: 05.14.04 Архангельск, 2004. - 453 с.
3. **Синицын Н. Н.,** Кабаков З.К., Домрачев Д.А. Математическая модель сушки коры деревьев при высокотемпературной нагреве. Вестник ЧГУ. 2013. N 2. Т. 2 с. 24-28.
4. **Синицын Н. Н.,** Кабаков З.К., Степанова А.В., Малинов А.Г. Модель замораживания температурного концентрата. Вестник ЧГУ 2013. N 2. Т.1. с. 19-22.

*С. Г. Мельников асп.; В.Н. Блиничев, д.т.н., проф.
(ИГХТУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЭКРАННОЙ ИЗОЛЯЦИИ ВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ

Процессы, проводимые в вакуумных электропечах, многообразны: спекание, химико-термическая обработка, закалка, производство керамики и стекла, нанесение покрытия и т.п. Нагрев в вакууме исключает взаимодействие обрабатываемого материала с печной средой и существенно снижает наличие вредных примесей и дефектов в получаемом продукте [1]. В вакуумных печах с экранной теплоизоляцией передача тепла осуществляется лучистым теплообменом. Конвективный теплообмен отсутствует.

Для усовершенствования конструкций вакуумных электропечей, разработки и корректировки технологических режимов, проводимых процессов, необходимо иметь представление о распределении температуры в экранной металлической изоляции.

С целью получения информации о распределении температуры в экранной металлической изоляции высокотемпературной вакуумной печи нами было проведено исследование температурного поля теплового узла.

Эксперименты проводились на высокотемпературной вакуумной электропечи промышленного использования, конструкция которой представлена на рисунке 1. Внутри электропечи находится разъемная экранная изоляция, состоящая из двух полукруглых половинок и нагревателя из вольфрамового прутка диаметром 4 мм. Для определения количества экранов и их материала было использовано правило: один экран на 200°С [2]. Таким образом, количество экранов для печи с максимальной рабочей температурой 1800°С составило 9 штук, расположенных друг за другом. Три внутренних экрана выполнены из вольфрамового листа толщиной 0,3 мм. Следующие пять – из молибденового листа толщиной 0,2 мм. Последний экран, сделан из нержавеющей стали толщиной 3 мм. Внутренний диаметр первого экрана 120,4 мм. Расстояние между экранами 4 мм.

Исследование заключалось в проведении ряда экспериментов по измерению температуры за каждым изоляционным экраном при разных температурах в центре печи.

Измерения проводились при температурах 1100°С, 1300°С и 1500°С. Время выдержки после выхода на заданную температуру со-

ставило 20 мин., 15 мин. и 15 мин. соответственно. Глубина вакуума в электропечи составляла от 5×10^{-5} до 3×10^{-4} мм. рт. ст.

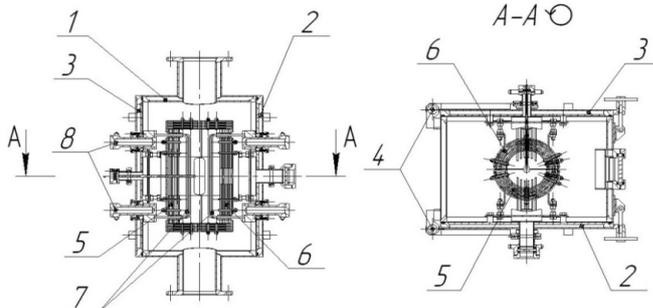


Рисунок 1 - Конструкция вакуумной электропечи: 1 – водоохлаждаемый корпус; 2, 3 – водоохлаждаемые крышки; 4 – поворотная ось; 5, 6 – разъемная экранная изоляция; 7 – нагреватели; 8 – водоохлаждаемые токоподводы

Полученные установившиеся температуры за экранами при различных температурах в центре, представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Значения установившихся температур за каждым экраном при разных температурах в центре электропечи

Т _ц , °С	Т за экраном № (Материал экрана), °С							
0	2 (W)	3 (W)	4 (Mo)	5 (Mo)	6 (Mo)	7 (Mo)	8 (Mo)	9 (нерж)
1100	956,80	908,8	856,8	800,6	744,6	661,8	424	419,3
1300	1142,2	1088,8	1029	965	900,8	811	557	540,9
1500	1308	1248,6	1188,4	1120,4	1045	943,6	673,2	650,6

По полученным результатам проведенных исследований можно сделать следующее выводы:

1. Температура в изоляции от центра печи до предпоследнего экрана изменяется линейно.

2. Последний экран из нержавеющей стали практически не участвует в сопротивлении тепловому потоку и работает в критических температурах.

3. Линейный характер снижения температуры в экранной изоляции печи показывает, что материал экрана, вольфрам или молибден, не влияет на эффективность отражения лучистой энергии.

Библиографический список

1. Лейканд М. С. Вакуумные электрические печи. М., «Машиностроение», 1977, 52 с.
2. Charles E. David Rowe. Refractory metals / Charles E. David Rowe // Heat treating progress–2003.–November/December.– P. 56-60.

*М.В. Митин, маг.; рук. Н.Г. Баширов, к.т.н., доц.
(ВоГУ, г. Вологда)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ЗДАНИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

В условиях растущего дефицита и постоянного подорожания энергоносителей очень актуальным является поиск путей снижения расхода тепловой энергии при отоплении зданий. Необходимость рационального использования и экономии топливно-энергетических ресурсов вызвана также тем, что большая часть территории нашей страны относится к климатическому району, отличающемуся продолжительным отопительным периодом, [1]. На практике предлагаются различные способы экономии энергии на теплоснабжение зданий: применение современных методов теплозащиты наружных ограждений, улучшение энергетического баланса домов за счет пассивного использования энергии солнца, применение индивидуального автоматического оптимального регулирования энергопотребления, [2].

Значительные резервы экономии тепловой энергии заключены также в рациональном архитектурном проектировании жилых и общественных зданий. В данном случае экономия может быть достигнута за счет выбора дифференцированных по сторонам света стен и размера окон, применением в жилых домах моторизованных утепленных ставней и ветроограждающих устройств и соответствующего выбора форм зданий. В данной статье на основе опубликованных материалов рассмотрим вопросы оптимизации теплопотерь в зданиях различной формы.

Как известно, чем больше наружная поверхность здания при одинаковом объеме его помещений, тем выше потери тепловой энергии здания. Это подтверждается известным соотношением теплопередачи через наружные стены, где потери тепла через расчётную наружную поверхность в единицу времени рассчитывается по формуле:

$$Q = k \cdot (t_{c1} - t_{c2}) \cdot S,$$

где Q - тепловой поток, (Bm);

$$k \text{ - коэффициент теплопередачи, } \left(\frac{Bm}{M^2 \cdot ^\circ C} \right);$$

t_{c1}, t_{c2} температуры комнатой и уличной сред, ($^\circ C$);

S – площадь наружной стены, (M^2).

Во-первых, поставим и решим такую задачу - найти оптимальную форму конструкции дома при минимизации теплопотерь через ограждающие конструкции (через ограждающие стены, пол и потолок). При

анализе оптимизации теплотереть через ограждающие поверхности коэффициент теплопередачи через стенку (k) и температуры сред в здании и на улице (t) оставим постоянными. Простое аналитическое решение можно получить при оптимизации тепловых потерь в отапливаемых зданиях прямоугольной формы. В решении задачи можно варьировать сторонами здания (или пропорциями сторон здания), но оставляя одинаковыми объемы помещений сравниваемых зданий. Если для сравнения зданий взять одинаковое количество этажей, то вместо сравнения объемов помещений можно сравнивать общие площади теплотереть здания ($S_{общая}$). Поэтому для анализа различных зданий и для нахождения оптимальной конструкции дома взято понятие эффективной геометрической конструкции дома (E), [3]:
$$E = \frac{S_{общая}}{S_{полез}}$$

Эффективность геометрической конструкции дома рассмотрена для трех простейших вариантов зданий прямоугольной формы: квадрата, слабо вытянутого и сильно вытянутого дома с одинаковыми полезными площадями зданий.

Из проведенных расчетов получено, что, меняя форму конструкции здания, можно изменить энергетическую эффективность дома при одинаковых полезных площадях зданий теплотерети будут сильно меняться в зависимости от формы конструкции здания (теплотерети увеличиваются в зданиях вытянутой формы), а также эффективность геометрической конструкции дома увеличивается в зависимости от этажности постройки.

Также в статье рассмотрена двухскатная, четырехскатная, полусферическая форма крыши дома с точки зрения минимума теплопередачи через ограждающие конструкции. На основе полученных данных сделан вывод, что наиболее эффективная геометрическая конструкция крыши - это полусфера.

Библиографический список

1. Сапожников С.З., Китанин Э.Л. Техническая термодинамика и теплопередача: Учебник для ВУЗов. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. 319 с.
2. Е. Г. Малявина, Теплотерети здания, Справочное пособие, Москва «АВОК-ПРЕСС» 2007 265с.
3. Кафтanova Ю.В., Оптимизация тепловых потерь при выборе проекта дома или коттеджа // Справочник OIS, URL: <http://www.mat.net.ua/autor/repair2004.htm> (дата обращения 19.10.2016)

*Н.В. Мнушкин, рук. С.В. Лукин, д.т.н., проф.,
(ВоГУ, г. Вологда)*

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Энергосбережение и повышение энергоэффективности является одной из технологий, которая должна развиваться в первую очередь, однако сдерживающими факторами по-прежнему являются: недостаток средств на модернизацию устаревшей структуры теплоснабжения и другие технические и человеческие факторы.

Низкий класс энергоэффективности строящихся и эксплуатируемых зданий [1] и высокие коммунальные платежи вызваны в первую очередь: несогласованностью действий на объекте, отклонениями от проекта при строительстве зданий и сооружений подрядными и субподрядными организациями, а также денежные махинации при расчете платы за тепловую энергию управляющими компаниями и отсутствие качественной работы по энергосбережению в эксплуатируемых жилых зданиях.

В настоящее время существуют рекомендации по энергосберегающим мероприятиям и методики оценки их экономической эффективности реализации энергосберегающих мероприятий [2-4]. В общественных и в частности в муниципальных зданиях внедрение этих мероприятий не составляет труда, т.к. существует отдельное финансирование, однако отсутствуют положительные примеры заключения энерго-сервисных контрактов на их внедрение в жилищном секторе. Более того, в жилищном секторе существует более острая проблема – умышленное завышение платы за тепловую энергию управляющими компаниями. Разница в реальном теплопотреблении здания и фактически оплаченном может составлять от 30 – до 50 %.

Для примера возьмём многоквартирный дом, площадью 35 тыс. м² в г. Вологда при тарифе на тепловую энергию 1720,44 руб/Гкал. Тепловая энергия, потребленная в ноябре 2016 года (523 Гкал), определяемая по тепловому счетчику теплоснабжающей организацией за ноябрь 2016 года должна стоить 899790,1 рублей, однако фактическая сумма платежа за тепловую энергию (789,2 Гкал), отраженной в квитанциях, составленных управляющей компанией, составляет 1357771,2 рублей.

Решение проблем повышения класса энергетической эффективности при уменьшении платы за тепловую энергию в жилищном секторе

при строительстве и эксплуатации зданий должно решаться комплексно. Определим наиболее значимые задачи:

- определение класса энергетической эффективности зданий, согласно [5],
- предоставление общего доступа для жильцов к мониторингу потребления тепловой энергии по тепловому счетчику из индивидуального теплового пункта (при отклонениях реального потребления от значений в квитанциях на оплату), и к мониторингу фактического теплотехнического состояния ограждающих конструкций [6] и утепление ограждающих конструкций (при отклонениях относительно проектных значений утепления),
- замена ламп накаливания на светодиодные (с датчиками движения в местах общего пользования),
- модернизация индивидуального теплового пункта,
- наладка инженерных систем,
- установка крышных ветрогенераторов, совмещенных с электрическим источником теплоты [7] (для снабжения электрической энергией для освещения и отопления мест общего пользования).

Библиографический список

1. **Крышов С.И.** Проблемы экспертной оценки тепловой защиты зданий. С.И. Крышов, И.С. Курилюк. Научно-технический и производственный журнал «Жилищное строительство». Доклады VII Академических чтений «Актуальные вопросы строительной физики» – М.: АО «ЦНИИЭП жилища». – 2016. – №7. – С. 3 – 5.
2. **Е.В. Голосова.** Формирование интегральной системы управления энергосбережением в жилищном фонде крупного города: диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук. Санкт–Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, 2015 г.
3. **Бухмиров В.В., Нурахов Н.Н., Косарев П.Г., Фролов В.В.** Методические рекомендации по оценке эффективности энергосберегающих мероприятий - Москва: Изд-во МИСиС, 2014. – 96 с.
4. Энергосбережение на промышленных предприятиях: Учебное пособие / Под ред. проф. М.И. Яворского. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 134 с.
5. Об утверждении Правил определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов: Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 06 июня 2016 года №399/пр // СПС «Гарант».
6. ГОСТ 26254-84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций». М.: Изд-во стандартов, 1985.-24 с.
7. **Мнушкин Н.В.** Математическая модель процессов теплообмена в электродном теплогенераторе. Н.В. Мнушкин, А.Н. Наимов. Современные методы прикладной математики, теории управления и компьютерных технологий: сб. тр. IX междунар. конф. «ПМТУКТ-2016» / под ред. И.Л. Батаронова, А.П. Жабко, В.В. Провоторова. – Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2016. С. 249-251.

*М.В. Пурим; рук. В.М. Мельников, к.т.н., доц.
(ВлГУ, Владимир)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ

Проектирование тепловых пунктов, как индивидуальных, так и центральных, является сложной задачей для теплоэнергетиков и проектировщиков систем теплогазоснабжения и вентиляции. Сложность задачи возросла, т.к. системы теплоснабжения находятся в постоянном развитии и изменяются в соответствии с требованиями времени. При этом обязательным становятся требования энергоэффективности и снижения затрат на всех стадиях проектирования и, монтажа и эксплуатации тепловых пунктов.

Основным нормативным документом является [1], который постоянно дополняется различными документами и книгами. На основании обширного практического опыта проектирования и эксплуатации современных тепловых пунктов была предпринята попытка формирования методики проектирования, основные положения которой изложены в [2]. Методика получила одобрение и определённое применение среди специалистов. В тоже время существует мнение, что доля индивидуального проектирования может быть снижена путём применения формирования любой системы из блоков различной степени укрупнённости, в том числе и блочных тепловых пунктов.

В настоящее время ведущие фирмы по выпуску оборудования предлагают различные варианты исполнения блочных тепловых пунктов и оказывают помощь в уточнении параметров, а также и онлайн-версии расчётных программ.

Тем не менее, в определённых сложных случаях, оправдан индивидуальный подход, основанный на нормативном методе расчёта основных параметров современного пункта и подбора основных узлов и блоков [3]. При это происходит выбор лучших образцов представленных изделий, положительно зарекомендовавшие себя при монтаже, наладке и бесппроблемной эксплуатации в пределах установленного срока.

Библиографический список

1. СП 41-101-95 Проектирование тепловых пунктов М.1997.
2. **Мельников В.М.**, Пурим М.В., Карев Д.С. Методика проектирования современно-го теплового пункта. ЖУРНАЛ «ГЛАВНЫЙ ЭНЕРГЕТИК» № 7/2014, стр.30-39.
3. **Мельников В.М.**, Пурим М.В. Методика проектирования индивидуального тепло-вого пункта общественного здания. Сборник материалов докладов, том IV, IX Семинар вузов по теплофизике и энергетике. Международная конференция 21–24 октября 2015 года г. Казань, Россия, стр. 188-200.

*К.А. Слонич,; рук. В.М. Мельников, к.т.н., доц.
(ВлГУ, Владимир)*

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННЫХ МОДЕЛЕЙ СХЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ РАСЧЕТНЫХ СИСТЕМ

Целью работы является разработка, анализ существующего состояния системы теплоснабжения и выработка грамотных управленческих решений при эксплуатации объектов теплоснабжения, направленных на повышение энергетической эффективности и безопасности эксплуатации системы. В качестве примера, воспользуемся схемой теплоснабжения муниципального образования г. Камешково.

Электронные модели централизованных систем позволяют произвести наладочные и гидравлические расчеты сетей, тем самым качественно выполнить физическую наладку сетей обслуживающими организациями. Только за счет проведения физической наладки сетей теплоснабжения, фактические потери тепловой энергии при ее передаче снизились на 12% от средних значений за предыдущие периоды. При построении модели помимо учета фактического состояния объектов, дополнительно, рассматривается поведение системы во времени. При учете фактора времени учитываются балансы энергии (изменение полезного отпуска от подключенной нагрузки, снижение потерь ресурсов при их передаче за счет перекачки участков сетей).

Для достижения поставленной цели были решены следующие основные задачи: анализ существующего состояния системы теплоснабжения, проведение гидравлического и иных расчетов тепловой сети для существующего и перспективного положения, взаимосвязанное перспективное планирование развития системы теплоснабжения, инженерно-техническая оптимизация системы теплоснабжения, повышение надежности системы теплоснабжения и качества предоставления коммунальных услуг, совершенствование механизмов развития энергосбережения и повышение энергоэффективности коммунальной инфраструктуры, обеспечение сбалансированности интересов субъектов коммунальной инфраструктуры и потребителей.

С целью возможности моделирования централизованной системы теплоснабжения и выявления сверхнормативных потерь на участках сетей и у абонентов в рамках муниципальной системы управления энергосбережения осуществляется внедрение телеметрической системы сбора показаний. Передача информации осуществляется по бес-

проводной технологии на основании современной концепции Internet of Things.

Все общедомовые приборы учета энергетических ресурсов (теплосчетчик, счетчик электроэнергии, счетчик холодной воды) подключаются к единому УСПД установленному в многоквартирном доме / здании учреждения через который осуществляется передача информации о показаниях приборов учета на единый сервер оператора коммерческого учета.

По результатам опроса информация с передатчиков передается в единую информационную систему, для дальнейшего ее анализа и заведения в электронную модель для моделирования поведения централизованной системы тепло-, водоснабжения на основании фактических показателей.

Таким образом, наиболее важным критерием эффективности функционирования системы управления энергосбережением, является грамотная выработка управленческих решений. Оптимальные решения вырабатываются только при наличии полной картины существующего действия систем коммунальной инфраструктуры и детальной проработки перспективных направлений развития. Реализация данных положений обеспечивается за счет взаимодействия системы электронного моделирования и информационно-аналитической системы приборного учета.

Результатами выполнения данной работы является:

1) построение электронной модели схемы теплоснабжения г. Камешково, ее актуализация и утверждение постановлением Администрации Камешковского района от 09.09.2016 №1050 «Об утверждении актуализированной схемы теплоснабжения муниципального образования город Камешково до 2030 года (актуализация на 2017год)»;

2) методика, которая позволяет проводить аналитику на основании поступающих показаний с приборов учета, и какие управленческие решения необходимо вырабатывать на основании имеющейся информации;

Библиографический список

1. Федеральный закон от 27 июля 2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении».
2. Постановление Правительства РФ от 22 февраля 2012 г. N 154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения».
3. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности: федеральный закон от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ, в редакции от 03.07.2016 г. // Собрание законодательства РФ. – 2009 г. - №48. – Ст. 5711.

*Д.Р. Худошин, А.В. Антипова, студ.;
рук. В.М. Мельников, к.т.н., доц.
(ВлГУ, Владимир)*

СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Целью работы является анализ и расчет схем переключения потребителей сельскохозяйственного производственного предприятия. Для достижения поставленной цели были решены следующие основные задачи: проведен анализ системы теплоснабжения по представленной документации на соответствие требованиям [1], произведён предварительный расчет системы теплоснабжения в программном комплексе Zulu, произведено обследование системы с необходимыми замерами параметров в начальных, узловых и конечных точках системы.

Обеспечение объектов тепловой энергией осуществляется от двух собственных котельных, находящихся на территории предприятия в одном здании. В котельных установлены следующие котлы: КВГМ-20 – 3 шт., ДКВР-10/13 – 2 шт. Температурный график – 130 – 70 °С. Система теплоснабжения закрытая. Теплоносителем в тепловых сетях является вода и пар. Вода используется для теплоснабжения систем отопления зданий, подогрева воздуха в калориферах, подогрева горячей воды для полива и хозяйственно-бытовых нужд. В системе теплоснабжения имеется распределительная камера и два ЦТП. Системы отопления корпусов присоединены через тепловые пункты. Каждая теплица присоединена через индивидуальные тепловые пункты. Ряд зданий предприятия присоединены напрямую к тепловым сетям.

Пар используется для технологических нужд, с помощью пара производится термическая обработка грунта (обеззараживание). Период использования пара – не более одного месяца в году. Все остальное время пар используется для подогрева теплофикационной воды.

Кроме использования тепла на собственные нужды предприятие обеспечивает подачу тепла на потребителей поселка. Подача теплоносителя на поселок осуществляется в трех режимах:

- от котельной №1 без регулирующего клапана;
- от котельной № 2 через регулирующийся клапан (летний режим);
- от котельной № 2 без регулирующего клапана.

Все тепловые сети надземные, двухтрубные. Прокладка осуществлена на низких и высоких опорах отдельно стоящих опорах. Тепловые сети состоят из 3-х магистральных сетей и нескольких распределительных. Магистральные тепловые сети могут работать как от разных

блоков сетевых насосов, так и от одного. Регулирование отпуска тепловой энергии производится двумя способами: качественным и количественным.

Существующие принципы работы системы теплоснабжения не обеспечивают ее экономичность, надежность и простоту обслуживания, не соответствуют положениям [2]. Одной из основных причин неудовлетворительной работы системы теплоснабжения является различие способов регулирования отпуска тепла для производственных участков №№ 1, 2, салатного комплекса и рассадно-овощного комплекса. При этом системы теплопотребления теплиц производственного участка № 2, салатного комплекса и рассадно-овощного комплекса имеет более современное оборудование и работает в автоматическом режиме.

При расчете системы теплоснабжения в программе использованы рекомендации [3] и современные подходы, основанные на использовании современных расчётных комплексов. Получены следующие результаты, позволившие принести практическую пользу в дальнейшей эксплуатации системы, а именно:

1. Построено несколько расчётных моделей, по возможности, полностью охватившие весь сложный комплекс сетей и режимов теплоснабжения.

2. Даны рекомендации по перекладке участков и вариантов организации кольцевых и тупиковых сетей.

3. Предложена установка кустовых шайб для балансировки сетей, что увеличивает потери, но приводит к стабилизации теплового и гидравлического режимов.

4. Предлагается отключить потребители с минимальной тепловой нагрузкой в диапазоне 0,003-0,009 Гкал/ч с переводом на автономное теплоснабжение.

5. Определено расчётно-эмпирическим путём оптимальное положение промежуточного сетевого насоса, функционирование которого определяет расчётные условия сложного комплекса теплиц.

Библиографический список

1. СП 124.13330.2012 Свод правил. Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003.
2. Методические указания по составлению энергетических характеристик для систем транспорта тепловой энергии (в трех частях) РД 153-34.0-20.523-98 часть 1-3.
3. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей. Манюк В.И. и др. - М. Стройиздат, 1988.

*Е.А. Бояркина, маг.; А.С. Сорокина, маг.;
рук. В.К. Пыжов, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

СОСТАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО МИКРОКЛИМАТА

Технологические процессы часто сопровождаются выделением «вредностей», которые вызывают изменение микроклимата в помещении. Прежде чем судить о микроклимате и принимать какие-либо меры по его корректировке, необходимо составить баланс по «вредностям». Основными вредностями, как правило, являются избытки или недостатки теплоты влаги.

В «лаборатории энергосберегающих технологий и оборудования ИГЭУ» формируется микроклимат в многозональном режиме: первая зона – лаборатория модели БЩУ АЭС, вторая – лаборатория источников теплоты и холода, третья зона – помещение кондиционера. В лаборатории модели БЩУ АЭС необходимо поддерживать оптимальные параметры воздуха, а также допустимые в зонах расположения кондиционера и источников теплоты и холода. В помещениях высокого уровня ответственности (блочный щит управления АЭС) создания постоянного микроклимата недостаточно.

При монотонной работе, требующей внимательности и оказывающей нервно-эмоциональную нагрузку, возможно возникновение аварий вследствие утомления и снижения работоспособности сотрудника. Данная проблема решается за счет создания системы кондиционирования «динамического микроклимата»[1]. Эта система позволяет периодически изменять параметры воздуха в помещении. Изменение температуры, влажности и скорости воздуха позволит поддерживать концентрацию внимания персонала и снижать его утомление.

При поддержании необходимых параметров воздуха также должно учитываться динамическое изменение параметров наружного воздуха, работа оборудования и искусственного освещения в переменном режиме, изменяющееся количество людей в помещении.

Целью работы является разработка алгоритма составления балансов по «вредностям» для поддержания динамического микроклимата в «лаборатории энергосберегающих технологий и оборудования ИГЭУ».

Уравнение теплового баланса должно составляться для каждого i -го момента времени и имеет следующий вид:

$$d(\Delta Q_i) = \sum_{j=1}^{k_j} d(Q_{T,aj}) - \sum_{m=1}^{k_m} d(Q_{T,mm}) \quad (1)$$

Тепловыделения включают такие компоненты как: поступление теплоты от оборудования с электроприводом, от переменного количества людей в помещениях, от искусственного освещения, бытовых электроприборов, солнечной радиации, нагретых поверхностей.

При составлении теплового баланса необходимо учитывать потери теплоты через ограждающие конструкции и затраты теплоты на нагрев поступающего сырья и материалов.

В качестве примера в таблице 1 представлены результаты расчета теплового баланса помещений различного назначения по месяцам в течение года по среднемесячной температуре. Аналогично рассчитываются тепловые балансы в течение суток в *i*-ый момент времени.

Таблица 1 – Результаты расчета теплового баланса по месяцам

Исследуемое помещение	Тепловой баланс по месяцам, к Вт												
	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июн.	Июл.	Авг.	Сент.	Окт.	Ноя.	Дек.	Итого
A169 лаборатория модели БЩУ АЭС	31,12	31,72	33,48	36,12	35,75	37,61	38,25	37,28	34,7	35,09	33,28	31,97	416,37
A170 лаборатория источников теплоты и холода	11,98	11,81	13,11	14,69	10,12	11,27	11,65	10,99	9,32	14,19	13,24	12,52	144,89
A170а помещение кондиционера	4,33	4,49	5,12	6,35	3,17	4,07	4,32	3,74	2,37	5,85	5,2	4,69	53,7

С учетом составленных балансов по вредностям в *i*-ый момент времени формируются мероприятия по поддержанию динамического микроклимата, осуществляется выбор оборудования, подключаемого в данный момент времени. Полученные данные являются исходной информацией для работы программного комплекса, осуществляющего регулирование микроклимата.

Для поддержания параметров микроклимата планируется использовать центральный кондиционер фирмы “Clivet” и устройства для доведения параметров: тепловые насосы фирм “Clivet” и “Triton”, котлы фирмы “DeDietrich”, также может применяться рециркуляция внутреннего воздуха.

Библиографический список

1. Гаранин А.В. Разработка систем динамического микроклимата и создание на их основе энергосберегающих режимов работы оборудования: дис. канд. тех. наук: 05.14.04 / А.В. Гаранин. – Иваново: Би., 2010. – 209 л: ил.

*А.С. Брезгина, студ.; рук. В.К. Пыжов, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОЗДАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА «ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВОДЯНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ (ОХЛАЖДЕНИЯ) В РЕЖИМЕ ДОВОДЧИКОВ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ»

Водяное отопление получило наибольшее распространение в силу своих преимуществ перед другими системами. Реже применяются системы водяного охлаждения. Эксплуатация водяных систем отопления (охлаждения) в качестве доводчиков (фанкойлов) в системах кондиционирования воздуха целесообразна из-за их высоких гигиенических и эксплуатационных показателей. В системах кондиционирования с такими местными доводчиками потребуется подача только минимально необходимого количества воздуха. Полученная система обладает большой надежностью, бесшумна, проста и удобна в эксплуатации и может иметь значительный радиус действия как по горизонтали, так и по вертикали.

Для исследования эффективности работы и применения указанных доводчиков (фанкойлов) в лаборатории «Энергосберегающих процессов и энергоэффективного оборудования» кафедры ПТЭ ИГЭУ создаются экспериментальные стенды «Системы отопления (охлаждения) помещений различного назначения с использованием водяного и инфракрасного обогрева». Стенд «Исследование эффективности работы водяных систем отопления (охлаждения) в режиме доводчиков систем кондиционирования» позволяет в процессе обучения изучать и исследовать эффективность использования различных современных конструкций отопительных приборов, оценивать эффективность применяемых схем подключения отдельных отопительных приборов систем отопления (охлаждения) и исследовать динамику переходных процессов в системах отопления (охлаждения) при изменении энергетической нагрузки.

Энергоснабжение стенда предусмотрено с потреблением тепло-, и холодоносителей, поступающих от установленных в лаборатории источников теплоты и холода (водогрейные котлы De Dietrich и тепловые насосы, использующие низкопотенциальную энергию воздуха и воды).

Для проведения исследования и регулирования режимов работы элементов систем отопления (охлаждения) на стенде установлена со-

временная регулирующая и измерительная техника (балансировочные клапаны, балансировочные приборы и измерительные компьютеры, работающие с использованием программных комплексов). На рис.1 приведена принципиальная схема стенда, позволяющая реализовать указанные требования.

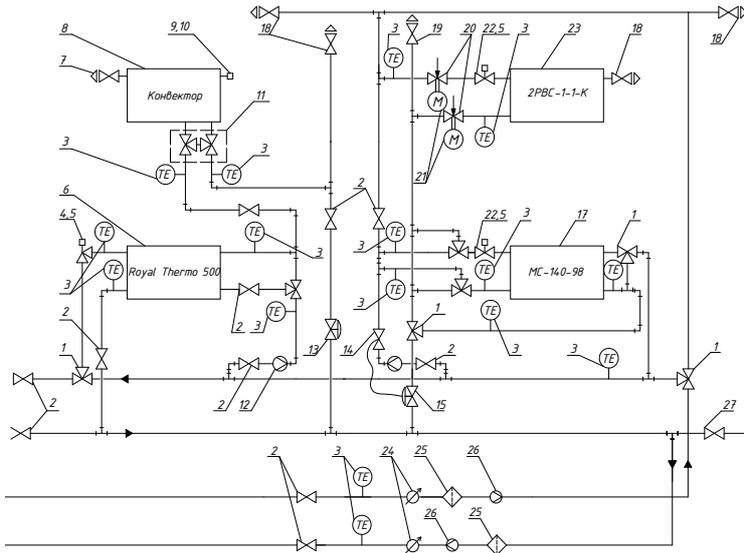


Рисунок 1 – Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – клапан трехходовой, 2 – кран шаровый, 3 – термопара, 4 – вентиль для термостата, 5 – термостатический элемент, 6 – отопительный прибор, 7 – встроенный воздухоотводчик, 8 – отопительный прибор, 9 – встроенный клапан, 10 – термостатический элемент, 11 – запорно-присоединительный клапан, 12 – измерительная диафрагма, 13 – регулятор расхода, 14 – запорный вентиль, 15 – регулирующий вентиль, 17 – отопительный прибор, 18,19 – воздухоотводчик, 20 – двухходовой шаровый кран, 21 – электропривод, 22 – вентиль для термостата, прямой, 23 – отопительный прибор, 24 – манометр радиальный, 25 – фильтр сетчатый, 26 – счетчик-расходомер, 27 – кран для слива и заправки системы.

Библиографический список

1. СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»
2. Руководство по использованию балансировочного измерительного прибора TA Score

*Е.А. Бузоверов, асп.,
(Объединенный институт высоких температур Российской
академии наук, г.Москва)*

*рук-ли: И.Д. Чернов, доц., М.В. Исаев, к.т.н., доц,
(ООО «Эксперт-Энерго», г. Москва)*

*О.Н. Махов, к.т.н., доц
(ИГЭУ, г.Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ТЕПЛОВОГО ИСТОЧНИКА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ИЛИ РЕКОНСТРУКЦИИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СУБЪЕКТОВ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

При рассмотрении необходимости реконструкции системы теплоснабжения, реализации отдельных энергосберегающих мероприятий, проектов, направленных на повышение экономичности системы, остро встает вопрос оценки эффективности инвестиций. В ряде случаев в качестве целевого показателя для оптимизации технологического облика систем централизованного теплоснабжения выбираются совокупные приведенные издержки на строительство и эксплуатацию системы.

Несовпадение оптимальных технических решений для реконструкции системы централизованного теплоснабжения было рассмотрено на примере системы теплоснабжения одного из района города Волгограда. В настоящее время жилая застройка отапливается от одной котельной мощностью 150МВт. Рассматривается реконструкция данной системы теплоснабжения путем замены существующего теплоисточника новыми котельными оптимальной мощности с соответствующей реконструкцией теплосетевого хозяйства. Оптимумы рассчитывались по следующим критериям: капитальные затраты, годовые эксплуатационные затраты и годовые приведенные затраты.

Рассматриваются ситуации, когда вместо одной крупной котельной строятся два, три и более теплоисточников одинаковой мощности. В данном случае единичная мощность новых теплоисточников может составлять 75 МВт (2 котельные), 50 МВт (3 котельные) и т.п. Рассчитаны также промежуточные значения мощности теплоисточников.

Из полученных зависимостей определено, что оптимумы мощности теплоисточников для разных субъектов системы теплоснабжения отличаются. Для теплоснабжающей организации, заинтересованной в минимальных эксплуатационных затратах, лучшим решением будет

строительство котельных мощностью 150 МВт (оптимум находится в точке 100 МВт. Муниципалитет, заинтересованный в минимизации приведенных затрат, должен настаивать на строительстве двух котельной мощностью по 75 МВт (оптимум находится в точке 65 МВт). Если реконструкция осуществляется за счет средств инвестор-застройщика, например, при модернизации существующего жилого фонда, последний будет заинтересован в строительстве трех котельных мощностью по 50 МВт (оптимум находится в точке 40 МВт), поскольку такое решение позволит сократить капитальные затраты.

Из зависимостей получено, что децентрализация района теплоснабжения, например, путем строительства 10 теплоисточников по 15 МВт не выгодна ни одному из субъектов, поскольку показатели эффективности для всех субъектов системы ухудшаются.

Одним из компромиссных вариантов решения, которое удовлетворяло бы интересы инвестора, муниципалитета и теплоснабжающей организации в данном случае является строительство двух источников мощностью по 75 МВт. Такое решение не позволяет минимизировать затраты, но по эффективности находится очень близко к оптимуму для всех сторон.

Выбор в пользу теплоисточников выбранной мощности может быть сделан по соображениям безопасности и экологичности системы теплоснабжения. Решение о строительстве более мощной котельной может быть связано и с вопросами планирования городской застройки.

В современных экономических условиях совокупная эффективность инвестиционных проектов перестала быть единственным критерием принятия технологических решений. Поэтому при рассмотрении проектов реконструкции систем централизованного теплоснабжения помимо общей рентабельности рекомендуется рассчитывать частные критерии эффективности для основных субъектов системы теплоснабжения, учитывать ограничения, накладываемые на ожидаемую доходность инвестиций и финансовые возможности каждого участника. Это достигается путем оптимизации совокупных приведенных издержек на строительство и эксплуатацию системы теплоснабжения при эксплуатационных и капитальных затратах приемлемых для инвесторов и теплоснабжающих организаций.

*Д.С. Еремеева, Е. Куликов, студ.;
рук-ли С.В. Васильев, к.т.н., доц., А.В. Банников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГПУ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ВОДОГРЕЙНОЙ КОТЕЛЬНОЙ

В условиях непрерывного роста цен на органическое топливо остро стоит проблема его экономии. В связи с этим для повышения энергоэффективности систем теплоснабжения муниципальных образований и городских поселений предлагается внедрение когенерационных технологий [1].

В работе рассмотрена реконструкция существующей водогрейной котельной Ярославской области с применением когенерационных газопоршневых установок.

Авторами разработаны программы расчета термодинамических циклов двигателей внутреннего сгорания (Отто, Дизеля и Тринклера) для идеальных и реальных газов, а также программа термодинамического расчета газопоршневых двигателей (ГПД), которая позволяет выполнять расчет для различных двигателей для этого программа содержит базу данных по техническим характеристикам ГПД отечественных и зарубежных производителей. В программе выполняется расчет теплового баланса двигателя, что позволяет определить эффективность рабочего процесса и количество теплоты, отведенной в систему охлаждения с последующей ее утилизацией.

В работе на основании данных по предполагаемому росту тепловых нагрузок, с учетом уже установленного оборудования, а также на основании расчетов, выполненных с помощью разработанного авторами программного обеспечения, на основании технико-экономического сравнения вариантов выбраны газопоршневые установки. Электрическая энергия произведенная когенерационной установкой будет использоваться на собственные нужды объекта, а тепловая энергия – для теплоснабжения потребителей. Авторами произведен анализ совместной работы водогрейных котлов и ГПУ.

Библиографический список

1. В.Д.Буров, А.А.Дудолин, В.В.Макаревич, Е.В.Макаревич. Потенциал применения газопоршневых двигателей зарубежных производителей на территории РФ/Турбины и дизели. 2009, №5, с.28-33.

*Е. В. Ефименко; рук. В. П. Созинов, д.т.н., проф.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АЭРОДИНАМЕЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЦИКЛОНООБРАЗНОГО КОЛЛЕКТОРА СИСТЕМ АСПИРАЦИИ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ

Коллектор, конструкция которого показана на рис. 1, имеет следующие параметры: количество входных патрубков для подсоединения всасывающих трубопроводов – 10, размеры входных патрубков 200×140 мм; высота коллектора 910 мм; высота верхней улиткообразной полости 310 мм; её средний диаметр 950 мм; высота цилиндрической полости 525 мм; диаметр прохода из одной полости в другую 600 мм; размеры отверстия патрубка для подсоединения трубопровода отбора воздуха 300×560 мм; размер отверстия патрубка для подсоединения транспортного трубопровода 130×350 мм. [1]

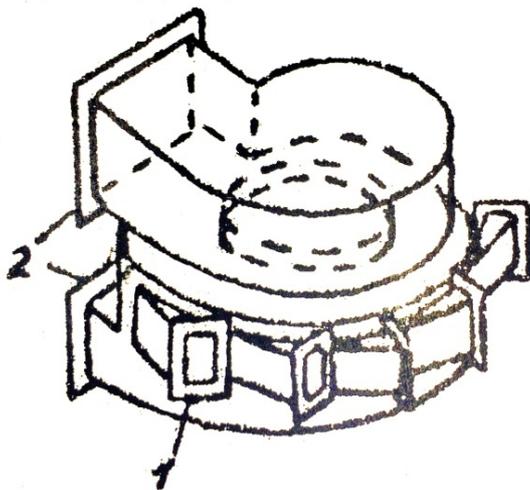


Рисунок 1 - Циклонообразный коллектор: 1 – патрубок для подсоединения всасывающего ответвления; 2 – патрубки для подсоединения трубопровода отбора воздуха (сверху) и трубопровода транспортного (снизу)

Функционирует коллектор по принципу многозаходного циклона. Множество входных патрубков увеличивает скорость в его цилиндрической полости, что под действием центробежной силы способствует

ет прижатию плотных частиц (отходов производственных процессов) к стенкам корпуса и в конечном счёте направлению их движения к патрубку для подсоединения транспортного трубопровода. Это объясняет его высокую степень отделения отходов от воздуха. Даже на отходах стрижки искусственного меха коэффициент сепарации при загрузке всех ответвлений не снижается менее 0,8.

Аэродинамическая характеристика коллектора, полученная на стендовых испытаниях, включает в себя потери давления на входе в него и выходе. Разделение потерь давления усложняет расчёт регулировочных характеристик систем аспирации. Для этого осуществлено объединение потерь давления, составлена матрица планирования эксперимента и получена зависимость

$$\xi_{вх-тр} = 0,44 - 0,92 * y + 0,02 * z - 0,06 * y * z,$$

где $\xi_{вх-тр}$ – коэффициент местных потерь давление на входе и выходе в транспортный трубопровод (отнесён к сечению патрубка для подсоединения транспортного трубопровода);
 y – отношение расхода воздуха в патрубке для подсоединения трубопровода отбора воздуха к количеству воздуха, поступающего в коллектор (граничные условия $y_{max}=0,8$; $y_{min}=0$);
 z – отношение суммарной площади сечения используемых всасывающих трубопроводов к средней площади сечения всех всасывающих трубопроводов (граничные условия $z_{max}=10$; $z_{min}=5$).
 Полученная зависимость указывает на особенность коллектора, а именно, с увеличением z (при поддержании статистического давления растёт производительность системы аспирации) $\xi_{вх-тр}$ увеличивается как, например, у циклона УЦ-38.

Библиографический список

1. Созинов В.П. Аспирация в АПК. Учебное пособие. – Иваново: НЦП «СТИМУЛЬ», 1996.–424 с.

*М.В. Колесников, маг.; рук. В.П. Созинов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ ДВУХВЕНТИЛЯТОРНОЙ СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ С ШАРОВЫМ КОЛЛЕКТОРОМ

Трубопроводная сеть системы (рис.1) рассчитывается по известным математическим выражениям, и все факторы, входящие в них, определяются однозначно. Однако, один вопрос, который дает возможность рассчитать сеть, требует своего решения. Он связан с выбором степени разделения воздушного потока в коллекторе.

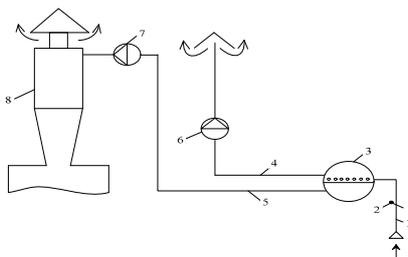


Рисунок 1 - Схема системы аспирации: 1-ответвление; 2-отсечной клапан; 3-коллектор; 4-трубопровод отбора воздуха; 5-транспортный трубопровод; 6-вентилятор отбора воздуха; 7-вентилятор транспортного трубопровода; 8-воздухоочиститель.

Если количество воздуха $V_{тр}$, направляющегося в транспортный трубопровод, сделать минимальным, т.е. равным одному-двум расходам в концевых ответвлениях, то диапазон регулирования производительности системы по воздуху будет наибольшим как и её экономичность, но надежность работы станет неудовлетворительной. Это вызвано попаданием отходов производства в трубопровод отбора воздуха и оседанием в нем при резком снижении скорости воздуха при регулировании производительности системы. Данное обстоятельство накладывает ограничение на расход воздуха $V_{отб}$, поступающего в трубопровод отбора воздуха. Проведенный расчет показывает, что для шарового коллектора диаметром 1м величина $V_{отб}$ примерно равна 5500 м³/ч. Более точный ответ можно получить, рассчитав регулировочные характеристики системы.

Библиографический список

1. Созинов В.П. Аспирация в АПК. Учебное пособие. - Иваново, НЦП «СТИМУЛ», 1996. - 424 с.

*Ю.А. Кривенко, Е.Д. Ефимкова, студ.;
рук. Л.И. Тимошин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ НЕФТЕПЕРЕГОННОГО ЗАВОДА

Необходимость проведения реконструкции компрессорной станции при переходе на децентрализованное воздушное снабжение обусловлена следующими факторами:

- пересмотром договоров на поставку сжатого воздуха сторонним потребителям (отключением от сети завода);
- анализом потребления сжатого воздуха отдельных потребителей.

Ясно, что достаточно большим потреблением характеризуется ремонтно-механический цех, битумная установка, факельное хозяйство, которые не имеют повышенных требований к качеству воздуха. Поэтому использование ими осушенного воздуха компрессорной станции экономически не эффективно. Кроме того, проверка показала, что потребление сжатого воздуха ремонтно-механическим цехом завышено по сравнению с аналогичными предприятиями в отрасли в 17 раз. Это свидетельствует о нерациональном использовании сжатого воздуха.

В качестве реконструкции предлагается перевести битумную установку, ремонтно-механический цех, факельное хозяйство на децентрализованное воздушное снабжение, а сторонние организации (по согласованию с соответствующими службами): опытный завод, катализаторную фабрику и кирпичный завод отключить от заводской сети. В следствии этого можно будет вывести из работы один из 3-х работающих компрессоров станции.

В результате этого для централизованного воздушного снабжения подобраны компрессорные установки - винтовые компрессоры с регулируемой производительностью (с частотным преобразователем), давлением от 7,5 до 16 атм. Компрессорные установки имеют автоматическую регулировку производительности и давления в зависимости от потребления, что является крайне важной чертой с точки зрения особенностей потребителей и с точки зрения экономии электроэнергии.

Вывод. Проведенные расчеты показали, что переход части потребителей на децентрализованное воздушное снабжение и проведение реконструкции компрессорной станции экономически целесообразно, т.к. полученный срок окупаемости реконструкции $T_{ок} = 0,3$ года меньше экономически целесообразного и $NPV > 0$.

*С.В. Андреев, И.М. Окатов, М.С. Щербаков,
рук-ли Е.Г. Авдюнин, д.т.н., проф., В.В. Сенников, к.т.н., доц.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ КАК КРИТЕРИЙ РАЗБАЛАНСИРОВАННОСТИ И КАЧЕСТВА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Функции подачи тепла потребителям тепловыми сетями, подключёнными к источникам тепла, могут быть выполнены лишь при получении потребителями горячей воды при заданном гидравлическом перепаде напоров и температуре в подающей линии в соответствии с температурным графиком [1,2].

Был реализован переход с качественного на количественно-качественное регулирование. Для решения задач количественного регулирования местных систем была предложена система автоматического регулирования, которая позволит:

- минимизировать «перетопы» в период температур наружного воздуха выше точки излома температурного графика;
- получить инструмент для экономии тепла за счёт оптимизации системы потребления;
- улучшить гидравлические характеристики тепловых сетей;
- решить проблемы с пьезометрическими характеристиками сети за счёт установки регуляторов прямого действия и насосов смешения;
- обеспечить значительную экономию топлива.

При значительном количестве подключённых потребителей к тепловой сети большое значение имеет строгое соблюдение установки дроссельных устройств. Изменение количества теплоты, транспортируемого по тепловым сетям, можно характеризовать коэффициентом гидравлической устойчивости [2].

В работе проведен анализ возможных вариантов разбалансировки тепловых сетей и методы ее устранения. Приводится математическая модель, позволяющая определять гидравлическую устойчивость системы.

Библиографический список

1. **Зингер Н.М.** Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. М., «Энергия», 1976. 336 с. с ил.
2. **Соколов Е.Я.** Теплофикация и тепловые сети. М., Изд. МЭИ. 2001. 472 с.

*И.В. Павлов, маг.,;
рук-ли С.В. Васильев, к.т.н., доц., А.В. Банников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЛОЧНО – МОДУЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ

В настоящее время водогрейные котельные являются одними из основных источников теплоснабжения жилищно - коммунального сектора (ЖКС) и промышленности. В крупных городах доля тепловой нагрузки ЖКС, покрываемой от водогрейных котельных, находится на уровне 40%-60%. В малых городах и крупных поселках городского типа эта доля оказывается существенно выше и достигает 100 %.

В последнее время в России все чаще используют блочно – модульные котельные для теплоснабжения различных объектов. В отличие от стационарных котельных, блочно – модульные котельные (БМК) собирают в заводских условиях. Затем их доставляют на объект, устанавливают и подключают к системе теплоснабжения.

В отопительный период регулирование тепловой нагрузки потребителей производится по качественному принципу. При температурах наружного воздуха, близких к 0 °С, температура прямой сетевой воды понижается, и для подачи в системы горячего водоснабжения (ГВС) воды с температурой 70-75 °С производят «излом» температурного графика теплосети. Как правило, при этом расход сетевой воды остается постоянным.

По статистическим данным, для различных городов России, в зависимости от их географического положения и континентальности климата, суммарная годовая продолжительность стояния среднесуточных температур наружного воздуха от температуры, соответствующей моменту «излома» температурного графика теплосети, до расчетной температуры 8 °С (начала и конца отопительного сезона), меняется весьма существенно. В связи с этим, сетевая вода имеет температуру выше необходимой, и экономичность котельной понижается.

Авторами работы было предложено схемное решение блочно – модульной котельной с включением рекуператора дымовых газов.

Блочно – модульная котельная работает следующим образом. Вода, нагретая в водогрейном котле, с помощью насоса греющей воды системы отопления по подающему трубопроводу поступает в сетевой подогреватель, где отдает свою теплоту сетевой воде системы отопления и затем направляется обратно в котел.

Для приготовления ГВС из подающего трубопровода отбирается горячая вода и с помощью насоса греющего контура ГВС направляется

в подогреватель контура ГВС, отдав свою теплоту греющая вода по обратному трубопроводу направляется обратно в котел. Для поддержания постоянной температуры в контуре ГВС установлен насос рециркуляции контура ГВС. При температурах наружного воздуха выше точки излома, когда температуры греющей воды системы отопления недостаточно для обеспечения требуемой температуры в контуре ГВС (при качественном регулировании), отбираемая вода дополнительно подогревается в рекуператоре дымовых газов, тем самым утилизируя теплоту уходящих газов.

В рамках настоящей работы проведен анализ теплообменного оборудования с целью выявления наиболее оптимальной конструкции для решения задачи утилизации теплоты в рассматриваемых условиях. По результатам анализа, в качестве теплообменника уходящих газов рекомендуется применять аппараты для нагрева воды при непосредственном контакте с дымовыми газами (контактные экономайзеры) или интенсифицированные кожухотрубные аппараты. Такие конструкции теплообменных аппаратов позволяют повысить интенсивность обмена тепловой энергией, а также использовать высшую теплоту сгорания топлива. Коэффициент использования первичной энергии топлива возрастает примерно на 10 %. При контакте газов с холодной водой имеется потенциальная возможность охладить газы до температуры ниже температуры окружающей среды, что также должно способствовать увеличению эффекта от предлагаемого технического решения.

Предлагаемые в работе мероприятия рассмотрены в приложении к решению задач повышения энергетической эффективности одной из котельных ивановского региона.

Библиографический список

1. Пат. 2184311 Российская Федерация, F22D100. Пиковая водогрейная котельная / Шарапов В.И., Орлов М.Е., Ротов П.В.; заявитель и патентообладатель Ульяновский государственный технический университет. №2000125866/06; заяв. 13.10.2000; опубл. 27.06.2002, 6с.
2. **Мазурова О.К.**, Кузнецов Н.В., Бутенко А.Н. Автономное теплоснабжение, учебное пособие, Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. - 143с.
3. **Шелудько Л. П.** Анализ возможности сокращения «перетопа» тепловых потребителей при «изломе» температурного графика теплосети, журнал «Новости теплоснабжения» №05, 2004 г

*Е.А. Панина, А.В. Баранов, студ.; рук. О.Н. Махов, к.т.н., доц
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКСПРЕСС ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОИМОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ ПО МОЩНОСТИ

Изучение вопросов, связанных с затратами на строительство котельной установки того или иного типа и назначения, являются достаточно сложными. Для проектировщиков, главным образом, нужны сведения, позволяющие приближенно оценить капитальные затраты, а дальше найти оптимальное технико - экономическое решение и определить себестоимость тепловой энергии от реконструируемого источника. Иначе говоря, стоимость сооружения источника теплоснабжения связана с основными техническими решениями, принятыми при его проектировании и строительстве. Затраты на строительство котельной могут быть определены по сметам и по укрупненным показателям или по приближенным данным, полученным в итоге обработки опытных, проектных или других материалов. Наиболее точным способом определения капитальных затрат является составление смет. Однако такой путь очень трудоемкий и оправдан только в случае реального проектирования котельной. Более рациональным, в особенности для выбора варианта, является путь использования укрупненных и приближенных данных, в частности материалов, позволяющих найти удельные затраты.

В нашем случае предлагается использовать зависимость, определяющую стоимость реконструкции котельной от ее мощности.

$$C(Q) = -0,504 + 3,607 \cdot Q, \quad (1)$$

где C – стоимость реконструкции источника теплоснабжения, млн.руб/Гкал;

Q – мощность реконструируемого источника, Гкал.

Зависимость получена для котельных мощностью от 1 до 100 Гкал. Материалы для выражения получены на основании изучения и обработки информации по стоимости реконструкции котельных с сайта zakupki.gov.ru за 2015 и 2016 годы.

Пользуясь полученными материалами и выражением, можно проводить предварительные сопоставительные расчеты по выбору варианта и оценке полученных капитальных затрат в пользу выбора определенного варианта котельной. Зависимость можно использовать в курсовом и дипломном проектировании для предварительных расчетов.

*Е.А. Панина, А.В. Баранов, студ.; рук. О.Н. Махов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

ЭКСПРЕСС ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОИМОСТИ ЗАМЕНЫ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

Тепловые сети это наиболее уязвимый элемент городской системы теплоснабжения. Средний срок службы теплопроводов, не превышает 15 лет. В связи с этим ежегодно в разряд сетей, выработавших паспортный ресурс, переходит большое количество теплопроводов в однотрубном исчислении. Замена старых тепловых сетей на теплопроводы в тепловой изоляции из пенополиуретана или на базальтовые маты позволит значительно сократить потери тепловой энергии. Однако, определение стоимости замены теплоизоляционных материалов связано с целым рядом трудностей. Во-первых, это стоимость работ по демонтажу старого материала. Вывоз мусора после демонтажа и т.п.

В нашем случае предлагается использовать зависимость, определяющую стоимость замены тепловой изоляции в зависимости от диаметра трубопровода тепловой сети с НДС и с учетом демонтажа старой изоляции.

Так, для замены тепловой изоляции на базальтовые маты и скорлупы из ППУ получена следующая зависимость:

$$C(D)=542,794-1,149D, \quad (1)$$

где C – стоимость замены тепловой изоляции, руб/пог.м;

D – диаметр трубопровода тепловой сети, мм.

При замене тепловой изоляции на базальтовые маты на высоте (на эстакаде) получена следующая зависимость:

$$C(D)=626,271-1,1325D, \quad (2)$$

Зависимости получена для диаметров тепловой сети от от 40 до 720 мм. Материалы для выражения получены на основании изучения и обработки информации по стоимости замены тепловой изоляции с сайта zakupki.gov.ru за 2015 и 2016 годы.

Пользуясь полученными материалами и выражением, можно проводить предварительные сопоставительные расчеты по выбору варианта тепловой изоляции и оценке полученных капитальных затрат в пользу выбора определенного варианта. Зависимость можно использовать в курсовом и дипломном проектировании для предварительных расчетов.

*М.Ю. Пручкин, студ.; Р.А. Воробьев, студ.;
рук. Л.И. Тимошин, доцент к.т.н.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОТЕЛЬНОЙ ПРИ ЗАМЕНЕ ПАРОВЫХ КОТЛОВ НА ВОДОГРЕЙНЫЕ.

В настоящее время в промышленных паровых отопительных котельных, из-за отсутствия промышленного производства нет паровой нагрузки в виде пара на технологию и котельная работает исключительно на отопление и горячее водоснабжение жилого района, следовательно в таких случаях целесообразно замена паровых котлов водогрейными котлами.

В рассматриваемой котельной были установлены 3 котла ДКВР, так как было промышленное производство и паровая нагрузка на технологию, производство закрыто и нагрузки на технологию отсутствуют, при этом паровые котлы морально устарели и имеют низкий КПД, поэтому было принято решение заменить их на водогрейные котлы. В связи с тем, что котлы были заменены, появилась необходимость в замене оборудования котельной, также необходим стал пересчет тепловой схемы и появление новых потребителей, тепловые нагрузки возросли, поэтому появилась необходимость перерасчета нагрузок.

На основании гидравлического расчета выясняются условия совместной работы тепловой сети и абонентских вводов, схемы присоединения абонентов к тепловой сети.

В котельной к установке были выбраны два котла: водогрейный котел WolfEurotherm 11/150 и водогрейный котел WolfEurotherm 4/150. Стальные водотрубные котлы WolfEurotherm имеют целый ряд преимуществ по сравнению с другими типами котлоагрегатов:

- в водогрейных водотрубных котлах нагреваемая вода протекает по трубкам малого диаметра, обтекаемым снаружи топочными газами. Подобная конструкция позволяет достичь наибольшей интенсивности передачи теплоты от дымовых газов к воде, а, следовательно, наименьшей металлоемкости котла в целом;

- водотрубные котлы имеют меньший водяной объем и, как следствие, быстрее выходят на заданный режим;

- кроме того, малый и рассредоточенный по трубам объем воды исключает возможность больших разрушений при разрыве труб. Надежность и КПД котлов водотрубной конструкции значительно выше, чем у других конструкций;

-весомым достоинством водотрубных котлов является высокая скорость движения воды, обуславливающая отсутствие необходимости в мощном оборудовании для химводоподготовки и применении промежуточного теплообменника. Помимо этого, данный фактор позволяет включать эти котлы в сеть напрямую;

-средний срок службы водотрубного котла составляет 18 лет.

Из тепловой схемы котельной убираются паровые теплообменники и заменяются на два вида теплообменников: пластинчатые и скоростные водо-водяные.

Невозможность применения атмосферного деаэратора приводит к выбору нового. Выбор стоит между деаэраторами щелевыми и вакуумными, выбрали щелевые деаэраторы типа «КВАРК». Деаэратор «КВАРК» предназначен для удаления из воды растворенных коррозионно-активных газов в системах питания паровых и водогрейных котлов и подготовки подпиточной воды тепловых сетей. Деаэрация в деаэраторе «КВАРК» происходит без подвода пара или другого теплоносителя. В обычном барботажном термическом деаэраторе подогрев воды происходит контактным способом за счет подачи пара или перегретой воды непосредственно в деаэраторный бак. В щелевом деаэраторе подогрев воды может производиться в любом теплообменнике перед деаэратором. Разделение стадий подогрева воды и собственно деаэрации значительно повышает надежность работы деаэратора, позволяет экономить энергоресурсы и обеспечивает стабильность деаэрации в переменных режимах, то есть при резком изменении расхода деаэрируемой воды.

В результате энергетическая эффективность котельной при замене котлов достаточна велика. Повышается КПД оборудования, в эксплуатации применяется новое, современное оборудование.

Библиографический список

1. Каталог котельного оборудования ОАО «ВОЛЬФ». 2010г. 39стр.
2. **Эстеркин Р.И.** Котельные установки. Курсовое и дипломное проектирование. Учеб. пособ. для техникумов. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989.

*А.С. Сафронов, маг., П.А. Комарницкий, студ.,
Д.А. Кругликов, студ.; рук. В.К. Пыжов, к.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МИКРОКЛИМАТА ТРЕНАЖЁРА БЩУ АЭС

Для поддержания работоспособности персонала в помещениях создаётся микроклимат с оптимальными метеорологическими параметрами при использовании систем кондиционирования воздуха (СКВ). Однако в помещениях высокого уровня ответственности, как пульты управления АЭС (блочный щит управления), только создания микроклимата недостаточно. Монотонная работа, требующая внимательности и оказывающая нервно-эмоциональную нагрузку, может привести к утомлению работника и снижению его работоспособности, а далее к непоправимым последствиям.

Данная проблема может быть решена путем создания системы кондиционирования «динамического микроклимата» [1]. Эта система создаёт периодические изменения метеорологических параметров воздуха, таких как температура, влажность и скорость потока. Изменения должны поддерживать концентрацию внимания персонала, не допуская его утомления, а также не превышать критических значений.

Целью работы является создание математической модели, включающую систему уравнений, описывающих процессы теплообмена и распределение воздушных потоков в помещении тренажёра блочного щита управления (БЩУ). Для получения модели проведён анализ существующих программных комплексов. Наиболее предпочтительным является программный пакет Comsol Multiphysics, который использует метод конечных элементов, применяемый при расчёте температурных и скоростных полей и давления при решении дифференциальных уравнений. Сетка конечных элементов в ручном режиме уплотняется вокруг моделируемых объектов, при этом наименьший размер элемента будет у воздухораспределителей.

В результате создания данной математической модели можно будет моделировать процессы динамического микроклимата в помещении тренажёра БЩУ АЭС. В дальнейшем планируется добавить в модель уравнения, описывающие влагообмен в помещении.

Библиографический список

1. **Ловцов, В. В.** Системы кондиционирования динамического микроклимата помещений / В. В. Ловцов, Ю. Н. Хомуцкий. - Л. : Стройиздат, 1991.

*А.А. Смирнов, маг., Д.С. Ваганова, студ.;
рук-ли С.В. Васильев, к.т.н., доц., А.В. Банников, к.т.н, доц.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ГТЭС

В современных условиях развития энергетики в Российской Федерации (переход к рынку электроэнергии и мощности, рост цен на топливо) крайне актуальным является внедрение высокоэкономичных генерирующих установок, созданных на базе прогрессивных технологий.

Целью данной работы является повышение эффективности системы энергоснабжения жилого района путём замены районной водогрейной котельной на мини-ТЭЦ с применением теплофикационных ГТУ. В качестве альтернативных вариантов рассматривались энергоснабжение на базе ГТЭС простого и высокоэкономичного цикла, выполненного по регенеративной схеме с двухступенчатым сжатием воздуха в компрессоре и промежуточным охлаждением [1,2].

Для решения поставленных задач были разработаны программы расчёта ГТЭС простого и сложного цикла в MS Excel с использованием надстройки Water Steam Pro 6.0, позволяющей определять свойства газов и их смесей, по температуре и давлению. Область применения функций для расчета свойств газов - это расчеты термодинамических свойств воздуха, продуктов сгорания и отдельных газов при умеренных давлениях (т.к. газы рассматриваются как идеальные) в диапазоне температур от 200К до 2500К. Смеси газов также рассматриваются как идеальные. Выполнены расчеты и произведён анализ влияния различных параметров и климатических факторов на эффективность ГТУ.

Библиографический список

1. **Цанев С.В.** и др. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С.В. Цанев, В.Д. Буков, А.Н. Ремезов - М.: Издательский дом МЭИ, 2002. - 584 с..
2. **Ануров Ю.М.** и др. Перспективные когенерационные ГТУ для систем теплоэнергоснабжения ЖКХ /«Энергетика: эффективность, надежность, безопасность» XX Всероссийская научно-техническая конференция. ГТУ. – Томск, 2014, с.270-274.

*С.В. Андреев, И.М. Окатов, М.С. Щербаков, студ.;
рук-ли Е.Г. Авдюнин, д.т.н., проф., В.В. Сенников, к.т.н., доц.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ

Термогидравлический распределитель (ТГР) – устройство, предназначенное для улучшения процесса регулирования отпуска тепловой энергии. Применение ТГР обеспечивает за счет независимости контуров источника и потребителей оптимальный отпуск тепловой энергии различным потребителям с различными параметрами с минимальными энергозатратами, поэтому вопросы моделирования данных устройств имеют актуальное значение.

Тепловые схемы котельных имеют вторичный контур, включающий в себя несколько отопительных контуров. При различных режимах работы котельной расходы в первичном и вторичном контурах не совпадают, что обуславливает необходимость гидравлической развязки контуров.

Схема состоит из двух контуров и двух узлов. Ее математическая модель на основании 1 и 2 законов Кирхгофа содержит два уравнения потерь напора и одно уравнение баланса расходов.

$$\left. \begin{aligned} s_{\Sigma k} \cdot Q_k \cdot |Q_k| + s_p \cdot Q_p \cdot |Q_p| - H_{k0} &= 0 \\ s_{\Sigma ts} \cdot Q_{ts} \cdot |Q_{ts}| - s_p \cdot Q_p \cdot |Q_p| - H_{ts0} &= 0 \\ Q_k - Q_{ts} - Q_p &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Установка ТГР в тепловом пункте здания обеспечивает независимость контуров отопления и распределительной сети: режим системы отопления любого потребителя не оказывает влияния на гидравлический режим распределительной сети.

Расчёты показывают, что даже при больших диаметрах трубопроводов, число Рейнольдса существенно больше критического.

Приведённые математические выкладки позволяют подобрать диаметр и длину перемычки для заданных конкретных условий. Величина отклонения стабилизируемого расхода воды через котёл определяет диаметр перемычки и режим работы системы теплоснабжения.

*О.Д. Ягодкина, студ.;
рук-ли С.В. Васильев, к.т.н., доц., А.В. Банников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ВОДОГРЕЙНОЙ КОТЕЛЬНОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТУРА ОРГАНИЧЕСКОГО ЦИКЛА РЕНКИНА

В условиях быстрого роста цен на органическое топливо энерго-сбережение во всех отраслях промышленности является важнейшим фактором снижения себестоимости производства продукции и повышения её конкурентной способности.

Для повышения энергетической эффективности в системах тепло-снабжения необходимо модернизировать все ее элементы.

Энергосбережение предполагает внедрение новых технологических процессов, в основе которых заложена меньшая энергоёмкость по сравнению с существующими технологиями, а также использование низкопотенциальной энергии, что приводит к снижению коэффициента использования теплоты сгорания топлива в различных технологиях, основанных на применении органического топлива, как источника тепловой энергии.

Реализацию данной программы в уже существующих котельных можно добиться установкой теплоутилизатора в газоходе котла и присоединением когенерационной установки [1, 2], а также включением в тепловую схему котельной дополнительного контура предварительного подогрева сырой воды.

В качестве примера повышения энергетической эффективности источника рассматривается водогрейная котельная Московской области.

Для наиболее эффективного использования теплоты уходящих дымовых газов и снижения расхода топлива, рассматриваются варианты установки в котельной контактннного теплообменного аппарата с активной насадкой типа КТАН, а также поверхностного теплообменного аппарата.

Для повышения эффективности когенерационных установок в качестве рабочего тела используется низкокипящий агент по технологии на основе цикла Ренкина. Из этого следует, что следующим шагом, ведущим к повышению эффективности работы котельной, является присоединение контура с низкокипящим рабочим агентом, состоящим из турбины с электрогенератором, теплообменника-испарителя, конденсатора и питательного насоса.

Техническим результатом данного инженерного решения является повышение энергетической эффективности работы котельной за счет утилизации теплоты уходящих газов, исключая при этом промежуточный водяной контур, а также утилизации теплоты конденсации рабочего агента в конденсаторе.

Важной составляющей данной работы является также выбор рабочего тела, при котором следует учитывать: экологическую безопасность технологии, теплофизические свойства рабочего тела, доступность и стоимость НРТ, а также значения температур уходящих газов.

В качестве когенерационной установки в работе принята ОРС-турбина (ОРС – органический цикл Ренкина). Принцип действия ОРС-турбины похож на работу стандартной паровой турбины, за исключением того, что рабочим телом является органическая низкокипящая жидкость (типа фреона), которая и позволяет системе эффективно работать на низкотемпературных источниках тепла для производства электричества в широком диапазоне выходной мощности [6].

Включение дополнительного контура предварительного подогрева сырой воды, состоящего из трубопроводов, трехходового крана и крана регулирования расхода подпиточной воды, позволяющего утилизировать теплоту, отводимую от конденсатора, также повышает экономическую эффективность водогрейной котельной [3].

В работе на основании расчетов выбран тип утилизатора уходящих газов по [4], а также выполнен расчет экономической эффективности принятого технического решения.

Библиографический список

1. Пат. 2189525 (RU). Пиковая водогрейная котельная / В.И. Шарапов, М.Е. Орлов, П.В. Ротов // Б. И. 2002. №26.
2. Пат. №145822 (RU). Тепловая схема водогрейной котельной /С.В. Васильев, А.А. Гуськова, А.В. Банников // Б. И. 2014 №24.
3. Пат.№158799(RU). Тепловая схема водогрейной котельной / А.В. Банников, С.В. Васильев// Б. И.2015№2,
4. Технические решения по использованию утилизаторов в котельных малой мощности. Сектор научно-технической информации. – Москва, 1992. – 90 с.
5. **Репин Л.А.**, Тарасов Д.Н., Макеева А.В. Возможности производства электроэнергии в водогрейных котельных//Новости теплоснабжения. 2008, №9..
6. ССС-Энерго [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cccenergo.com/-_orc-infinity_турбины_ренкина – Загл. с экрана.

Секция 3.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Председатель секции
зав. кафедрой «Автоматизация технологических процессов» д.т.н., проф. В.В. Тютиков
Секретарь секции асп. Ю.С. Колосова

В.А. Горин, С.С. Пичугин; рук. А.А. Варенов, к.т.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОМА

Сегодня самые большие затраты при эксплуатации жилого дома – это его отопление. При повышении цен на энергоносители приходится задаваться вопросом энергосбережения собственного жилища. Взгляд на дом через тепловую камеру дает ужасающую картину, в которой большие тепловые потери происходят через окна, стены, пол и крышу наших домов. При этом, чем больше разница температур между помещением и улицей, тем больше тепловые потери и для их сокращения необходимо увеличить тепловое сопротивление R_T теплопередачи ограждающих конструкций.

Так, например, наибольшим тепловым сопротивлением обладают стены из бруса толщиной 20 см.

$(R_T=0.806 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт/м}^2})$ потолочное (чердачное) перекрытие.

$(R_T=1.43 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт/м}^2})$, деревянные полы $(R_T=1.85 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт/м}^2})$. Самые большие те-

пловые потери происходят через окна. Все это, в первую очередь, необходимо учитывать в строительном бизнесе при выборе строительных и отделочных материалов и конструкций. Однако только этим проблему сбережения тепловой энергии в погодных условия России не всегда удается решить. На помощь может прийти погодозависимая автоматика, обеспечивающая поддержание благоприятного температурного режима в помещении и повышающая энергоэффективность системы отопления.

Для научно обоснованного выбора строительных и отделочных материалов и конструкций, а также для рационального проектирования

автоматической системы отопления необходимо иметь математическую модель как самого объекта управления, так и автоматического управляющего устройства. В докладе, выносимым на обсуждение, приводится математическое описание процессов теплообмена во всех элементах системы отопления, начиная от автоматического газового нагревателя и заканчивая конструкциями самого жилого помещения.

При этом учтены основные источники теплоты и возможные способы ее рассеивания. Результатом является структурная схема динамической модели системы отопления, которая вместе с автоматическим управляющим устройством, может выполнять роль основного инструмента для проведения анализа и синтеза этой сложной автоматической системы.

В докладе также предлагаются возможные варианты построения погодозависимой автоматики, в том числе, и на основе программируемых логических контроллеров, освоенных компанией ОВЕН.

Библиографический список

1. **Ф.Ф. Цветков**, Б.А. Григорьев. Теплообмен. МЭИ, 2006.
2. **Теплообмен** влажного воздуха в компактных пластинчатых теплообменниках: монография/А.В.Чичиндаев. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009.
3. **WONG.N.Y.** Heat transfer for engineers. LONDON: 1977.
4. **Топчев Ю.И.** Атлас для проектирования систем автоматического регулирования. М.: Машиностроение, 1989.

*Е.В. Певчева, аспирант; рук. В.И. Доманов, к.т.н., зав. кафедрой
(УлГТУ, г. Ульяновск)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛИЦ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА

Современная агрономия закрытого грунта с большим количеством технологических систем предъявляет высокие требования к регулированию технических параметров. Необходимо согласованно управлять системами обогрева с режимами дневных и ночных температур, форточной вентиляции, зашторивания, рециркуляции воздуха, полива, электрического ассимиляционного досвечивания растений, подпитки CO_2 , химической защиты. Поддержание требуемого климата в теплицах с обеспечением фиксированного диапазона отклонения заданных параметров обеспечивается автоматизированными системами управления котловыми, электрогенерирующими установками и исполни-

тельными механизмами. Рассмотрим работу автоматизированных систем, настроенных на обеспечение требований агрономической технологии закрытого грунта, с оптимизацией расходования энергоресурсов, снижения эксплуатационных затрат. В себестоимости полученной продукции, выращиваемой в зимних теплицах, затраты на обогрев и электроэнергию достигают 60 – 70 %. Наблюдается зависимость потребления энергоресурсов от внешней климатической метеоситуации – скорости ветра, наружной температуры.

Действующие нормативы потребления энергетических ресурсов предполагают выборку объемов в пределах фиксированных договорных основных и дополнительных лимитов. Например, ценообразование по ресурсу газа имеет распределение: перерасход суточного основного объема, в пределах дополнительного суточного лимита, оплачивается в размере 110% уровня цены основного объема; потребленный объем свыше основного и дополнительного оплачивается в размере 150% уровня цены основного объема. Таким образом, целесообразно не только проводить энергосберегающие мероприятия, но и корректировать эксплуатационные режимы работы крупных агрегатов с большими объемами потребления, влияющими на определение суточных лимитов ресурсов.

Достичь высоких показателей урожайности невозможно без наличия «дешевой» энергии, т.к. применение передовых технологий и оборудования, несомненно, увеличивает не только объем и качество урожая, но и количество потребляемых ресурсов. Только системы электрического досвечивания требуют до 220 Вт световой мощности на один м² площади теплиц. Техническим решением для уменьшения «энергетической составляющей» в стоимости продукции является организация собственной автономной когенерации. Собственная когенерация, совместная выработка полезной электрической и тепловой энергии позволяет значительно уменьшить платежи в адрес электросбытовых компаний, при идентичном потреблении газа (за счет отдачи тепла контуров охлаждения и уменьшения нагрузки котельных). Коэффициент использования топлива может составлять до 95% в разных режимах работы.

Эффективное использование энергетических ресурсов в большой степени определяется полнотой использования топлива. Известно, что при работе энергетического оборудования химическая энергия углеродородного топлива превращается в электрическую (с КПД порядка 27-45% в зависимости от типа используемого привода). Оставшаяся энергия переходит в тепло, которое обычно улетучивается в атмосферу через градирни и вместе с дымовыми газами. Однако большая часть

тепла может быть полезно использована. Для утилизации полученной тепловой энергии применяют технологию когенерации, т.е. комбинированного производства двух форм энергии с использованием единой когенерационной установки.

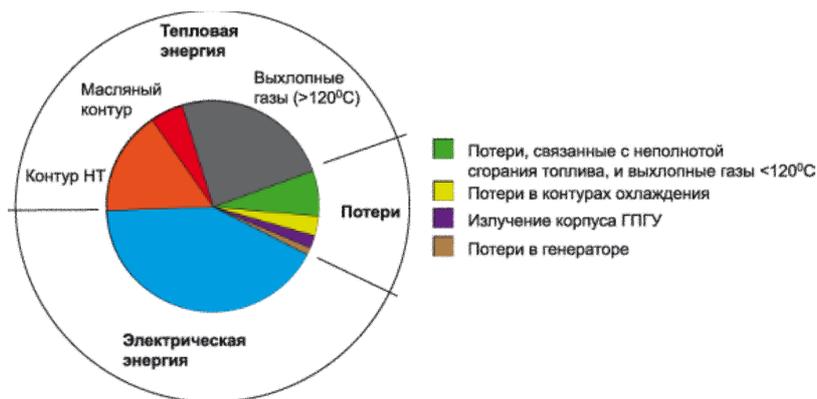


Рисунок 1 – Распределение потерь энергии в газопоршневой установке

Преимущества когенерации по сравнению с обычными процессами выработки электроэнергии очевидны: увеличение эффективности использования топлива (коэффициента использования топлива — КИТ) более чем на 90%, экологическая безопасность, автономность, минимальный уровень потерь мощности, связанный с близостью энергоцентра к потребителю и другие факторы. Наибольшей эффективностью и надежностью отличаются когенерационные установки на основе газопоршневых двигателей.

*Хоанг Ван Ва, асп.; рук-ли В.Ф. Кузицин, к.т.н, доц.,
Е.И. Мерзликина, к.т.н, доц.,
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПРИБЛИЖЕНИЯ К СУБОПТИМАЛЬНОМУ РЕГУЛЯТОРУ ДЛЯ АСР С ОБЪЕКТАМИ БЕЗ САМОВЫРАВНИВАНИЯ

В практике часто применяются автоматические системы регулирования (АСР) с объектами без самовыравнивания, например, АСР уровня в барабане котла и т.д. В этом докладе рассматриваются П, ПД и ПДД-алгоритмы в составе одноконтурной АСР с объектом без самовыравнивания. Расчет параметров настройки АСР выполним с помощью универсального беспоиcкового метода (УБМ).

УБМ предназначен для расчета настроек не только типовых регуляторов, например, П-, ПИ-, ПИД, но и нетиповых, например, ПД- и ПДД-регулятора. При применении этого метода необходимо задать постоянную времени сглаживателя T_c и диапазон приближения частотной характеристики рассматриваемого алгоритма регулирования к характеристике субоптимального регулятора. Необходимо сформулировать рекомендации по выбору указанных величин.

Передаточные функции входящих в состав АСР объектов без самовыравнивания имеют вид:

$$W_{об1}(s) = \frac{K_{об} \cdot \exp(-s \cdot \tau)}{s} \quad (a); \quad W_{об2}(s) = \frac{K_{об} \cdot \exp(-s \cdot \tau)}{s \cdot (T \cdot s + 1)} \quad (б); \quad (1)$$

где: $K_{об}$ – коэффициент передачи; T – постоянная времени; τ – время запаздывания. Целью является получение апериодического переходного процесса при ступенчатом изменении задания регулятору, вид этого переходного процесса представлен на рис. 2с.

Передаточные функции субоптимального регулятора для АСР с объектами без самовыравнивания (1а) и (1б), соответственно, имеют вид:

$$W_{суб1}(s) = \frac{1}{\frac{K_{об}}{s} ((T_c s + 1) - \exp(-s \cdot \tau))} \quad (a); \quad W_{суб2}(s) = \frac{1}{\frac{K_{об}}{s \cdot (T \cdot s + 1)} ((T_c s + 1) - \exp(-s \cdot \tau))} \quad (б) \quad (2)$$

Для выбора значения T_c и диапазона частот ω рассмотрим КЧХ субоптимального регулятора (2) и П-, ПД-, ПДД-регуляторов на рис. 1. Для примера рассмотрим объект с передаточной функцией (1а) и параметрами $K_{об}=0.0163$, $\tau=10$ с, объект с передаточной функцией (1б) и параметрами $K_{об}=0.1$, $\tau=5$ с, $T=30$ с.

Как видно из КЧХ, для объекта (1а) можно выбрать два диапазона частот $\Delta\omega_1=[0.0001-0.01]$ или $\Delta\omega_2=[0.6-0.65]$ (область, внутри которой мнимая часть КЧХ субоптимального регулятора равна 0). Для объекта (1б) можно выбрать диапазон $\Delta\omega=[0.0001-0.01]$. По результатам исследования с помощью УБМ для АСР с объектом (1а) при диапазоне $\Delta\omega_1=[0.0001-0.01]$ с ПДД-регулятором получен отрицательный параметр настройки $T_{д2}$, поэтому параметры не используются; с объектом (1б) с П-регулятором, $T_c=k\tau$; $k=(2.614+2\beta)/(\beta+3,9\cdot 10^{-5})$, $\beta=\tau/T$, в этом примере $k=18$. Все параметры настройки приведены в таблице 1.

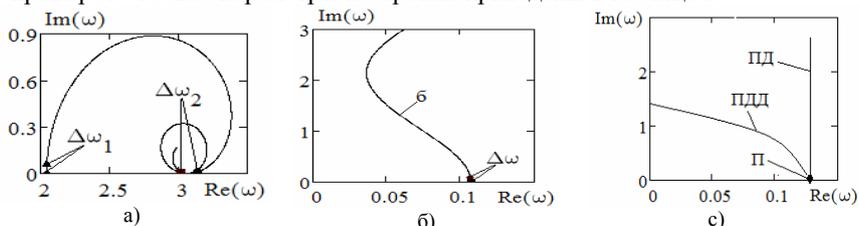


Рисунок 1 – Годографы КЧХ субоптимального регулятора объектов 1а (а), 1б (б) и линейных алгоритмов регулирования (с).

Таблица 1 - Параметры T_c , диапазоны частот ω и параметры настройки регуляторов.

Объект-КТ	$\Delta\omega$	Регулятор								
		П		ПД			ПДД			
		T_c	K_p	T_c	K_p	T_d	T_c	K_p	$T_{д2}$	
1а	0.0001-0.01	$2*\tau$	2.045	$1*\tau$	3.07	2.5	Не определены			
	0.6-0.65	$3*\tau$	2.049	$3*\tau$	2.05	$9.5*10^{-4}$	$3*\tau$	2.4	$8.1*10^{-4}$	0.61
1б	0.0001-0.01	$18*\tau$	0.105	$2*\tau$	0.67	30.86	$2*\tau$	0.67	30.84	4.93

Переходные процессы в АСР приведены на рис. 2.

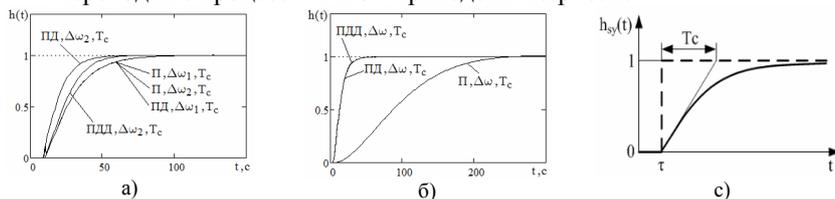


Рисунок 2 – Переходные процессы АСР с объектом 1а (а), 1б (б) и эталонный (с).

Как видно из рис.2, наилучший переходный процесс наблюдается в АСР с объектом (1а) и ПД-регулятором, $T_c=3*\tau$, диапазон $\Delta\omega_2=[0.6-0.65]$. Для АСР с объектом (1б) переходные процессы для случаев ПД-или ПДД-регулятора практически совпадают, $T_c=2*\tau$, $\Delta\omega=[0.0001-0.01]$, переходный процесс в АСР с П-регулятором значительно более длительный.

*М.А. Альбещенко, студ.; рук. Е.К. Торопова, ст. преподаватель
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДЫ AUTOCAD®ELECTRICAL ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

В связи с актуальностью разработки электрических схем для АСУТП целью работы определена оценка возможностей применения системы автоматизированного проектирования AutoCAD®Electrical проектировщиками систем управления и электрощитового оборудования. Программное обеспечение AutoCAD®Electrical обладает всеми возможностями программного продукта AutoCAD и включает в себя набор специализированных функций для проектирования.

Продукт поддерживает многие международные стандарты оформления чертежей, в т.ч. отечественные ГОСТы, и содержит обширные библиотеки условных обозначений. Также существует возможность расширить библиотеку графических образов, для этого есть специальный инструмент «Конструктор графических образов».

Кроме схем проекты обычно включают в себя различные технические документы, такие как: перечни элементов, таблицы соединений, кабельные журналы и т.д. В AutoCAD®Electrical имеются функции автоматической генерации отчетов по схемным данным, причем документы формируются по российским стандартам, а после существует возможность экспортировать их в следующие файлы: MicrosoftExcel, Microsoft Acces, форматов XML или SCV.

В реальном времени AutoCAD®Electrical отслеживает и предупреждает об ошибках, например, повторение номеров проводов, повторение позиционных обозначений клемм, превышение допустимого количества контактов для катушки реле и др.

Сделан вывод о том, что все перечисленные особенности продукта делают его более приоритетным для создания проектов, чем обычный AutoCAD. За счет автоматизации множества типовых задач достигается существенное ускорение выпуска конструкторской документации и, следовательно, разработка технического задания.

Библиографический список

1. **AutoCAD®Electrical 2009.** Руководство пользователя. Корпорация Autodesk. 111 McInnis Parkway San Rafael, CA 94903, USA. – 1786 с.
2. **Серия** публикаций о методике проектирования в AutoCAD Electrical [электронный ресурс]: учебный центр. Режим доступа к сайту: <http://www.nipinfor.ru/>.
3. **Autodesk.** Программы для 3D-проектирования, дизайна, анимации и графики [электронный ресурс]. Режим доступа к сайту: <http://www.autodesk.ru/>.

*М.Н. Альбещенко, студ.; рук. А.Р. Горнушкин, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ ИТЕРАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

При исследовании многих технологических процессов возникает необходимость решения нелинейных или трансцендентных уравнений. Часто для этого используют итерационные методы.

В работе рассмотрено решение уравнения:

$$\sin x + \cos x = \tan x$$

Корень уравнения принадлежит промежутку $[0; \frac{\pi}{2}]$ (рис. 1).

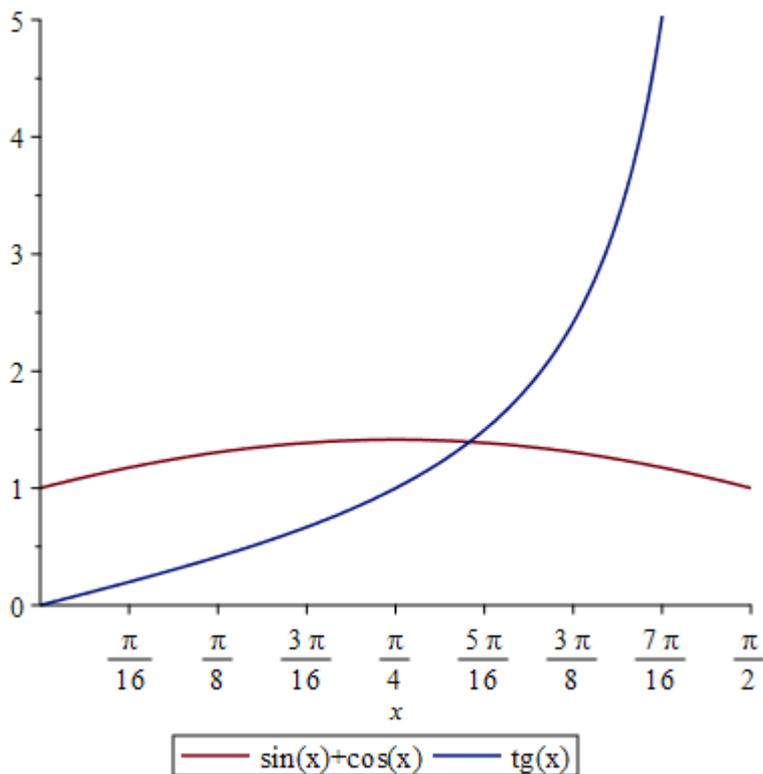


Рисунок 1

Для его нахождения предложены пять итерационных схем первого порядка

1. $x_{k+1} = \sin^{-1}(\tan x_k - \cos x_k)$
2. $x_{k+1} = \cos^{-1}(\tan x_k - \sin x_k)$
3. $x_{k+1} = \tan^{-1}(\sin x_k + \cos x_k)$
4. $x_{k+1} = x_k + \sin x_k + \cos x_k - \tan x_k$
5. $x_{k+1} = \sqrt{x_k^2 + \sin x_k + \cos x_k - \tan x_k}$

Начальные приближения к корню выберем $x_0 = 0$, точность нахождения решения $\varepsilon = 0.00001$, критерий окончания вычислений $|x_{k+1} - x_k| < \varepsilon$.

Результат произведения расчетов представлены в таблице.

Метод	1	2	3	4	5
Кол-во итераций	Расходится	Расходится	5	Расходится	25

Проанализировав графики производных соответствующих методов, получаем, что значения производной в 1-ом, 2-ом и 4-ом случаях значительно больше 1. Во втором случае меняются в диапазоне от -0.4 до 0.4, в пятом в диапазоне от -6 до 0.1. Таким образом критерием для оценки эффективности метода может быть использовано значение первой производной. И, для этого уравнения выгоднее применять 3 метод итераций.

Библиографический список

1. **Кацман Ю. Я.** Прикладная математика. Численные методы. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 68 с.

*Е.А. Демидова, студ.; рук. Е.К. Торопова, ст. преподаватель
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЗАЩИТА КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ФОРМАТА DWG

Сегодня одно из первых мест по актуальности занимает проблема защиты электронной конструкторской документации. Целью работы является выбор доступного способа защиты чертежей для файлов формата DWG, имея в виду, что каждый из них имеет свои достоинства и недостатки.

Защита при сохранении чертежа в PDF-файле характеризуется простотой и доступностью. После сохранения качество документа не теряется, сохраняются все слои. В системе AutoCAD имеется набор функций «Печать – DWGTOPDF». Этот набор действий позволяет достаточно быстро переформатировать файл. Однако существует огромное количество утилит, которые преобразуют PDF-файлы в формат DWG. Бесплатные программы при этом искажают исходный документ: появляется большое количество отдельных примитивов, текст переходит в набор линий и сплайнов. Система AutoCAD позволяет добавлять пароль к созданному документу. Для установки пароля требуется выполнить команду БЕЗОПНАСТР, затем открыть диалоговое окно «Параметры безопасности» (SecurityOptions). На вкладке «Пароль» (Password) следует ввести будущий пароль.

Часто приходится защищать чертежи от копирования и редактирования непосредственно в формате DWG. В этом случае можно использовать многовариантные блоки, которые позволяют превратить весь чертеж в единый блок, который нельзя будет «расчлениить». Для создания такой защиты необходимо скачать дополнительное LISP-приложение. После его установки достаточно ввести команду ESCONVERT, чертеж автоматически будет преобразован в неразрывный блок. Помимо рассмотренных вариантов защиты конструкторской документации формата DWG существуют и другие. Однако проведенный анализ и практическое применение показали, что ни один из методов на сегодняшний день не является универсальным, обеспечивая 100 % сохранность данных. Защищенность документа зависит лишь от опыта и знаний человека, пользующегося системой AutoCAD и знакомого с программированием на LISP.

Библиографический список

1. **Полецук Н.Н.** AutoCAD 2008. – СПб: БХВ-Петербург, 2007. – 1184 с.
2. **Autodesk** AutoCAD 2017. Справка.

*Е.А. Демидова, студ.; рук. А.Р. Горнушкин, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ДИНАМИЧЕСКИЕ АНАЛОГИИ В ТЕХНИКЕ

Для понимания какого-либо неизвестного явления, мы очень часто используем метод аналогий, то есть проводим аналогию между предметом познания и известными подобными знаниями о чем-нибудь другом на основе проведения сравнения отдельных свойств [3].

Аналогия (греч. *analogia* – соответствие, сходство) – сходство в каком-нибудь отношении между явлениями, предметами, понятиями [1].

В качестве основы для построения динамических аналогий используются дифференциальные уравнения.

Рассмотрим аналогии между электрическими, механическими и акустическими системами на конкретных примерах.

А) Индуктивность. Электромагнитная энергия связана с индуктивностью. Величина индуктивности L (генри) определяется соотношением

$$e = L \frac{di}{dt}, \quad (1)$$

где: e – электродвижущая сила (вольт),

$\frac{di}{dt}$ – изменение тока (ампер/сек).

Из уравнения (1) видно, что электродвижущая сила в индуктивности пропорциональна индуктивности и изменению тока.

В) Масса. Кинетическая энергия в механических поступательных системах связана с массой. Масса m в килограммах определяется соотношением

$$f_M = m \frac{dv}{dt}, \quad (2)$$

где: f_M – сила (Н),

$\frac{dv}{dt}$ – ускорение (м/сек²).

Из уравнения (2) видно, что сила, приложенная к массе, пропорциональна массе и изменению линейной скорости.

С) Момент инерции. Величина кинетической энергии во вращательных механических системах связана со значением момента инерции. Момент инерции I (кг · м²) определяется соотношением:

$$f_R = I \frac{d\theta}{dt}, \quad (3)$$

где: f_R – крутящий момент (Н · м),

$\frac{d\theta}{dt}$ – угловое ускорение (радиан/сек²).

Из уравнения (3) видно, что крутящий момент пропорционален моменту инерции и изменению угловой скорости.

Д) Инертность. Инертность акустической системы связана с акустической энергией. Инертность M (кг/м⁴) определяется соотношением

$$p = M \frac{dU}{dt}, \quad (4)$$

где: p – давление (Н/м²),

$\frac{dU}{dt}$ – изменение тока в среде (м³/сек²).

Из уравнения (4) видно, что давление, приложенное к какой-либо инертности, пропорционально инертности и изменению тока в среде.

Аналогии бывают полезны при анализе в неисследованных областях. С помощью аналогий можно сравнить неизвестную систему с ранее изученной. В более полно исследованной системе взаимодействие элементов видно нагляднее, и аналитические методы применяются с большим успехом.

Многие инженерные расчеты связаны с колебательными системами. Наиболее широко распространенной является электрическая колебательная система. Уравнения электрических цепей могут основываться на теории Максвелла, в которой токи эквивалентны скоростям. Выражения для кинетической энергии, потенциальной энергии показывают, что уравнения цепей вытекают из общих уравнений динамики. Это показывает аналогию, существующую между электрическими, механическими и акустическими колебательными системами.

В настоящее время теория электрических цепей изучена лучше, чем теория механических систем. Поэтому, хоть уравнения механики и были получены намного раньше, было предложено анализировать акустические и механические системы путем преобразования их к электрическим аналогам.

Библиографический список

1. Ожегов С.И., Шведова Н.Ю. Толковый словарь русского языка. М.:ИТИ Технологии,2008.-944с.
2. Ольсон Г. Динамические аналогии. М: Гос. изд-во иностранной литературы, 1947. - 224 с
3. Ясинский С.А. Основы динамических аналогий в исследовательской деятельности. СПб.:ВУС,2004.-164с.

Секция 4.
ТЕХНОЛОГИЯ ВОДЫ И ТОПЛИВА.
ЭКОЛОГИЯ ТЭС И ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ

Председатель секции
зав. кафедрой «Химии и химических технологий в
энергетике», к.т.н., доц. Н.А. Еремина
Секретарь секции к.т.н., доц. Е.А. Карпычев

Е.Д. Римашевская, м.т.н.¹; рук. В.А. Чиж, к.т.н., доц.²
(ОАО «Белэнергоремналадка», г. Минск¹)
(БНТУ, г. Минск²)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПУТЕЙ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРЕДОЧИСТКИ
ВОДЫ НА ТЭС И АЭС

В настоящее время актуальной проблемой в Республике Беларусь становится модернизация существующего оборудования объектов энергетики с целью снижения эксплуатационных затрат и, соответственно, себестоимости производимой продукции. В области водоподготовки перспективным направлением является перевод существующих ионообменных водоподготовительных установок (ВПУ) на протivotочный принцип ионирования воды и мембранные технологии [1-6].

Особое требование для реализации данных прогрессивных технологий – высокое качество предварительной очистки воды, что традиционные предочистки с использованием осветлителя получить не позволяют [7,8].

Целью настоящей работы является повышение эффективности работы предочисток объектов энергетики при внедрении прогрессивных технологий водоочистки на тепловых (ТЭС) и атомных (АЭС) электростанциях. Достижение поставленной цели возможно лишь за счет модернизации установленного оборудования, совершенствования технологических процессов и использования современных фильтрантов (для механических фильтров). Для достижения поставленной цели в работе проведены расчеты и анализ схем предочистки воды.

Научная новизна проведенных исследований состоит в проведении сравнительного анализа традиционных схем предочистки воды с ис-

пользованием осветлителей и перспективных, основанных на осадительных методах очистки (установки с оптимизированными условиями смешения с коагулянтом и флокулянтом с использованием механических перемешивающих устройств и либо с рециркуляцией осадка, либо с введением специальных утяжелителей), на методе динамического осветления, или на применении мембранных технологий.

Личный вклад автора заключается в проведении сравнительной оценки экологической и экономической эффективности различных схем предочистки воды.

Результаты работы могут использоваться для решения широкого класса задач по очистке природных и технологических вод ТЭС и АЭС при проектировании новых и модернизации существующих схем предварительной обработки воды.

Библиографический список

1. Римащевская, Е.Д. Совершенствование малоотходных технологий водоподготовки ТЭС // Материалы I Всероссийской молодежной научно-практической конференции “Введение в энергетику”, 17-19 декабря 2014 г., Кемерово [Электронный ресурс]/ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева», Кемерово, 2014. Режим доступа: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2014/energ1/energ1/pages/Articles/1/Rimashevskaya.pdf>. Дата доступа: 15.01.2017.

2. Римащевская, Е.Д. Состояние технологии подготовки водного рабочего тела на ТЭС Республики Беларусь // Актуальные проблемы энергетики: материалы 71-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / Белорусский национальный технический университет. – Минск, БНТУ, 2015 г. С.226-227.

3. Римащевская, Е.Д. Совершенствование малоотходных технологий ХВО // Актуальные проблемы энергетики: материалы 71-й научно-технической конференции студентов и аспирантов/ Белорусский национальный технический университет. – Минск, БНТУ, 2015 г. С.254-257.

4. Римащевская, Е.Д. Совершенствование подготовки подпиточной воды теплосети. Внедрение прогрессивных технологий // Введение в энергетику. Материалы II Всероссийской (с международным участием) молодежной научно-практической конференции, 23-25 ноября 2016 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф.Горбачева»; редкол.: С.Г. Костюк (отв. редактор) [и др.]. – Кемерово, 2016.. – Режим доступа: http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2016/energ1/energ/pages/Articles/1/Rimashevskaja_2.pdf. Дата доступа: 15.01.2017.

5. Римащевская, Е.Д. Разработка малосточной ВПУ ТЭЦ // Электроэнергетика глазами молодежи – 2015. Том 2. Иваново, 2015. С.358-363.

6. Римащевская, Е.Д. Применение современных экологических и ресурсосберегающих технологий обессоливания воды при проектировании водоподготовительных установок тепловых и атомных электрических станций // Сборник научных работ студентов Республики Беларусь «НИРС-2015». Минск, изд.центр БГУ, 2016. С. 124-125.

7. Чиж, В.А. Пути совершенствования предварительной обработки воды на ТЭС / В.А.Чиж, Е.Д. Римащевская // Энергетика и энергосбережение: теория и практика. Материалы I Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф.Горбачева»; редкол.: С.Г. Костюк (отв. редактор) [и др.]. – Кемерово, 2014. – Режим доступа:

<http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other2014/oldenerg1/energ1/pages/Articles/1/Chizh.pdf>. – Дата доступа: 15.12.2016.

8. **Римашевская, Е.Д.** Модернизация установок предочистки на ТЭС и АЭС с внедрением прогрессивных технологий // Введение в энергетику. Материалы II Всероссийской (с международным участием) молодежной научно-практической конференции, 23-25 ноября 2016 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф.Горбачева»; редкол.: С.Г. Костюк (отв. редактор) [и др.]. – Кемерово, 2016. – Режим доступа: http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2016/energ1/energ/pages/Articles/1/Rimashevskai_1.pdf. Дата доступа: 15.01.2017.

*Д. И. Гатауллин, студ.; Д. И. Федоренков, студ.;
рук. С. М. Власов, к.т.н., доцент каф. ТЭС
(КГЭУ, г. Казань)*

ОБЗОР ВНЕДРЕНИЯ МАЛОУХОДНЫХ ОБРАТНО ОСМОТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ТЭС РФ.

Природные воды, используемые для подпитки тепловых сетей, основного пароводяного тракта и других технических целей на ТЭС, требуют сложной очистки на водоподготовительных установках (ВПУ). Предварительная очистка предназначена для выделения из воды грубодисперсных и коллоидных веществ, снижения щелочности воды. На дальнейших этапах производится очистка воды от истинно растворенных примесей. Для этого используются разные методы. Одним из таких методов является обратный осмос.

Обратный осмос – современный метод водоочистки, основанный на процессе перехода растворителя из раствора через полупроницаемую мембрану под действием внешнего давления. Движущей силой обратного осмоса является разность давлений. Для получения воды методом обратного осмоса, нужно создавая избыточное давление, превышающее осмотическое, «заставить» молекулы диффундировать через полупроницаемую мембрану в направлении, противоположном прямому осмосу. Этот метод считается профильными специалистами одним из наиболее перспективных в настоящее время. Прежде всего, это связано с целым рядом существенных преимуществ, среди которых стоит выделить:

- низкие затраты энергии в процессе работы;
- надежную элементную базу;
- способность, применяя мембранные установки обратного осмоса, удалять из воды различные примеси, растворённые минеральные соли, нитраты, мышьяк, а также разного рода вирусы и бактерии;

— возможность использования установок обратного осмоса для обессоливания воды при её концентрации до 40 г/л.

Основным недостатком всех мембранных систем является достаточно низкий коэффициент использования исходной воды. Если в традиционной ионообменной схеме с коагуляцией и механической фильтрацией собственные нужды составляют 10-20%, то для типичного сочетания ультрафильтрации и обратного осмоса этот показатель 40-50%.

Полученный опыт эксплуатации обратноосмотических установок показывает, что во многих случаях новые технологии имеют существенные преимущества перед традиционными ионообменной и термической технологиями подготовки добавочной воды и являются техническими решениями, заметно улучшающими экологические характеристики водоподготовительных установок (ВПУ) электростанций [1].

Внедрение подобных установок позволит улучшить водно-химический режим, стабилизировать качество питательной воды в пределах норм ПТЭ, снизить объём непрерывных продувок котлового оборудования. Кроме того, основные показатели фильтрата установки обратного осмоса, качество которого приближается к качеству обессоленной воды, значительно улучшаться. Например, солесодержание фильтрата примерно в 20 раз ниже, чем в ХОВ.

Библиографический список

1. **Чичирова, Н.Д.** Баромембранные технологии в энергетике: Монография. / Н.Д.Чичирова, С.М. Власов – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2011. – 272 с.

*С.Р. Саитов, асп.; рук. Н.Д. Чичирова, д.х.н., проф.
(КГЭУ, Казань)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВОК ОБРАТНОГО ОСМОСА НА ТЭС

В последние годы требования к экологической безопасности промышленных предприятий становятся все строже (п. 2 ст. 16 ФЗ РФ от 10.01.2002 № 7, ПП от 12.06.2003 № 344, ФЗ РФ от 23.11.2009 № 261, ФЗ РФ от 19.07.2011 № 89, ФЗ РФ № 52, ФЗ РФ от 27.12.2002 № 184), благодаря чему стали актуальными направления исследования, связанные с рационализацией природопользования.

Одним из перспективных направлений является защита водоисточников от сбросов с водоподготовительных установок (ВПУ) тепловых электрических станций, согласно которому необходимо уменьшать потребление химических реагентов, а так же сокращать объем сточных вод. Методы водоподготовки, применяемые сегодня (чаще всего – ионный обмен), не достаточно экологичны и слабо автоматизированы.

С точки зрения защиты окружающей среды и повышения комфортности эксплуатации наиболее эффективно подходят баромембранные технологии, так как они осуществляют безреагентный метод обессоливания воды, при этом установки обратного осмоса (УОО) компактны, а главное высоко автоматизированы.

Но и здесь возникают проблемы. Обратный осмос даёт большой объем стоков за счет низкого коэффициента использования исходной воды, что делает данную технологию неэкономичной с точки зрения водопотребления. Большая часть существующих приемов, направленных на повышение эффективности ВПУ с УОО, подразумевает существенные капитальные затраты на свою реализацию [1].

Возникает потребность в разработке решения, позволяющего сократить размеры стоков путём выявления скрытых внутренних резервов самой схемы, без использования существенных капитальных и дополнительных эксплуатационных затрат. Выявить такие резервы возможно, создав математическую модель схемы ВПУ ТЭС [2], а так же проанализировав суточный контроль рабочих параметров.

Библиографический список

1. **Чичирова Н.Д.** Моделирование и оптимизация схемы водоподготовки ТЭС с обратноосмотическими модулями // Труды Академэнерго. 2016, - №2. – С. 60-72.
2. **Саитов С.Р.** Программа расчета физико-химических процессов в схемах водоподготовки ТЭС с обратноосмотическими модулями // Свид. о рег. пр. ЭВМ № 2016615906 от 02.06.2016.

*Н.В. Балашова, маг.; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОГО МОДУЛЯ НА КАЧЕСТВО ПЕРМЕАТА

Технологический расчет мембранных установок в настоящее время осуществляется в основном с помощью компьютерных программ, которые предоставляются компаниями производителями мембранных элементов.

Для расчета установок обратного осмоса, ультрафильтрации и нанофильтрации с применением мембранных элементов фирмы Hydranautics используется программа «IMSDesign» (разработчик фирма Hydranauticsa Nitto Denko Corporation) [1].

Основными исходными данными для расчета установки обратного осмоса (УОО) являются следующие характеристики: показатели качества обрабатываемой воды, производительность установки и гидравлический КПД мембранной установки.

В программе «IMSDesign» могут варьироваться следующие параметры:

- тип исходной воды для технологии мембранного разделения;
- варианты подготовки воды перед УОО (подкисление или подщелачивание обрабатываемой воды, ионообменное умягчение);
- срок эксплуатации мембранного элемента;
- варианты выбора соединения обратноосмотических модулей, а также возможность рециркуляции и подмеса к исходной воде концентрата.

В программе имеется возможность задавать установку в обратноосмотическом модуле до трех различных видов мембранных элементов. Кроме того, в состав обрабатываемой воды можно включать содержание ионов Cu^{2+} , Mn^{2+} , Cr^{2+} , Ni^{2+} , Al^{3+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} и др., что позволяет проводить расчет установок обработки сточных вод.

Срок службы мембранных элементов обычно составляет от 4 до 8 лет, после которого требуется полная их замена. В работе исследовалось, как производители прогнозируют ухудшение эксплуатационных характеристик обратноосмотических элементов в зависимости от срока их использования при очистке воды.

Для проведения расчетного исследования была использована компьютерная программа «IMSDesign» версии 1.215.69. В качестве исходной воды поступающей на УОО была принята вода реки Волга. Коэф-

коэффициент выхода пермеата задавался равным 75 %. Расчеты проводились для одноступенчатой двухкаскадной УОО. В качестве мембранного элемента в модулях были приняты высокоселективный рулонный обратноосмотический элемент серии CPA5 MAX-8040.

Результаты выполненного расчета представлены на рис. 1.

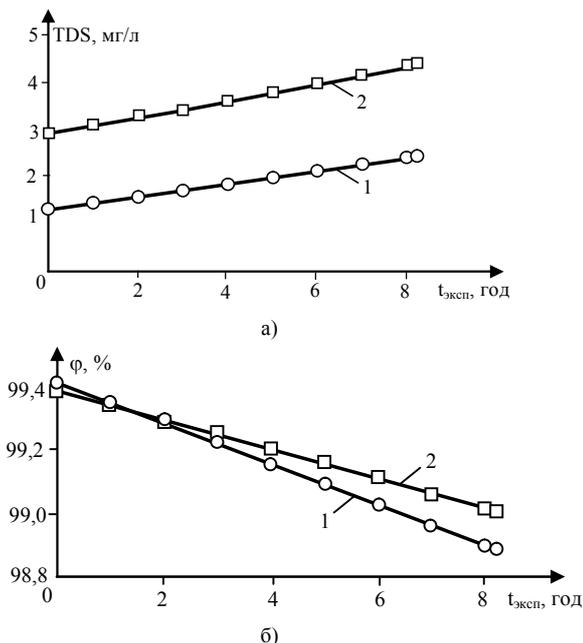


Рисунок 1 – Зависимость соледождения пермеата (а) и селективности мембран (б) от срока эксплуатации обратноосмотического элемента

Анализ полученных результатов показал, что с увеличением срока службы обратноосмотических элементов соледождение пермеата увеличивается, а селективность мембран уменьшается (в среднем на 0,04–0,06 % в год), причем эти изменения носят практически линейный характер, и они зависят от условий работы мембраны.

Библиографический список

1. **Программное обеспечение:** IMSDesign-2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://membranes.com/solutions/software/>.

*Н.В. Балашова, маг.; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СРАВНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТНЫХ ПРОГРАММ

Технологический расчет мембранных установок производится в основном с помощью компьютерных программ, которые разработаны и поставляются фирмами-поставщиками мембранных элементов. К таким программам относятся: ROSA (Reverse Osmosis System Analysis), IMSDesign, NanoTechPRO, Toray DC, WATERLAB и др.

Основными исходными данными для расчета установок обратного осмоса (УОО) являются показатели качества обрабатываемой воды, производительность установки и гидравлический КПД мембранной установки.

Наиболее широко для определения рабочих характеристик мембранных установок используется программа ROSA (разработчик фирма Dow Chemical), которая предназначена для проведения технологического расчета установок обратного осмоса и нанофильтрации с элементами фирмы FILMTEC.

К недостатку этой программы можно отнести отсутствие учета некоторых вариантов обработки воды, поступающей на установку, таких как добавление коагулянта, антискалянтов и т.д. Кроме того, не предусмотрена программная оптимизация выбора необходимого количества обратноосмотических элементов и модулей.

Программа IMSDesign (разработчик фирма Hydranauticsa Nitto Denko Corporation), предназначена для расчета установок обратного осмоса, ультрафильтрации и нанофильтрации с применением мембранных элементов фирмы Hydranautics. В нее заложена оптимизация нахождения необходимого количества обратноосмотических модулей. Имеется возможность подбора необходимого насосного оборудования.

Программа NanoTechPRO предназначена для расчета параметров УОО с применением мембранных элементов российской компании МЕМБРАНИУМ. В нее заложены данные по многим источникам исходной воды (морская вода, тестовые и колодезные воды, пресные водоемосточники) и представлена база данных мембранных элементов с возможностью использования мембран других фирм производителей. В программе указываются критические ошибки, которые не позволяют сделать расчет мембранной установки.

В работе проводилось исследование по сравнению эффективности обраноосмотических элементов с одинаковыми техническими характеристиками разных производителей, с помощью компьютерных программ фирм производителей этих мембранных элементов.

В качестве исходной воды для расчета была принята умягченная вода реки Москва. Коэффициент выхода пермеата (гидравлический КПД) задавался равным 75 %. Производительность установки – 75 м³/ч. Для расчета была принята одноступенчатая двухкаскадная установка.

Сравнение эффективности очистки проводилось для трех мембранных элементов разных производителей: CPA5 MAX-8040 (фирма Hydranautics), BW30HR-440i (фирмы Filmtec) и КС 8040-С (фирмы Мембраниум). Мембранные элементы разных производителей подбирались так, чтобы их технические характеристики были близки.

Результаты сравнения расчетных характеристик эффективности обессоливания воды рассмотренных мембранных элементов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчета показателей качества пермеата для обратноосмотических элементов различных производителей

Показатель	Исходная вода	Пермеат после обратноосмотического элемента		
		КС 8040-С	BW30HR-440i	CPA5 MAX-8040
C _{Na⁺} , мг/л	98,14	0,74	1,80	1,34
C _{Mg²⁺} , мг/л	0,20	0,00	0,00	0,00
C _{Ca²⁺} , мг/л	0,50	0,00	0,00	0,00
C _{Cl⁻} , мг/л	25,50	0,29	0,32	0,19
C _{SO₄²⁻} , мг/л	13,50	0,05	0,09	0,03
C _{CO₃²⁻} , мг/л	0,48	0,00	0,00	0,00
C _{HCO₃⁻} , мг/л	201,00	1,91	4,21	3,21
C _{CO₂} , мг/л	9,14	9,12	7,43	9,60
C _{SiO₂} , мг/л	10,00	0,07	0,04	0,07
TDS, мг/л	349,32	3,06	6,46	4,90
pH ₂₅	7,50	5,54	5,97	5,74

Рассмотренные обратноосмотические элементы имеют близкие характеристики водных потоков УОО: концентрата и пермеата. При этом мембранные элементы фирмы Мембраниум обеспечивают получение пермеата с солесодержанием в 2 раза меньше по сравнению с мембранами фирмы Filmtec и в 1,5 раза меньше по сравнению с мембранами фирмы Hydranautics, что существенно влияет на эффективность работы последующих после УОО ступеней обессоливания.

*А.А. Дроздов, маг.; рук. Б.М. Ларин, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПАРОВОДОКИСЛОРОДНАЯ ОЧИСТКА, ПАССИВАЦИЯ И КОНСЕРВАЦИЯ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Надежная бесперебойная эксплуатация энергетического оборудования в значительной степени зависит от состояния внутренних поверхностей нагрева.

Одним из наиболее эффективных методов обработки поверхностей нагрева котлов является парокислородная или пароводокислородная пассивация и консервация внутренних поверхностей труб.

Метод основан на применении воды, перегретого или насыщенного пара с кислородом для создания на поверхности металла устойчивой защитной плёнки, что значительно повышает защиту металла от коррозии на длительный период при остановках, стабильных, переменных и пусковых режимах эксплуатации, существенно сокращает время пуска котлов в эксплуатацию из-за сокращения периода отмывки [1].

Пароводокислородная обработка кроме того позволяет:

- обеспечить экологическую чистоту за счет отсутствия сточных вод;

- снизить использование химических реагентов;

- снизить металлоемкость и уменьшить трудозатраты на монтаж и демонтаж схемы, что сокращает срок предпусковых работ;

- резко сократить перенос продуктов коррозии в тракте котлов энергоблоков во время их эксплуатации, тем самым обеспечить более надежную продолжительную (не менее 5 лет) работу энергооборудования без дополнительной консервации котлов (энергоблоков) во время их останова;

- обеспечить очистку внутренних поверхностей нагрева.

Данная технология успешно применяется для обработки барабанных котлов, прямоточных котлов [2].

С моим участием была проведена пароводокислородная очистка, пассивация и консервация барабанного котла БКЗ-420-140 Волгодонской ТЭС и двух корпусов котла ТПЕ-208 Череповецкой ГРЭС. Результаты проведенной обработки будут представлены в данной работе.

Библиографический список

1. **СТО ВТИ 37.005 - 2013.** Методические указания по пароводокислородной очистке, пассивации и консервации внутренних поверхностей энергооборудования.

2. **Манькина Н.Н.** Физико-химические процессы в пароводяном цикле электростанций. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 2008. – 432 с.: ил.

*А.Ю. Логинова, студ.; рук. Е.А. Карпычев, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА ОТЛОЖЕНИЙ ИНЕРТНОГО МАТЕРИАЛА IP-4

Водоподготовительная установка (ВПУ) производительностью 500 м³/ч, располагающаяся на территории ПАО «Северсталь», состоит из двух горизонтальных осветлителей, пяти механических фильтров, трёх блоков противоточных двухкамерных ионитных фильтров по технологии «Schwebbett». Н-катионитный фильтр по ходу рабочей среды загружен слабокислотным катионитом Purolite C-104 и сильнокислотным катионитом Purolite C-104. ОН-анионитный фильтр по ходу рабочей среды загружен слабоосновным анионитом Purolite A-847 и сильноосновным анионитом Purolite A-400. Во всех камерах фильтров предусмотрена загрузка инертного материала марки Purolite IP-4.

Ионообменный материал в течение всего срока эксплуатации подвержен значительному «отравлению» вследствие ухудшения показателей качества осветленной воды, а именно увеличенных значений массовой концентрации соединений железа и окисляемости.

Технология восстановительной обработки ионообменного материала существует и рассмотрена в источнике [1].

При сервисном обслуживании ОН-анионитного фильтра выявлено значительное загрязнение инертного материала IP-4 верхней камеры ОН-анионитного фильтра бурыми отложениями. Причем инертный материал остальных камер блока обессоливания не подвержен загрязнению. С целью определения состава и влияния отложений на технологический процесс ионирования требуется провести лабораторные исследования.

Выполнен анализ пробы загрязнённого инертного материала на предмет растворения отложений в неорганических кислотах и щелочах, а также количественного состава загрязнителя.

По результатам химической очистки инертного материала и анализа отложений получены следующие результаты:

- отложения не растворимы в щелочи «NaOH»;
- отложения растворимы в концентрированной соляной кислоте. Подогрев и последующее кипячение пробы инертного материала с отложениями в концентрированной соляной кислоте положительно влияет на скорость растворения примесей;
- основным загрязнителем являются соединения железа. Содержание соединений железа в пересчёте на Fe₂O₃ составляет 58,1 %.

В дополнение к анализу отложений определены потери при прокаливании.

По результатам анализа получены следующие результаты:

- потери при прокаливании (П.П.П.) отложений составили 1,41 %;
- в состав отложений входят в основном оксиды железа;
- малые значения потери при прокаливании свидетельствуют о наличии в составе отложений незначительного количества гуматов железа.

На основании полученных результатов можно сформулировать основные выводы и рекомендации по удалению указанных отложений:

- отложения образуются в камере ионитного фильтра загруженного высокоосновным анионитом Purolite A-400, который в большей степени подвержен эффекту «отравления»[1]. «Отравление» ионитов в основном происходит гуматами, в том числе и гуматами железа, которые в свою очередь задерживаются как в ионите, так и на поверхности инертного материала;

- гуматы железа с течением времени «стареют» с образованием более простых соединений Fe_2O_3 и Fe_3O_4 . Органическая часть гуматов железа растворяется и выводится из соединений при регенерации анионитных фильтров;

- негативного влияния на технологический процесс указанные отложения не оказывают. Однако стоит отметить, что указанные отложения образуются не только на поверхности инертного материала, но и на фильтрующих элементах (колпачках) верхней дренажной системы. Это в свою очередь может привести в долгосрочной перспективе к уменьшению пропускной способности фильтрующего элемента и как следствие сокращение располагаемой производительности фильтра;

- одним из технологических способом очистки инертного материала может быть его обработка подогретым раствором соляной кислоты, при этом крепость раствора должна быть не менее 15 %.

Библиографический список

1. **А. Я. Сорокина, Е. Г. Ухалова, А. Ю. Будаева, Е.А. Карпычев.** Исследование эффективности восстановительной обработки высокоосновного анионита Purolite A-400. Материалы междунар. науч.-техн. Конф. «XVIII Бенардосовские чтения» «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии». Иваново, 27-29 мая 2015 г. В 2 т. Т 2 / Под ред. С. В. Тарарыкина, В. В. Тютикова, В. А. Шуина и др. – Иваново: ФГБОУ ВПО «Иван. гос. энерг. ун-т им. В. И. Ленина», 2015 – 339 с. С.78-81.

*А.К. Седова, маг.; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ИСХОДНОЙ ВОДЕ ПЕРЕД УСТАНОВКОЙ ОБРАТНОГО ОСМОСА

В последние 10–15 лет, благодаря существенному прогрессу в технологии изготовления мембран различных классов, запорной арматуры и систем автоматического управления, широкое применение на ТЭС находят мембранные установки водоподготовки и прежде всего на основе обратного осмоса.

Имеющийся опыт эксплуатации установки обратного осмоса (УОО) свидетельствует о том, что основным фактором, от которого зависит удовлетворительная работа мембран, является соблюдение норм качества воды, подаваемой на эту установку. Ограничивается лишь содержание тех веществ, которые могут привести к отравлению или забиванию мембран. Фирмы-производители обратноосмотических элементов оценивают качество обрабатываемой воды преимущественно коллоидным показателем SDI. Предельно допустимое SDI – 5, а при значениях SDI от 3 до 5 производители относят такие воды к проблемным, устойчивая работа обратноосмотического элемента гарантируется при SDI < 3, то есть при малом содержании коллоидных примесей.

На поверхности мембран УОО происходит образование биопленки, которая представляет собой колонию закрепившихся и развившихся микроорганизмов [1]. Биопленка может разрушить верхний активный слой мембраны, кроме того она может выступать в качестве «ловушки» для взвешенных частиц, которые могут быстро создать плотные отложения на мембране. Лучшим способом ограничения роста микроорганизмов является как эффективное удаление собственно микроорганизмов, так и питательных веществ, которые они используют.

Уничтожение микроорганизмов проводят в первую очередь за счет обеззараживания исходной воды с помощью биоцидов – газообразного хлора Cl₂, гипохлорит натрия NaClO и диоксида хлора ClO₂.

К преимуществам реагентной обработки можно отнести высокую эффективность обеззараживания, простота используемого технологического оборудования и его обслуживание, дешевизна применяемого реагента. Однако при этом, появляются опасности при работе с химическими веществами, велика вероятность передозировки химического реагента, возникает необходимость последующей очистки воды от образующихся побочных продуктов реакции окисления.

Антибактерицидную обработку исходной воды проводят также физическими методами и в первую очередь, используя обеззараживание

ультрафиолетовыми лучами. Обеззараживающий эффект ультрафиолетового излучения обусловлен фотохимическими реакциями, в результате которых происходят необратимые повреждения ДНК, РНК и клеточных мембран, что вызывает гибель микроорганизмов.

Одной из проблем при использовании мембранных методов очистки воды является образование минерального осадка на поверхности мембраны, прежде всего соединений CaCO_3 , CaSO_4 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и SiO_2 . Для борьбы с осадкообразующими веществами используют предварительное умягчение и подкисление исходной воды перед УОО. Эффективно применяются также предварительная дозировка ингибиторов – веществ, которые замедляют или предотвращают кристаллизацию малорастворимых солей из раствора. В качестве ингибиторов применяют комплексные соединения высокомолекулярных органических кислот, например фосфоновых.

Одним из факторов, влияющих на работу УОО является температура обрабатываемой воды. Этот показатель сказывается на производительности этой установки и селективности мембран.

На рис. 1 представлена зависимость изменения солесодержания пермеата УОО для мембран типа FILMTEC фирмы Dow Chemical полученная с помощью программы ROSA.

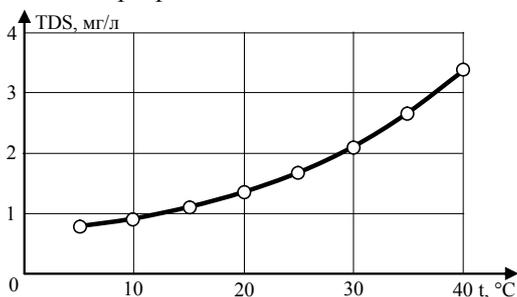


Рисунок 1 – Зависимость солесодержания пермеата (TDS) после УОО в зависимости от температуры обрабатываемой воды (t)

Полученные данные можно аппроксимировать формулой

$$\text{TDS}_t = (0,2113e^{0,0544t} + 0,1771)\text{TDS}_{25},$$

где TDS_t , TDS_{25} – солесодержание пермеата при фактической температуре и температуре равной 25 °C соответственно, мг/л.

Библиографический список

1. **Рябчиков, Б.Е.** Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. – М.: ДеЛи принт. – 2004. – 328 с.

*Д.С. Трухин, маг.; рук. А.Б. Ларин, к. т. н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ

Надежность и срок работы тепловых и атомных электростанций напрямую зависит от уровня подготовки специалистов и технологического уровня оборудования. Это означает, что технологический уровень установок водоподготовки, водно-химического режима и систем химического контроля должен постоянно повышаться, равно как и качество подготовки специалистов. Внедрение более совершенных систем и создание лабораторных учебных стендов позволит увеличить срок службы и снизить затраты на эксплуатацию энергетического оборудования, а также улучшить работу ТЭС на критических и сверхкритических параметрах пара.

Одним из способов по усовершенствованию технологий химического контроля является создание многофункциональных лабораторных стендов для изучения работы рН-метров и кондуктометров в сверхчистых средах. На основе результатов исследований [1], студентами и магистрами кафедры под руководством Ларина А.Б. был разработан и смонтирован универсальный стенд «Установка обратного осмоса и химического обессоливания» для изучения и проведения исследования процессов, проходящих при обработке воды.

В состав стенда входит: насос исходной (водопроводной) воды, который питает всю установку; угольный и механический фильтры, предназначенные для очистки воды от коллоидных примесей и взвешенных веществ; мембранный элемент, служащий для задержки молекул и ионов растворенных веществ на полупроницаемой мембране; напорный бак и мембранный клапан, необходимые для запаса и питания следующих элементов стенда. Вода, прошедшая мембранный элемент, поступает на приборы химического контроля. В часть установки химического обессоливания входит насос, угольный механический фильтр и две колонки, заполненные Н-катионитным и ОН-анионитным ионообменными материалами, которые служат для очистки воды с помощью обмена между ионами, входящими в состав воды, и ионами функциональных групп, входящих в состав ионитов. По ходу движения обрабатываемой воды стенд оснащен задвижками, предназначенными для смены режимов работы установки и для отбора проб воды после каждого элемента очистки, для последующего лабораторного анализа.

Лабораторный стенд «Установка обратного осмоса и химического обессоливания воды» сконструирован с использованием оборудования, предоставленного фирмой «НПК Медиана-фильтр» с возможностью изменения схемы очистки воды и работы в следующих режимах:

- обработка воды по методу химического обессоливания, заключающаяся в процессе ионного обмена между ионами, находящимися в воде, и ионами функциональных групп ионообменных материалов Н-катионитных и ОН-анионитных фильтров;

- обработка воды по методу обратного осмоса, заключающаяся в пропуске обрабатываемой воды под давлением через полупроницаемую мембрану, которая задерживает на своей поверхности примеси растворенных в воде веществ;

- обработка воды по методу двухступенчатого обессоливания, т.е. доочистке воды на обратноосмотическом фильтре, получения воды лучшего качества на дополнительной ступени обессоливания.

Установка предназначена для проведения учебных занятий и научных исследований.

Библиографический список:

1. **Ларин Б.М.**, Колегов А.В. Измерения электропроводности и рН в системах мониторинга водного режима ТЭС/ Ларин Б.М., Колегов А.В., Ларин А.Б.-Иваново: ИГЭУ,2014.-332 с.

*И.А. Чернова, маг.; рук. Е.А. Карпычев, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ИМПОРТНЫХ ИОНООБМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

На большинстве водоподготовительных установках ТЭС (ВПУ) используются ионообменные материалы отечественного и импортного производства. При этом большая доля потребления импортных ионитов (в основном американских и европейских производителей) приходится на слабоосновные аниониты.

Использование на ВПУ импортных ионообменных смол в условиях сложной экономической ситуации в России привело к значительному увеличению удельных затрат на выработку обессоленной воды.

Требуется дополнительное изучение возможности замены дорогих импортных материалов на более дешёвые отечественные аналоги.

Подобные работы проводились и ранее [1], однако требуется дополнительно получить информацию о перспективах использования отечественных слабоосновных анионитов.

Автором в составе исследовательской группы были проведены сравнительные лабораторные испытания образцов акриловых слабоосновных анионитов марок: ТОКЕМ 400, Гранион АWA-G1, Lewatit A8072 и Purolite A847. Испытания проводились с использованием общепринятых методик.

Результаты полученных исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнение технологических показателей анионитов

Наименование показателя	ТОКЕМ 400	Гранион АWA-G1	Lewatit A8072	Purolite A847
ДОЕ, мг-экв/дм ³	1130	1180	1245	1260
Удельный расход воды на отмывку, дм ³ /дм ³	16,0	10,0	13,0	12,0
Осмотическая стабильность, %	99,8	99,4	100	100
Количество целых гранул до / после осмотического шока, %	99,8/95,6	99,8/86,4	99,8/99,8	100/100
Гранулометрический состав:				
Размер зерен, мм	0,4-1,25	0,4-1,25	0,4-1,25	0,4-1,0
Объемная доля рабочей фракции, %	100	99,5	100	100
Коэффициент однородности	1,55	1,57	1,42	1,32
Эффективный размер зерна, мм	0,54	0,53	0,55	0,53
Механическая прочность (среднее значение), г/гранула	490	540	405	820

По результатам проделанной работы получены следующие выводы:

1. Качество всех четырех анионитов соответствует действующим требованиям, предъявляемым изготовителем к слабоосновным анионитам.

2. Необходимо отметить заметно высокий удельный расход воды на отмывку анионита марки «ТОКЕМ». Увеличенные значения данного показателя после замены ионита могут привести к увеличению длительности регенерации и сопутствующему увеличению удельных расходов тепловой и электрической энергии на собственные нужды ВПУ.

3. Стоит уделить внимание и механической прочности. Этот показатель может ограничить область применения данных ионитов в некоторых противоточных технологиях ионирования, например, «Schwebbett». Кроме того при низких значениях механической прочности неизбежно будет увеличиваться потребность в «свежем» ионите на ежегодную догрузку.

4. Анионит марки Purolite A847 выгодно отличается от своих аналогов более высоким значением динамической обменной емкости, механической прочности и более эффективным гранулометрическим составом, определяющим более высокую кинетику ионного обмена при эксплуатации анионита в динамических условиях.

Задача перехода на отечественные ионообменные материалы важна с точки зрения надёжности поставок и экономической эффективности использования. В качестве основных рекомендаций хотелось бы отметить следующее:

- целесообразно использование указанных отечественных аналогов слабоосновных анионитов на ВПУ использующих прямоточные ионообменные технологии;

- требуются дополнительные опытно-промышленные исследования истираемости ионитов при использовании их на ВПУ, а также разработка нормативов на ежегодную догрузку;

- любая замена ионообменного материала потребует проведение режимно-наладочных испытаний с последующей корректировкой режимных карт по эксплуатации ионообменных фильтров.

Библиографический список

1. Зройчиков Н.А., Малахов И.А., Амосова Э.Г., Долгополов П.И., Старцев В.И., Малахов Г.И. Результаты испытаний анионитов, поглощающих органические вещества в схеме химического обессоливания добавочной воды на ТЭЦ. Теплоэнергетика, 1999, № 7.

*А.Я. Сорокина, соиск., Ю.С. Кукушкина, маг.;
рук. А.Б. Ларин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФАТОВ В КОТЛОВОЙ ВОДЕ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ

Одной из важных задач автоматизации химического контроля качества котловой воды барабанных энергетических котлов является определение концентрации и управление дозированием тринатрийфосфата в котловую воду. При отсутствии автоматических анализаторов на фосфаты функция контроля их концентрации возлагается на измерение удельной электропроводности охлажденных проб котловой воды [1], где возможна корреляционная связь концентрации фосфатов $[\text{PO}_4^{3-}]$ и автоматически измеряемой величины удельной электропроводности (χ).

Сотрудниками кафедры ХХТЭ ИГЭУ был проведен промышленный эксперимент на энергоблоке ТЭЦ-26 Мосэнерго ($p_6 = 13,8$ МПа).

Однако, представление о возможности использования измерения удельной электропроводности охлажденных проб котловой воды (χ) для количественного определения концентрации фосфатов оказалось ложным. При изменении качества питательной воды или при использовании рабочего раствора тринатрийфосфата с иной дозировкой щелочи изменяется и корреляционная зависимость ($[\text{PO}_4^{3-}] - \chi$) в котловой воде, что обесценивает ранее полученные результаты. Учет названных факторов в составлении функциональной зависимости заставляет обратиться к использованию измерений удельной электропроводности Н-катионированной пробы (χ_{H}) как питательной, так и котловой воды. С этой целью можно воспользоваться преобразованием обобщенной математической модели ионных равновесий изложенной в литературе для случая измерения удельной электропроводности охлажденных Н-катионированных проб питательной ($\chi_{\text{H,пв}}$) и котловой воды солевого отсека ($\chi_{\text{H,co}}$).

Методика расчета концентрации фосфатов обеспечивает устойчивое косвенное измерение параметров контролируемой среды и позволяет использовать ее для разработки автоматизированной системы управления дозировкой фосфатов в котловую воду.

*Ю.В. Лебедева, А.А. Волкова, маг-ты;
рук. Н.А. Еремина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ОКТАДЕЦИЛАМИНА ДЛЯ КОНСЕРВАЦИИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В настоящее время коррозия внутренних поверхностей теплоэнергетического оборудования и трубопроводов пароводяного тракта под действием рабочей среды в течение периода их эксплуатации, а также во время простоев под воздействием атмосферных условий является актуальной проблемой для многих электростанций.

Ущерб, связанный с атмосферной коррозией, представляет наибольшую опасность для оборудования и трубопроводов из-за образования язв, трещин и других локальных повреждений на поверхностях металла, испытывающего максимальные нагрузки.

Наиболее перспективным методом борьбы с атмосферной коррозией, широко применяющимся в различных отраслях промышленности, является применение контактных ингибиторов. Наиболее эффективным ингибитором является пленкообразующий амин – октадециламин (ОДА) – $C_{18}H_{37}NH_2$, защитное действие которого обусловлено формированием на поверхности оборудования устойчивого адсорбционного слоя молекул ОДА, предохраняющего металл от воздействия кислорода, углекислого газа и других коррозионно-агрессивных веществ [1]. Эта технология разработана специалистами России и Германии и внедрена на ТЭЦ, ГРЭС и атомных электростанциях, а также на объектах систем теплоснабжения г. Москва.

Рассматривается опыт применения технологии с использованием ОДА для консервации поверхностей теплоэнергетического оборудования на территории РФ и за рубежом на протяжении последних 15 лет.

Технология с применением ОДА показала положительные результаты на многих предприятиях, в том числе: Армянская, Кольская, Балаковская, Нововоронежская АЭС (Россия), Березовская, Заинская, Киришская, Сырдарьинская, Рязанская ГРЭС (Россия), АЭС «Пакш» (Венгрия), АЭС «Козлодуй» (Болгария) и др.

По результатам испытаний, проведенных на Владимирской ТЭЦ-1, Ульяновской ТЭЦ-1, Кольской АЭС и ТЭС «Варна» в Болгарии можно сделать вывод, что благодаря применению этой технологии снижается скорость образования коррозионных отложений на внутренних поверхностях оборудования, а поверхностью приобретаются гидрофоб-

ные свойства. На АЭС в Армении длительность простоя без коррозионных повреждений второго контура с применением ОДА составила 2 года.

На Ярославской ТЭЦ-1 предпочтение отдают консервации плёнкообразующими аминами, в частности, ОДА, потому что: данный реагент является экологически чистым и доступным, позволяет обеспечить надёжную защиту (коэффициент защиты 80-90%) поверхностей металлов от коррозионного разрушения при одновременном разрушении твёрдых отложений (оксидов металлов, солей, других вредных соединений и элементов), позволяет выводить теплоэнергетическое оборудование в длительный простой, при его использовании отсутствует необходимость расконсервации оборудования перед его пуском.

Анализ проведенных в течение последних 15-ти лет работ по защите от атмосферной коррозии внутренних поверхностей теплоэнергетического оборудования и трубопроводов пароводяного тракта энергоблоков АЭС и ТЭС в период остановов подтверждает высокую эффективность и перспективы применения технологии с использованием ОДА.

Важно сказать, что существуют и некоторые отрицательные стороны применения ОДА, а именно: высокая стоимость реагента, по отношению к традиционным консервационным реагентам, он относится к вредным химическим соединениям (является сенсибилизатором аллергических реакций человека), максимальный антикоррозионный эффект может быть получен на поверхностях пароводяного тракта, очищенных от рыхлых отложений, отработавший остывший «раствор» ОДА представляет собой устойчивую коллоидную систему с массовой концентрацией ОДА от 1 до 10 мг/дм³, для разбавления которого потребуется большое количество «свежей» воды, что очень затратно, он негативно воздействует на фильтрующий материал ионитных фильтров БОУ.

На данный момент в литературных источниках и технических отчетах преобладают в основном сведения положительного плана относительно применения октадециламина для консервации теплоэнергетического оборудования.

Библиографический список

1. РД 34.20.596-97. Методические указания по консервации теплоэнергетического оборудования с применением пленкообразующих аминов.

*А.Ю. Будаева, асп.; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЛАБОРАТОРНАЯ ПРОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОЮЩИХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ОТ ОТЛОЖЕНИЙ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА ТРУБ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Проблема удаления отложений с внутренних поверхностей нагрева труб паровых котлов является весьма актуальной. Отложения, образующиеся за счет протекания коррозионных процессов во время эксплуатации и простоя котлов, увеличивают тепловое сопротивление и температуру стенок теплообменных труб зачастую до пределов, приводящих к их повреждению из-за образования отдулин, свищей, трещин. Последствиями образования отложений являются увеличение температуры уходящих газов, ухудшение экологических и экономических показателей котлов. Существует необходимость максимально уменьшить тепловое сопротивление стенок теплообменных труб. Это может быть достигнуто только путем уменьшения толщины внутренних отложений вплоть до полного их устранения, например, при проведении химической очистки котла.

Способы очистки внутренних поверхностей теплоэнергетического оборудования и технологии их проведения крайне разнообразны. В зависимости от химического состава отложений применяют растворы различных химических реагентов, такие как соляная, серная, фосфорная и др. кислоты, комплексоны (трилон Б и др.) или композиции на их основе.

При работе барабанных котлов на внутренней поверхности их теплообменных труб образуются различные по химическому составу отложения: железоокисные, железофосфатные, силикатные и др. В состав отложений может входить металлическая и оксидная медь. Перед выбором моющих реагентов и разработкой схемы эксплуатационной очистки котла целесообразно предварительно провести лабораторные исследования с целью подбора технологии, эффективной для удаления конкретного состава отложений [1].

Основной целью пробных химических очисток являлась сравнительная оценка технической эффективности моющих реагентов, широко используемых при очистках, таких как Дескам, МСК, Auge PRO, Антиржавин, ингибированной соляной кислоты.

Для лабораторного исследования использовались образцы экранных труб солевого отсека парового котла высокого давления. Внутритрубные отложения на огневой стороне этих труб являются бугорчатыми (высота бугорков достигает 8–10 мм) и равномерными (рыхлыми без бугорков или с плотными бугорками небольшой высоты на тыльной (необогреваемой) стороне труб).

Моющие растворы различных концентраций, приготовленные путём разбавления технических растворов реагентов, заливались в лабораторную химическую посуду или в циркуляционный контур при проверке эффективности очистки омеднённого образца труб.

Исследования проводились при различных температурах моющего раствора, в неподвижных и циркулирующих растворах. Для установления зависимостей скорости очистки образца и скорости коррозии чистой стали от времени, очистки проводились в несколько этапов.

По результатам выполненных в лабораторных условиях химических очисток от бугорчатых медьсодержащих железооксидных отложений рекомендуется:

- очистку труб проводить при разбавлении указанных технических реагентов водой в соотношении не менее 1:7, что соответствует объёмной доле технического реагента в моющем растворе не менее 12,5 %;

- использовать для очистки кислотные растворы с максимальной допустимой температурой, установленной производителем (поставщиком) реагента;

- после очистки труб растворами Дескам и МСК предусмотреть стадию удаления восстановленной меди, например, раствором реагента Auge PRO Ас60. Допустима очистка испарительных труб реагентом Дескам с предварительной горячей аммиачной обработкой труб и последующей аммиачной обработкой с использованием тиомочевины и (или) персульфата аммония;

- в качестве последнего этапа очистки предусмотреть нейтрализацию и пассивацию труб. При использовании реагента Auge PRO Ас60 аммиачная нейтрализация обеспечит также смыв с поверхности труб белых отложений компонентов кислотного раствора (в случае их образования) и явится контрольной стадией удаления соединений меди. Использование комплексонов, например, тиомочевины и (или) персульфата аммония в данном случае не требуется.

Библиографический список

1. РД 153-34.0-37.411-2001. Методические указания по эксплуатационной пароводокислородной очистке и пассивации внутренних поверхностей энергооборудования.

*М.С. Иваницкий, к.т.н.
(филиал МЭИ, г. Волжский)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ БЕНЗ(А)ПИРЕНА И ОКСИДОВ АЗОТА В ПРОДУКТАХ СГОРАНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ КОТЛОВ

Повышение доли угля в общем балансе топливопотребления в теплоэнергетике России предполагает улучшение эффективности его использования за счет внедрения современных технологий сжигания и обработки продуктов сгорания на тепловых электрических станциях. Экономически приемлемыми способами снижения выбросов вредных веществ на отечественных генерирующих предприятиях являются режимные внутритопочные мероприятия, основанные на регулировании температуры в зоне активного горения, но в современных условиях работы теплогенерирующего оборудования из-за отсутствия надежных датчиков и измерительных систем контроля температуры в топочной камере, ее определение осуществляется на основе моделирования топочных процессов.

Впервые установлена взаимосвязь между выбросами бенз(а)пирена (БП) в условиях сжигания подмосковного угля от температуры на выходе из зоны активного горения, носящая асимптотический характер при увеличении $T_{\text{заг}} > 1500$ К. Полученные в результате моделирования параметров топочного процесса характеристики зоны активного горения позволяют находить пути управления технологическими выбросами оксидов азота и полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) с учетом обеспечения максимальных технико-экономических показателей и экологических параметров безопасной работы пылеугольного энергоблока. Установлено, что в результате снижения паровой нагрузки котла до 40% существует некоторый температурный запас для дальнейшего увеличения глубины разгрузки со стабильным обеспечением условий шлакования золы. Вследствие значительных сложностей индикации выбросов канцерогенных ПАУ от пылеугольных котлов предложен косвенный способ определения выхода БП в практике наладки малотоксичных режимов горения, основанный на взаимосвязи с содержанием в продуктах сгорания оксидов азота.

*Р.Я. Исхакова, к.т.н., Г.М. Зарипова, маг.;
рук. Л.А. Николаева, к.х.н., доц.,
(КГЭУ, г. Казань)*

РАЗРАБОТКА ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ НА ОСНОВЕ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В настоящее время проблема поиска различных материалов, выступающих в качестве топливных ресурсов, является актуальной задачей. Особый интерес представляют органические отходы производства, использование которых позволяет снизить экологическую нагрузку на окружающую природную среду и получить энергию при их сжигании. При этом происходит повторное вовлечение отходов в производственный цикл, и они рассматриваются в качестве вторичных материальных ресурсов.

Практически на каждом производстве присутствует технологический цикл очистки сточных вод, включающий в себя стадию механической и биологической очистки. Избыточный активный ил является отходом биологических очистных сооружений. Принцип биологической очистки состоит в том, что при определенных условиях микроорганизмы способны расщеплять органические вещества, присутствующие в сточных водах, до простых веществ, таких как вода, углекислый газ, и т.д.

Избыточный активный ил является потенциальным топливом, так как в нем присутствует значительное количество органического вещества. Однако, высокое содержание коллоидно-связанной влаги в иле ограничивает его использование в качестве топливного ресурса. Поэтому для создания топливных гранул на его основе необходимо разорвать гидратные оболочки, обволакивающие активный ил.

Целью работы является разработка способа получения топливных гранул на основе избыточного активного ила при использовании шлама водоподготовки тепловых электрических станций (ТЭС) для его обезвоживания, с последующим добавлением органической добавки в качестве топлива для выработки тепловой энергии.

В экспериментальных исследованиях использовался ИАИ: влажность исходного ИАИ составила 98 %, после стадии уплотнения (отстаивания под действием гравитационных сил) – 95 %, плотность – 1,13 г/см³, зольность – 11 %. В качестве обезвоживающей добавки в экспериментах использовали шлам водоподготовки ТЭС. Для обезвоживания активного ила и шлама водоподготовки использовался метод центрифугирования на лабораторной центрифуге СМ-6М. Центрифуги-

гированию подвергались избыточный активный ил, смесь, состоящая из активного ила и шлама водоподготовки.

При одинаковых условиях проведения эксперимента было получено, что за счет добавления шлама водоподготовки происходит повышение влагоотдачи избыточного активного ила и снижаются энергетические затраты на проведение процесса. Влажность активного ила после центрифугирования составляет 84 %, в то время как влажность избыточного активного ила совместно с шламом составляет до 69 %.

После центрифугирования обезвоженная смесь избыточного ила и шлама подвергалась сушке при 105 °С в течение 30 минут, после чего формовалась вручную в гранулы диаметром 3-5 мм с использованием органической добавки путем окатывания. Гранулы получали при следующих массовых соотношениях: избыточный активный ил –70 %, шлам водоподготовки – 8 %, органическая добавка – 22 % масс.

В качестве органической добавки применялся крахмал и лигносульфонат технический (ЛСТ).

Таблица 1 – Общетехнические характеристики полученных гранул

Образцы	с крахмалом	с ЛСТ
Влажность, %	4,7 ± 0,2,	3,1 ± 0,1
Насыпная плотность, кг/м ³	828	788
Зольность, %	29,2	27,9
Цвет золы	светло-серый	светло-коричневый
Прочность на истирание, %	0,5	0,1
Теплота сгорания по калориметрической бомбе, кДж/кг	9672,6	10345,5

При сравнении общетехнических характеристик гранул с использованием крахмала и ЛСТ, а также их теплот сгорания, можно сделать вывод, что более эффективным является использование гранул с использованием ЛСТ в качестве органической добавки.

Полученные гранулы можно использовать в качестве вторичных энергетических ресурсов для технологических нужд производства и в системах отопления, горячего водоснабжения в промышленности.

Использование гранул на основе избыточного активного ила и шлама водоподготовки в качестве топливного ресурса позволяет снижать экологическую нагрузку на окружающую среду за счет утилизации отходов производства, реализовать переход от ископаемого топлива, которое является невозобновляемым, к использованию вторичных энергетических ресурсов.

*Н.А. Гусев, студ.; рук. В.Б. Лукина к.х.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ДОБЫЧЕЙ СЛАНЦЕВОГО ГАЗА

Открытие новых источников энергетических ресурсов является для человечества потребностью и однозначной необходимостью. В последнее время всеми энергозависимыми странами активно развиваются технологии-заменители по производству возобновляемого топлива. Единственным энергоисточником, имеющим на сегодняшний день исключительные качества товара-заменителя, является сланцевый газ.

Сланцевый газ (англ. *shalegas*)- природный газ, добываемый из горючих сланцев и состоящий преимущественно из метана (CH_4 — основной компонент горючих газообразных ископаемых), а также примесей углекислого газа, азота и сероводорода.

Однако промышленники быстро разочаровались в сланцах как в источнике газа. Эта порода, состоящая из горючих полезных ископаемых органического происхождения, представляющих собой продукты преобразования остатков растительных, реже животных, организмов под воздействием геологических факторов, отличается плотностью и низкой пористостью. Газ залегает в небольших изолированных «карманах». Чтобы добыть его, требуется пробурить множество скважин, каждая из которых даст лишь очень небольшой объем газа. Добыча сланцевого газа предполагает горизонтальное бурение и гидроразрыв пласта. Горизонтальная скважина прокладывается через слой газоносного сланца. Затем внутрь скважины под давлением закачиваются десятки тысяч кубометров воды, песка и химикатов. В результате разрыва пласта газ по трещинам поступает в скважину и далее на поверхность.

Данная технология наносит колоссальный вред окружающей среде. Независимые экологи подсчитали, что специальный буровой раствор содержит 596 наименований химикатов: ингибиторы коррозии, загустители, кислоты, биоциды, ингибиторы для контроля сланца, гелеобразователи. Для каждого бурения нужно до 26 тыс. кубометров раствора. Назначение некоторых химикатов используемых в этой технологии: соляная кислота помогает растворять минералы; этиленгликоль борется с появлением отложений на стенках труб; изопропиловый спирт используется для увеличения вязкости жидкости; глютаральдегид борется с коррозией; легкие фракции нефти используются для минимизации трения; гуаровая камедь увеличивает вязкость раствора; пероксодисульфат аммония препятствует распаду гуаровой камеди; форма-

мид препятствует коррозии; борная кислота поддерживает вязкость жидкости при высоких температурах; лимонная кислота используется для предотвращения осаждения металла; хлорид калия препятствует прохождению химических реакций между грунтом и жидкостью; карбонат натрия или калия используется для поддержания баланса кислот.

Десятки тонн раствора смешиваются с грунтовыми водами и вызывают широчайший спектр непрогнозируемых негативных последствий. Опасность представляет не только раствор сам по себе, но и соединения, которые поднимаются из-под земли в результате гидроразрыва. По заявлению экологов, в населенных пунктах, находящихся недалеко от бурильных скважин, наблюдается значительное увеличение онкологических заболеваний у людей и животных. При неглубоком залегании разрабатываемого пласта (200-500 м) возможно загрязнение грунтовых вод, вследствие проникновения в них химикатов, используемых при гидроразрыве. Локальные землетрясения, вызываемые деформацией пород при закачке в них жидкости. Все отходы бурения (смесь метана; химикатов, закаченных при разработке пласта и органических соединений) на данный момент просто сжигаются. Полученный смог является не только сильным парниковым газом, но и мощным канцерогеном. Главной экологической проблемой добычи сланцевого газа стала площадь загрязняемых территорий. Проблема в том, что весь газ вместе с закаченными химикатами (до 70%), который не удается выкачать, начинает выходить на поверхность из недр, просачиваясь через почву как через губку, загрязняя грунтовые воды и плодородный слой. В итоге, всего за год-два такие территории превращаются в пустыню.

Библиографический список

1. Дмитриевский А.Н. Проблемы освоения нетрадиционных ресурсов углеводородного сырья // Приложение к журналу «ТЭК. Стратегии развития», № 2, 2010.

2. Википедия [Электронный ресурс] // Статья о сланцевом газе – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сланцевый_газ

*Т.А. Смирнова, Ю.А. Жулькова, студ.; рук. Н.А.Ерёмина, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОСТОЯНИЕ ПОЧВ В ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Целью работы является анализ состояния земель в Ивановской области на наличие в них тяжелых металлов.

Интенсивное развитие промышленного производства приводит к росту химических отходов. Из числа элементов, подлежащих в настоящее время первоочередному исследованию в почве, выделяются мышьяк, ртуть, кадмий, свинец и цинк (первый класс опасности). Содержание указанных элементов в почве является важнейшим показателем, характеризующим санитарно-гигиеническую обстановку, так как они способны накапливаться в организме человека и оказывать отравляющее и канцерогенное действие. Исследования на содержание токсических элементов в почвах на территории Ивановской области в 2014 году не проводились [1]. Основной проблемой исполнения функции по государственному мониторингу земель является отсутствие федеральной и региональной программы государственного мониторинга земель [1].

В данной работе проводилось исследование на наличие тяжелых металлов в почвах г. Иваново и г. Кинешма. Были отобраны почвенные образцы из различных мест этих городов, а именно:

- почва, собранная у дороги с ежедневным потоком транспорта;
- плодородная почва с огородного участка;
- почва верхнего слоя леса;
- почва, собранная у заправочной станции «Газпромнефть»;
- почва, собранная у трассы между двумя городами.

В лаборатории из отобранных образцов были получены кислотные вытяжки и проведён ряд опытов, выявляющих наличие металлов: ионов свинца, меди и железа [2].

Для обнаружения ионов свинца к кислотной вытяжке исследуемого почвенного образца добавляли 5% раствор хлорида натрия (NaCl), 5% раствор йодида калия (KI) и 5% раствор хромата калия (K₂CrO₄). Для обнаружения ионов меди использовали 10% раствор аммиака (NH₄OH) и 5% раствор железисто-синеродистого калия (K₄[Fe(CN)₆]). Для обнаружения ионов железа использовали 5% раствор железисто-синеродистого калия (K₄[Fe(CN)₆]) и 5% раствор роданида калия (KCNS).

Все качественные реакции были выполнены в соответствии с нормами техники анализа. Данные реакции сопровождались выделе-

нием осадка, изменением окраски раствора или его помутнением, т.е. внешними эффектами протекания реакции.

На основе проведенного качественного анализа, было выявлено наличие металлов в некоторых растворах.

Ионы свинца были обнаружены в пробах почвы, собранной у заправки в г. Кинешма и у дороги с интенсивным движением.

Ионы меди присутствуют в пробах плодородных почв с огородов обоих городов, из леса г. Иваново и заправки г. Кинешма.

Ионы железа наблюдались во всех образцах почв, кроме почвы леса г. Кинешма и почвы, собранной у трассы.

При сравнении результатов, можно выделить различное содержание ионов тяжелых металлов в почве, собранной в двух городах:

- почва, собранная у дороги с интенсивным движением в г. Иваново, содержит ионы свинца, в отличие от подобного образца г. Кинешма

- почва леса г. Иваново содержит ионы меди в большем количестве, чем подобная почва в г. Кинешма. Это подтверждается более интенсивной окраской полученного раствора.

- проба почвы с заправочной станции г. Кинешма обладает большей концентрацией ионов меди в отличие от подобной почвы г. Иваново.

- в местах сбора: огород, лес, дорога с интенсивным движением в г. Иваново, содержится больше ионов железа, чем в почвах этих же мест г. Кинешма.

Для первоначальной оценки на наличие металлов в почве проводят качественный анализ, как в данной работе, для последующей, более полной, оценки состояния земель необходим так же количественный анализ содержания загрязняющих веществ.

Сильное загрязнение почвы тяжёлыми металлами вместе с зонами сернистых загрязнений, образующихся при сжигании каменного угля, приводят к изменению состава микроэлементов и возникновению техногенных пустынь.

Библиографический список

1. **Государственный мониторинг земель.** [http://to37.rosreestr.ru/kadastr/zem-monitor/sostoyanie_zemel/] Режим доступа (Время обращения 22.10.2015).

2. **Эколого-аналитические методы исследования окружающей среды:** Учебное пособие / Т.И. Прожорина, Н.В. Каверина, А.Н. Никольская, Е.Ю. Иванова, А.И. Федорова, Г.А. Анциферова, А.Г. Муравьев, М.А. Михеева, В.В. Сиваченко, Т.Ф. Трегуб. – Воронеж: Издательство «Истоки», 2010. – 304с.

**Секция 5.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ТЕПЛОТЕХНИКИ**

*Председатель секции
зав. кафедрой «Теоретические основы теплотехники»,
д.т.н., проф. В.В. Бухмиров
Секретарь секции асп. М.Г. Сулейманов*

*Н.Е. Кувишинов, студ.; рук. Н.И. Москаленко, д.ф.-м.н., проф.,
(КГЭУ, г. Казань)*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО
ТЕПЛООБМЕНА В ДВУХФАЗНЫХ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СРЕДАХ**

В настоящей работе рассматриваются равновесные и неравновесные процессы излучения в высокотемпературных структурно неоднородных средах камер сгораний энергетических установок, включающих газовую и дисперсную фазы продуктов сгорания энергетических топлив. Предложена математическая модель переноса излучения, учитывающая неравновесность процесса излучения в зонах химических реакций горения топлива. Вне зон химических реакций процесс излучения является равновесным для газовой фазы продуктов сгорания, в то время как для дисперсной фазы продуктов сгорания процесс излучения может быть и неравновесным. Разработано замкнутое моделирование радиационного теплообмена с одновременным расчётом поля температуры в камерах сгорания энергетических установок методом временной итерационной процедуры теплообмена объёму топочной камеры. Притоки и стоки тепла в элементарных объёмах камеры сгорания определяются ингредиентным составом продуктов сгорания и распределением температуры объёму топочной камеры и на её теплообменных поверхностях. Критерием правильности выполненных расчетов теплообмена является выполнение равенство

$$\int_S F(S)dS = \Delta H, \quad (1)$$

где интегрирование притока тепла распространяется на все теплообменные поверхности S топки, ΔH – изменение энтальпии продуктов сгорания

$$\Delta H = H_{\text{ex}} - H_{\text{вых}} \quad (2)$$

В соотношении (2) H_{ex} – энтальпия продуктов сгорания топлива в топке или энтальпия входящих в радиационный теплообменник продуктов сгорания, $H_{\text{вых}}$ – энтальпия продуктов сгорания, покидающих топку или радиационный теплообменник.

Решения уравнение переноса излучения предоставляется в алгоритмах функций спектрального пропускания (ФСП), что позволяет применить схемы оперативного моделирования радиационного теплообмена, разработанные в [1], в которых ФСП в структурно неоднородных высокотемпературных средах вычисляются двухпараметрическим методом эквивалентных масс, а влияние рассеяния учитывается в приближении однократного рассеяния. Рассматриваются границы применимости многопоточного приближения.

При выполнении моделирования радиационного теплообмена используется параметризация ФСП газовых оптически активных ингредиентов продуктов сгорания энергетических топлив и гетерогенная структура многокомпонентного зольа продуктов сгорания. Ниже приведены алгоритмы расчетов ФСП $\tau_{\Delta V}$ многокомпонентной среды переноса излучения

$$\tau_{\Delta V} = \prod_i \tau_{i\Delta V} \quad (3)$$

Для компонента i ФСП $\tau_{i\Delta V}$ определяется из уравнений:

$$\left(\frac{1}{\ln \tau_{i\Delta V}} \right)^2 = \left(\frac{1}{\ln \tau'_{i\Delta V}} \right)^2 + \left(\frac{1}{\ln \tau''_{i\Delta V}} \right)^2 + \frac{M_i}{\ln \tau'_{i\Delta V} \cdot \ln \tau''_{i\Delta V}} \quad (4)$$

$$\left| \ln \tau'_{i\Delta V} \right| = \int_L k_{i\Delta V} [L(T)] \rho_i(L) dL \quad (5)$$

$$\left| \ln \tau''_{i\Delta V} \right| = \left\{ \beta_{iV}(T) \rho_i^{1/b_V} [L(T)] \cdot P_{i\Delta}^{n_i/m_i}(L) dL \right\}^{m_i} \quad (6)$$

$$\tau_{\Delta\nu} = \exp \left[- \sum_i \ln \tau_{i\Delta\nu} [L(T)] \right] \quad (7)$$

$$P_{i\Delta\nu}^i(L) = P_{N_2} + \sum_k B_{ik} [L(T)] P_k(L) \quad (8)$$

где $k_{i\nu}(T)$, $\beta_{i\nu}(T)$, m_i , n_i - параметры ФСП в аппроксимациях слабого $\tau'_{i\Delta\nu}$ и сильного $\tau''_{i\Delta\nu}$ поглощения M_i определяет скорость перехода ФСП от аппроксимации слабого поглощения к сильному поглощению, L – оптический путь, B_{ik} - фактор уширение спектральных линий, P_k - парциальное давление компонента k , T – температура среды на оптическом пути L , ν – волновое число, Δ – спектральное разрешение ФСП. Ослабление излучения дисперсной фазой входит в соотношения (3 – 7).

Библиографический список

1. Москаленко Н.И., Мирумянц С.О., Локтев Н.Ф., Мисбахов Р.Ш. Равновесные и неравновесные процессы излучения: Высокотемпературные среды: радиационный теплообмен. Казань: Изд. КГЭУ 2015. 267с.

*А.Н. Горбунова, студ.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБМЕНА ЭНЕРГИИ В ЖИВЫХ ОРГАНИЗМАХ

В настоящее время ученые обратили внимание на вопрос моделирования процессов обмена энергии в живых организмах. Этой проблемой начали заниматься ученые еще в 18 веке (Лавуазье, Лаплас) и были продолжены в дальнейшем в 20 столетии (И. Пригожин). В настоящее время этой проблемой занимаются ученые А. Коваленко и С. Носырев из Санкт-Петербургского государственного политехнического университета [2]. Цель моей работы – сделать обзор изысканий в данной области науки.

Ученые всего мира обратили особое внимание на диссипацию энергии в живых организмах, по величине которой можно судить о реализации процессов производительности в живом организме. Термин «диссипативная структура» в науку был введен Ильёй Пригожиным в конце 1940-х [6]. Механизм обмена энергией в живых организмах энергией имеет нерегулярный характер. По отношению к термодинамике нерегулярность обмена проявляется в том, что теплота отнесенная к массе тела не является постоянной величиной по мере развития организма и зависит от его патологий и болезней. При этом на начальном этапе развития болезни наблюдается резкое увеличение или резкое снижение потерь тепла. Данные явления соответствуют линейной термодинамике согласно теореме Пригожина о тенденции стремления энтропии к минимуму во время перехода системы в стабильное состояние, при котором обменные процессы являются стационарными.

В мире существует огромное множество экологических систем. Эти системы являются диссипативными (упорядоченными) структурами, которые возникли спонтанно из хаоса при помощи процесса самоорганизации [2]. Процессы самоорганизации в открытых и неравновесных системах изучает наука синергетика. Синергетический эффект характеризуется значениями фрактальности и динамического хаоса [1]. По словам Мандельброта [5] фрактальность выражает самоорганизованную симметрию самоподобия. Ее иерархия состоит из большого числа точных или по-разному масштабируемых автокопий.

Если рассматривать энтропию как меру хаотичности, ее минимум (нулевое) значение определяется неравновесным состоянием системы и максимумом в абсолютно хаотическом состоянии, поэтому наряду с физической энтропией существует и информационная энтропия, которая вычисляется по формуле [3]:

$$I = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i, \quad \sum_{i=1}^N p_i = 1,$$

где P_i - состояние источника информации.

Оперативный контроль физической энтропии человека, определяется измерениями кислорода, потребляемого при работе и выработкой тепла организмом.

В качестве входных данных для информационной энтропии можно использовать дискретную последовательность любых природных периодических сигналов. Традиционно сигналы снимаются в виде электрокардиограммы (ЭКГ), электроэнцефалограммы (ЭЭГ), ритма дыхания и т.д.

Динамическая тенденция изменения информационной энтропии объективно объясняет изменение состояния функций организма в стабильных, переходных и критических условиях. На практике в основном удобно использовать электрический сигнал работы сердца. Исследование этих данных происходит на основе теоремы Такенса [4], которая описывает количественную динамику развития организма и прогноз его изменения в любое время воздействия на человека (изменение возраста, патологии, болезни, физические нагрузки, профессиональная деятельность, психологический стресс и т.д.). Изменение информационной энтропии помогает также предсказать развитие опасной ситуации.

Вывод: Для улучшения здоровья человека, прогноза старения, износа и вообще качества его жизни учеными был создан уникальный метод определения информационной энтропии, основанный на законах термодинамики и теплообмена.

Библиографический список

1. **Haken H.** Synergetics. – М."Mir".1980
2. **Nosyrev S. P., Kovalenko A.N., Grigoriev V.A.** Synergetical approach to the man's critical states. "Medicine of extremal situation", No.3, 1999.
3. **Shannon K.** The works of the theory information and the theory cybernetic.- М."ИЛ",1965.
4. **Takens F.** Dynamical Systems and Turbulence. Lecture. Notes in Mathematics.-Berlin: Springer-Verlag, 1981.V.898.P.366
5. **Mandelbrot B. B.** Fractals: Form, Change, and Dimension.-San Francisco. "Freeman", 1977
6. **Николис Г., Пригожин И.** Самоорганизация в неравновесных системах: от диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации.- Мир,1979

*Д.А. Кругликов, студент; С.С. Коновальцева, студент;
рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, Иваново)*

ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ «ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ» ПО КУРСУ ТМО

Электронное учебное пособие (ЭУП) является дополнением к учебному пособию «Тепломассообмен» для бакалавров [1] и содержит материалы для самостоятельного изучения дисциплины ТМО, включая тесты и контрольные вопросы.

ЭУП создано в PowerPoint при помощи модуля iSpringSuite и имеет расширение exe.

В разработанном электронном пособии по ТМО для наглядности изложения материала использована анимация, звуковые эффекты, цветные иллюстрации и отражение результатов моделирования процессов теплообмена на экране монитора. Например, при изучении процесса нестационарной теплопроводности можно наблюдать процесс нагрева или охлаждения твердых тел для заданных исходных данных при граничных условиях I, II и III рода. Данные возможности ЭУП позволяют усваивать и запоминать учебный материал иногда даже лучше, чем на лекциях.

В электронном учебном пособии имеется интерактивный каталог, содержащий основные термины и определения, которые сгруппированы в алфавитном порядке (рис.1). Пособие имеет ссылки на основные учебные издания кафедры ТОТ.



Рисунок 1 – Интерактивный каталог «Термины и основные понятия ТМО»

В электронном учебном пособии содержатся примеры решения задач и контрольные задачи [2] по курсу ТМО. Контрольные задачи и контрольные вопросы построены в интерактивной форме (рис.2). Например, расчет температурных полей тел сложной формы методом сеток выполняется в реальном времени с построением прямоугольной сетки и указанием в узлах рассчитанных температур.

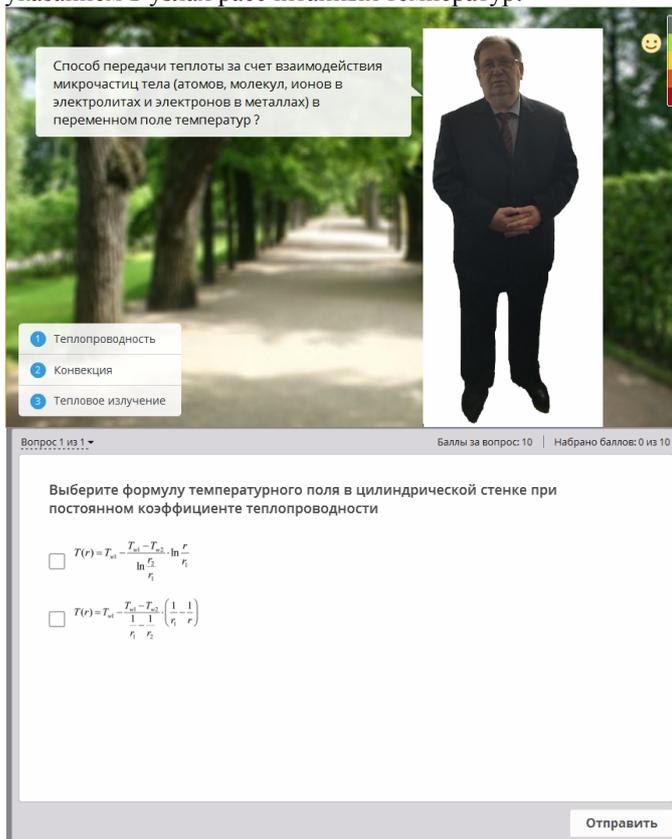


Рисунок 2 – Контрольные вопросы

Библиографический список

1. Бухмиров В.В. Тепломассообмен: Учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 360 с.
2. Бухмиров В.В., Щербакова Г.Н., Пекунова А.В. Теоретические основы теплотехники в примерах и задачах. Учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2013. – 128с.

*Д.А. Кругликов, студент; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, Иваново)*

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕНА

Любое тело с температурой выше нуля Кельвина обладает собственным тепловым излучением, поэтому радиационный теплообмен (РТО) – наиболее распространенный способ переноса теплоты в технике и в природе.

При выполнении обзора литературы было установлено, что разработано несколько десятков методов расчета радиационного теплообмена [1-3]. В зависимости от формы уравнения переноса излучения эти методы условно делят на две группы – интегральные и дифференциальные.

Сравнивать методы расчета РТО будем на примере решения модельной задачи для системы, состоящей из двух твердых серых тел, разделенных серым излучающим и ослабляющим газом (рис.1). При этом в качестве точного решения задачи РТО примем решение резольвентным зональным методом (РЗМ) [1].

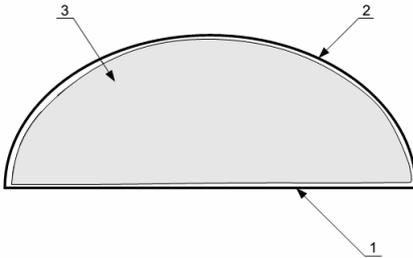


Рис. 1. Система тел, состоящая из двух серых тел, разделенных серым излучающим и ослабляющим газом:

1 — невогнутое тело (поверхностная зона):

$$F_1 = 10 \text{ м}^2, \varepsilon_1 = \text{var}, T_1 = 1073 \text{ К};$$

2 — вогнутое тело (поверхностная зона): $F_2 = 28 \text{ м}^2,$

$$Q_{\text{рез}2} = 28000 \text{ Вт},$$

$\varepsilon_2 = 0,75;$ 3 — объемная зона:

$$F_3 = 38 \text{ м}^2, T_3 = 1573 \text{ К}$$

Необходимые для решения модельной задачи исходные данные приведены на рисунке, которые заимствованы из учебного пособия [4].

При применении резольвентного зонального метода тело 1 и объемная зона 3 являются зонами I - го рода, а тело 2 – зоной II - го рода [1].

Дифференциальное уравнение переноса лучистой энергии будем решать методом сеток при помощи программно-вычислительного комплекса ANSYSFLUENT, применяя три метода численного решения: метод сферических гармоник (P_1), метод Rosseland и метод дискретных ординат (Discrete Ordinates).

Результаты расчета температуры 2 тела представлены в табл. 1, результаты расчета результирующих тепловых потоков – в табл. 2.

В таблице 3 приведена оценка точности численного решения дифференциального уравнения переноса лучистой энергии.

Таблица 1 – Температура второго тела, К

Метод расчета	РЗМ (точное решение)	P ₁	Rosseland	Discrete Ordinates
$\varepsilon_1 = 0,1$	1499	1373	1420	1416
$\varepsilon_1 = 0,8$	1277	1241	1216	1250

Таблица 2 – Результирующие тепловые потоки, Вт

Метод расчета		РЗМ	P ₁	Rosseland	Discrete Ordinates
$\varepsilon_1 = 0,1$	Q _{pes1}	217541	164850	147354	161387
	Q _{pes3}	-245541	-192042	-175730	-187620
$\varepsilon_1 = 0,8$	Q _{pes1}	771009	339048	279393	340454
	Q _{pes3}	-799009	-960868	-805106	-760000

Таблица 3 – Погрешность расчета РТО, %

Метод расчета		P ₁	Rosseland	Discrete Ordinates
$\varepsilon_1 = 0,1$	ΔT_2	8,4	5,3	5,5
	ΔQ_{pes1}	24	32,2	25,8
	ΔQ_{pes3}	21,8	28,4	23,5
$\varepsilon_1 = 0,8$	ΔT_2	2,8	4,77	2,11
	ΔQ_{pes1}	56	63	55,8
	ΔQ_{pes3}	20	0,7	4,8

Выводы. В результате решения модельной задачи установлено, что при малой степени черноты невогнутого тела метод Rosseland наиболее предпочтителен для расчета температуры тел, разделенных газом с малой поглощательной способностью. Однако если степень черноты невогнутого тела близка к единице, то более точным является метод DiscreteOrdinates.

Библиографический список

1. Арутюнов В.А., Бухмиров В.В., Крупеников С.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей. – М.: Металлургия, 1990. – 239 с.
2. Блох А.Г. Теплообмен излучением: справочник. –М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
3. Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением. – М: Мир, 1975. – 934 с.
4. Бухмиров В.В., Солнышкова Ю.С. Зональные методы расчета радиационного и сложного теплообмена. – Иваново, 2012. – 96 с.

**Ю.В. Лебедева, В.А. Чернова, студ.;
рук-ли В.В. Бухмиров, д.т.н., проф., М.В. Пророкова, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРИ РАСЧЕТЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ПВК ANSYS FLUENT

Моделирование тепло- и массопереноса в помещениях различного назначения – актуальная задача. Решение этой задачи позволяет проанализировать распространение теплоты, воздушных потоков и вредных веществ в помещении, оценить влияние различных факторов на устойчивость микроклимата в помещении, определить характеристики систем энергоснабжения здания, оказывающих наибольшее влияние на тепломассообмен в помещении и т.д. Наиболее распространенные модели, описывающие тепло- и массоперенос в воздушной среде помещения, основаны на записи и решении четырех основных дифференциальных уравнений переноса: уравнения неразрывности, уравнения сохранения количества движения, уравнения сохранения энергии и уравнении сохранения компонента смеси. При решении указанной системы уравнений важной задачей является правильный выбор модели, описывающей турбулентные свойства текучей среды.

В рамках научно-исследовательской работы было выполнено исследование влияния на точность расчета параметров микроклимата ряда моделей турбулентности, входящих в программно-вычислительный комплекс (ПВК) Ansys Fluent : модели Спаларта–Аллмараса, стандартной k-ε модели, RNG k-ε модели, модели k-ε Realizable, моделей k-ω и SST (модели сдвиговых напряжений Ментера), модели ламинарного течения, моделей Рейнольдсовых напряжений, модели Transition SST и модели Transition k-kl-ω. Расчеты были выполнены при помощи ПВК Ansys Fluent. Точность расчета была проверена путем сравнения расчетных данных с результатами эксперимента по определению параметров внутренней среды помещения общественного здания. При проведении эксперимента выполнены измерения температуры, скорости и относительной влажности воздуха в нескольких точках помещения на высоте 0,1, 0,6 и 1,7 м от поверхности пола, а также зафиксированы температура стен, температура и относительная влажность приточного воздуха, температура поверхности отопительного прибора. Геометрическая модель экспериментального помещения была построена в ANSYS Fluent и выполнен расчет параметров микроклимата при исходных данных, соответствующих усло-

виям эксперимента. На рисунке 1 приведены расчетные значения температуры воздуха в помещении при различных моделях турбулентности, а также результаты экспериментального определения температуры воздуха.

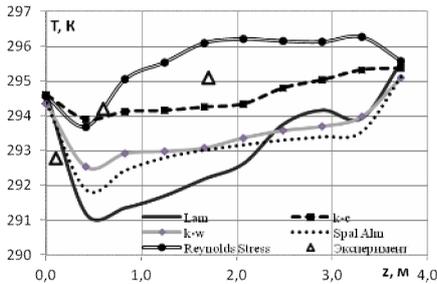


Рисунок 1 – Температура воздуха в помещении

Анализ результатов расчета показал, что лучшее соответствие экспериментальных и расчетных данных при моделировании процессов теплообмена достигается при использовании моделей турбулентности семейства k-ε (кинетическая энергия турбулентности - скорость диссипации энергии

турбулентности): Standard, RMG и Realizable, – а также моделей Рейнольдсовых напряжений (RSM).

Также был выполнен анализ времени расчета параметров внутренней среды в помещении здания в ANSYS Fluent с использованием разных моделей турбулентности. Анализ временных параметров вычислительного процесса показал, что расчет тепловоздушного режима в помещении, который использует модели турбулентности семейства k-ε и модели Спаларта-Аллараса, требует меньшего времени.

Вывод. Выполнен анализ точности расчета параметров внутренней среды помещения в зависимости от типа используемой полуэмпирической модели турбулентности. Наиболее эффективны с точки зрения точности моделирования и затрат времени расчета модели турбулентности семейства k-ε.

Библиографический список

1. Юн А.А. Расчет и моделирование турбулентных течений с теплообменом, смещением, химическими реакциями и двухфазных течений в программном комплексе FASTEST-3D: учебное пособие. М.: Изд-во МАИ, 2007. 116 с.
2. Гримитлин А.М. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2013. – 192 с.

*М.С. Степанов, А.А. Петушкова, студ.;
рук. И.М. Чухин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕЩЕСТВ ПРИ ИХ СМЕШЕНИИ В ОБЪЕМЕ

Смешение газов в объеме характеризуется усреднением температуры и давления смеси по отношению к смешиваемым газам [1].

Авторы провели анализ изменения давления и температуры смеси при смешении в объеме воды и водяного пара в различных фазовых состояниях (рис. 1). По сравнению с газами смешение в объеме веществ с разными фазовыми состояниями приводят к другой закономерности изменения давления и температуры смеси.

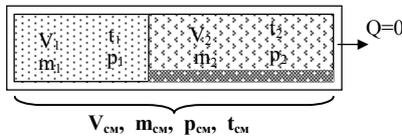


Рисунок 1 – Схема адиабатного смешения двух веществ в объеме

Примеры расчетов таких процессов смешения в объеме воды и водяного пара приведены в табл.

Таблица – Результаты расчета процесса смешения водяного пара

p_1	t_1	x_1	p_1	t_1	V_1/V_2	$p_{см}$	$t_{см}$
бар	°C		бар	°C		бар	°C
0,5	81,32	0,99	0,4	200	1/9	0,405	175
1	10		1	200	1/9	0,015	12,6
220	373,7	0,99	222	400	1/4	240	397

Анализ результатов данных табл. позволяет сделать следующие выводы:

- Давление в данных процессах может, как увеличиваться, так и уменьшаться;
- Температура в процессе смешения может или «усредняться» между t_1 и t_2 , или уменьшаться по отношению к меньшей из t_1 и t_2 ;
- Отличное от смешения однофазных газов, смешение при различных фазовых состояниях объясняется перераспределением энергии между фазовыми состояниями и резкой разницей в объемах жидкой и паровой фаз.

Библиографический список

1. Чухин И.М. Техническая термодинамика. Часть 2: учеб. пособие / И.М. Чухин; Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО ИГЭУ – Иваново, 2008. – 228 с.

*И.И. Ботенов, А.А. Шустов, студ.; рук. И.М. Чухин, к.т.н., доц.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ГТУ В СОСТАВЕ АЭС НА НАСЫЩЕННОМ ВОДЯНОМ ПАРЕ

Схема АЭС на насыщенном водяном паре включает термодинамически нерациональный паро-паровой перегреватель, т.к. греющий пар не участвует в выработке полезной мощности [1, 2].

Авторы предлагают использования теплоты уходящих из газовой турбины (ГТУ) газов для перегрева пара, выходящего из части высоко-го давления (ЧВД) паровой турбины АЭС, с целью увеличения тепло-вой экономичности АЭС.

Данная схема АЭС с ГТУ не нарушает режим работы ядерного ре-актора, он работает при тех же параметрах и расходе воды, что и авто-номная АЭС. При совместной работе АЭС и ГТУ отключается сепара-тор-пароперегреватель, а перегрев пара, выходящего из ЧВД турбины, осуществляется в газопаровом перегревателе (ГПП) за счет теплоты уходящих газов ГТУ. В этом режиме работы АЭС с ГТУ отключается отбор пара на регенеративный подогреватель (Π_1), а нагрев воды также ведется уходящими газами ГТУ в газо-водяном подогревателе (ГВП). Перегрев пара в ГПП и нагрев воды в ГВП осуществляется до тех же температур, что и при автономном режиме АЭС.

Оценка тепловой экономичности данной схемы выполнена на при-мере серийного блока АЭС К-1000-65/3000 ЛМЗ с параметрами рабо-чего тела: $p_o=6,4$ МПа, $x_o=0,995$, $x_c=0,99$, $p_{пп}=0,5$ МПа, $t_{пп}=263$ °С, $p_k=0,004$ МПа, [2] и ГТУ с температурой газов перед турбиной $t_3=1000$ °С.

Для ГТУ выполнена оптимизация степени повышения давления воздуха в компрессоре $v=r_2/p_1$, с учетом температуры воздуха на входе в компрессор t_1 в диапазоне значений от -20 °С до 20 °С при адиабат-ном коэффициенте компрессора $\eta_k=0,85$ и внутреннем относительном КПД турбины $\eta_{иг}=0,88$.

Расчеты выполнены на 1 кг водяного пара и соответствующему ему удельному расходу газов $d_r=G/D$, где G и D расходы газового и водя-ного рабочих тел соответственно.

Основные результаты расчета тепловой экономичности цикла АЭС с ГТУ приведены в табл.

Обозначения величин, приведенных в таблице:

v – степень повышения давления воздуха в компрессоре;

d_r – удельный расход газов на кг пара в цикле АЭС с ГТУ;

t_1 – температуры газового контура перед компрессором;

$l_{гту}$, l_r – удельные работы ГТУ и ПТУ на 1 кг водяного пара;

$l_i, l_i^{\text{пик}}$ – удельные работы цикла АЭС с ГТУ и пиковой работы;
 q_1 – удельная теплота, подведенная к рабочим телам в соответствующем цикле;
 η_i и $\eta_i^{\text{пик}}$ – внутренние абсолютные КПД соответствующих циклов.

Таблица. Результаты расчета цикла АЭС с ГТУ при $t_1=20\text{ }^\circ\text{C}$ и $t_1=-20\text{ }^\circ\text{C}$

	v	d_r	t_1	q_1	$l_{\text{ГТУ}}$	l_r	l_i	η_i
АЭС с ГТУ			$^\circ\text{C}$	кДж/кг	кДж/кг	кДж/кг	кДж/кг	%
	8	3,47	20	4850	816	1083	1899	39,16
	10	3,604	-20	5075,35	952,03	1178,6	2130,6	41,98
Пиковая АЭС с ГТУ	v	d_r	t_1	$q_{1\text{пик}}^{\text{ГТУ}}$	$l_{\text{ГТУ}}$	$\Delta l_{\text{ГТУ}}$	$l_i^{\text{пик}}$	$\eta_i^{\text{пик}}$
			$^\circ\text{C}$	кДж/кг	кДж/кг	кДж/кг	кДж/кг	%
	8	3,47	20	2462	816	294	1110	45,1
	10	3,604	-20	2687,4	952,03	328,7	1280,7	47,66

На основании результатов расчетов, приведенных в таблицах, можно сделать следующие выводы:

- Использование теплоты уходящих газов ГТУ для перегрева пара за ЧВД турбины АЭС вместо сепаратора-пароперегревателя с позиции увеличения тепловой экономичности АЭС целесообразно;
- Цикл АЭС с ГТУ, выполненный по предлагаемой схеме, будет иметь внутренний относительный КПД (39,16 %) на 18,5 % относительных больше, чем традиционный цикл АЭС (33,04 %) при $t_1=20\text{ }^\circ\text{C}$;
- При использовании схемы АЭС с ГТУ в режиме покрытия пиковых электрических нагрузок ее тепловая экономичность (45,1 %) на 36 % относительных больше по сравнению с автономно работающей ГТУ (33,14 %) при $t_1=20\text{ }^\circ\text{C}$;
- При использовании схемы АЭС с ГТУ в холодное время года ее экономичность увеличивается по сравнению с теплым временем года как в базовом режиме (на 15 % при снижении температуры t_{1r} от $20\text{ }^\circ\text{C}$ до $-20\text{ }^\circ\text{C}$), так и в режиме покрытия пиковых электрических нагрузок (на 25 % при снижении температуры t_{1r} от $20\text{ }^\circ\text{C}$ до $-20\text{ }^\circ\text{C}$);
- При выборе оптимального значения степени повышения давления воздуха в компрессоре ГТУ применительно к данной схеме необходимо ориентироваться на максимальное значение работы ГТУ, и учитывать температурный график региона, где построена АЭС.

Библиографический список

1. Чухин И.М. Техническая термодинамика. Часть 2., учебн. пособие. – ИГЭУ, 2008, 228 с.
2. Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции. – М.: Высшая школа, 1984 – 304 с.

*А.В. Воднева, А.С. Сидорова, студ.;
рук. Т.Е. Созинова, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БАЗЫ ЗАДАЧ РАЗДЕЛА «СТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА» КУРСА «ТЕПЛОМАССООБМЕН»

В промышленной теплоэнергетике возникает необходимость рассчитать количество переданной тепловой энергии – расчёт теплообмена.

Задачи теплообмена классифицируются на внутренние, внешние и сопряженные [1]. Внутренними задачами называют задачи расчёта температурных полей и тепловых потоков внутри твёрдых тел за счёт процесса теплопроводности, при этом на поверхности твёрдого тела условия теплообмена известны.

В работе рассмотрены внутренние задачи теплообмена. При расчёте тепловых потоков используется решение дифференциального уравнения теплопроводности для тел классической формы (неограниченная пластина, неограниченный цилиндр и сфера) в стационарном режиме.

Признаки стационарного состояния:

1. Частная производная $\frac{\partial T}{\partial \tau} = 0$, то есть температура не меняется

во времени;

2. $Q = \text{const}$ (тепловой поток является величиной постоянной и одинаковой для всех точек одномерного температурного поля).

В 2016 году была создана база задач по разделу «Стационарная теплопроводность и теплопередача» [2].

Цель данной работы: расширение базы задач по расчету процессов стационарной теплопроводности и теплопередачи; адаптация базы задач для практического применения в учебном процессе.

Для реализации поставленной цели расширен список анализируемых источников литературы – задачников по курсу «Тепломассообмен» [3-14].

Структура базы задач по разделу «Стационарная теплопроводность и теплопередача» была переработана.

Каждая тематика сопровождается краткими теоретическими сведениями и расчетными формулами, типовыми задачами с подробным решением и задачами для самостоятельной работы.

Новый подход к содержанию базы задач позволит студенту, изучающему дисциплину «Тепломассообмен», самостоятельно осваивать материал, приобрести теоретические знания и практические навыки,

умение применять эти знания в дальнейшем при решении конкретных инженерных задач.

Выводы:

1. Расширена база задач по расчету процессов стационарной теплопроводности и теплопередачи.
2. Переработана структура базы задач по разделу «Стационарная теплопроводность и теплопередача».
3. База задач дополнена краткими теоретическими сведениями и расчетными формулами, типовыми задачами с подробным решением.

Библиографический список

1. Бухмиров В.В. Тепломассообмен: учеб.пособие/ ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 360 с.
2. Мальцев, А.С. Разработка базы задач по разделу «Стационарная теплопроводность и теплопередача» курса «Тепломассообмен». Теплоэнергетика // Одиннадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, 05-07 апреля 2016 г., г.Иваново: материалы конференции / А.С.Мальцев, Т.Е.Созинова. – Иваново: ИГЭУ, 2016. – Т. 1. – С. 139-141.
3. Авчухов, В.В. Задачник по процессам тепломассообмена. учеб.пособие для вузов./ Авчухов, В.В., Паюсте Б.Я. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 144 с.
4. Воскресенский, К.Д. Сборник расчетов и задач по теплопередаче. – Изд. 2-е, перераб. – М.: Госэнергоиздат, 1959.–335с.
5. Дульнев, Г.Н. Основы теории тепломассообмена / Г.Н. Дульнев, С.В. Тихонов. – СПб.: СПбГУИТМО, 2010. – 93 с.
6. Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена: учеб.пособие / под ред. В.И. Крутова и Г.Б. Петражицкого. – 2-е изд., стереотипное. – СПб.: БХВ – Петербург, 2011. – 384 с.
7. Краснощеков, Е.А. Задачник по теплопередаче: учеб.пособие для вузов./ Е.А.Краснощеков, А.С. Сукомел – М.: Энергия, 1980. – 288 с.
12. Крейт, Ф. Основы теплопередачи: Пер. с англ. / Ф. Крейт, У. Блэк. – М.: Мир, 1983. – 512 с.
8. Михайлова, М.М. Сборник задач и примеров расчета по теплопередаче. – М.: Производственно-издательский комбинат ВИНТИ, 1963. – 128 с.
9. Нащокин, В.В. Техническая термодинамика и теплопередача: учеб.пособие для вузов. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. школа, 1980. – 469 с.
10. Сборник задач по теплотехнике: учеб. пособие для студ.учреждений высш. проф. образования / Шатров М.Г. [и др.]; под ред. М.Г. Шатрова. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 272 с.
11. Сборник задач по термодинамике и теплопередаче. учебн. пособие для авиационных вузов/ А.В. Болгарский [и др.].–М.: Высш. школа, 1972. – 304 с.
12. Сборник задач по технической термодинамике и теплопередаче/Е.В. Дрыжаков [и др] – М.: Высш. шк., 1968. – 373 с.
13. Телегин, А.С. Тепло-массоперенос: учебник для вузов. / А.С. Телегин, В.С. Швыдкий, Ю.Г. Ярошенко. – М.: Металлургия, 1995. – 400 с.
14. Цветков, Ф.Ф. Задачник по тепломассообмену : учеб. пособие / Ф.Ф. Цветков, Р.В. Керимов, В.И. Величко. – 2-е изд., исправ. и доп. –М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — 196 с.

*И. А. Никифоров, студ.; рук. Т. Е. Созинова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА COMSOL MULTIPHYSICS

В настоящее время при строительстве жилых зданий наблюдается повышение самостоятельности предприятий и организаций в решении задач проектирования и строительства при сокращении числа обязательных требований к применяемым материалам и конструкциям [1].

В последние годы массовое распространение получило возведение стен жилых домов облегченными конструкциями [1]. При этом используется утепление стен жилых домов снаружи с применением различных изоляционных материалов [2]. Наибольшее распространение получили стеновые панели из пенополистирола [3].

Столь широкое применение наружного утепления объясняется следующими достоинствами [3]:

- достаточно медленное и плавное снижение температуры по толщине существующей стены;
- поддержание более оптимального температурно-влажностного режима в помещениях по сравнению с утеплением с внутренней стороны наружной стенки.

Однако нельзя не отметить недостатки при наружном утеплении стен мягкими утеплителями с последующим оштукатуриванием [1]:

1. Применение оштукатуривания утеплителя, расположенного снаружи стен зданий приводит к снижению долговечности утеплителя из-за скапливания влаги у наружного отделочного слоя, последующего её замораживания и оттаивания в процессе эксплуатации в холодный и переходный периоды года.

2. Более высокие трудозатраты на возведение таких стен ввиду невозможности выполнения требований технических условий на такие ограждения в зимнее время, и как следствие необходимость вынужденного простоя до весеннего периода.

3. Недолговечность наружных систем утепления. Например, долговечность пенополистирола составляет 13-20 лет.

В данной работе проведено моделирование различных вариантов ограждающих конструкций наружных стен жилых домов с применением программного пакета COMSOL Multiphysics [4].

Программа COMSOL – математический пакет, предназначенный для численного решения задач методом конечных элементов.

В пакете COMSOL Multiphysics использовали модуль «Теплопередача» (Heat Transfer Module), который позволяет решать дифференциальное уравнение теплопроводности для нестационарных процессов при разных условиях однозначности. В работе были рассмотрены реальные конструкции наружных ограждений жилых зданий с соответствующими геометрическими размерами (толщинами слоев). Теплофизические свойства задавали соответствующими используемым материалам. Дифференциальное уравнение теплопроводности было решено при граничных условиях третьего рода.

В результате решения были получены температурные графики по толщине ограждающей конструкции.

Выводы:

1. Проанализирован современный подход к ограждающим конструкциям жилых зданий.
2. Проведено моделирование различных вариантов ограждающих конструкций наружных стен жилых домов с применением программного пакета COMSOL Multiphysics.

Библиографический список

1. Строительные нормы и правила: СНиП 10-01-94. Система нормативных документов в строительстве. Основные положения. – Москва: [б.и.], 1994. – 21 с.
2. Характеристики современных теплоизоляционных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stroy-dom.net>. – Стройдом. – (Дата обращения: 15.12.2016).
3. Утепление существующих ограждающих конструкций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.know-house.ru>. – Национальная информационная система по строительству. – (Дата обращения: 15.12.2016).
4. Модуль «Теплопередача» для моделирования процессов переноса тепла теплопроводностью, конвекцией и излучением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.comsol.ru>. – COMSOL Multiphysics. – (Дата обращения: 15.12.2016).

*Е.А. Гадалова, К.В. Терентьева, студ.;
рук. Д.В. Ракутина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ СУХОСТИ ВОДЯНОГО ПАРА НА ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ

Водяной пар является основным рабочим телом в современных теплоэнергетических установках, а также используется во многих технологических процессах. Пар может быть влажный насыщенный, сухой насыщенный и перегретый. Основной характеристикой влажного насыщенного пара является степень сухости x . Зная давление их можно найти все характеристики влажного насыщенного пара.

Цель работы – разработать и апробировать методику экспериментального определения степени сухости пара на лабораторном стенде.

Первоначально установка предназначена для исследования теплоотдачи при конденсации водяного пара на вертикальной трубе. Лабораторный стенд состоит из парогенератора и конденсатора (рис. 1). Конденсатор представляет собой медный змеевик, охлаждаемый водой. Пар, производимый в парогенераторе, конденсируется на трубках змеевика и стекает вниз в мерную ёмкость. В процессе эксперимента измеряют следующие величины: температуру охлаждающей воды на входе и выходе из конденсатора, температуру пара на входе в конденсатор, температуру конденсата, температуру наружной поверхности змеевика, а также расход охлаждающей воды. Температуры фиксируют с помощью хромель-копелевых термопар, подключенных к цифровому многоканальному измерителю температуры, а расход воды – с помощью ротаметра.



Рисунок 1 – Лабораторный стенд для определения степени сухости пара

Водяной пар при конденсации отдает теплоту в количестве

$$Q = V_k \cdot \rho \cdot (h_x - h_k), \quad (1)$$

где V_k – объемный расход конденсата; ρ – плотность конденсата; h_x и h_k – удельная энтальпия влажного насыщенного пара и конденсата.

Энтальпия влажного пара зависит от его степени сухости и может быть найдена по формуле

$$h_x = h' + r \cdot x, \quad (2)$$

где h' – энтальпия жидкости в состоянии насыщения; r – теплота парообразования; x – степень сухости пара.

Энтальпии конденсата определяется по уравнению

$$h_k = c_p \cdot t_k, \quad (3)$$

где c_p – удельная изобарная теплоемкость воды; t_k – температура конденсата.

Количество теплоты, полученное охлаждающей водой, можно найти по формуле

$$Q = V \cdot \rho \cdot (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}), \quad (4)$$

где V – объемный расход охлаждающей воды; $t_{\text{вх}}$ и $t_{\text{вых}}$ – температура охлаждающей воды на входе и выходе из конденсатора.

Приравняв правые части уравнений (1) и (4) и с учётом выражений (2) и (3) получим расчетную формулу для определения степени сухости пара

$$x = \frac{1}{r} \left(c_p \left(\frac{V}{V_k} (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}) + t_{\text{вх}} \right) - h' \right). \quad (5)$$

Потерями теплоты в окружающую среду и за счет теплопроводности медной трубки пренебрегаем в силу их малости. Энтальпию жидкости в состоянии насыщения h' и теплоту парообразования r находим по таблицам [1] при атмосферном давлении.

На лабораторной установке была проведена серия опытов, по результатам которых рассчитана степень сухости пара. Проведенное исследование показало, что степень сухости водяного пара составляет $0,1 \div 0,2$.

Библиографический список

1. Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник. - М.: Издательство МЭИ, 2003. - 168 с.

*Е.С. Алеманова, Г.И. Парфенов студ.; рук. Д.В. Ракутина к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА НАПОЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ НА ТЕПЛОТДАЧУ ОТ ТЕПЛОГО ПОЛА

В последние годы наряду с традиционными системами отопления широко применяются системы водяного теплого пола. Водяной теплый пол представляет собой сеть полимерных труб вмонтированных в бетон, по которым циркулирует горячая вода. Такая конструкция обеспечивает равномерное распределение тепла по всей площади отапливаемого помещения. При этом нижний слой воздуха у пола прогревается сильнее, чем верхний - у потолка, создавая идеальные условия для комфортного проживания человека.

Важным вопросом является правильный выбор напольного покрытия для теплого пола, обеспечивающего равномерную и максимальную теплопередачу. Естественно, чем выше коэффициент теплопроводности материала и меньше его толщина, тем меньше будут потери тепла за счет термического сопротивления напольного покрытия. Однако, в современных условиях надежных сведений о значении коэффициентов теплопроводности для различных видов напольных покрытий недостаточно. Поэтому единственным достоверным способом определения наиболее энергоэффективного типа покрытия для теплого пола является экспериментальное исследование.

Тепловой поток от пола к окружающему воздуху передается за счет конвекции и излучения. При этом плотность теплового потока можно найти по формуле[1]

$$q = (\alpha_k + \alpha_l) \cdot (T_w - T_b), \quad (1)$$

где q – суммарная плотность лучистого и конвективного теплового потока от пола к окружающему воздуху; α_k, α_l – коэффициенты конвективной и лучистой теплоотдачи; T_w – температура поверхности пола; T_b – температура воздуха в помещении.

Коэффициент конвективной теплоотдачи можно найти по известным критериальным формулам[1], а коэффициент теплоотдачи излучением по формуле

$$\alpha_l = \frac{\varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot (T_w^4 - T^4)}{T_w - T}, \quad (2)$$

где ε – степень черноты поверхности; σ_0 – постоянная Стефана-Больцмана.

Цель данной работы – экспериментальное исследование влияния типа напольного покрытия на теплоотдачу от теплого пола.

Эксперимент проводили в жилом доме, оборудованном водяными теплыми полами. Исследование выполнено для разного вида напольного покрытия: линолеума без утеплителя, плитки, ламината без подложки и ламината с подложкой. Толщина ламината и плитки 8 мм, линолеума – 2 мм, подложки под ламинат – 2 мм.

Во время эксперимента было выполнено измерение температуры поверхности пола без покрытия и с покрытием. Также фиксировалась температура воздуха внутри помещения и температура воды в подающем и обратном коллекторах. Измерение температуры выполнено прибором ИТП-МГ4.03«Поток».

На основе экспериментальных данных по формуле (1) были рассчитаны значения плотности теплового потока передаваемого от поверхности пола к окружающему воздуху. Результаты расчета представлены на рис. 1.

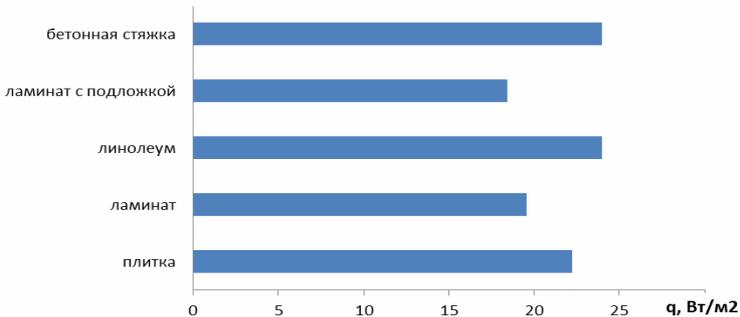


Рисунок 1 – Плотность теплового потока, передаваемого от напольного покрытия к окружающему воздуху

Из анализа данных представленных нарис. 1 видно, что плотность теплового потока q при укладке на пол плитки уменьшается на 7 %, ламината – на 19 %, ламината с подложкой – на 23 %. Наилучший результат получен при укладке линолеума – тепловой поток остался неизменным. Кроме этого в процессе эксперимента замечено, если приложить руку к плитке, ламинату и линолеуму имеющим практически одинаковую температуру, то плитка и ламинат воспринимаются как холодные, а поверхность линолеума – теплая.

Библиографический список

1. Бухмиров В.В. Тепломассообмен: Учеб. пособие / ФГБОУ ВПО «Иван. гос. энерг. ун-т. им. В.И. Ленина» – Иваново, 2014. – 360 с.

*Е.Д. Коркин, Д.О. Кисляков студ.; рук. Е.Е. Корочкина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПАРОТУРБИННОГО ЦИКЛА АЭС НА НАСЫЩЕННОМ ПАРЕ

На АЭС теплота, необходимая для рабочего тела ПТУ, получается в результате ядерной реакции. Выделение теплоты происходит в тепло-выделяющих элементах (ТВЭЛ) ядерного реактора (ЯР), в которых находится ядерное топливо. Температура внутри ТВЭЛ-ов может достигать 600 – 2500 °С. Однако температура оболочки ТВЭЛ-ов, во избежание ее разрушения, не должна превышать 300 – 600 °С. В настоящее время на АЭС в качестве рабочего тела используется вода и водяной пар. По условиям охлаждения ТВЭЛ-ов в ядерном реакторе кипящего типа (РБМК) необходимо иметь постоянную температуру охлаждающего теплоносителя – воды в состоянии насыщения. При таких условиях реализация цикла ПТУ возможна только в области влажного насыщенного пара. В таком реакторе теоретически (при 100 % сепарации пара в нем) можно получить сухой насыщенный пар. Эти условия благоприятны для реализации цикла Карно применительно к АЭС, работающей на влажном насыщенном паре. Основные особенности паровой турбины АЭС с ВВЭР и РБМК связаны с ее работой на насыщенном паре и потому с относительно малым теплоперепадом (большой расход пара) и работой большей части ступеней на влажном паре.

Разработана программа для расчёта параметров паротурбинного цикла атомной электростанции с канальным реактором большой мощности: расход пара на турбину, расчёт внутреннего абсолютного КПД установки и количество отведенной теплоты, графически отображающая диаграмму происходящего процесса. При нажатии на соответствующий кнопки интерфейса программы, выполняются соответствующие функции (обработчики этих нажатий), которые обеспечивают расчет выбранного пользователем цикла по заданным начальным условиям.

В программный продукт интегрирована база данных по расчету процессов воды и водяного пара. Реализован достаточно сложный алгоритм линейной интерполяции параметров воды и водяного пара. Разработан удобный пользовательский интерфейс. Программа разработана в среде программирования Delphi 7. Блок схема программы приведена на рис. 1.

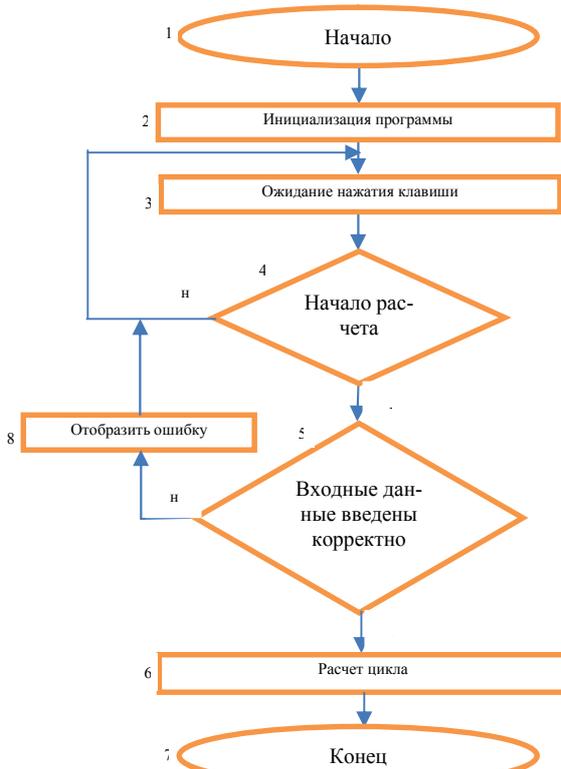
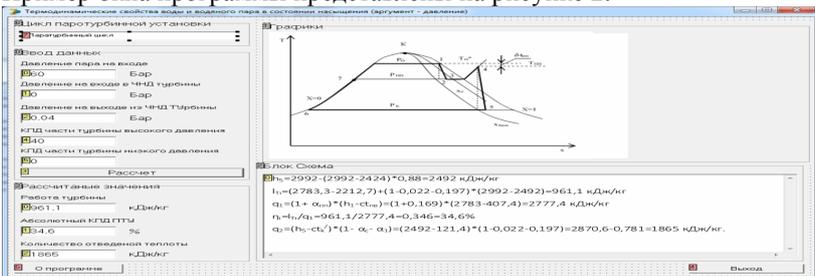


Рисунок 1 - Блок-схема программы

Пример окна программы представлены на рисунке 2.



Вывод. Разработанный программный комплекс можно использовать как для автоматизации расчета паротурбинных циклов АЭС на насыщенном паре так же и в рамках преподавания дисциплин: «Теплотехника» и «Техническая термодинамика».

*Н.А. Минеев, студ.; рук. Е.Е. Корочкина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Работа посвящена моделированию систем тепловыделяющих элементов радиоэлектронной аппаратуры. Эта задача сейчас является актуальной в связи с минимизацией размеров электронного оборудования. Задача моделирования процессов нестационарной теплопроводности электронных устройств осложняется формой конструкций и наличием элементов с внутренними тепловыделениями, состоящих из различных материалов, а так же влиянием тепловыделяющих элементов друг на друга.

Проведено моделирование теплового режима и системы охлаждения безвентиляторной материнской платы форм-фактора Mini ITX, разработанной компанией VIA –Technologies. Одной из особенностей материнских плат формата mihi-ITX является наличие впаянного процессора. Тепловыделяющими элементами являются: процессор, северный и южные мосты, а так же элементы питания.

Модель систем охлаждения материнской платы Mini ITX спроектирована на базе прикладного пакета программ Solid Works [1] – одной из самых популярных систем параметрического моделирования, твердотельного и поверхностного с использованием приложения COSMOS Works. Данный подход позволяет автоматизировать задачу проектирования систем охлаждения, в силу того, что в COSMOS Works используются уже готовые конечно-разностные сетки, адаптированные к форме конструкции с учетом различных теплофизических свойств каждого элемента.

Были разработаны системы охлаждения с использованием трех вариантов моделей радиаторов для пассивной системы охлаждения: пластинчатого, штыревого и игольчатого, а так же разработана модель жидкостной системы охлаждения процессора (теплообменного аппарата). Получено температурное поле платы без системы охлаждения (рис.1) и с системой охлаждения (рис.2) [2].

В качестве материала для радиаторов была использована медь и дюралюминий. Получено распределение температур в различные моменты времени для всех рассмотренных систем охлаждения тепловыделяющего элемента (процессора).

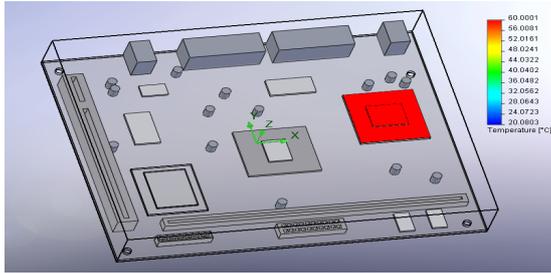


Рисунок 1 – Модель температурного поля процессора без системы охлаждения

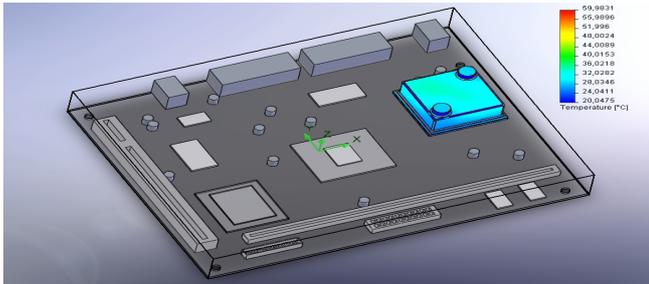


Рисунок 2 – Модель температурного поля с установленным жидкостным охлаждением

Была произведена оценка эффективности радиаторов из указанных материалов. Наилучшее охлаждение процессора достигается радиаторами из меди.

Была проведена также оценка эффективности охлаждения для каждого типа радиатора. Наиболее эффективное охлаждение процессора обеспечивает пластинчатый радиатор. В этом случае температура процессора снижается на 20% по сравнению с другими рассмотренными радиаторами.

Библиографический список

1. Solid Works. Компьютерное моделирование в инженерной практике/ Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В., Харитнович А.И., Пономарев Н.Б. – СПб.:ВХБ-Петербург, 2005 – 800 с., ISBN 5-94157-558-0.
2. Методы расчета теплового режима приборов/ Г.Н.Дульнев, В.Г. Парфенов, А.В. Сигалов. – М.: Радио и связь, 1990. – 312 с., ISBN 5-256-00749-1.

Д.В. Чигирёва, студ.;

рук. Ю.С. Плетникова, к.т.н., доц., (ИГЭУ, г. Иваново)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПО РАСЧЕТУ СТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ ВНУТРЕННИХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОТЫ

Расчет процесса стационарной теплопроводности при наличии внутренних источников теплоты основан на решении краевой задачи теории теплопроводности [1]. Для тел простой формы дифференциальное уравнение теплопроводности при наличии внутренних источников теплоты имеет вид:

$$\frac{d^2T}{dx_1^2} + \frac{k-1}{x_1} \frac{dT}{dx_1} + \frac{q_v}{\lambda} = 0, \quad (1)$$

где x_1 – первая координата в ортогональной системе координат, м; k – коэффициент формы тела; T – температура, К; q_v – внутренние источники (стоки) теплоты, Вт/м³; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К).

Решение уравнения (1) для тел классической формы (бесконечная пластина, бесконечный цилиндр и шар) приведено в книге [1].

Целью научной работы является совершенствование комплекса для расчета температурных полей и тепловых потоков при охлаждении тел простейшей формы при действии в телах внутренних источников теплоты, разработанного в среде C++. Данная задача решена для случая равномерного распределения источников теплоты по объему тел при граничных условиях I и III родов.

Исходными данными для расчета температурного поля по сечению тел простой формы являются условия однозначности для решения дифференциального уравнения теплопроводности.

В результате расчета получена зависимость температурного поля и плотности теплового потока от координаты. Кроме этого, вычислительный комплекс позволяет рассчитывать температуры и тепловой поток в тепловом центре и на поверхности тел, а также перепад температуры по сечению тел. При помощи данного вычислительного комплекса возможно также рассчитать теплообмен при отводе теплоты только через внутреннюю или только через наружную поверхность бесконечного цилиндра.

Для наглядного представления результатов расчета построены зависимости температуры и плотности теплового потока от координаты, а также зависимость температуры от мощности тепловыделений. Кро-

ме этого, построены графические зависимости температуры и плотности теплового потока от коэффициента теплопроводности, коэффициента теплоотдачи и температуры флюида.

На рис. 1 приведен внешний вид окна ввода исходных данных и вывода результатов расчета в численном и графическом видах.

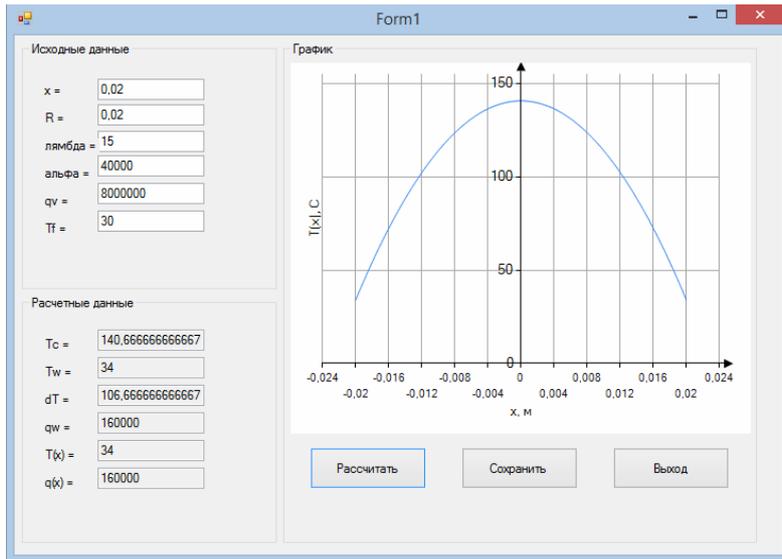


Рисунок 1 – Зависимость температуры пластины от координаты

В рамках научной работы с использованием вычислительного комплекса были доработаны задания для контроля студентов специальности «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» по теме: «Стационарная теплопроводность в телах простейшей формы с равномерно распределенными внутренними источниками теплоты».

Также программный вычислительный комплекс дополнен возможностью вычисления температур и тепловых потоков при наличии внутренних источников теплоты для неограниченного цилиндра при двухстороннем отводе тепла. При расчете с помощью комплекса возможен расчет температурного поля цилиндрического ТВЭЛа с учетом слоев топливной таблетки, газового зазора и оболочки.

Библиографический список

1. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. **Тепломассообмен в ядерных энергетических установках**: Учебник для ВУЗов. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 456 с.

*Э.С. Еришова, Н.Н. Мечтаева, студ.;
рук. Ю.С. Плетникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ МЕТОДОМ РЕГУЛЯРНОГО РЕЖИМА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ КИПЕНИЯ ВОДЫ

Кипением называется процесс парообразования. Для возникновения процесса кипения необходимо выполнение следующих условий: наличие перегрева жидкости относительно температуры насыщения и наличие центров парообразования [1]. Различают два основных режима кипения: пузырьковое и пленочное. Из опыта известно, что при постоянной температуре поверхности переход от пузырькового режима к пленочному и наоборот происходит постепенно. При постоянной плотности теплового потока данный переход будет осуществлен скачкообразно [2].

Целью данной научной работы является экспериментальное определение коэффициента теплоотдачи при охлаждении медного вертикального цилиндра в воде при различных режимах кипения.

Используя свойства регулярного режима теплопроводности, можно определить коэффициент теплоотдачи [3]:

$$\bar{\alpha} = \frac{m \cdot c \cdot \rho \cdot R}{k}, \quad (1)$$

где m – темп охлаждения, $с^{-1}$; c – удельная массовая теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ – плотность, $кг/м^3$; R – радиус цилиндра, м; k – коэффициент формы тела (для цилиндра $k = 2$).

В работе выполнен анализ точности эксперимента путем сравнения опытного значения коэффициента теплоотдачи с расчетом по известной теоретической формуле [4]. Сделан вывод об удовлетворительном совпадении результатов расчета и экспериментального значения коэффициента теплоотдачи.

Библиографический список

1. **Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.** Теплопередача [Учебник] / В.П. Исаченко // - М. – Л.: Энергия, 1965. – 424 с.
2. **Галин Н.М., Кириллов Л.П.** Тепломассообмен в ядерной энергетике [Учебное пособие] / Н.М. Галин // - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 376 с.
3. <http://ispu.ru/node/8115> [Электронный ресурс] - дата обращения 01.03.2013.
4. **Лыков А.В.** Теория теплопроводности [Учебное пособие] / А.В. Лыков // - М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.

*Е.А. Клипанов, С.А. Токарев, студ.;
рук. Ю.С. Плетникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ В ПРОЦЕССЕ КОНДЕНСАЦИИ ВОДЯНОГО ПАРА НА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТРУБЕ

Конденсацией называют процесс перехода пара (газа) в жидкое состояние [1].

Различают пленочную и капельную конденсацию [2]. Вид конденсации зависит от свойств конденсирующегося вещества и от чистоты поверхности, на которой происходит конденсация.

Целью данной научной работы является экспериментальное определение коэффициента теплоотдачи при конденсации водяного пара на поверхности вертикальной трубы.

Методика определения коэффициента теплоотдачи при конденсации основана на уравнении теплового баланса теплообменного аппарата. Коэффициент теплоотдачи при конденсации определяют по уравнению:

$$\alpha = \frac{G_g \cdot c_{pg} \cdot (T_g' - T_g'')}{(T_n - T_w) \cdot F}, \quad (1)$$

где G_g – массовый расход охлаждающей воды, кг/с; c_{pg} – удельная массовая теплоемкость, Дж/(кг·К); T_g' и T_g'' – температуры охлаждающей воды на входе и выходе в змеевик, °С; T_n и T_w – температура насыщения воды при атмосферном давлении и температура поверхности теплообмена соответственно, °С; F – площадь поверхности теплообмена, м².

В работе выполнен анализ точности эксперимента путем сравнения опытного значения коэффициента теплоотдачи с расчетом по известной теоретической формуле [3]. Сделан вывод об удовлетворительном совпадении результатов расчета и экспериментального значения коэффициента теплоотдачи.

Библиографический список

1. **Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.** Теплопередача [Учебник] / В.П. Исаченко // - М. – Л.: Энергия, 1965. – 424 с.
2. Теория тепломассообмена [Учебник] / Под ред. А.И. Леонтьева // - М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. – 683 с.
3. **Лыков А.В.** Теория теплопроводности [Учебное пособие] / А.В. Лыков // - М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.

*Р.Н. Валиев, А.Ю. Завьялова, студ.;
рук-ли Ю.С. Плетникова, к.т.н., доц., А.В. Пекунова, матем.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПО РАСЧЕТУ ОСНОВНЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

В теплотехнических устройствах часто используют газы как вещества, способные изменять объем в широком диапазоне. На практике приходится иметь дело со смесями газов (например, воздух, продукты сгорания топлива, горючие смеси и др.). Для анализа процессов газовых смесей очень важной задачей является определение характеристик смеси.

Целью научной работы является автоматизация расчета основных характеристик газовых смесей: массовых и объемных долей компонентов смеси, молярной массы смеси, газовой постоянной смеси, удельных массовых, объемных и мольных изохорных и изобарных теплоемкостей смеси, коэффициента Пуассона смеси. Кроме этого, в программном комплексе возможно определение параметров начала и конца политропного процесса, а также характеристик политропного процесса.

Исходными данными для расчета основных характеристик смеси являются: состав смеси, массовая или объемная доля одного из компонентов смеси, одна из характеристик смеси (газовая постоянная смеси $R_{см}$, молярная масса смеси $\mu_{см}$, изохорная или изобарная теплоемкости смеси $C_{p, см}$, $C_{v, см}$, $\mu C_{p, см}$, $\mu C_{v, см}$, $C'_{p, см}$, $C'_{v, см}$, коэффициент Пуассона смеси $k_{см}$). Исходными данными для расчета политропного процесса газовой смеси являются: характеристика смеси, показатель политропы, ряд термических параметров в начальном и конечном состояниях политропного процесса.

Результаты расчета характеристик и политропного процесса газовой смеси представлены в программном комплексе в виде таблиц.

Для наглядного представления результатов расчета, политропный процесс представлен в p,v - и T,s -диаграммах.

Библиографический список

1. Чухин И.М. **Расчет основных термодинамических процессов газов, воды и водяного пара и влажного воздуха** / И.М. Чухин, Г.Н. Щербакова, А.В. Пекунова: методические указания для выполнения расчетно-графической работы №1 по курсу «Техническая термодинамика». – Иваново, 2012. – 60 с.

*К.Н. Бубнов, Ю.А. Потемкина, Д.С. Сокова, студ.;
рук. А.К. Гаськов, асс.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ФТОРОПЛАСТА И ТЕКСТОЛИТА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Коэффициент теплопроводности характеризует способность тела проводить тепло и его применяют для инженерных расчётов и математического моделирования процесса теплообмена. Он зависит от многих величин: температуры, давления, влажности, структуры материала. Коэффициент теплопроводности веществ определяют экспериментально и приводят в справочниках. Для твёрдых однородных тел коэффициент теплопроводности в основном зависит от температуры, поэтому учёт изменения коэффициента теплопроводности от температуры повышает точность расчётов.

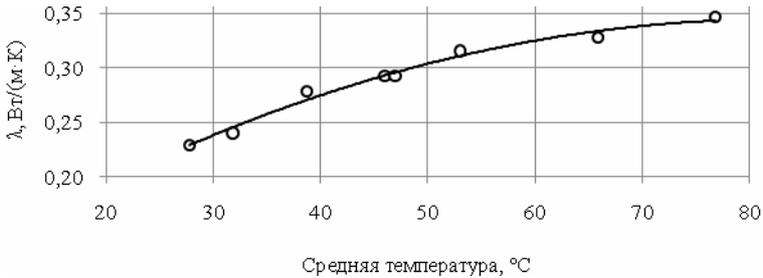
Целью данной работы является экспериментальное определение зависимости коэффициента теплопроводности фторопласта и текстолита от температуры. Исследование выполнено на лабораторном стенде кафедры ТОТ ИГЭУ [1]. В ходе проведения опыта были измерены напряжение на нагревателе, падение напряжения на образцовом сопротивлении, температуры на внутренней и внешней поверхностях исследуемых образцов в трёх сечениях по высоте. По значению изменения температуры на внутренней и наружной поверхности исследуемых образцов фиксировался момент наступления стационарного процесса теплопроводности, который наступал через три часа после начала нагрева. Так как исследуемые образцы выполнены в виде коаксиальных цилиндров, то коэффициент теплопроводности определялся решением обратной задачи теплопроводности в цилиндрической стенке при стационарном режиме теплообмена. В ходе исследования была проведена серия экспериментов при различных значениях напряжений, подаваемых на нагреватель. На рис. 1 представлены зависимости коэффициента теплопроводности фторопласта и текстолита от средней температуры образцов.

В интервале температур $27 \div 77^\circ\text{C}$ коэффициент теплопроводности фторопласта в среднем составил $0,29 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, а его зависимость от температуры с погрешностью не более $2,9\%$ можно аппроксимировать квадратичным уравнением:

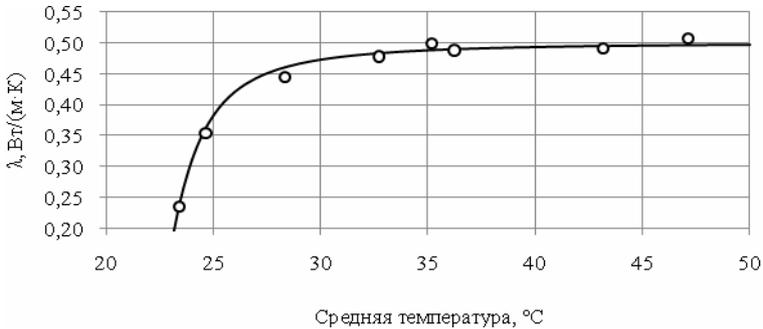
$$\lambda_{\phi} = -\frac{3,85}{10^5} \cdot T_{cp}^2 + \frac{6,36}{10^3} \cdot T_{cp} + \frac{8,23}{10^2} \quad (1)$$

В интервале температур 23÷48°C коэффициент теплопроводности текстолита в среднем составил 0,438 Вт/(м·К), а его зависимость от температуры с погрешностью не более 3,1% можно аппроксимировать степенным уравнением:

$$\lambda_m = \frac{(T_{cp} - 22)^{1,7}}{4 + 2 \cdot (T_{cp} - 22)^{1,7}} \quad (2)$$



а) для фторопласта



б) для текстолита

Рисунок 1 – Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры

Выводы. Определены зависимости коэффициентов теплопроводности фторопласта и текстолита от температуры и получены регрессионные уравнения для их расчёта.

Библиографический список

1. Бухмиров В.В., Гаськов А.К. Определение коэффициента теплопроводности твёрдых тел методом цилиндрического слоя. Методические указания для выполнения лабораторной работы. – Иваново: ФГБОУ ВО «ИГЭУ имени В.И. Ленина», 2016. – 12 с.

*К.Н. Бубнов, Ю.А. Потемкина, Д.С. Сокова, студ.;
рук. А.К. Гаськов, асс.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ФТОРОПЛАСТА И ТЕКСТОЛИТА МЕТОДОМ УПОРЯДОЧЕННОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА

Коэффициент температуропроводности характеризует теплоинерционные свойства вещества и его применяют для инженерных расчётов и математического моделирования процесса нестационарной теплопроводности.

Целью данной работы является экспериментальное определение коэффициента температуропроводности фторопласта и текстолита методом упорядоченного теплового режима. Упорядоченным тепловым режимом называется период нагрева или охлаждения тела, начиная с которого некоторый температурный комплекс Φ изменяется во времени по прямолинейному закону. Для цилиндра коэффициент температуропроводности материала методом упорядоченного теплового режима определяется по формуле [1]:

$$a = \frac{R^2 \cdot \Delta\Phi}{5,75 \cdot \Delta\tau} \quad (1)$$

где R – расстояние между термомпарами, м; $\Delta\Phi$ – изменение температурного комплекса; $\Delta\tau$ – интервал времени, сек.

Была выполнена серия экспериментов на лабораторных установках кафедры ТОТ ИГЭУ [2]. В ходе проведения опыта были измерены температуры и их изменение во времени на внутренней и наружной поверхностях цилиндрических образцов из фторопласта и текстолита. Обработка данных была выполнена в программе Microsoft Excel по методике [1]. Температурный комплекс Φ рассчитан по выражению:

$$\Phi = \ln(T_{w1} - T_{w2}) - 1,46 \int \frac{dT_{w1}}{T_{w1} - T_{w2}} \quad (2)$$

где T_{w1} – температура на внутренней (горячей) поверхности цилиндра, °С; T_{w2} – температура на наружной (холодной) поверхности цилиндра, °С,

Графики изменения температуры и температурного комплекса Φ от времени представлены на рис. 1. На участке графика, где зависимость комплекса Φ от времени становится линейной выбраны две опорные точки, соответствующие моментам времени τ_1 и τ_2 . Коэффициент тем-

пературопроводности материала исследуемых образцов рассчитан по выражению (1). Результаты расчётов приведены в таблице 1.

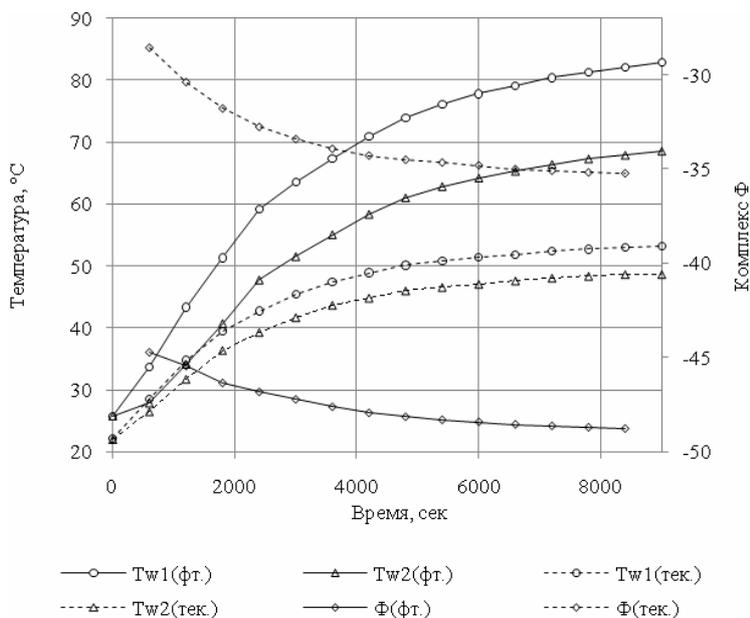


Рисунок 1 - Зависимость температуры и комплекса Ф от времени

Таблица 1 – Коэффициент температуропроводности фторопласта и текстолита

Параметр	Материал	
	Фторопласт	Текстолит
Коэффициент температуропроводности материала, определённый методом упорядоченного теплового режима, м ² /с	$2,24 \cdot 10^{-9}$	$1,53 \cdot 10^{-9}$

Выводы. Экспериментально определены коэффициенты температуропроводности фторопласта и текстолита методом упорядоченного теплового режима.

Библиографический список

1. **Чернышов В.Н.**, Однолько В.Г., Чернышов А.В. Методы и системы неразрушающего контроля теплозащитных свойств строительных материалов и изделий. – М.: Издательский дом «Спектр», 2012. – 200 с.
2. **Бухмиров В.В.**, Гаськов А.К. Определение коэффициента теплопроводности твёрдых тел методом цилиндрического слоя. Методические указания для выполнения лабораторной работы. – Иваново: ФГБОУ ВО «ИГЭУ имени В.И. Ленина», 2016. – 12 с.

*К.Н. Бубнов, студ.; А.К. Гасков, асс.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ОТ ТРУБОПРОВОДОВ С ГОРЯЧИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Целью данной работы является разработка методики расчёта потерь тепловой энергии от трубопроводов с горячим теплоносителем, расположенных на открытом воздухе, и её реализация в компьютерной программе на языке программирования Pascal. Методика расчёта тепловых потерь состоит из модулей ввода исходных данных, расчёта тепловых потерь от неизолированного трубопровода, выбора материала и толщины тепловой изоляции, расчёта тепловых потерь от изолированного трубопровода, расчёта показателей энергетической и экономической эффективности мероприятия по утеплению трубопровода.

Исходными данными для расчёта являются температура горячего теплоносителя внутри трубы, температура и скорость окружающего воздуха, материал из которого изготовлен трубопровод (выбирается из списка), наружный диаметр трубопровода, его длина и ориентация в пространстве (горизонтально или вертикально), время процесса и удельная стоимость 1 Гкал тепловой энергии.

В модуле расчёта тепловых потерь от неизолированного трубопровода принято допущение, что температура поверхности трубы равна температуре теплоносителя, поэтому потеря теплоты происходит только за счёт теплоотдачи от поверхности трубы конвекцией и излучением. В зависимости от заданной пользователем ориентации трубопровода в пространстве и скорости воздуха, в методике реализовано несколько методов расчёта коэффициента конвективной теплоотдачи [1]. Коэффициент лучистой теплоотдачи рассчитывается по закону Стефана-Больцмана по степени черноты материала трубопровода [2]. Количество и стоимость тепловых потерь от неизолированного трубопровода рассчитывается по суммарному коэффициенту теплоотдачи, заданной геометрии и времени работы трубопровода.

После расчёта тепловых потерь с неизолированного трубопровода пользователю необходимо выбрать материал тепловой изоляции из списка, задать толщину слоя изоляции и указать цену за 1 м³ теплоизоляционного материала. Формирование списка теплоизоляционных материалов, доступных для выбора пользователю, производится автоматически в зависимости от: 1) рабочей температуры материала теплоизоляции, которая должна быть выше температуры теплоносителя, и, 2)

соблюдения условия критического диаметра тепловой изоляции, который рассчитывается по коэффициенту теплопроводности материала изоляции и коэффициенту теплоотдачи, найденному при расчёте тепловых потерь от неизолированного трубопровода.

В модуле расчёта тепловых потерь от заизолированного трубопровода также принято допущение, что температура поверхности трубы равна температуре теплоносителя, поэтому передача теплоты от теплоносителя к воздуху происходит за счёт теплопроводности в слое тепловой изоляции и теплоотдачи к воздуху от поверхности теплоизоляции конвекцией и излучением. Температура поверхности тепловой изоляции рассчитывается методом итераций с величиной погрешности расчёта 0,1%. Коэффициент лучистой теплоотдачи рассчитывается по значению степени черноты теплоизоляционного материала. Количество и стоимость тепловых потерь от заизолированного трубопровода рассчитывается по суммарному коэффициенту теплоотдачи. В этом же модуле рассчитывается стоимость теплоизоляционного материала.

В модуле расчёта показателей энергетической и экономической эффективности рассчитывается экономия тепловой энергии в натуральном и стоимостном выражении как разность между потерями от неизолированного и изолированного трубопровода и простой срок окупаемости мероприятия по утеплению.

В программе реализована возможность вывода на экран всех рассчитываемых промежуточных величин.

Вывод. Разработана компьютерная программа, которая позволяет рассчитывать тепловые потери от неизолированных и изолированных тепловой изоляцией трубопроводов с горячим теплоносителем, а также показатели энергетической и экономической эффективности мероприятий по утеплению трубопроводов.

Библиографический список

1. **Бухмиров В.В.** Тепломассообмен: Учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 360 с.
2. **Бухмиров В.В.,** Ракутина Д.В., Солнышкова Ю.С. Справочные материалы для решения задач по курсу «Тепломассообмен» / ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2009. – 102 с.

*Л.А. Тиводар, студ.;
рук-ли В.В. Бухмиров, д.т.н., проф., М.Г. Сулейманов, асп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ПЕЧИ В ПАКЕТЕ SOLIDWORKS

Для совершенствования режимов нагрева насыпных садов в электрических печах была разработана трехмерная математическая модель камерной печи в программно-вычислительном комплексе (ПВК) SolidWorks Flowsimulation. В данном пакете в качестве стандартного метода анализа реализован метод конечных элементов. Геометрическая модель выполнена во встроенном редакторе и насчитывает 71000 элементов (рис. 1).

При помощи ПВК SolidWorks Flowsimulation решена задача сопряженного теплообмена в системе «электрические нагреватели – садка – ограждение печи». Электрические нагреватели представлены как диффузные (рассеивающие) радиационные источники тепла.

В качестве краевых условий указывались мощность нагревательных элементов, начальные температуры и теплофизические свойства печи и нагреваемого металла. В результате расчета процессов теплообмена на численной модели были получены температурные поля садки и футеровки печи.

Адекватность математической модели проверена сопоставлением экспериментальных данных [1] с результатами моделирования. Средняя относительная погрешность составила 12%.

Вывод. Разработана математическая модель электрической печи в программно-вычислительном комплексе Solidworks Flowsimulation, которая может быть использована для поиска новых режимов нагрева садов в камерных печах.

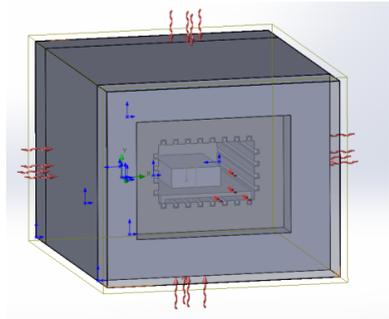


Рисунок 1 - Модель печи

Библиографический список

1. М.Г. Сулейманов, А.С. Брезгина, В.В. Бухмиров. Экспериментальное исследование нагрева насыпных садов. Радиоэлектроника, электротехника и энергетика, XXII Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов, 25-26 февраля 2016 г., г. Москва: тезисы докладов.— Москва: Издательский дом МЭИ.— 2016.— Т.2. – С.271 – 271

*М.В. Пророкова, асп.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УЧЕТ УРОВНЯ КОМФОРТНОСТИ МИКРОКЛИМАТА ПРИ ОЦЕНКЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ

При оценке эффективности энергосберегающих мероприятий актуальной задачей является оценка капитальных затрат на реализацию проекта энергосбережения. Существующие в настоящее время методы оценки энергоэффективных решений не учитывают затраты на реализацию сопутствующих мероприятий, внедрение которых направлено на создание комфортных для человека условий пребывания в зданиях непроизводственного назначения после реализации потенциала энергосбережения. К сопутствующим мероприятиям относят такие меры как внедрение системы регулирования отопительной нагрузки при реализации энергосберегающего мероприятия, направленного на сокращение потребления тепловой энергии, или организация системы принудительной вентиляции в здании при герметизирующих решениях, нарушающих воздухообмен в зданиях.

Предложено оценку целесообразности внедрения энергосберегающих мероприятий выполнять в три этапа.

На первом этапе выполняется расчет экономических показателей реализации проекта: простого срока окупаемости мероприятия, чистого дисконтированного дохода, при необходимости, внутренней нормы доходности проекта.

При условии экономической целесообразности проекта на втором этапе определяют степень влияния энергосберегающего мероприятия на уровень комфортности микроклимата. Для этого находят уровень комфортности микроклимата до реализации энергосберегающего мероприятия ($U_{КОМ,1}$) и, прогнозируя параметры микроклимата в помещении после реализации энергосберегающего проекта, определяют уровень комфортности микроклимата после реализации потенциала энергосбережения ($U_{КОМ,2}$). Для предсказания параметров внутренней среды помещения после реализации энергосберегающего мероприятия предложено использовать метод математического моделирования. Подробно методика определения уровня комфортности объектов непроизводственного назначения изложена в [1].

На третьем этапе сравнивают уровни комфортности до и после внедрения энергосберегающего мероприятия и делают вывод о целесообразности и эффективности выполнения процедуры энергосбережения.

Если энергосберегающее мероприятие не влияет на параметры внутренней среды помещения, то в этом случае уровень комфортности микроклимата не изменится ($U_{КОМ,2} = U_{КОМ,1} = U_{КОМ}$). При этом, если $U_{КОМ} = -0,3 \div 0,3$, то энергосберегающее мероприятие можно рекомендовать к внедрению, поскольку микроклимат в помещении можно охарактеризовать как «комфортный». При $U_{КОМ} < -0,3$ или $U_{КОМ} > 0,3$ – микроклимат в помещении не является комфортным и энергосберегающее мероприятие можно рекомендовать к внедрению только совместно с реализацией сопутствующих мероприятий в целях повышения комфортности внутренней среды помещений объекта. Но в этом случае необходимо выполнить коррекцию капитальных затрат на реализацию проекта энергосбережения с учетом стоимости внедрения сопутствующих мероприятий.

При недостатке теплоты в помещении уровни комфортности $U_{КОМ,1}$ и $U_{КОМ,2}$ имеют отрицательное значение. При этом, если $U_{КОМ,1} < U_{КОМ,2} < 0$, то внедрение энергосберегающего мероприятия повышает уровень комфортности микроклимата и проект рекомендуется к реализации. При $U_{КОМ,2} < U_{КОМ,1}$ – внедрение энергосберегающего проекта приводит к снижению уровня комфортности микроклимата. В этом случае мероприятие рекомендуется дополнить сопутствующими мерами для ликвидации недостатков теплоты в помещении, что приводит к росту капитальных затрат на реализацию проекта энергосбережения.

При избытке теплоты в помещении уровни комфортности имеют положительные значения $U_{КОМ,1}$ и $U_{КОМ,2}$. При этом, если $U_{КОМ,2} < U_{КОМ,1}$, то внедрение энергосберегающего мероприятия повышает уровень комфортности микроклимата и проект рекомендуется к реализации. При $U_{КОМ,1} < U_{КОМ,2}$ внедрение энергосберегающего мероприятия приводит к увеличению избытка теплоты в помещениях здания и, следовательно, к снижению уровня комфортности микроклимата. Поэтому данное энергосберегающее мероприятие рекомендуется к внедрению только совместно с выполнением мер, повышающих комфортность микроклимата.

Вывод. Предложен новый подход к оценке целесообразности внедрения энергосберегающих мероприятий в жилых, общественных и административных зданиях, учитывающий как экономические показатели реализации проекта, так и изменение параметров внутренней среды помещений.

Библиографический список

1. Бухмиров В.В., Пророкова М. В. Оценка микроклимата в помещениях жилых, общественных и административных зданий / Вестник ИГЭУ, № 4. 2015. –С. 5-10

*А.К. Гаськов, асс.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ КРАСКИ

В настоящее время широко используют новый теплоизоляционный материал - энергосберегающие краски, состоящие из полых микросфер и различного рода связующих. Однако, теплофизические свойства данного материала изучены недостаточно, поэтому определение коэффициента температуропроводности энергосберегающей краски на основе полых микросфер является актуальной научной задачей.

Целью научной работы является выбор метода и разработка экспериментального лабораторного стенда для определения коэффициента температуропроводности энергосберегающей краски.

Коэффициент температуропроводности характеризует теплоинерционные свойства вещества и его применяют для инженерных расчётов и математического моделирования процесса нестационарной теплопроводности. Коэффициент температуропроводности определяют экспериментально. Существует несколько методов экспериментального определения коэффициента температуропроводности, из которых наиболее распространённым является метод регулярного режима, основанный на определении темпа нагрева или охлаждения образца из исследуемого материала. На практике чаще всего применяют способ жидкостного « α -калориметра» при использовании которого требуется осуществить режим охлаждения или нагрева тела при $Bi \rightarrow \infty$ [1].

В качестве метода определения коэффициента температуропроводности энергосберегающей краски выбран метод регулярного режима, реализуемый на модифицированном воздушном « α -калориметре», в котором исследуемый образец несимметрично нагревается омывающим его продольно высокоскоростным потоком горячего воздуха. Высокая скорость потока воздуха необходима для обеспечения большого значения коэффициента теплоотдачи, чтобы выполнить условие $Bi > 100$.

Исследуемый образец представляет собой параллелепипед с размерами 45х60х75 мм, выполненный из энергосберегающей краски с массовым содержанием микросфер ~32,6% в связующем из акрила. Образец создан последовательным нанесением слоёв краски в прямоугольную форму-опоку из материала, к которому энергосберегающая краска имеет слабую адгезию. Каждый из наносимых слоёв краски в форму имел толщину ~2 мм и просушивался около источника тепла в течении

суток. В его геометрический центр образца была установлена медь-константановая термопара (тип Т).

Образец, теплоизолированный минеральной ватой со всех сторон, кроме рабочей поверхности, обдувался потоком горячего воздуха от нагнетателя со встроенным нагревателем. При помощи блока управления нагнетателем можно повышать скорость и температуру потока воздуха до значений ~ 20 м/с и $\sim 120^\circ\text{C}$ соответственно. В ходе проведения опыта были измерены скорость и температура воздушного потока при помощи метеометра МЭС-200; температуры потока, температура верхней грани, центра и нижней грани образца при помощи медь-константановых термопар, подключённых к автоматическому преобразователю термоЭДС и накопителю данных ADAM-4000. Схема экспериментального стенда изображена на рис. 1.

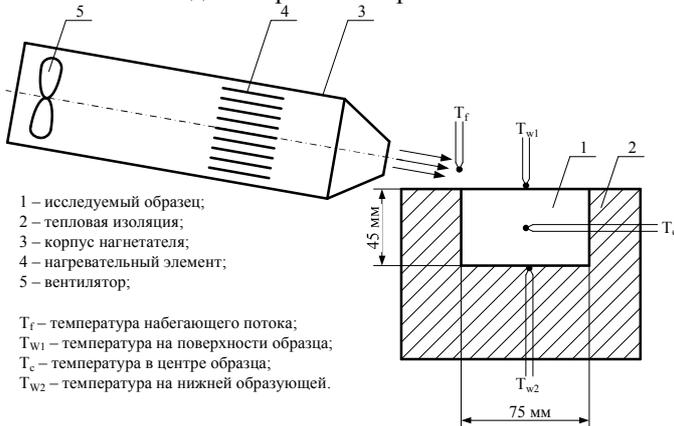


Рис. 1 Принципиальная схема экспериментального стенда

В результате экспериментального исследования было получено значение коэффициента температуропроводности в интервале $2,7 \cdot 10^{-8} \div 3,1 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$.

Вывод. Разработан экспериментальный лабораторный стенд для определения коэффициента температуропроводности энергосберегающей краски по методу регулярного режима. Найден коэффициент температуропроводности энергосберегающей краски в связующем из акрила производства ООО «НИКА-ПВА» (г. Иваново).

Библиографический список

1. **Чернышов В.Н.**, Однолюк В.Г., Чернышов А.В. Методы и системы неразрушающего контроля теплозащитных свойств строительных материалов и изделий. – М.: Издательский дом «Спектр», 2012. – 200 с.

Секция 6. ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

*Председатель секции
зав. кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»
д.т.н., проф. В.П. Созинов
Секретарь секции доц. Н.Н. Смирнов*

*В.А. Харченко, студ.; рук. L. Zigan Dr. Ing.,
(LTT, z. Erlangen)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СГОРАНИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ТОПЛИВА ПОСРЕДСТВОМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СЪЁМКИ

В настоящее время остро стоит вопрос энергетического кризиса. Топливные ископаемые ресурсы кончаются. Спрос на ресурсы растёт, а вместе со спросом растут цены на конечный продукт. С целью снижения затрат на топливо при использовании автономных дизельгенераторов существует возможность использовать сжигание двухкомпонентных топлив в стационарных дизельных двигателях внутреннего сгорания (ДВС).

Исследования сгорания двухкомпонентного топлива проводятся на экспериментальном стенде посредством использования камеры для высокоскоростной съёмки. Экспериментальная установка представляет из себя управляющий компьютер (УК) 1, камеру сгорания (КС) 12, пневмогидравлическую систему привода поршня 4, блок управления пневмогидравлической системы (быстро сжимающей машины (БСМ) 2, набор датчиков для определения параметров внутри КС 7, поршень 6 с смотровым окном 9, через которое ведётся оптическое наблюдение высокоскоростной камерой 3, посредством использования зеркала 5, обогрев КС 10, а также топливную систему 11 с топливным клапаном 8. Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рисунке 1.

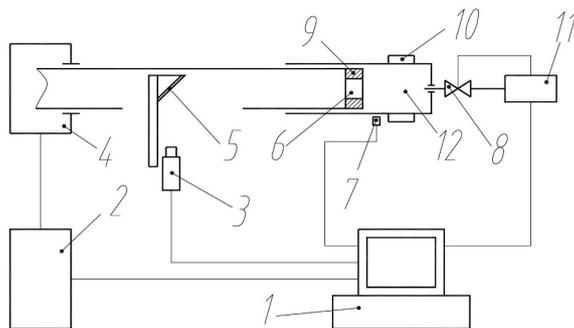


Рисунок 1 - Схема экспериментальной установки

Цель экспериментальных исследований сгорания двухкомпонентного топлива: определить соотношение компонентов смеси, которое обеспечит максимально экономичный режим работы ДВС безыскрового зажигания на режимах неполной нагрузки. Путём изменения соотношения компонентов смеси можно добиться условий работы таких же, как при работе обыкновенного дизельного двигателя. В качестве основного и обязательного компонента каждой смеси выступает дизельное топливо. Дизельное топливо смешивается с другими жидкими или газообразными топливами в разном соотношении, которое зависит от требуемой мощности. В данном случае дополнительным топливом является метан. Такая смесь, как показывают опыты, имеет способность к самовоспламенению в реальных условиях работы дизельного ДВС. Использование в смеси менее дорогостоящих топлив приведёт к снижению эксплуатационных затрат.

Библиографический список

1. **R. Zang**, C. Yao, Z. Yin, P. Geng, J. Hu, T. Wu. Mechanistic study of ignition characteristics of diesel/methanol and diesel/methane dual fuel engine: // ASC. Energy fuels. 2016. URL: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.energyfuels.6b00716>. (Дата обращения 13.10.16)
2. **J. Zhang**, D. Jiang, Z. Huang, X. Wang, Q. Wie. Performance and Emissions of Direct Injection Diesel Engine Fueled with Diesel Fuel Containing Dissolved Methane: //ASC. Energy fuels. 2006. URL: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ef0502094> (Дата обращения 13.10.16)
3. **A. Henham**, M.K Makkar. Combustion of simulated biogas in dual-fuel diesel engine: // Energy Conversion and Management. 1998. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904\(98\)00071-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(98)00071-5) (Дата обращения 12.10.16)

В.Г. Григорьев, А.А. Шевандо, К.В. Прокопенко, студ.;
рук. Д.Б. Муслина, ст. преподаватель
(БНТУ, г. Минск)

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ГНИЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

В настоящий момент стоит вопрос об утилизации различных низкопотенциальных тепловых отходов. По всему миру для этих нужд используются абсорбционные холодильные машины и абсорбционные тепловые насосы. Нами предлагается использование АБТН для утилизации теплоты аэробного гниения органических отходов на мусороперерабатывающих заводах. Кучи в процессе гниения органического материала, расстояние между которыми составляет примерно 10 метров, движутся на подвижной основе, при этом начальная температура куч из-за протекающего процесса гниения составит около 65 °С. Примерно через 40 дней процесс гниения заканчивается. Компост, при температуре примерно 30 °С, продезинфицированный и хорошо разложившийся, покидает завод; следовательно, он может быть применен в сельском хозяйстве. В процессе гниения кучи компоста снабжают кислородом. Теплоту, выделяющуюся во время гниения, передают холодной воде, которая далее поступает в установку абсорбционного теплового насоса.

Из-за прерывистого процесса вентиляции и движения компостных масс температура воздуха за ними непостоянна, вследствие чего непостоянна тепловая нагрузка на контур холодной воды. Поэтому устанавливается водяной аккумулятор, поддерживающий температуру постоянной. Тепловой насос обеспечивает постоянную температуру на выходе 82 °С после прохождения абсорбера и конденсатора теплового насоса. Полученное тепло можно использовать в городских тепловых сетях в качестве отопления или горячего водоснабжения, или непосредственно на предприятии для соответствующих нужд для достижения перевода низкопотенциальной теплоты гниения на более высокий температурный уровень тепловой насос оснащен генератором, имеющим газовую горелку, мощность которой варьируется от 325 до 600 кВт в зависимости от условий эксплуатации теплового насоса. Тепловой насос был разработан для цикла, имеющего COP около 1,6 при 50% частичной нагрузке, увеличивающегося до 1,65 при полной нагрузке. Принимая во внимание эффективность горелки около 88% при частичной нагрузке и около 85% при полной нагрузке, основной энергетический коэффициент достигает 1,45.

*И.А. Закирова, ст. препод.; рук. Н.Д. Чичирова, д.х.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

ПРИМЕНЕНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ

Основным направлением государственной энергетической политики является рациональное использование топливно-энергетических ресурсов, повышение энергоэффективности для устойчивого роста экономики и повышения качества жизни населения страны.

С целью повышения энергоэффективности систем теплоснабжения необходимо решить ряд задач связанных со снижением потерь тепловой энергии при ее транспортировке, в частности снижения потерь теплоносителя и тепловых потерь с поверхности изоляции трубопроводов тепловых сетей.

Значительная доля потерь тепловой энергии при ее транспортировке, связана с неудовлетворительным состоянием существующей тепловой изоляцией. Увеличение потерь тепла является результатом физического старения, деформации в процессе эксплуатации и дефектами самой теплоизоляционной конструкции. В связи с этим, ремонт и повышение качества существующей тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей является актуальной задачей.

В данной работе представлено тепловизионное исследование эффективности применения тонкопленочного покрытия на поверхности традиционной тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей.

Полученные результаты показали характерное снижение температур поверхности теплоизоляционной с нанесенным тонкопленочным покрытием, что свидетельствует о снижении плотности тепловых потоков с поверхности теплоизоляционной конструкции.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что снижение плотности тепловых поток через изолированную поверхность происходит за счет изменения тепловых процессов, протекающих в теплоизоляционной конструкции, после нанесения тонкопленочного покрытия.

*Г.И. Казак, студ.; рук. Н.П. Воронова, к.т.н., доц.
(БНТУ, Минск, Беларусь)*

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИЛОВ

При использовании процессов влагопереноса большое значение имеет влияние времени обезвоживания (t) на степень удаления влаги из материала (W).

Так, для суглинков и торфа функциональная зависимость для коэффициента диффузии, полученного на основании решения обратной задачи, имеет вид [1]

$$D(w)=\ln(w+c)+b. \quad (1)$$

Для определения неизвестных параметров a , b , c в формуле (1) был предложен новый прибор для определения водопоглощения образца строительного материала, защищенный патентом на изобретение Республики Беларусь [2].

Изобретение относится к приборам для исследования физических свойств строительных материалов и изделий, например керамических, бетонных, известково-песчаных и других, а также текстильных материалов.

Задача по нахождению коэффициента диффузии решается прибором для определения водопоглощения образца строительного материала, содержащим сосуд для жидкости с электронагревательным элементом, приспособление для крепления исследуемого образца, напорный резервуар, сообщающийся с сосудом для жидкости посредством трубопровода с запорным устройством, снабжен опорной площадкой для установки исследуемого образца, закрепленный на валу с возможностью ее поворота и фиксации под углом к горизонтали, сосуд для жидкости выполнен в виде мерного цилиндра, открытый торец которого контактирует с поверхностью исследуемого образца, кроме того, приспособление для крепления исследуемого образца к опорной площадке выполнено в виде электрического кольца, плотно охватывающего цилиндр, жесткой пластины с центральным отверстием, большим, чем сечение цилиндра и прижимов.

Прибор несложен в изготовлении и эксплуатации. С помощью предложенного прибора можно определять водопоглощение через поверхность материала, в том числе при наличии металлического, глазурного или иного покрытия. Прибор может использоваться также для

определения поглощения поверхностью материала не только воды, но и других жидкостей.

С помощью описанного прибора были произведены тоекратные замеры влагосодержания в процессе обезвоживания суглинка и торфа, что позволило на базе решения обратной задачи вычислить конкретные значения неизвестных коэффициентов. Так, для суглинков: $a = -1,19$;

$b = -19,6$; $c = 0,01$, для торфа: $a = -1,14$; $b = 15,21$; $c = 0,01$. Процесс обезвоживания с такими параметрами обладает свойством: при увеличении t фракция резко убывает с $W=25\%$ до $W=14,5\%$, т.е. влаготдача резко увеличивается в начальной стадии центрифугирования до времени обезвоживания $t = 120$ с. После этого влажность осадка меняется незначительно с $14,5$ до $11,6\%$ в течение дальнейшего центрифугирования.

При обезвоживании угольной крошки (марка А, сорт АШ, зерновой состав 0-6 мм) получена функциональная зависимость вида

$$D(w) = 0,03W^2 - 0,204W + 9,75$$

с максимальной относительной погрешностью, равной $1,2\%$. Полученные модели позволяют установить оптимальные технологические параметры центрифуг при удалении влаги с наименьшими удельными энергозатратами. В качестве испытуемых добавок могут использоваться торф низинный и верховой, уголь [3].

Библиографический список

1. **Воронова, Н.П.** Математическое моделирование и управление теплотехнологиями промышленных производств/ Н.П. Воронова.– М.: Научное издание, 2009.
2. Прибор для определения водопоглощения строительных материалов/ Н.П. Воронова [и др.] – Решение о выдаче патента на полезную модель по заявке № и220070188 от 20.03.2007 г.
3. **Березовский, Н.И.** Обезвоживание полезных ископаемых: идеи и практика энергосбережения / Н.И. Березовский, Б.А. Богатов.– Минск: Технопринт, 2000.– 171 с.

В.В. Каргапольцев, маг.;
рук. А.А. Мицкевич, ст. препод.
(ВятГУ, г. Киров)

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УТЕЧЕК И СЛИВОВ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ВОДЫ

Непрерывный рост стоимости энергоресурсов требует повышения эффективности их использования на всех стадиях. Снижение утечек теплоносителя через неплотные соединения и аварийные прорывы, а также сокращение его несанкционированного водоразбора потребителями является одним из простых и эффективных способов энергосбережения.

Для решения этой задачи на основании Инструкции МДК 4-02.2001 [1]: «в отдельных случаях для контроля за герметичностью систем теплоснабжения и несанкционированным разбором горячей воды из систем отопления... допускается использование флуоресцеина динатриевой соли (уранин А)». Применения этого способа в России имеет эпизодический характер, поэтому снижение объема подпитки котельных после применения красителя проявляется только в течение короткого времени.

Авторами разработано устройство дозирования (рис.1), обеспечивающее круглогодичную автоматическую подачу концентрированного раствора красителя в трубопровод подпитки котельной. Объем воды, протекающий по трубопроводу подпитки, измеряется расходомером-счётчиком с импульсным выходным сигналом, контроллер устройства вычисляет дозу впрыска концентрированного раствора красителя, при этом учитывается текущая величина давления в трубопроводе, измеряемая датчиком давления. Доза раствора вводится в трубопровод дозирующим насосом рассчитанным количеством ходов поршня насоса по сигналу контроллера. При снижении уровня раствора красителя в емкости ниже допустимого по сигналу датчика уровня контроллер прекращает дозирование раствора.

Разработанное устройство защищено патентом [2] и практически реализовано в виде станции дозирования красителей и других реагентов в трубопроводы подпитки котельных.

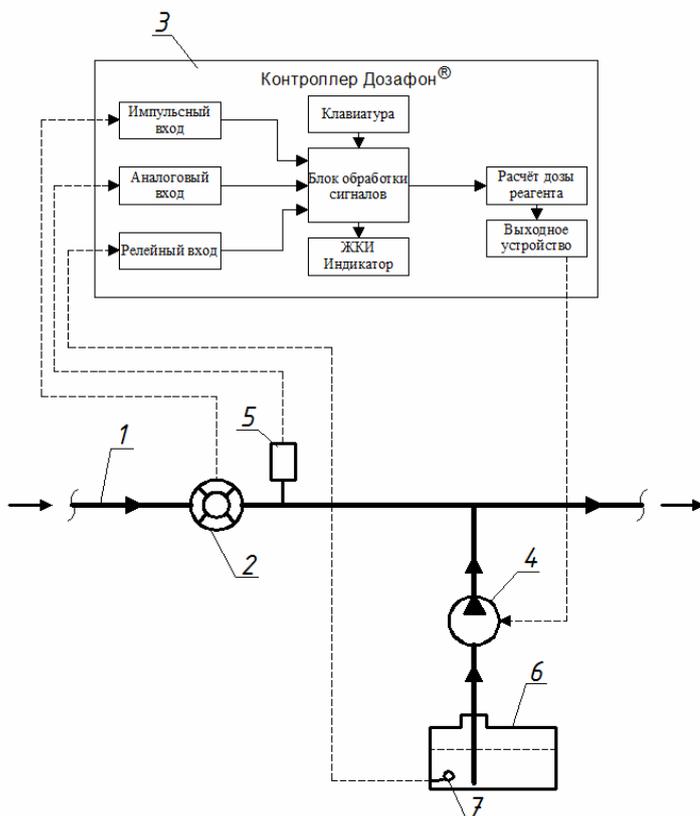


Рисунок 1 - Принципиальная схема устройства: 1 – трубопровод подпитки котельной; 2 – расходомер-счетчик; 3 – контроллер; 4 – дозирующий насос; 5 – датчик давления; 6 – бак с концентрированным раствором красителя; 7 – датчик уровня.

Библиографический список

1. МДК 4-02.2001. Типовая инструкция по технической эксплуатации тепловых сетей систем коммунального теплоснабжения.
2. **Каргапольцев В.В.**, Мицкевич А.А., Устройство дозирования красителя сетевой воды, F17D 3/12, патент № 120745 от 22.05.12, опубликовано 27.09.12.

*Н.В. Кузнецов, студ.; рук. Е.И. Мерзликина, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»)*

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕСУРСОВ

Проект «Создание общегородской автоматизированной системы учета потребления ресурсов (АСУПР) направлен на решение задач государственной программы города Москвы «Развитие коммунально-инженерной инфраструктуры и энергосбережение» на 2016-2018 годы[1].

АСУПР создается в целях обеспечения системного учета потребления тепловой энергии, горячей и холодной воды, электрической энергии, газа в многоквартирных жилых домах в городе Москве и организациях, подведомственных органам исполнительной власти города Москвы, а также в целях экономии средств бюджета города Москвы.

Масштабное внедрение и эксплуатация АСУПР позволяет не только добиться положительного экономического эффекта, выраженного в денежном эквиваленте, но и имеет социальную значимость.

В ходе исследования были проведены строительно-монтажные и пуско-наладочные работы по установке оборудования АСУПР. После проведения анализа объемов фактического отпуска тепловой энергии в 41 образовательном учреждении с объемами потребления тепловой энергии, предусмотренными договорами с ресурсонабжающими организациями, выявило наличие «перетопов» на данных объектах на сумму 3,6 млн. руб. в месяц. Расчетный показатель экономии на объектах социальной сферы, от устранения «перетопов» может составить до 938 млн. руб. в год. Контроль получаемых ресурсов в режиме реального времени даст возможность не платить за поставляемые сверх нормы ресурсы.

Восстановление 100% работоспособности приборного парка и установка АСУПР позволяет сократить расходы жителей на отопление на существенную величину.

В настоящее время к автоматизированной системе учета потребления ресурсов подключены и эксплуатируются 4000 объектов образования, культуры и спорта и 5000 многоквартирных домов.

Библиографический список

1.Распоряжение Правительства Москвы от 14 июля 2015 года № 403-ПП «Об автоматизированной системе учета потребления ресурсов»

*Г.Р. Муртазина, студ.; Ю.В. Снигирева, зав. лаб.;
рук. В.Ф. Новиков, д.х.н., проф.
(ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань)*

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АДСОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Как известно в качестве твердых поглотителей газов и паров органических и неорганических веществ могут выступить самые разнообразные материалы с высокой удельной поверхностью, такие как активированный уголь, алюмосиликаты, ионообменные смолы, синтетические вещества и цеолиты. Эти природные и синтетические пористые материалы достаточно широко применяются в энергетической отрасли промышленности в качестве селективных адсорбентов, которые за счёт своей сильно развитой поверхности поглощают различные химические вещества, что используется при очистке трансформаторных масел и т.д.

Особенно широко в технологических процессах используются цеолиты, которые имеют кристаллическое строение с чётко выраженными структурными особенностями. Они в своей структуре имеют мельчайшие полости, которые сообщаются между собой через «окна» (поры). Общий объём пор может достигать половины всего объёма кристалла цеолита, размер пор мал. Все они имеют одинаковый размер, который составляет от 0,3 до 1,3 н.м. Поры цеолитов имеют молекулярные размеры, вследствие чего они обладают ситовыми свойствами, т.е. могут адсорбировать молекулы только определенного размера, ограниченного размерами пор конкретного цеолита. Цеолиты типа А имеют поры от 0,3 до 0,5 нм, типа Х от 0,8 до 1,3 нм, и типа Y от 0,8 до 0,9 нм.

Синтетические цеолиты относятся к относительно дорогостоящим продуктам и их использование в технологических процессах, является затратным. В последнее время стали широко использовать природные цеолитсодержащие породы, которые имеют значительно более низкую стоимость, что позволяет сэкономить материальные ресурсы. Однако, недостаточная изученность сорбционной способности природных цеолитов не позволяет в полной мере использовать их полезные свойства. В начале 90-х годов в Республике Татарстан было сделано крупное геологическое открытие природных цеолитов, которое является перспективным сырьём нерудных ископаемых [1]. В 2016 году на базе этого месторождения был построен завод, который начал выпускать различные фракции цеолитсодержащих пород.

С точки зрения использования природных цеолитов в энергетической отрасли промышленности представляет определенный интерес их применение для очистки водных средств от примесей приоритетных загрязнителей окружающей природной среды. Ранее природные цеолиты Татарско-Шатрашановского месторождения были использованы нами в различных технологических процессах. Установлено, что в цеолитсодержащей породе до 90% мезопор имеют размеры от 5 до 50 нм [2]. Это позволило использовать цеолитсодержащие породы в качестве селективных адсорбентов для очистки загрязненного воздуха [3-4] и создание на их основе лабораторной установки [5].

С целью более детального исследования природных цеолитов нами определены сорбционные свойства в сравнении с синтетическими материалами методом восходящей жидкостной колоночной хроматографии. Была сконструирована установка, состоящая из виалы, заполненной органическими растворителями и градуированной сорбционной колонки, на которой проводили исследование селективных свойств органических растворителей по отношению к ряду природных и синтетических пористых материалов [6-8].

Библиографический список

1. **Буров А.И., Тюрин А.Н., Екимов А.В. и др.** Цеолитсодержащие породы Татарстана и их применение. Под ред. А.В. и А.И.Бурова – Казань: издательство «ФЭН» АН РТ, 2001, 176с.
2. **Каратаев О.Р., Новиков В.Ф., Каралин Э.А.** Влияние кислотной обработки на текстурные характеристики цеолитсодержащих пород. Вестник Казанского технологического университета. 2013, Т.6, №10, с.55-56.
3. **Новиков В.Ф., Каратаев О.Р., Карташова А.А., Каратаева Е.С., Танеева А.В.** Способ получения адсорбента. Патенты на изобретение, №2566141, опубл. 20.10.2015, Бюл. №29.
4. **Каратаева Е.С., Новиков В.Ф., Каратаев О.Р., Гиззатуллин А.Р., Каратаев Р.Н.,** Способ очистки загрязненного воздуха. Патент на изобретение №2543859, опубл. 10.03.2015, Бюл. №7.
5. **Каратаева Е.С., Новиков В.Ф., Каратаев О.Р., Гиззатуллин А.Р., Каратаев Р.Н.** Установки для очистки загрязненного воздуха. Патент на полезную модель №134440, опубл. 20.11.2013, Бюл. №32.
6. **Новиков В.Ф., Снигирева Ю.В., Ялалаев И.Ф., Хабабутдинов Д.А., Гиниятова Л.М., Сайфиева А.Р.** Изучение технологических свойств органических растворителей.//Труды XVI Международного симпозиума «Энергоресурсоэффективность и энергосбережения». Казань, 2016, с456-...
7. **Новиков В.Ф., Осипов А.Л., Снигирева Ю.В., Танеева А.В., Никонова А.О., Хорошева Л.Р.** Восходящая колоночная хроматография для очистки селективных свойств органических растворителей.// Труды XVI Международного симпозиума «Энергоресурсоэффективность и энергосбережения». Казань, 2016, с437-440.
8. **Новиков В.Ф., Осипов А.Л., Гиниятова Л.М., Сайфиева А.Р.** Оценка сорбционных свойств органических растворителей. Периодический научный сборник «Современные тенденции развития науки и технологий». Белгород, 2016, с.129-131.

*А.А. Овчинников, студ.; рук. Ю.Я. Печенегов, д.т.н., проф.
(СНИГУ имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов)*

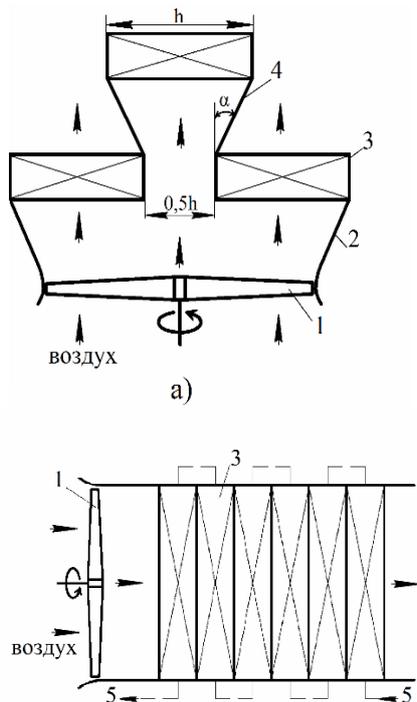
НОВЫЕ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Аппараты воздушного охлаждения (АВО) широко используются в различных промышленных технологиях. Недостатком их является громоздкость, что требует отвода для них больших земельных площадей, и значительные затраты энергии на привод вентиляторов из-за больших расходов воздуха, подаваемого на охлаждение технологического продукта.

В настоящей работе предложены новые компоновочные решения АВО (рис. 1), позволяющие уменьшить занимаемую устройством территорию и снизить расход охлаждаемого воздуха.

При горизонтальном расположении теплообменных трубчатых секций в двух уровнях (рис. 1, а) наилучшие теплогидравлические характеристики достигаются при перекрытии верхней секцией кромок смежных нижних секций на $0.25h$, где h – ширина одной секции. Для обеспечения безотрывного течения воздуха в верхнем диффузоре угол его раскрытия α должен быть не больше 12° . При соблюдении данных условий поток воздуха от вентилятора распределяется в равных долях по всем секциям и экономится 17% занимаемой устройством территории по отношению к размещению секций в одном уровне. Последнее особенно важно при ограниченности производственных площадей и высокой стоимостью земли в городской черте. Гидравлическое сопротивление потоку воздуха в АВО с компоновкой секций в двух уровнях изменяется незначительно и затраты мощности на привод вентилятора практически те же, что и при традиционной одноуровневой компоновке.

Уменьшить мощность привода вентилятора и одновременно - занимаемую территорию позволяет вертикальное ориентирование секций с организацией ступенчато-противоточного движения воздуха и охлаждающего продукта (рис. 1, б). Данное компоновочное решение даёт возможность резкого сокращения расхода воздуха для охлаждения продукта, так как температура воздуха на выходе из АВО в этом случае может быть значительно повышена.



б)

Рисунок 1 - Компоновки АВО с горизонтальным (а) и вертикальным (б) расположением секций: 1 – вентилятор; 2 – нижний диффузор; 3 – теплообменные секции с оребренными продуктовыми трубами; 4 – верхний диффузор; 5 – поток охлаждаемого продукта

Гидравлическое сопротивление потоку воздуха здесь повышенное, что может привести к необходимости установки дополнительной ступени нагнетающего вентилятора или же размещения дополнительного вытяжного вентилятора за секциями. Предложенное компоновочное решение особенно эффективно для случаев, когда велико изменение температуры охлаждаемого продукта при прохождении его через АВО.

В работе приводятся некоторые расчетные характеристики АВО с предложенными компоновочными решениями, предназначенные для охлаждения бензина в технологическом процессе переработки нефти на НПЗ.

*М.Р. Рачков, аспирант; рук. В.М. Мельников, к.т.н., доц.
(ВлГУ, Владимир)*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Оценка эффективности производства, транспортировки и потребления тепловой энергии – одна из наиболее важных задач, возникающих в процессе эксплуатации систем централизованного теплоснабжения. При этом на данный момент в нашей стране отсутствует общепринятая, нормативно закреплённая методика оценки эффективности. Необходимо отметить, что положительным моментом для развития данного вопроса стала разработка новых, а также актуализация имеющихся Схем теплоснабжения, введённая Федеральным законом №190 «О теплоснабжении» на основании Постановления от 22 февраля 2012 г. № 154 о требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения.

В процессе разработки и актуализации Схем теплоснабжения становится возможным выявить определённые особенности, присущие системам централизованного теплоснабжения.

Основой предлагаемой авторами методики определения эффективности эксплуатации системы теплоснабжения является утверждение, что при уменьшении затрат топлива и электроэнергии на выработку и транспортировку тепловой энергии, а также уменьшении количества теряемой тепловой энергии при транспортировке и потреблении, эффективность системы теплоснабжения увеличивается. Методика оценки эффективности базируется на положении, что система теплоснабжения состоит из трёх элементов: источник теплоснабжения, тепловая сеть и потребитель. Объективность оценки заключается не только в определении эффективности каждого элемента в отдельности, но и в определении влияния одного элемента на другие.

В общем случае оценка эффективности эксплуатации системы теплоснабжения может быть произведена с помощью выражения:

$$\mathcal{E}_{cm} = \mathcal{E}_1 \cdot \mathcal{E}_2 \cdot \mathcal{E}_3 \quad (1)$$

где \mathcal{E}_{cm} – коэффициент эффективности системы теплоснабжения; \mathcal{E}_1 – коэффициент эффективности выработки тепловой энергии на источнике; \mathcal{E}_2 – коэффициент эффективности транспортировки тепловой энер-

гии от источника до потребителя; \mathcal{E}_3 – коэффициент эффективности потребления тепловой энергии.

Полученное значение коэффициента эффективности системы теплоснабжения $\mathcal{E}_{ст}$ сравнивается с условно идеальным вариантом, когда коэффициент эффективности $\mathcal{E}_{ст}^{макс}$ равен 1. Полученное процентное соотношение может быть использовано для оценки условной эффективности системы теплоснабжения:

$$\mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}_{ст}}{\mathcal{E}_{ст}^{макс}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где \mathcal{E} – условная эффективность системы теплоснабжения.

В предлагаемой методике определения эффективности эксплуатации систем теплоснабжения можно выделить следующие особенности: невысокие требования к исходным данным; возможность сравнения системы теплоснабжения как с идеальной, так и с другими существующими системами; возможность определения эффективности каждого звена системы теплоснабжения в отдельности; отсутствие необходимости использования сложным программных комплексов в процессе оценки эффективности.

Данная методика может быть актуальна как для теплоснабжающих и эксплуатирующих организаций, так и для органов местного самоуправления, администраций муниципальных образований и населенных пунктов, которые на основе такой оценки могут сформулировать требования к теплоснабжающим и эксплуатирующим организациям по повышению эффективности эксплуатации имеющихся систем централизованного теплоснабжения.

Библиографический список

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности: федеральный закон от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ, в редакции от 03.07.2016 г. // Собрание законодательства РФ. – 2009 г. - №48. – Ст. 5711.
2. О теплоснабжении: федеральный закон от 27 июля 2010 г. №190-ФЗ, в редакции от 01.05.2016 г. // Собрание законодательства РФ. – 2010. - №31. – Ст. 4159.
3. СП 124.13330.2012. Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003. – Введ. 2013.01.01. – М.: Минрегион России, 2012.
4. Постановление Правительства РФ от 22.02.2012 № 154 (ред. от 07.10.2014) «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения»

*О.Ю. Синявский, студ., М.А. Мизушкин, асп.;
рук. В.Н. Ковальногов, проф., д.т.н
(УлГТУ, г. Ульяновск).*

АКТИВНАЯ ОХЛАЖДАЮЩАЯ БАЛКА

В данной работе рассматривается конструкция, принцип действия, применение, достоинства и недостатки активных охлаждающих балок.

Активная охлаждающая балка представляет собой климатическую систему, двух- или четырехтрубный теплообменник. Рассмотрим ее конструкцию и принцип действия с помощью рис. 1.

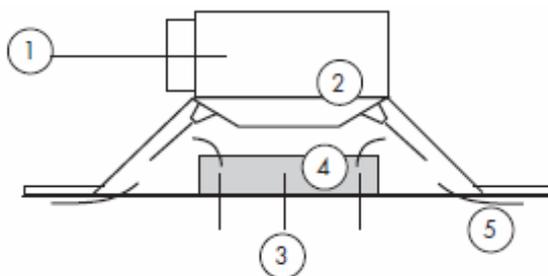


Рисунок 1 - Конструкция активной охлаждающей балки.

Первичный охлажденный и осушенный воздух (1) подается в камеру системы по воздуховодам от центральной приточной установки. Затем поток воздуха инжектируется через сопла (2). Проходя через сопла, первичный воздух создает эффект эжекции, за счет которого он увлекает за собой внутренний воздух из помещения (3). Внутренний воздух проходит через змеевик (4), нагреваясь или охлаждаясь, смешивается с первичным воздухом и попадает обратно в помещение (5). При этом объем внутреннего воздуха превышает объем первичного воздуха в 3-5 раз. Распределение воздуха в помещении происходит подобно действию линейных щелевых диффузоров. Большая часть охлаждающей или нагревающей нагрузки в данном случае обеспечивается теплоносителем внутри змеевика – холодной или горячей водой соответственно (50-75% требуемой теплоты). Это позволяет снизить расход первичного воздуха.

Охлаждающие балки характеризуются и классифицируются по типовым размерам, расходу свежего (первичного) воздуха, расходу теплоносителя (воды), виду сопла (влияет на коэффициент эжекции). С учетом этих параметров рассчитывается температура охлажденного воздуха, теоретическая охлаждающая и нагревающая мощность системы.

К преимуществам активных охлаждающих балок можно отнести: отсутствие движущихся частей - высокий ресурс работы (до 20 лет), энергосбережение, экологичность, низкий уровень шума (10-30 Дб).

Первое важное замечание – необходимость подбора и регуляции температуры теплоносителя. Она должна быть равна точке росы для данного помещения, или превышать ее - это позволит избежать образования конденсата. Исходя из этого, балки нецелесообразно применять в помещениях с неконтролируемым уровнем инфильтрации, а также в помещениях с низкими потолками. Климатические балки заметно проигрывают фанкойлам и кондиционерам в холодо- и теплопроизводительности (разница от 2 до 9 кВт в одинаковом ценовом сегменте). Система создает фоновую температуру в помещении, а менять ее может только увеличением расхода воздуха.

Минусом системы можно считать отсутствие фильтров. Система рекомендована для применения в торговых центрах, офисах, больничных палатах. Как было указано выше, установка потребляет больше воздуха из помещения. В таком воздухе присутствуют различные взвеси. Циркуляция такого «грязного» воздуха скажется на характеристиках установки, загрязняя теплообменник, а также будет негативно сказываться на качестве конечного выдуваемого воздуха. Возможна установка тонких или электростатических продольных фильтров на входе воздуха (3), однако из-за малой мощности это снизит производительность установки при рециркуляции.

Проанализировав все плюсы и минусы установки, пришли к выводу, что она может быть рассмотрена, как альтернатива традиционным системам кондиционирования, как наиболее энергоэффективная система, но она непопулярна из-за приведенных недостатков в производительности и системе фильтрации.

Библиографический список

1. «Комфорт и экономия энергоресурсов»; - пер.с.фр. - «АВОК», 2006, № 5.
2. «Проектирование охлаждающих балок для достижения теплового комфорта»; - пер.с.фр. - «АВОК», 2010, № 2.
3. ASHRAE Standard 55–2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

*А.Д. Чеботарёв, маг.; Р.И. Саубанов, маг.; К.В. Данилин, маг;
рук. Ю.Н. Зацаринная, к.т.н, доц.
(КГЭУ, г.Казань)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

На сегодняшний день в структуре ежемесячных затрат на коммунальные услуги значительная доля приходится на оплату и электрической и различных форм тепловой энергии. В частности, для зданий бюджетного сектора, таких как школа, университет, детские сады, больницы и т.п. данная проблема является одной из наиболее актуальных, которые следовало бы решить, поскольку на энергообеспечение данных зданий расходуется значительные средства из федерального и регионального бюджетов. Поэтому необходимо применять комплекс мер направленных на энергосбережение и повышение энергоэффективности зданий. Помимо мероприятий предлагаемых в федеральном законе от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации", необходимо рассмотреть другие энергосберегающие технологии.

Для снижения потребления тепловой энергии из сети целесообразно применять тепловые насосы, использующие сточные воды как источник низкопотенциального тепла. Установка данного оборудования позволит снизить расходы на теплоснабжение в два раза.

Для снижения потребления электроэнергии рекомендуется замена имеющихся осветительных приборов на светодиодные. А для улучшения светового климата возможна установка гелиостатов и световодов позволяющий концентрировать и перенаправлять естественный солнечный свет в малоосвещенные области здания. Применение данных мер позволит снизить расходы на электроэнергию в 9 раз.

Для формирования энергосберегающего образа жизни среди различных слоёв населения необходима разработка программного комплекса «ENERGY SAVE».

Потенциальные партнеры: региональные и городские власти, как собственники бюджетных учреждений, профильные министерства, частные собственники общественных зданий.

Таблица 1 – Ожидаемая эффективность при установке тепловых насосов

Потребление тепла из сети, кВт·ч / год		
	До установки ТН	После установки ТН
Отопление	1186260	593130
ГВС	209340	209340
Общее	1395600	802470
Экономия		593130
		812600 т.р. в год

Таблица 2 – Ожидаемая эффективность при установке гелиостатов, световодов и светодиодных светильников

	До установки	После установки
Мощность светильников, кВт	99	15
Продолжительность использования искусственного освещения, ч	1330	970
Потребляемая электроэнергия из сети, кВт·ч	132000	14550
Экономия, руб. в год		377200

Капитальные вложения в проект будут варьироваться в зависимости от вида учреждения, так как показатели зависят от конкретного здания и его площади, а также от его назначения.

Например, по предварительным расчетам, для типовых зданий:

Школы – 5 млн. рублей

КГЭУ – 10 млн. руб.

Офисное здание – 6 млн. руб.

Библиографический список

1. **Фокин В.М.** Ф75 Основы энергосбережения и энергоаудита. М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006. 256 с
2. **Могиленко А.** Энергосбережение и энергоэффективность. Важные аспекты мониторинга и анализа / А. Могиленко, Д. Павлюченко //Новости электротехники. – 2012. – №4 (76) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2011/70/08.php>.

*А.А. Вирясов, маг.; рук. А.В. Банников, к.т.н., доцент.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ, ЯВЛЯЮЩИХСЯ ОБЪЕКТАМИ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ РФ

Объектом данного исследования был выбран жилой дом «Подкова», расположенный по адресу г. Иваново, улица Громобоя, д. 13 - объект культурного наследия РФ № 3700061000.

В настоящее время существует множество типовых проектных решений повышения энергетической эффективности зданий, однако для объектов культурного наследия многие из них не применимы, ввиду необходимости сохранения их внешнего облика на основании [1].

Методический подход [2] принятый за основу ориентирован на проектирование тепловой защиты здания по показателю удельного расхода тепловой энергии на отопление [3]. Для выбранного объекта культурного наследия, утепление ограждающих конструкций может стать проблематичным, в связи с наличием охраняемого фасада. В работе рассматривается вариант отказа от утепления, компенсируя избыточные теплопотери выработкой энергии в контуре здания, за счет использования низкопотенциального тепла грунта или выработки тепловой энергии в солнечном коллекторе. Так же компромиссным решением может служить утепление стен дворового фасада и внутреннего расположения слоя утеплителя на лицевом охраняемом фасаде. Эффективным решением так же будет являться установка энергоэффективных стеклопакетов.

Для предотвращения потерь тепла через неплотности и стыки элементов ограждающих конструкций рекомендуется воздушная герметизация здания, путем установки диффузно-проницаемых плит и мембран. Герметизацию ограждающих конструкций желательно сочетать с устройством принудительной вентиляции, обеспечивающей необходимую кратность воздухообмена.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 25 июня 2002 г. N 73-ФЗ "Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации".
2. Электронный ресурс http://archvuz.ru/2012_4/7 (15.12.2016 16:25)
3. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.

К.А. Воронова, А.Н. Горбунова, студ.;
рук. А.В. Коновалов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

УСТАНОВКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА СТОЧНЫХ ВОД

Одним из перспективных направлений утилизации тепла вторичных энергоресурсов является работа со сточными водами промышленных предприятий и жилищно-коммунального сектора. В данной статье мы приводим результаты анализа различных видов теплоутилизирующих установок, эксплуатация которых производится в данной отрасли на территории нашей страны. В ходе исследования нами было произведено сравнение их эффективности с учетом различных условий применения.

Сточные воды, уходящие с промпредприятий, могут обладать температурой 30-40°C [1], которая после обработки сточных вод на очистных сооружениях уходит, как правило, в окружающую среду. Температурный потенциал сточных вод многоквартирных домов составляет по различным данным от 15 до 25°C. Основным преимуществом установки теплоутилизирующего оборудования на городских очистных сооружениях является равномерный и большой расход сточных вод, температура которых меняется с течением года в небольшом интервале. Для такого способа утилизации теплоты подходят крупные теплонасосные станции и установки с применением тепловых насосов.

К рассмотрению нами были приняты следующие актуальные схемы и установки использования теплоты сточных вод: схема теплонасосной установки на канализационно-насосной станции с очисткой сточных вод; система утилизации тепла на очистных сооружениях, примененная в г. Владивосток [1]; изобретение для утилизации сточных вод с промежуточным теплоносителем [2], которое предусматривает передачу тепла от сточных вод к хладагенту теплового насоса посредством циркулирующего в контуре промежуточного теплоносителя; автоматизированная теплонасосная установка в г. Зеленоград; теплоутилизирующая установка в г. Пермь, которая использует тепло сточных вод для отопления канализационной насосной станции; теплоутилизирующая установка в г. Кудымкар и другие.

В ходе расчета схемы с промежуточным теплоносителем были определены такие параметры как:
тепловая нагрузка на испаритель:

$$Q_o = q_o \cdot G_{pa} = 300,12 \quad ,$$

нагрузка на регенеративный теплообменник: ___

$$Q_{pa} = q_{pa} \cdot G_{pa} = 26,84 \quad .$$

Так же были определены работа сжатия компрессора: $L=129,32$, объемная производительность компрессора: $V=0,16$ ³ , коэффициент трансформации: $k_{тр}=3,25$. Эти же параметры были рассчитаны для остальных схем и установок.

Анализ вышеперечисленных систем и установок, использующих тепло сточных вод, проводился нами с учетом следующих критериев: наличие системы автоматизации, простота обслуживания, близость потребителя тепловой энергии, срок окупаемости установки, теплосъем, заявленная и действительная эффективность работы и другие.

Наиболее эффективной показала себя установка утилизации хозяйственно-бытовых стоков на РНС 3 «Гайва» МП «Пермводоканал» Перми. Нагретая после прохождения через конденсатор установки вода с температурой 55-70°C поступает на собственные нужды теплонасосной станции. В течение 8 отопительных сезонов установка полностью обеспечила потребности насосной станции в отоплении и горячем водоснабжении. В сравнении с электроотоплением себестоимость 1 Гкал тепловой энергии снизилась в 4,6 раза, а срок окупаемости проекта составляет один год.

Библиографический список:

1. **Слесаренко, В.В.** Перспективы применения тепловых насосов при утилизации теплоты городских стоков / В. В. Слесаренко [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка.— Б.м.—2012.—№ 3 (77).—С. 28-33.
2. Патент №2338968. Способ утилизации теплоты неочищенных сточных вод и получения горячего теплоносителя
3. **Закиров Д. Д.** Утилизация низкопотенциального тепла источников горной промышленности для теплоснабжения угольных шахт // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Пермь, 2003.

*М.В. Козлова, студ.;
рук-ли А.В. Банников, доц., к.т.н., С.В. Васильев, доц., к.т.н.
(ИГЭУ г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОВОГО НАСОСА

Одним из современных источников тепловой энергии являются теплонасосные установки, эффективность применения которых определяется высотой теплоподъема, зависящей в свою очередь от вида низкопотенциального источника тепловой энергии и цели теплоснабжения. В настоящей работе рассмотрено влияние вида источника низкопотенциальной тепловой энергии на эффективность трансформации теплоты. Объектом исследования принят парокompрессионный тепловой насос. Актуальность и востребованность темы работы обоснованы в [1].

Для ускорения расчетов и визуализации процессов в тепловом насосе разработан расчетный комплекс, позволяющий оценить эффективность применения трансформатора теплоты в заданных условиях. Расчетный комплекс реализован в программной среде Mathcad15. Расчет осуществляется для одноступенчатой парокompрессионной теплонасосной установки с регенеративным теплообменным аппаратом. На результаты расчета существенное влияние оказывают: назначение установки, вид рабочего агента, низкопотенциальный источник тепловой энергии, схема установки.

Тепловые, энергетические и экономические характеристики тепловых насосов тесно взаимосвязаны с характеристиками источников, из которых они «берут» тепло. В качестве эндогенных низкопотенциальных источников тепловой энергии в трансформаторах теплоты могут использоваться: теплота окружающего воздуха, теплота грунтовых и подземных вод, солнечная энергия, артезианская вода, теплота грунта. В роли техногенных источников теплоты выступают: теплота воздуха, выбрасываемого вентиляционными системами, вода систем охлаждения, канализационные стоки и т.д. В качестве рабочих агентов в парокompрессионных установках в настоящее время в основном используют аммиак, предельные углеводороды, различные фреоны и их смеси. В парокompрессионных тепловых насосах осуществляется замкнутый обратный цикл Карно.

Включение в цикл трансформации теплоты регенеративного теплообменного аппарата позволяет повысить «холодильную» эффективность и надежность теплового насоса. При этом происходит замена процесса сжатия влажного пара сжатием перегретого пара, что устраняет возможность возникновения гидравлических ударов, вызванных попаданием жидкости в компрессор, и способствует лучшей сепарации масла и рабочего агента.

Предлагаемый расчетный комплекс работает в соответствии со следующим алгоритмом: сначала рассчитываются температуры испарения и конденсации, температура паров рабочего агента перед компрессором, затем определяются параметры рабочего агента в характерных точках схемы, в последующем находятся нагрузки элементов трансформатора теплоты, мощность компрессора, далее осуществляется проверка энергетического и эксергетического балансов.

Определение реальных параметров рабочего агента осуществляется с учетом индикаторного коэффициента полезного действия, который зависит от температур конденсации и испарения рабочего агента, вида компрессора и степени его износа. В зависимости от заданной тепловой нагрузки рассчитывается расход рабочего агента.

На следующем этапе определяется коэффициент работоспособности тепла, и затем с учетом потерь эксергии в испарителе рассчитывается эксергический КПД установки. Строятся процессы в диаграмме $\lg P-h$ для рассматриваемого рабочего агента. При расчете фактической мощности, необходимой для функционирования теплонасосной установки учитывается вид и состояние компрессора, а также затраты энергии на циркуляцию теплоносителей по контурам испарителя и конденсатора и работу приборов автоматики. В заключении определяется теоретический и реальный коэффициент преобразования трансформатора теплоты и делается вывод о качестве и целесообразности принятого источника низкопотенциальной энергии.

Таким образом, разработанный расчетный комплекс позволяет осуществить быструю и объективную оценку энергетической и эксергетической эффективности применения теплового насоса в связке с низкопотенциальным источником тепловой энергии и заявленной целью теплоснабжения.

Библиографический список

1. **Энергетика в современном мире** / В.Е. Фортов, О.С. Попель. - Долгопрудный: Интеллект, 2011. - 168 с.

*А.А. Морозова, маг.; рук. А.В. Банников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СПЕЦИФИКА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Целью настоящей работы является выявление особенностей и способов увеличения полезного эффекта от использования энергоресурсов и энергосбережения в сфере жилищно-коммунального хозяйства. Данные способы помогут снизить расходы населения на оплату коммунальных услуг, сберечь природные ресурсы страны, уменьшить выбросы вредных газов и повысить продуктивность производства, что, несомненно, актуально. [1] В области повышения энергоэффективности жилищно-коммунального хозяйства можно отметить два наиболее важных направления:

- Внедрение инновационных энергоэффективных технологий;
- Проведение мероприятий по повышению энергоэффективности зданий и усовершенствованию их конструкций. [2]

Автором работы предлагается определить ключевые критерии при принятии технико-экономических решений в ходе реконструкции действующих объектов жилищно-коммунального хозяйства и проектировании и строительстве будущих с учетом существующих экономических, геоклиматических и технических требований. При этом важно учитывать эстетическую сторону постройки (цвет здания, его форма, наиболее благоприятное расположение относительно других объектов и сторон света).

Таким образом, особенность повышения энергоэффективности ЖКХ заключается в том, что эта область находится на пересечении нескольких сфер деятельности, а именно инженерно-технической, правовой, социальной и экономической. Именно взаимодействие этих четырех направлений в совокупности может дать прогресс в решении поставленной проблемы.

Библиографический список

1. **Федеральный закон** Российской Федерации от 23.11.2009. №261-ФЗ об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации.

2. **Ибрашева Л.Р.** Энергосберегающие технологии в жилищно-коммунальном хозяйстве России// Вестник Казанского технологического университета. – 2012. - №7// URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/energoberegayuschie-tehnologii-v-zhilischno-kommunalnom-hozyaystve-rossii>, 10.12.16

*В.И. Ангелов, Г.И. Парфенов студ., А.С. Сафронов, маг.;
рук-ли Н.Н. Смирнов, доц., А.А. Яблоков, к.т.н.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ФРАГМЕНТА НАРУЖНОЙ СТЕНЫ ИЗ ПАНЕЛЕЙ

В современном мире при постройке жилых и промышленных объектов часто используются сэндвич-панели сложной конфигурации с различными теплотехническими характеристиками, в том числе сопротивлением теплопередаче. Исследование этих параметров является актуальной задачей для соблюдения норм энергосбережения.

Целью данного исследования является определение приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента наружной стены, состоящей из 3 многокомпонентных панелей размером 3000х600х100 мм (рис.1). В задачи входит моделирование процесса теплопередачи в программе COMSOL Multiphysics, получение и обработка экспериментальных данных, а также их сравнение с расчётными значениями.

Основной задачей был расчёт температурного поля фрагмента наружной стены, выполненной из 3 панелей (материал оболочки – стекломгнезит, материал заполнения - пенополистирол). Теплопроводность стекломгнезита в ходе лабораторных исследований в АНО «Ивстройкерамика» получилась равной $\lambda_{\text{СМ}}=0,50 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$. Теплопроводность плиты из пенополистирола $\lambda_{\text{ППС}}$ задана в размере $0,039 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$. Толщина стекломгнезита – 20 мм. Толщина плит пенополистирола – 60 мм.

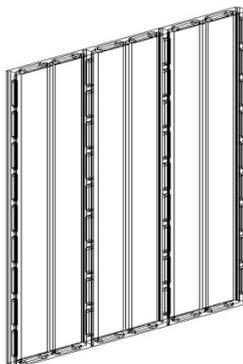


Рисунок 1 – Геометрия фрагмента стены из 3 панелей.

Согласно нормативным требованиям [1] в расчёте были приняты следующие граничные условия: температура внутреннего воздуха $t_{\text{int}} = +20$ °С; коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции $\alpha_{\text{int}} = 8,7$ Вт/(м²·°С); температура наружного воздуха для г. Иваново $t_{\text{ext}} = -30$ °С; коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стены для условий холодного периода $\alpha_{\text{ext}} = 23$ Вт/(м²·°С). Моделирование было произведено в модуле Heat Transfer Module программного комплекса COMSOL Multiphysics, использующего метод конечных элементов.

В результате проведённого моделирования была получена картина распределения температурных полей (рис.2).

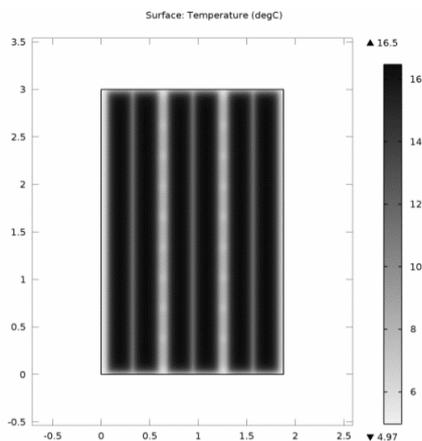


Рисунок 2 – Распределение температуры на внутренней поверхности стены

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента стены, состоящего из трёх панелей толщиной 100 мм из стекломagnesита с заполнением внутреннего пространства плитами толщиной 60 мм из пенополистирола составило $R_o^r = 0,947$ (м²·°С/Вт). Данное сопротивление удовлетворяет санитарно-гигиеническим требованиям и условиям энергосбережения.

Библиографический список

1. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий». – М.: ГП ЦПП, 2004. – 141 с.

*Н.Н. Смирнов, Д.А. Лапатеев, асп., Д.В. Кулдышева, студ.;
рук-ли В.К. Пыжов, к.т.н., доц., В.М. Захаров, к.т.н., доц.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОТРАЖАЮЩИХ ЭКРАНОВ В ОКНАХ ДЛЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО МИКРОКЛИМАТА ЦЕХА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В настоящее время в РФ затраты на отопление, вентиляцию, кондиционирование воздуха и ГВС составляют примерно 160 млн т. у. т. (20 % топливно-энергетического баланса страны) [1]. На отопление расходуется 80 % из вышеуказанных затрат.

Авторами были разработаны, запатентованы и испытаны конструкции окон с теплоотражающими экранами панельного, рулонного и жалюзийного типа, выполненные из металла. Применение экранов целесообразно в тёмное время суток или в отсутствии людей. Применение экранов не только снижает тепловые трансмиссионные потери, но и позволяет понизить температуру воздуха при «дежурном» режиме отопления, причём предварительная осушка воздуха предоставляет возможность ещё более уменьшить значение данного параметра [2]. Динамический микроклимат позволяет повысить работоспособность людей, находящихся в помещении.

Было проведено исследование по определению эффективности применения теплоотражающих экранов в окнах и дополнительного понижения температуры внутреннего воздуха в нерабочее время для систем обеспечения динамического микроклимата производственного помещения (рис. 1) ремонтно-механического цеха (РМЦ) промышленного предприятия ОАО «ПСК», входящего в машиностроительную группу КРАНЭКС.

Авторами было произведено тепловизионное обследование РМЦ (см. рис. 2), составлен тепловой баланс. Было выявлено, что значительная часть тепловых трансмиссионных потерь приходится на светопрозрачные конструкции (окна и световой фонарь). Для помещения РМЦ было предложено произвести утепление непрозрачных ограждающих конструкций (стен, ворот и покрытия), разместить за отопительными приборами теплоотражающие экраны, а также заменить остекление на энергосберегающие окна с использованием теплоотражающих покрытий и металлических экранов.

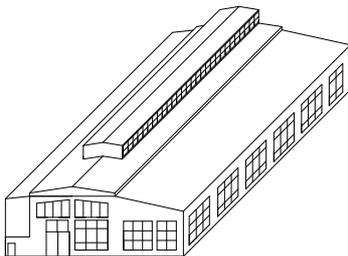


Рисунок 1 – Фронтальная изометрическая проекция здания РМЦ ОАО «ПСК» (производственное помещение).

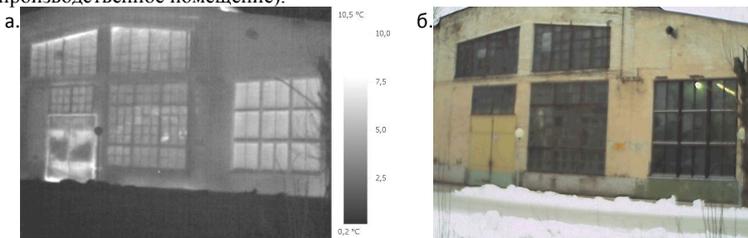


Рисунок 2 – Тепловизионная съемка наружной поверхности ограждений производственного помещения РМЦ: а – термограмма поверхностей, б – фотография. Температура наружного воздуха в момент обследования составляла 0 °С.

Для поддержания повышенной производительности труда у работающих в помещении РМЦ людей предлагается поддержание динамических метеорологических параметров внутреннего воздуха. Для снижения тепловой нагрузки на системы по поддержанию микроклимата предлагается в нерабочее время понизить температуру внутреннего воздуха до минимально допустимой, исходя из условия недопущения выпадения конденсата на внутренних поверхностях остекления (с использованием и без металлических экранов). Определена эффективность использования предложенных мероприятий.

Библиографический список

1. **Прима Л.В.**, Горелов М.В., Глазов В.С., Фелькер Э.К. Информационная база данных по оптическим и теплозащитным характеристикам строительных материалов // Энергосбережение – теория и практика: труды Восьмой международной школы-семинара молодых учёных и специалистов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2016. – С. 165-170.
2. **Смирнов Н.Н.**, Пыжов В.К., Захаров В.М., Авдюнин Е.Г., Лапатеев Д.А. Использование окон с регулируемым сопротивлением теплопередаче для повышения энергетической эффективности систем динамического микроклимата помещений // Вестник ИГЭУ.— Иваново: ООО "ПресСто".— 2016.— №6. — С.26 – 42.

Секция 7. ПАРОВЫЕ И ГАЗОВЫЕ ТУРБИНЫ

*Председатель секции
зав. кафедрой «Паровые и газовые турбины»,
к.т.н., доц. А.Л. Виноградов
Секретарь секции к.т.н., доц. Е.Ю. Григорьев*

*И.Б. Лазарев, аспирант; рук. Т.В. Богомолова, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА ANSYS FLUENT ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ В ОСЕВОМ ДИФFUЗОРЕ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ С МАССООБМЕННОМ НА ПЕРИФЕРИЙНОМ ОБВОДЕ

В основе статьи лежат результаты расчета течения в осевом кольцевом диффузоре паровой турбины в среде ANSYS Fluent. Моделирование течения в диффузорах паровых турбин представляет большой практический интерес, так как от эффективности работы диффузора зависит надежность и экономичность всей паротурбинной установки. Однако моделирование течения связано со значительными трудностями из-за необходимости создавать модель течения двухфазной жидкости. Моделировать процессы течения возможно виртуально, применяя среду ANSYS Fluent.

В реальных диффузорах происходит отрыв пристеночного пограничного слоя под действием градиента давления, что ведет к уменьшению поперечного переноса жидкости и формированию вихревых шнуров. Наличие в диффузоре стационарного вихря равносильно появлению в проточной части некоторого твердого тела. Скорость движения газа в диффузоре мала по сравнению со скоростью звука, следовательно, влиянием сжимаемости можно пренебречь. В связи с тем, что частицы в потоке движутся не прямолинейно, давление на внешней образующей диффузора оказывается больше, чем на стенке втулки. Таким образом, в сечении диффузора устанавливается неравномерное распределение скоростей и давления, здесь возникают поперечные градиенты давления. Характеристики диффузора по мере развития отрыва ухудшаются. Уменьшить турбулизацию потока возможно при-

менением дополнительного вдува пара в пристеночную область диффузора, или организация удаления (отсоса) части пара из канала диффузора. Удаление пара из пристеночной области на расстоянии 4/5 от входного сечения диффузора (см. рис.1) с углом раскрытия 9 градусов, показало максимальный коэффициент восстановления давления зависимостью $\xi_{вос} = 0,267$, в аналогичном диффузоре со вдувом пара в пристеночную область $\xi_{вос} = 0,259$, при отказе от вдува или отсоса коэффициент составляет $\xi_{вос} = 0,213$ [1], [2]. Для организации отсоса пара требуется дополнительный источник низкого давления, при этом давление источника должно быть ниже давления в конденсаторе. Отсос пара из диффузора позволяет устранить вихреобразование на выходе из диффузора и максимально использовать выходное сечение диффузора. Моделирование процесса течения двухфазной среды в диффузоре проводилось в пакете ANSYS Fluent с применением модели турбулентности sst и k-epsilon, и построенной в графическом редакторе SolidWorks 3-D модели диффузора. Расчет строился на конечно-элементной сетке (которая была построена в ANSYS mesh) размером около 100 тысяч ячеек.

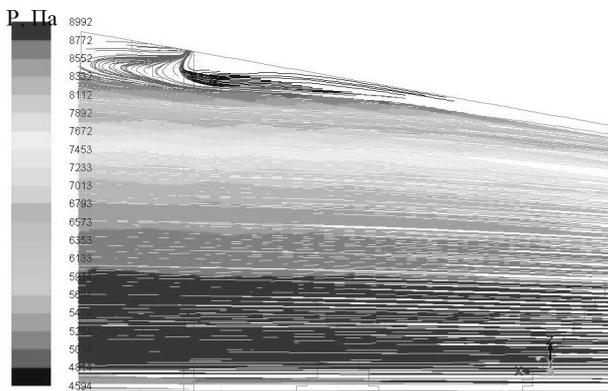


Рисунок 1 – Распределение давления в канале осевого диффузора паровой турбины с применением отсоса пара.

Библиографический список

1. **Лазарев И. Б.** Расчет диффузора за последней ступенью паровой турбины в пакете Fluent. Труды 22-ой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов “Радиоэлектроника, электротехника и энергетика”. М., 2015.
2. **Богомолова Т. В., Лазарев И. Б.** Расчет осевого диффузора за последней ступенью паровой турбины в пакете Fluent. Труды ИНФОРИНО -2016. М., 2016.

*И.С. Низамов, маг.; рук. Г.Р. Мингалеева, д.т.н. наук, проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

ЭНТАЛЬПИЯ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА ПРИ ГАЗИФИКАЦИИ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ КУЗНЕЦКОГО И ИРША-БОРОДИНСКОГО УГЛЯ

Водоугольное топливо (ВУТ) смесь из мелкоизмельчённого угля и воды. ВУТ может использоваться в качестве замены мазута, газа и угля. При термической переработке ВУТ происходит газификация содержащегося в нем угля с образованием синтез-газа, который вступает в реакцию с продуктами разложения воды (водород и кислород). Благодаря этому достигается почти полное сгорание топлива (до 98%). Газификация является более эффективным и чистым процессом, чем сжигание.

Газификации используется в теплогенераторах, сушилках, печах, котлах для получения тепловой энергии; в газовых турбинах и двигателях внутреннего сгорания для выработки электрической энергии.

В настоящее время созданы ряд крупных демонстрационных установок мощностью 100...300 МВт с применением в основном парокислородной газификации угольной пыли и мокрой очистки генераторного газа. КПД этих установок составляет 41...44 %. Однако эти установки сложны. Основными разработчиками и лидерами в этой отрасли являются General Electric, Siemens и Mitsubishi.

В составе газов получены при газификации водоугольного топлива на основе Кузнецкого угля и Ирша-Бородинского, содержатся монооксид углерода (CO), водород (H₂), метан (CH₄), диоксид углерода (CO₂) и вода (H₂O). При дальнейшем расчете определялись значения теплотворной способности газов и теоретической энтальпии продуктов их сгорания, соответственно: для ВУТ, приготовленного на основе Кузнецкого угля марки Т при температуре газа 1000К, значения составили соответственно – 11200 кДж/м³ и 2068,8 кДж/м³; 1300К – 12254 кДж/м³ и 2799,55 кДж/м³; 1700К – 11300 кДж/м³ и 3856,6 кДж/м³; для ВУТ на основе Ирша-Бородинского угля при температуре газа 1000К – 7181 кДж/м³ и 1749,75 кДж/м³; 1300К – 7200 кДж/м³ и 2344,2 кДж/м³; 1700К – 7195 кДж/м³ и 3187,3 кДж/м³.

Значения энтальпии продуктов сгорания необходимы для последующего расчета камеры сгорания ГТУ.

*М.А. Носкова, асп.; рук. Т.В. Богомолова д.т.н., проф.
(НИУ МЭИ, г. Москва)*

ПЕРЕМЕННЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ, РАБОТАЮЩЕЙ В СОСТАВЕ ПГУ

На данном этапе развития турбостроения энергетические установки почти достигли максимума своей эффективности. КПД утилизационной парогазовой установки составляет 50–61%. Дальнейшее повышение эффективности их работы может быть достигнуто путем оптимизации режимов их эксплуатации в заданном графике нагрузки. При этом необходимо добиваться высокой экономичности паровой турбины в пределах всего регулировочного диапазона нагрузок в соответствии с требованиями к маневренности ПГУ.

При проектировании паротурбинная установка рассчитывается на определенный режим работы, характеризующийся заданными начальными и конечными параметрами рабочего тела, параметрами промперегрева, электрической мощностью, теплофикационными и производственными отборами, температурой охлаждающей воды и т.д. Такой режим называется расчетным. Расчетный режим соответствует максимальной экономичности турбоустановки и является основой для расчета прочностных характеристик и надежности эксплуатации.

При эксплуатации режимы работы зависят в первую очередь от графиков тепловой и электрической нагрузок энергосистемы. При этом регулировать нагрузку паровой турбины можно несколькими способами [1]:

1. При неизменных начальных параметрах пара p_0^* и t_0^* перед стопорными клапанами турбины и соответствующим открытием (прикрытием) регулирующих клапанов;

2. Изменением давления пара p_0^* перед стопорными клапанами турбины при неизменном открытии регулирующих клапанов (способ скользящего давления);

3. Комбинированным методом, сочетающим первый и второй в заданных диапазонах регулирования;

Способ скользящего давления во всех контурах для паровых турбин ПГУ является наилучшим, т.к. позволяет полностью использовать теплоту продуктов сгорания ГТУ в котле-утилизаторе. Однако регулировочный диапазон нагрузок ПГУ зависит от показателей работы ГТУ на переменных режимах, в том числе от температуры наружного воздуха [2]. Так, например, в летний период располагаемая мощность ГТУ (и соответственно ПГУ) изменяется в противофазе с суточным графиком электрической нагрузки: днем, когда спрос на генерацию возрастает,

она снижается, а ночью, при уменьшении спроса на генерацию, наоборот, возрастает. В этом случае регулирования на скользящем давлении недостаточно.

Для нахождения оптимального сочетания способов регулирования нагрузки в заданном диапазоне режимов была разработана программа расчета переменных режимов работы паровой турбины К-110-7,0 ПГУ– 325.

Параметры расчетного режима работы паровой турбины:

параметры в контуре высокого давления: $G_{0\text{вд}} = 83,4$ кг/с, $p_{0\text{вд}} = 7,16$ МПа, $T_{0\text{вд}} = 766,3$ °К;

параметры в контуре низкого давления: $G_{0\text{нд}} = 18,7$ кг/с, $p_{0\text{нд}} = 0,65$ МПа, $T_{0\text{нд}} = 514,7$ °К;

Внутренняя мощность турбины $N_{i0} = 112$ МВт, внутренний относительный КПД – 86%.

Рассматриваются режимы работы:

1. $P_{\text{к}} = 3,5 - 7$ кПа = var, $G_0 = \text{const}$;
2. $P_{\text{к}} = 5$ кПа = const, относительный объемный расход $Gv_{2\text{отн}} = 0,4 - 1,2$.

Результаты расчетов позволяют определить диапазон надежной и экономичной работы паровой турбины в составе ПГУ. Программа также используется в виде модуля в программе расчета ПГУ.

Библиографический список

1. **Б.М. Трояновский** Переменные режимы паротурбинных установок: учебное пособие / Б.М. Трояновский, Т.В. Богомолова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 80с.
2. **А. В. Мошкарин** О влиянии характеристик газовых турбин на показатели работы мощных парогазовых блоков в переменных режимах / А.В. Мошкарин, Ю. В. Мельников // Энергосбережение и водоподготовка. №4. – 2007. – С. 32 – 35.

*А.И. Аверин, студ.; рук. Е.Ю. Григорьев к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)
конс. А.Е. Зарянкин А.Е. д.т.н., проф
(МЭИ, г.Москва)*

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ В ТУРБИННЫХ РЕШЕТКАХ

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

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

В ходе проведения исследований на физическом стенде [1] был разработан метод снижения концевых потерь путем установки системы оребрения на ограничивающих стенках. Система оребрения позволила снизить общий уровень потерь на 1%.

Однако, для полноты исследований необходимо получить внутреннюю картину течения рабочей среды. При физических испытаниях это сделать довольно проблематично в первую очередь с точки зрения трудоемкости затрат, поэтому дальнейшее исследование, проводилось численным методом. Результаты физических испытаний в этом случае использовались для верификации численной модели.

Для численного решения использовался инженерный пакет Ansys CFX-14. При создании математических моделей турбинной решетки сохранялись полное геометрическое и кинематическое подобие с экспериментальными моделями. В качестве рабочей среды был принят воздух при свойствах идеального газа, физические свойства воздуха (вязкость, теплопроводность) задавались автоматически встроенной библиотекой для воздуха при соответствующей температуре и давлении.

3D модель турбинных решеток строилась в инженерном пакете Solid Works. В расчетной области – межлопаточном канале, строилась сетка в виде призм, четырёхгранников, октаэдров, тетраэдров, общая размерность сетки в зависимости от рассматриваемого варианта турбинной решетки (высоты) была в пределах $(0,5 \dots 1,5) \cdot 10^6$ элементов.

Турбулентное стационарное течение вязкой среды моделировалось осредненным по Рейнольдсу уравнениями Навье-Стокса. Степень турбулентности входного потока рассчитывалась с помощью стандартной $k-\varepsilon$ -модели. Полагалось, что на поверхностях стенок трубопровода выполняются условия прилипания, а теплообмен с наружной поверхности и внутренними элементами не учитывается.

В качестве входных граничных условий при проведении расчета задавалось полное давление и противодавление на выходе из турбинной решетки равное атмосферному; начальный уровень турбулентности (степень турбулентности) на уровне 5%, температура потока 20°C, абсолютное значение шероховатости стенок 10 мкм.

Полученная внутренняя картина течения подтвердила высокую эффективность предложенной системы оребрения с точки зрения снижения концевых потерь в турбинных решетках. В картине течения не выявлено возникновение характерных парных вихрей. А полученная зависимость изменения коэффициента потерь от длины лопатки (рисунок 1) позволяет сделать вывод о высокой роли системы оребрения ограничивающих полок на снижение потерь в турбинных решетках с малой длиной лопатки.

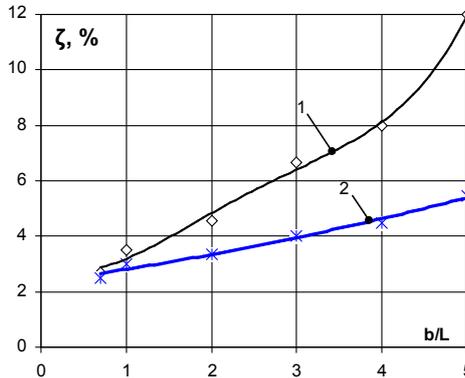


Рисунок 1 – Зависимость коэффициентов потерь в турбинной решетке С9012А в зависимости от относительной высоты лопаток, здесь 1- для стандартной решетки, 2- в случае использования направляющих ребер на ограничивающих пластинах.

Библиографический список

1. **Аверин, Н.И.** Разработка и исследование способов снижения потерь в турбинных решетках / Н.И. Аверин, Е.Ю. Григорьев, А.Е. Зарянкин // Теплоэнергетика "Энергия-2016": одиннадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Иваново, 5-7 апреля 2016 года: материалы конференции.— Иваново: УИУНЛ ИГЭУ.— 2016.— Т.1. — С.194 – 194

*А.А. Сбитнев, студ. (ИГЭУ, г.Иваново), А.Д. Водениктов, маг. (КГЭУ, г.Казань),
рук. Е.Ю. Григорьев, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г.Иваново)
конс. А.Е. Зарянкин, д.т.н., проф. (МЭИ, г.Москва)*

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ПОДГОТОВКИ ПОТОКА ДЛЯ РАСХОДОМЕРНЫХ УЧАСТКОВ ТРУБОПРОВОДОВ

Существующие нормативные документы по измерению расхода и количества жидкостей и газов (например, ГОСТ 8.586.1) требуют наличия равномерного поля скоростей перед расходомером. Для этого требуется обеспечить прямые участки трубопровода перед и за расходомером собственно равные $20 \cdot D_y$ и $5 \cdot D_y$ соответственно.

Существенно снизить длину прямого участка возможно путем установки перед расходомером специального устройства, обеспечивающего выравнивание поля скоростей в потоке и ликвидацию вихревого характера течения- устройство подготовки потока.

Анализ существующих конструкций (Zanker, Spenkel, трубчатого типа и т.д.) показал, что все предлагаемые модели обладают одним общим недостатком: использование аэродинамических фильтров в этих устройствах ведет к заметному снижению площади живого сечения для движения рабочей среды, и как результат - заметный рост гидравлических потерь.

Следовательно, современная конструкция УПП должна предусматривать использования фильтра с живым сечением, не меньше площади живого сечения трубопровода. Этот принцип был положен в основу создания и разработки новой серии устройств подготовки потока для трубопроводных систем.

Использование любого из существующих аэродинамических фильтров приводит к локальному уменьшению площади живого сечения трубопровода, тогда становится логичным то, что для сохранения этой площади необходимо изготавливать УПП с диаметром корпуса выше, чем диаметр основного трубопровода, а площадь перфорации, например, при использовании дискового устройства типа Zanker, должна быть не меньше площади живого сечения основного трубопровода. Для перфорации должно выдерживаться соотношение:

$$D_{тр} \leq \sum_{i=1}^n d_{отв i} \quad (1)$$

где $D_{тр}$ - гидравлический (условный) диаметр трубопровода, $d_{отв}$ - диаметр отверстия в фильтре.

Исходя из вышеперечисленного, нами была разработана принципиально новая конструкция УПП (рисунок 1).

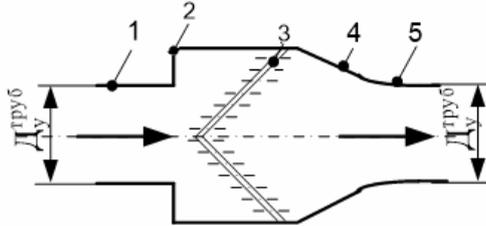


Рисунок 1 – Схема нового струевыпрямителя Grimar при использовании фильтра типа перфорированный конус: 1,5-трубопроводы, 2-ступенчатый переход, 3- перфорированный фильтр-конус, 4-плавный конфузор.

Для увеличения площади фильтра (и как следствие-увеличение живой площади фильтра) был использован резкий переход на больший диаметр. Входная часть корпуса изготовлена в виде ступени. Выходная часть корпуса была выполнена в виде конфузора. Сам фильтр выполнен в виде конуса, с углом раскрытия в свободной вершине 60° . Именно эта конструкция показала лучшие характеристики в результате физических испытаний.

В ходе математического моделирование в инженерном пакете ANSYS CFX было установлено, что из-за неравномерной перфорации в теле конуса, поток разделяется на струи при прохождении через перфорацию конуса неравномерно: сначала перфорацию проходит поток находящийся преимущественно ближе к осевой линии УПП. Эти отдельные струи, локальная скорость которых выше (а давление соответственно ниже), чем в потоке, который находится снаружи конуса оказывают на него эжектирующее действие в направлении осевой линии симметрии. Такой перенос масс способствует более быстрому с меньшими затратами энергии перемешиванию отдельных струй и получению однородного поля скоростей.

Данная картина была полностью подтверждена лабораторными испытаниями и численными исследованиями: коэффициент потерь УПП модели Grimar составил $\xi=0,72$ а коэффициент равномерности потока оказался равен $\zeta=0,945$. Также в ходе испытаний выяснилось, что установка УПП модели Grimar приводит к снижению вибрации в 4 раза, по сравнению с вариантом без использования УПП.

*А.С. Галямин, студ.; рук. Е.Ю. Григорьев к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ВХОДНОГО ПАТРУБКА ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА ГТУ

Входной патрубок компрессора газотурбинной установки (ГТУ) является одним из важнейших элементов, от энергетической эффективности и надежности его работы зависит последующий процесс сжатия в компрессоре.

Высокие показатели работы входного патрубка компрессора закладываются еще на стадии проектирования турбомшины. На первых промышленных и энергетических ГТУ входные патрубки выполнялись с обтекаемыми формами и зачастую отливались из чугуна [1], коэффициент гидравлического сопротивления таких патрубков практически никогда не превышало 0,1 значения.

Однако с ростом единичной мощности ГТУ увеличивались и требуемые проходные площади по всей турбомашине для прохода рабочей среды (воздуха, дымовых газов) и, как следствие, общий рост габаритов турбомашин и входного сечения компрессора, в частности. С появлением парогазовых технологий ситуация с проектированием входных патрубков компрессоров резко ухудшилась. Использование горячих дымовых газов для выработки пара для паровой турбины в котле-утилизаторе требует использование развитого диффузора за ГТУ и в этом случае наиболее часто генератор ГТУ располагается со стороны компрессора, что приводит к резкому осевому поджатию патрубка и, как следствие, к ухудшению условий течения рабочей среды в нем.

Так, например, в ходе эксплуатации первой отечественной ГТУ-110 (ОАО «НПО Сатурн» г. Рыбинск) оказалось, что аэродинамическое сопротивление входного патрубка в 4-5 раз выше, чем у входных патрубков стационарных ГТУ малой и средней мощности. Отметим, что с такими же проблемами сталкиваются и зарубежные производители ГТУ для парогазовых установок.

Исправить положение возможно путем использования входных патрубков с плавными обводами стенок, здесь требуемые площади живого сечения оказываются меньшими, чем в случае выполнения патрубков сварными. Выполнить поставленную задачу в современных условиях возможно путем применения новых композитных материалов на основе стекловолокна.

Для экспериментальной отработки предложенного решения в лабораторных условиях был спроектирован и изготовлен физический стенд. В качестве нагнетателя использовался вентилятор центробежно-

го типа ВР194-30 (ВЦ-10-28) с осевым входом воздуха, входной патрубок был изготовлен монолитной конструкции из композитного материала с обтекаемыми формами стенок. Расход рабочей среды в установке регулировался посредством установки дросселя на нагнетании вентилятора.

Средства измерений и программа испытаний предусматривали оценку коэффициента гидравлических потерь входного патрубка, а так же коэффициента окружной равномерности подвода воздуха к входному сечению нагнетателя.

Проведенные испытания на различных режимах работы нагнетателя показывают, что коэффициент гидравлических потерь в таком патрубке не превышает 0,07, что довольно хорошо соотносится со схожим вариантом, представленным в справочнике [2].

Так же необходимо отметить следующий факт, что даже в условиях изготовления входного патрубка с низким аэродинамическим сопротивлением, проведенные измерения показывают довольно высокую окружную неравномерность полей скоростей рабочей среды, что ведет к ухудшению технико-экономических показателей работы первых ступеней компрессора.

Наиболее перспективным и простым вариантом в плане мероприятий по ликвидации окружной неравномерности видится установка специального выравнивающего экрана на выходе из входного патрубка перед компрессором. Выравнивающий экран должен представлять собой камеру с различной степенью перфорацией и окнами, устанавливаемую ближе к выходному сечению патрубка с различной степенью перфорацией по окружности, обеспечивающей с минимальными гидравлическими потерями равномерный удельный по окружности расход

Необходимо понимать, что установка дополнительных поверхностей в проточной части исследуемого тракта ведет к росту потерь на данном локальном участке. Однако, с учетом, того что гидравлическое сопротивление новой конструкции патрубка из композитного материала оказывается ниже в 5-6 раз, чем у стандартных патрубков ГТУ, то разработка выравнивающего экрана с низким уровнем потерь позволит получить в результате более аэродинамически эффективную конструкцию входного патрубка.

Библиографический список

1. **A.Stodola.** Dampf-und gas-turbinen. Berlin, Verlag von julius springer: 1120 p.
2. **Идельчик И.Е.** Гидравлические сопротивления. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1975, 560 с.

*Е.С. Павлов, рук. Е.Ю. Григорьев к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫХЛОПНЫХ ПАТРУБКОВ ЦНД ПАРОВЫХ ТУРБИН

Оценивая пропускную способность ЦНД, обычно считают, что предельный расход через этот цилиндр лимитирует его последняя ступень. Однако, последней частью ЦНД является не ступень, а выхлопной патрубок и, как показано в [1], от его аэродинамических качеств зависит предельный расход пара через цилиндр низкого давления.

При учете гидравлического сопротивления выхлопного патрубка проблема оценки предельной пропускной способности ЦНД становится существенно более сложной. Так при длине лопаток последней ступени $l=1200$ мм режим запираания патрубка наступает при скоростях пара за последней ступенью (по числу Маха) $M \geq 0,65 \div 0,7$.

Как показывает анализ существующих конструкций выхлопных патрубков мощных конденсационных турбомашин увеличение их пропускной способности за счет увеличения длин последних лопаток приводит к сокращению относительной длины патрубка и, как следствие, к увеличению потерь в таком патрубке.

Анализ известных в литературе данных по исследованиям течений в выхлопных патрубках паровых турбин показывает, что в выхлопных патрубках в следствии поворотного характера течений образуются вихревые шнуры, которые могут занимать значительную площадь живого сечения сборного короба, препятствуя тем самым движению оставшейся части потока.

Для ликвидации этих вихревых шнуров предлагается использовать в противовихревые решетки в сечении на среднем разъеме патрубка. В работе путем моделирования течения исследованы различные конфигурации решеток и предложена оптимальная конструкция.

По сравнению с базовым патрубком (за основу был взят выхлопной патрубок ЦНД турбины К-1200-240 ЛМЗ) использование противовихревой решетки позволило снизить коэффициент полных потерь с $\zeta_p = 1,68$ до $\zeta_p = 0,984$. При этом оценочно прирост мощности за счет снижения давления за последней ступенью и повышения теплового перепада на нее для одного потока ЦНД составляет 1,4 МВт.

Библиографический список

1. A.Stodola. Dampf-und gas-turbinen. Berlin, Verlag von julius springer: 1120 p.

*Р.Ю. Шлёнкин студ.; рук. Е.Ю. Григорьев к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ШИБЕРНОЙ ЗАДВИЖКИ

Несмотря на то, что трубопроводы ТЭС и АЭС не относятся к основному оборудованию, от их работы зависит надежность и экономичность всей станции. Причина многих аварий связана с высоким уровнем вибрации, вызванным несовершенной гидравликой в запорно-регулирующей арматуре, которая используется в большом количестве.

При всех компоновочных достоинствах этого типа арматуры шиберные задвижки при частичном открытии генерируют в потоке за ними развитые дискретные вихревые образования, обтекаемые основным потоком как твердые тела и движущиеся со скоростью существенно меньшей, чем скорость несущего потока [1]. По существу, после задвижек имеет место нестационарное течение двух компонентной среды с очень широким спектром частот и амплитуд возникающих в ней пульсаций всех параметров и скоростей. Эти пульсации являются источником динамических нагрузок, воспринимаемых стенками последующих трубопроводов и узлами самой задвижки.

В работе предлагается существенно снизить динамические нагрузки на трубопроводы при использовании шиберных клиновых задвижек при использовании разгрузочных отверстий во втором по ходу течения рабочей среды диске. Система перфорации обеспечивает появление рециркуляционного течения из области за частично открытым шибером по ходу движения рабочей среды в междисковый зазор с последующей эжекцией в рабочий зазор задвижки.

Так же для линеаризации расходной характеристики задвижки предлагается профилирование седел задвижки таким образом, чтобы при поднятии штока задвижки обеспечивался линейный рост площадей живого сечения клина задвижки и ее седел.

В материалах доклада представлены результаты физического и численного моделирования течения рабочей среды «воздух» в стандартных и разрабатываемых запорно-регулирующих задвижках.

Библиографический список

1. Дейч М.Е. Техническая газодинамика. - М.: Энергия, 1974. - 592 с.

*А.В. Кирпиченко, студ.; рук. Е.Ю. Григорьев к.т.н., доцент.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТУРБИН ПРОТИВОДАВЛЕНЧЕСКОГО КЛАССА С ПЕРЕВОДОМ ИХ НА ОТОПИТЕЛЬНУЮ НАГРУЗКУ

Характерной особенностью энергетики последних лет является постоянное снижение отпуска тепла паровых турбин. Из анализа показателей работы ТЭЦ видно, что больше всего снизилась потребность в отпуске производственного пара, что в свою очередь приводит к снижению экономических и эксплуатационных показателей ТЭЦ, а для противодавленческих турбин - к заметному снижению электрической мощности и даже к длительным простоям.

Следует отметить, что простаивающее оборудование не только не дает прибыли, но и требует затрат на поддержание его в рабочем состоянии, на содержание эксплуатационного персонала, на амортизацию, налоги и т.п. Особенно серьезной проблемой является стояночная коррозия и проблемы ремонта запорной арматуры.

Всего на 45 ТЭЦ в России установлено 68 турбин Р-50 и 18 турбин Р-100 общей номинальной мощностью 5.2 млн. кВт [1]. Коэффициент использования 37% турбин Р-50 и Р-100 общей мощностью 1.9 млн. кВт близок к нулю, а у остальных турбин он чрезвычайно низок.

Таким образом, в настоящее время при возрастании энергопотребления вопрос о вводе в строй простаивающих турбин типа «Р», имеющих значительный резерв паркового ресурса, стоит особенно остро и решение этого вопроса позволит по существу провести техническое перевооружение основного оборудования ТЭЦ с минимальными затратами.

Реконструкция предполагает поставку ЦСД с сохранением имеющейся на станции турбины Р-46(50)-90 (130)/11 и оборудования турбоустановки (стопорного клапана, маслосистемы, системы регенеративного подогрева питательной воды, сохранение генератора и др.).

ЦВД остается на прежнем месте, на существующем фундаменте. Соединение с валом генератора сохраняется. Существующий передний блок турбины переносится вперед примерно на 5 метров и размещается на достраиваемой части фундамента. ЦСД располагается в передней части существующей турбины. Ротор ВД модернизируется для обеспечения возможности соединения его с полумуфтой РСД. Корпус подшипников №2 и №3, вкладыш подшипника №2 поставляются новые.

Расположение фиксупункта турбины – на раме заднего подшипника со стороны генератора – сохраняется. Расширение турбоагрегата по

прежнему будет происходить в сторону переднего подшипника. Такое решение позволяет сохранить систему зазоров в проточной части существующей турбины. Для уменьшения силового воздействия на корпус турбины со стороны трубопроводов, соединяющих турбину с ПСГ, на этих трубопроводах устанавливаются сильфонные компенсаторы.

РСД откован заодно с дисками 1-5 ступеней, диски 6 и 7 ступеней – насадные. Полумуфта выполняется также насадной.

Турбина снабжена регулирующей ступенью с поворотной диафрагмой для организации дополнительного регулируемого теплофикационного отбора пара.

За 3 и 5 ступенями ЦСД организуются отборы пара на ПНД-2 и ПНД-1 соответственно. Эти отборы используются для подогрева конденсата греющего пара, направляемого в стационарные деаэраторы. За 5 ступенью также организован регулируемый отбор пара с номинальным давлением 1,2 кгс/см² на стационарную бойлерную установку.

На выхлопе турбины, непосредственно под турбиной, устанавливается подогреватель сетевой воды горизонтального типа с поверхностью теплообмена 1850 м². Этот подогреватель, типа ПСГ-1850-0,6-1,6-1, будет обеспечивать подогрев сетевой воды в количестве от 1000 до 3200 т/ч с 39-70°C до 80–120°C или охлаждение пара, выходящего из турбины на конденсационных режимах. На конденсационных режимах охлаждение конденсирующегося пара производится циркуляционной водой. Таким образом, один и тот же теплообменный аппарат будет выполнять функции бойлера (во время отопительного периода) или конденсатора (когда нет теплофикационной нагрузки, например, летом).

Предложенный вариант модернизации турбоустановки Р-46(50)-90 (130)/11 позволяет обеспечить ее работу с отопительной нагрузкой. Разработанные основные положения по модернизации являются базовыми для реконструкции других турбомашин противодавленческого класса.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Тепловые электрические станции

<i>Ананьев Н.П.</i> Снижение капельного уноса вентиляторной градирни путем установки дополнительного вентилятора и охлаждения паровоздушной смеси; <i>рук. Ильин Р.А.</i>	3
<i>Аскарлов Ф.З.</i> Парогазовые установки; <i>рук. Шайхатова Э.А.</i>	6
<i>Бобич А.А.</i> Снижение удельного расхода топлива на выработку электроэнергии на ТЭЦ; <i>рук. Романюк В.Н.</i>	8
<i>Богдан Е.В.</i> Технологические методы снижения выбросов оксидов азота; <i>рук. Карницкий Н.Б.</i>	10
<i>Ганюшкин М.С., Ощепков В.В.</i> Оптимизация рабочих параметров шаровой барабанной мельницы Ш-16; <i>рук. Иванов С.Д.</i>	12
<i>Веселов М.С., Кузнецова М.Е.</i> Разработка программы для анализа СВРК; <i>рук. Беденко С.В.</i>	14
<i>Манигомба Ж.А.</i> Замещение дизельного топлива пиролизным газом для производства электрической энергии дизель-генераторами промышленной группы Regideso в республике Бурунди; <i>рук. Чичирова Н.Д.</i>	16
<i>Менделеев Д.И., Марьин Г.Е.</i> Использование внутренних ресурсов тепловых электрических станций для дополнительной выработки электроэнергии; <i>рук. Галицкий Ю.Я.</i>	18
<i>Менделеев Д.И.</i> Дополнительная генерация энергии на тепловых электростанциях; <i>рук. Усков Д.А., Галицкий Ю.Я.</i>	19
<i>Попова Л.А.</i> Разработка системы планирования и оптимизации режимов работы основного и вспомогательного оборудования ПАО «Якутскэнерго»; <i>рук. Бойко Е.А.</i>	20

<i>Ринчинов Р.А.</i> Разработка технических средств обучения персонала ТЭС; <i>рук. Бойко Е.А.</i>	22
<i>Седельников Н.В.</i> Анализ проблем работы котельных агрегатов с жидким шлакоудалением, сжигающих угли Канско-Ачинского бассейна; <i>рук. Бойко Е.А.</i>	24
<i>Стефановская О.М.</i> Геотермальная энергетика: функционирование и развитие; <i>рук. Конюхов В.Ю., Федчишин В.В.</i>	26
<i>Стяжкин В.С., Бабенко И.А.</i> Достоинства вихревых горелок с сжатием потока на входе в топку; <i>рук. Потапов В.Н.</i>	28
<i>Федоренков Д.И., Гатауллин Д.И.</i> Контроль и регулирование температуры сбросных вод системы технического водоснабжения ТЭС; <i>рук. Бускин Р.В.</i>	30
<i>Халиулин Д.Р.</i> Разработка технических решений по организации перевода казанской ТЭЦ-1 на бессточную схему; <i>рук. Чичирова Н.Д.</i>	32
<i>Шайхатова Э.А., Аскарлов Ф.З.</i> Системы технического водоснабжения ТЭС; <i>рук. Низамова А.Ш.</i>	33
<i>Барочкин Ю.Е., Потапов А.М.</i> Термодинамический подход к моделированию деаэрации перегретой жидкости; <i>рук. Ледуховский Г.В., Жуков В.П.</i>	34
<i>Барочкин Ю.Е.</i> Идентификация модели термического разложения гидрокарбонатов и гидролиза карбонатов в паровых котлах ТЭС среднего давления; <i>рук. Ледуховский Г.В., Виноградов В.Н.</i>	36
<i>Волков А.Е.</i> Исследование показателей котла-утилизатора «П-102» при проектных условиях работы ГТЭ-6П; <i>рук. Шельгин Б.Л.</i>	38
<i>Егоркина Л.С.</i> Влияние лаза на аэродинамику потока за осевым дымососом; <i>рук. Горшенин С.Д.</i>	39

<i>Зимин А.П., Горшенин С.Д.</i> Сведение материальных и энергетических балансов по данным технического учета в задачах расчета ТЭП ПГУ-ТЭС; <i>рук. Ледуховский Г.В., Жуков В.П.</i>	41
<i>Касаткин К.А.</i> Восполнение утечек пара и воды в цикле ТЭС, сжигающей газовое топливо; <i>рук. Орлов Г.Г.</i>	43
<i>Клюшкин А.А.</i> Получение конденсата водяных паров при сушке угля; <i>рук. Орлов Г.Г.</i>	44
<i>Коновальцева С.С.</i> Оценка величины максимальной тепловой нагрузки на нужды ГВС; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	47
<i>Корнилова М.А., Крылова А.Л., Максимова А.Д.</i> Разработка математической модели Сакмарской ТЭЦ для прогнозирования показателей работы по данным за фактически отработанный период; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	48
<i>Ломиногин В.А., Корнева А.С.</i> Применение турбодетандерной установки с целью повышения энергетической эффективности ТЭЦ; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	50
<i>Макушина А.В.</i> Выбор схемы деаэрирования для ПГУ-325; <i>рук. Зорин М.Ю., Орлов Г.Г.</i>	52
<i>Морокин Д.А.</i> Разработка математической модели шаровой барабанной мельницы; <i>рук. Шувалов С.И.</i>	53
<i>Панов Л.М.</i> Изучение характеристик котла-утилизатора «П-88» при проектной нагрузке ПГУ-325 и изменении климатических условий; <i>рук. Шельгин Б.Л.</i>	54
<i>Колмаков Р.М., Абрамов А.А.</i> Анализ работы теплофикационной установки Орловской ТЭЦ; <i>рук. Поспелов А.А.</i>	55
<i>Потапов А.М., Горшенин С.Д.</i> Моделирование течения воды в кавитационно-струйном деаэраторе; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	57

<i>Скурихина А.Д.</i> Применение пароохладителя, установленного на отборе пара к сушилке влажного топлива и определение его оптимальных характеристик; <i>рук. Орлов Г.Г.</i>	59
<i>Соловьев М.М., Терентьев Д.А.</i> Результаты расчета показателей котла-утилизатора «П-102» при допустимых нагрузках ГТЭ-6п; <i>рук. Шельгин Б.Л.</i>	61
<i>Спирина М.А.</i> Разработка диалоговой системы расчета ПВД с различными типами пароохладителей; <i>рук. Орлов Г.Г.</i>	62
<i>Тесов А.А.</i> Улучшение аэродинамики потока за осевым дымососом путем изменения формы и положения лаза; <i>рук. Горшенин С.Д.</i>	64
<i>Тюленев А.С.</i> Разработка имитационной модели регенеративных подогревателей ТЭС; <i>рук. Шувалов С.И.</i>	66
<i>Хвостов А.Д., Соловьева Е.В.</i> Анализ характеристик котла-утилизатора «П-88» при граничных значениях электрической мощности ГТЭ-110; <i>рук. Шельгин Б.Л.</i>	67

Секция 2. Промышленная теплоэнергетика

<i>Сурикова А.Н.</i> Разработка мероприятий по повышению эффективности работы установок по выпариванию влаги из нефтепродуктов; <i>рук. Лукин С.В.</i>	68
<i>Аляутдинов А.Р.</i> Измерение влажности продуктов после их обработки в сушильной установке периодического действия; <i>рук. Власенко Г.П.</i>	70
<i>Астафьев А.В.</i> Термическая переработка низкосортных топлив для автономного теплоснабжения; <i>рук. Табакаев Р.Б.</i>	72
<i>Бойко Е.Г.</i> Модернизация теплоэнергетической системы и теплотехнического оборудования заводов по переработке льнотресты; <i>рук. Муслина Д.Б., Петровская Т.А.</i>	74

<i>Звонарева Ю.Н.</i> Теоретические модели систем теплоснабжения; <i>рук. Ваньков Ю.В.</i>	76
<i>Измайлова Е.В.</i> Классификация сигналов акустической эмиссии с помощью нейронных сетей.....	78
<i>Карев Д.С., Иванченко А.Б.</i> Расчет потерь тепловой энергии при ее передаче по теплопроводам с применением САД/САЕ-технологий; <i>рук. Мельников В.М.</i>	80
<i>Куценко В.Н.</i> Математическая модель расчета температурных напряжений в куске угля при сушке в трубе – сушилке; <i>рук. Синицын Н.Н.</i>	82
<i>Мельников С. Г.</i> Исследование распределения температуры в экранной изоляции вакуумной электропечи; <i>рук. Блиничев В. Н.</i>	84
<i>Митин М.В.</i> Оптимизация тепловых потерь в зданиях различной формы; <i>рук. Баширов Н.Г.</i>	86
<i>Мнушкин Н.В.</i> Пути повышения энергетической эффективности жилых и общественных зданий; <i>рук. Лукин С.В.</i>	88
<i>Пурим М.В.</i> Проектирование тепловых пунктов; <i>рук. Мельников В.М.</i>	90
<i>Слонич К.А.</i> Разработка электронных моделей схем теплоснабжения с применением геоинформационных расчетных систем; <i>рук. Мельников В.М.</i>	91
<i>Худошин Д.Р., Антипова А.В.</i> Система теплоснабжения сельскохозяйственного производственного предприятия; <i>рук. Мельников В.М.</i>	93
<i>Бояркина Е.А., Сорокина А.С.</i> Составление теплового баланса в условиях динамического микроклимата; <i>рук. Пыжов В.К.</i>	95
<i>Брезгина А.С.</i> Создание лабораторного стенда «Исследование эффективности работы водяных систем отопления (охлаждения) в режиме доводчиков систем кондиционирования»; <i>рук. Пыжов В.К.</i>	97

<i>Бузоверов Е.А.</i> Определение оптимальной мощности теплового источника при строительстве или реконструкции для различных субъектов системы централизованного теплоснабжения; <i>рук. Чернов И.Д., Исаев М.В., Махов О.Н.</i>	99
<i>Еремеева Д.С., Куликов Е.</i> Использование ГПУ для реконструкция водогрейной котельной; <i>рук. Васильев С.В., Банников А.В.</i>	101
<i>Ефименко Е. В.</i> Аэродинамическая характеристика циклонообразного коллектора систем аспирации с регулируемой производительностью; <i>рук. Созинов В.П.</i>	102
<i>Колесников М.В.</i> Расчет двухвентиляторной системы аспирации с шаровым коллектором; <i>рук. Созинов В.П.</i>	104
<i>Кривенко Ю.А., Ефимкова Е.Д.</i> Обоснование необходимости децентрализованного воздухообеспечения на примере нефтеперерабатывающего завода; <i>рук. Тимошин Л.И.</i>	105
<i>Андреев С.В., Окатов И.М., Щербаков М.С.</i> Устойчивость системы теплоснабжения как критерий разбалансированности и качества теплоснабжения; <i>рук. Авдюнин Е.Г., Сенников В.В.</i>	106
<i>Павлов И.В.</i> Повышение эффективности блочно – модульной котельной; <i>рук. Васильев С.В., Банников А.В.</i>	107
<i>Панина Е.А., Баранов А.В.</i> Экспресс определение стоимости реконструкции отопительных котельных по мощности; <i>рук. Махов О.Н.</i>	109
<i>Панина Е.А., Баранов А.В.</i> Экспресс определение стоимости замены тепловой изоляции на водяных тепловых сетях; <i>рук. Махов О.Н.</i>	110
<i>Пручкин М.Ю., Воробьев Р.А.</i> Повышение энергетической эффективности котельной при замене паровых котлов на водогрейные; <i>рук. Тимошин Л.И.</i>	111
<i>Сафронов А.С., Комарницкий П.А., Кругликов Д.А.</i> Требования к математической модели микроклимата тренажёра БЦУ АЭС; <i>рук. Пыжов В.К.</i>	113

Смирнов А.А., Ваганова Д.С. Повышение эффективности системы энергоснабжения на базе ГТЭС; рук. Васильев С.В., Банников А.В....114

Андреев С.В., Окатов И.М., Щербаков М.С. Математическая модель гидравлического распределителя; рук. Авдюнин Е.Г., Сенников В.В.....115

Ягодкина О.Д. Модернизация водогрейной котельной с использованием контура органического цикла Ренкина; рук. Васильев С.В., Банников А.В.....116

Секция 3. Автоматизация технологических процессов

Горин В.А., Пичугин С.С. Математическая модель системы отопления индивидуального дома; рук. Варенов А.А.....118

Певчева Е.В. Повышение эффективности энергетического оборудования теплиц закрытого грунта; рук. Доманов В.И.....119

Хоанг Ван Ва. Выбор параметров приближения к субоптимальному регулятору для АСР с объектами без самовыравнивания; рук. Кузицин В.Ф., Мерзликina Е.И.....122

Альбещенко М.Н. Применение среды AUTOCAD®ELECTRICAL при разработке проектной документации.; рук. Торопова Е.К.....124

Альбещенко М.Н. Некоторые особенности решения нелинейных уравнений итерационными методами; рук. Горнушкин А.Р.....125

Демидова Е.А. Защита конструкторской документации формата DWG; рук. Торопова Е.К.....127

Демидова Е.А. Динамические аналогии в технике; рук. Горнушкин А.Р.....128

*Секция 4. Технология воды и топлива. Экология ТЭС и
промышленных предприятий.*

- Римашевская Е.Д.* Исследование основных путей совершенствования
предочистки воды на ТЭС и АЭС; *рук. Чиж В.А.*.....130
- Гатауллин Д.И., Федоренков Д.И.* Обзор внедрения малоотходных
обратно осмотических установок ТЭС РФ; *рук. Власов С.М.*.....132
- Саитов С.Р.* Повышение эффективности установок обратного осмоса
на ТЭС; *рук. Чичерова Н.Д.*.....134
- Балашова Н.В.* Исследование влияния срока эксплуатации
обратноосмотического модуля на качество пермеата; *рук. Бушуев
Е.Н.*.....135
- Балашова Н.В.* Сравнение эксплуатационных характеристик
обратноосмотических элементов различных производителей на основе
расчетных программ; *рук. Бушуев Е.Н.*.....137
- Дроздов А.А.* Пароводокислородная очистка, пассивация и консервация
паровых котлов; *рук. Ларин Б.М.*.....139
- Логонова А.Ю.* Изучение состава отложений инертного материала IP-4;
рук. Карпычев Е.А......140
- Седова А.К.* Анализ требований к исходной воде перед установкой
обратного осмоса; *рук. Бушуев Е.Н.*.....142
- Трухин Д.С.* Многофункциональный лабораторный стенд
обессоливания воды; *рук. Ларин А.Б.*.....144
- Чернова И.А.* Исследование характеристик отечественных и
импортных ионообменных материалов; *рук. Карпычев Е.А.*.....146
- Сорокина А.Я., Кукушкина Ю.С.* Разработка методики определения
содержания фосфатов в котловой воде по измерениям удельной
электропроводности; *рук. Ларин А.Б.*.....148

- Лебедева Ю.В., Волкова А.А.* Опыт применения октадециламина для консервации теплоэнергетического оборудования; *рук. Еремина Н.А.*.....149
- Будаева А.Ю.* Лабораторная проверка технической эффективности мощных реагентов для химической очистки от отложений внутренних поверхностей нагрева труб паровых котлов; *рук. Бушуев Е.Н.*.....151
- Иваницкий М.С.* Исследование влияния условий сжигания топлива на интенсивность образования бенз(а)пирена и оксидов азота в продуктах сгорания пылеугольных котлов.....153
- Исхакова Р.Я., Зарипова Г.М.* Разработка топливных гранул на основе избыточного активного ила промышленных предприятий; *рук. Николаева Л.А.*.....154
- Гусев Н.А.* Глобальные экологические проблемы, связанные с добычей сланцевого газа; *рук. Лукина В.Б.*.....156
- Смирнова Т.А., Жулькова Ю.А.* Состояние почв в Ивановской области; *рук. Еремина Н.А.*.....158

Секция 5. Теоретические основы теплотехники

- Кувшинов Н.Е.* Моделирование радиационного теплообмена в двухфазных высокотемпературных средах; *рук. Москаленко Н.И.*.....160
- Горбунова А.Н.* Моделирование процессов обмена энергии в живых организмах; *рук. Бухмиров В.В.*.....163
- Кругликов Д.А., Коновальцева С.С.* Презентация электронного учебного пособия «Основные понятия теплопроводности» по курсу ТМО; *рук. Бухмиров В.В.*.....165
- Кругликов Д.А.* Сравнение методов расчета радиационного теплообмена; *рук. Бухмиров В.В.*.....167

<i>Лебедева Ю.В., Чернова В.А.</i> Моделирование турбулентности при расчете параметров микроклимата в ПБК ANSYS FLUENT; <i>рук. Бухмиров В.В., Пророкова М.В.</i>	169
<i>Степанов М.С., Петушкова А.А.</i> Анализ изменения параметров веществ при их смешении в объеме; <i>рук. Чухин И.М.</i>	171
<i>Ботенов И.И., Шустов А.А.</i> Оптимизация параметров ГТУ в составе АЭС на насыщенном водяном паре; <i>рук. Чухин И.М.</i>	172
<i>Воднева А.В., Сидорова А.С.</i> Совершенствование базы задач раздела "Стационарная теплопроводность и теплопередача" курса "Тепломасообмен"; <i>рук. Созинова Т.Е.</i>	174
<i>Никифоров И.А.</i> Моделирование процессов теплопередачи через ограждающие конструкции жилых зданий с применением программного пакета COMSOL MULTIPHYSICS; <i>рук. Созинова Т.Е.</i>	176
<i>Гадалова Е.А., Терентьева К.В.</i> Экспериментальное определение степени сухости водяного пара на лабораторном стенде; <i>рук. Ракутина Д.В.</i>	178
<i>Алеманова Е.С., Парфенов Г.И.</i> Исследование влияния типа напольного покрытия на теплоотдачу от теплого пола; <i>рук. Ракутина Д.В.</i>	180
<i>Коркин Е.Д., Кисляков Д.О.</i> Моделирование работы паротурбинного цикла АЭС на насыщенном паре; <i>рук. Корочкина Е.Е.</i>	182
<i>Минеев Н.А.</i> Разработка и моделирование систем охлаждения тепловыделяющих элементов радиоэлектронной аппаратуры; <i>рук. Корочкина Е.Е.</i>	184
<i>Чигирёва Д.В.</i> Совершенствование программного комплекса по расчету стационарной теплопроводности при наличии внутренних источников теплоты; <i>рук. Плетникова Ю.С.</i>	186
<i>Ершова Э.С., Мечтаева Н.Н.</i> Экспериментальное определение коэффициента теплоотдачи методом регулярного режима при различных режимах кипения воды; <i>рук. Плетникова Ю.С.</i>	188

- Клипанов Е.А., Токарев С.А.* Экспериментальное определение коэффициента теплоотдачи в процессе конденсации водяного пара на вертикальной трубе; *рук. Плетникова Ю.С.*.....189
- Валиев Р.Н., Завьялова А.Ю.* Разработка программного комплекса по расчету основных термодинамических процессов газовых смесей; *рук. Плетникова Ю.С., Пекунова А.В.*.....190
- Бубнов К.Н., Потемкина Ю.А., Сокова Д.С.* Определение зависимости коэффициента теплопроводности фторопласта и текстолита от температуры; *рук. Гаськов А.К.*.....191
- Бубнов К.Н., Потемкина Ю.А., Сокова Д.С.* Определение коэффициента температуропроводности фторопласта и текстолита методом упорядоченного теплового режима; *рук. Гаськов А.К.*.....193
- Бубнов К.Н.* Программная реализация методики расчета тепловых потерь от трубопроводов с горячим теплоносителем; *рук. Гаськов А.К.*.....195
- Тиводар Л.А.* Моделирование тепловой работы печи в пакете SOLIDWORKS; *рук. Бухмиров В.В., Сулейманов М.Г.*.....197
- Пророкова М.В.* Учет уровня комфортности микроклимата при оценке целесообразности внедрения энергосберегающих мероприятий; *рук. Бухмиров В.В.*.....198
- Гаськов А.К.* Экспериментальное определение коэффициента температуропроводности энергосберегающей краски; *рук. Бухмиров В.В.*.....200

Секция 6. Энергоресурсосбережение

- Харченко В.А.* Экспериментальные исследования сгорания двухкомпонентного топлива посредством высокоскоростной съёмки; *рук. Zigan L.*.....202

<i>Григорьев В.Г., Шевандо А.А., Прокопенко К.В.</i> Утилизация теплоты гниения органических отходов; <i>рук. Муслина Д.Б.</i>	204
<i>Закирова И.А.</i> Применение тонкопленочного покрытия на поверхности изоляции трубопроводов тепловых сетей с целью снижения плотности тепловых потоков; <i>рук. Чичирова Н.Д.</i>	205
<i>Казак Г.И.</i> Об использовании прибора для определения водопоглощения строительных материалов; <i>рук. Воронова Н.П.</i>	206
<i>Каргапольцев В.В.</i> Устройство для предотвращения утечек и сливов теплофикационной воды; <i>рук. Мицкевич А.А.</i>	208
<i>Кузнецов Н.В.</i> Автоматизированная система учета потребления ресурсов; <i>рук. Мерззликина Е.И.</i>	210
<i>Муртазина Г.Р., Снигирева Ю.В.</i> Сравнительная характеристика адсорбционной способности природных и синтетических пористых материалов; <i>рук. Новиков В.Ф.</i>	211
<i>Овчинников А.А.</i> Новые энерго- и ресурсосберегающие компоновочные решения аппаратов воздушного охлаждения; <i>рук. Печенегов Ю.Я.</i>	213
<i>Рачков М.Р.</i> Оценка эффективности эксплуатации систем централизованного теплоснабжения малых населенных пунктов; <i>рук. Мельников В.М.</i>	215
<i>Синявский О.Ю., Мигушкин М. А.</i> Активная охлаждающая балка; <i>рук. Ковальногов В.Н.</i>	217
<i>Чеботарёв А.Д., Саубанов Р.И., Данилин К.В.</i> Повышение энергоэффективности зданий; <i>рук. Зацаринная Ю.Н.</i>	219
<i>Вирясов А.А.</i> Повышение энергетической эффективности зданий, являющихся объектами культурного наследия РФ; <i>рук. Банников А.В.</i>	221
<i>Воронова К.А., Горбунова А.Н.</i> Установки для утилизации тепла сточных вод; <i>рук. Коновалов А.В.</i>	222

- Козлова М.В.* Исследование влияния вида низкопотенциального источника тепловой энергии на эффективность теплового насоса; *рук. Банников А.В., Васильев С.В.*.....224
- Морозова А.А.* Специфика повышения энергетической эффективности жилищно-коммунального хозяйства; *рук. Банников А.В.*.....226
- Ангелов В.И., Парфенов Г.И., Сафронов А.С.* Определение приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента наружной стены из панелей; *рук. Смирнов Н.Н., Яблоков А.А.*.....227
- Смирнов Н.Н., Лапатеев Д.А., Кулдышева Д.В.* Эффективность применения теплоотражающих экранов в окнах для систем обеспечения динамического микроклимата цеха промышленного предприятия; *рук. Пыжов В.К., Захаров В.М.*.....229

Секция 7. Паровые и газовые турбины

- Лазарев И.Б.* Применение пакета ANSYS Fluent для моделирования течения в осевом диффузоре паровой турбины с массообменом на периферийном обводе; *рук. Богомолова Т.В.*.....231
- Низамов И.С.* Энтальпия продуктов сгорания генераторного газа при газификации водоугольного топлива на основе Кузнецкого и Ирша-Бородинского угля; *рук. Мингалеева Г.Р.*.....233
- Носкова М. А.* Переменные режимы работы паровой турбины, работающей в составе ПГУ; *рук. Богомолова Т.В.*.....234
- Аверин А.И.* Численное исследование течений в турбинных решетках; *рук. Григорьев Е.Ю.*.....236
- Сбитнев А.А., Водениктов А.Д.* Разработка устройств подготовки потока для расходомерных участков трубопроводов; *рук. Григорьев Е.Ю.*.....238

<i>Галямин А.С.</i> Оптимизация входного патрубка осевого компрессора ГТУ; <i>рук. Григорьев Е.Ю.</i>	240
<i>Павлов Е.С.</i> Разработка методов повышения эффективности выхлопных патрубков ЦНД паровых турбин; <i>рук. Григорьев Е.Ю.</i>	242
<i>Сухов А.С., Шленкин Р.Ю.</i> Разработка и исследование запорно-регулирующей шиберной задвижки; <i>рук. Григорьев Е.Ю.</i>	243
<i>Кирпиченко А.В.</i> Модернизация турбин противодавленческого класса с переводом их на отопительную нагрузку; <i>рук. Григорьев Е.Ю.</i>	244

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ «ЭНЕРГИЯ – 2017»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ ТОМ 1

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Печать офсетная. Усл. печ. л.

Тираж 80 экз. Заказ №

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический
университет им. В.И. Ленина»
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ.