

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И.ЛЕНИНА»



ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

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

«ЭНЕРГИЯ 2010»

ИВАНОВО, 21 апреля 2010 г.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 1

ИВАНОВО

ИГЭУ

2010

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА //Тезисы докладов региональной научно-технической конференции студентов и аспирантов. – Иваново.: ГОУ ВПО Ивановский государ. энергетический университет. 2010, 156 с.

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

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

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

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

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

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

Секция 1. ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

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

А.В. Мосенков, студ.; рук. А.В. Мошкарин, д.т.н., проф. **ОСОБЕННОСТИ ПГУ-ТЭЦ «ТЕРЕШКОВО» (Г. МОСКВА)**

В работе представлен анализ материалов проекта строительства ПГУ-ТЭЦ «Терешково». ГТЭС располагается на производственной территории РТС «Терешково» и предназначена для обеспечения электрической и тепловой энергией объектов жилищно-коммунального хозяйства района Западного административного округа г. Москвы и отпуска электроэнергии.

Сооружение ПГУ бинарного цикла с теплофикационной паровой турбиной в наибольшей степени соответствует характеру тепловых и электрических нагрузок района г. Москвы и высоким требованиям в отношении экономичности. Применение в проекте противодавленческой паровой турбины, несмотря на кажущиеся преимущества такого решения, исключено в связи с отсутствием в этом случае возможности выработки электроэнергии по конденсационному циклу в условиях роста потребления электроэнергии в Москве. Технические проблемы, связанные с отводом сбросного тепла от конденсатора паровой турбины в схеме ПГУ с теплофикационной турбиной решаются путем применения “сухой” системы воздушного охлаждения.

ГТЭС предназначена для работы в непрерывном базовом режиме с приоритетной тепловой нагрузкой и соответствующей выработкой электроэнергии по комбинированному циклу. Дополнительная (конденсационная) выработка электроэнергии будет определяться требованиями энергосистемы и коммерческими условиями по объемам реализации электроэнергии. Очевидно, что при относительно высокой экономичности выработки электроэнергии в парогазовом цикле по сравнению с существующими паротурбинными электростанциями в системе энергоснабжения г. Москвы, предпочтительна работа ГТЭС с максимально возможной загрузкой по выработке электроэнергии.

Электрическая мощность ГТЭС при работе с теплофикационной нагрузкой 150 Гкал/ч при расчетной температуре наружного воздуха

для отопления минус 28 °С составит 186,7 МВт (на выводах генератора). Электрическая мощность ГТЭС в летнем режиме при работе с тепловой нагрузкой на горячее водоснабжение составит 166,9 МВт (на выводах генератора, при температуре наружного воздуха +15 °С).

В связи с растущей потребностью города в электроэнергии и имеющейся технической возможностью предполагается работа электростанции по конденсационному циклу в летний период с высокой электрической нагрузкой. В связи с этим для расчетов годового объема выработки электрической энергии число часов использования установленной электрической мощности (годовой эквивалент работы при 100 % нагрузке) принято 7500 часов (коэффициент загрузки оборудования по электрической мощности 0,9).

Планируемая тепловая нагрузка 2005 г. - 97,0 Гкал/ч.

Тепловая нагрузка станции с учетом перспективы 229,52 Гкал/ч

Производимая ГТЭС тепловая энергия в виде горячей воды будет подаваться в тепловые сети системы централизованного теплоснабжения потребителей г. Москвы по температурному графику 150/70 °С при центральном качественном регулировании по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения.

При установке на электростанции в перспективе пикового водогрейного котла (станционный №3) мощностью 120 Гкал/ч (предусмотрено Конкурсной документацией) с учетом существующих двух котлов (станционные №1 и №2) РТС суммарная установленная мощность ГТЭС+РТС составит $150+3 \times 120=510$ Гкал/ч.

В случае установки пикового котла проектируемая ГТЭС будет покрывать базовую часть графика тепловых нагрузок (при доле пиковой мощности в общей максимальной мощности $120/(150+120)=0,44$ или 44%).

После ввода в работу ГТЭС тепловая мощность энергоисточника составит $150+2 \times 120=390$ Гкал/ч. При перспективной тепловой нагрузке района 229,52 Гкал/ч запас мощности $390-229,52=160,48$ Гкал/ч обеспечит надежное теплоснабжение потребителей даже при аварийном останове газотурбинной электростанции.

Основным и резервным топливом для газовых турбин и дожигающих устройств котлов-утилизаторов принят природный газ от двух независимых источников (магистралей) с давлением 1,2 МПа. Аварийное топливо не предусматривается.

ГТЭС будет сооружаться по схеме утилизационной парогазовой установки (ПГУ) с тремя газовыми турбинами, паровыми котлами-утилизаторами двух давлений с дожиганием топлива и одной паровой конденсационной турбиной с теплофикационными отборами пара

(конфигурация 3ГТ+3КУ +1ПТ). В качестве основного элемента ПГУ приняты современные высокоэффективные газовые турбины типа LM 6000 PD Sprint фирмы.

Схема ГТЭС с указанной конфигурацией основного оборудования имеет достаточно высокую надежность: при отказе одной газотурбинной установки теряется ~20 – 25 % электрической и тепловой мощности, при отказе одного котла – утилизатора будет потеряно только около 30 % тепловой мощности без существенного снижения электрической мощности в связи с возможностью работы газовой турбины в открытом цикле со сбросом газов через байпасную дымовую трубу.

Учитывая перспективный рост электрических нагрузок г. Москвы, предусматривается возможность расширения электростанции с установкой дополнительно 2-3-х газовых турбин с паровыми котлами-утилизаторами (наиболее вероятный вариант в условиях крайне плотной застройки площадки станции и отсутствии места для установки второй паровой турбины). Предполагается, что тепловые нагрузки района в обозримом будущем не будут превышать запланированный уровень и могут быть покрыты предусмотренным в проекте оборудованием. В связи с этим устанавливаемая на ГТЭС паровая турбина рассчитана на увеличенный расход пара при сохранении расчетной теплофикационной мощности 150 Гкал/ч. Мощность генератора выбрана с учетом работы турбоагрегата в схеме с конфигурацией 6ГТ+6КУ+1ПТ. Для интеграции с проектируемой частью ГТЭС газовые турбины и котлы-утилизаторы расширяемой части электростанции должны быть того же типа (модели), что и на первом этапе строительства.

Пуск станции из холодного состояния (с “нуля”) обеспечивается от энергосистемы. В аварийном режиме, при отсутствии внешней электрической нагрузки, возможна автономная работа на электрическую нагрузку собственных нужд ГТЭС и нагрузку собственных нужд существующей РТС.

А.В.Голубев, студ.; рук. А.В. Мошкарин, д.т.н., проф.
**РАСШИРЕНИЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ КОТЕЛЬНОЙ
Г. КУРСКА ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКОЙ**

Котельная Северо-Западного района г Курска предназначена для покрытия тепловой нагрузки в паре и горячей воде. В состав ее основного оборудования входят два водогрейных котла КВГМ-100 и шесть котлов ДЕ 25/14ГМ.

Решением руководства ОАО «ТГК-4», в состав которой входит эта котельная, предусмотрено ее расширение парогазовой установкой. Это решение продиктовано дефицитом электроэнергии района, а также возможностями использования существующих инженерных коммуникаций котельной (газораспределительной подстанции, паропроводов и т.д.), что позволит сократить инвестиции по сравнению с новым строительством. Такое решение превратит котельную в ТЭЦ.

В состав расширяемой части войдут два комплекта газовой турбины LM 6000 “SPRINT” электрической мощностью 45 МВт производства GE Energy, два паровых котла-утилизатора Пр-75-3,9-440 Д вертикальной компоновки с дожигающим устройством и газовым подогревателем сетевой воды (ГПСВ) на параметры пара 3,9 МПа 440 °С производства ОАО «ЗИО» г. Подольск и паровой турбиной Т-25/34-3,4/0,12 мощностью 25 МВт, с регулируемым отбором производства ОАО «Калужский турбинный завод».

Генераторы ГТУ включаются в блоки через повышающий трансформатор мощностью 63 МВ-А напряжением 121/10,5 кВ. Генератор паровой турбины через трансформатор мощностью 40 МВ-А.

Для конденсации пара предусматривается система оборотного охлаждения.

Строительство парогазового блока позволит улучшить технико-экономические показатели работы котельной.

Ю.А. Новожилова, студ.; рук. А.В. Мошкарин, д.т.н., проф.
**О ТЕХНИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЯХ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПАРОГАЗОВЫХ ПОД-
СТРОЕК К ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЯМ**

Парогазовые установки позволяют повысить тепловую эффективность ТЭС. Их использование на ТЭЦ путем подстройки к действующим паросиловым циклам может встречать технические ограничения, связанные как с конструкциями существующих турбин, так и режимами их работы. Проточная часть действующих паровых турбин рассчитана на работу с уменьшающимся расходом пара, объективно вызванного спецификой паросилового цикла: отводом пара на регенеративный подогрев питательной воды, отборами пара на промышленные потребители и теплофикацию.

Предлагаемые сегодня в проектах технические решения по модернизации «старых» ТЭЦ связаны в основном с их расширением блоками

ПГУ двух давлений. Такие варианты относятся к новому строительству и достаточно дороги из-за наличия оборудования паротурбинной установки.

Менее дорогим может быть вариант ПГУ с одноконтурным котлом-утилизатором (КУ). В этом случае КУ работает на общую паровую магистраль, снижая нагрузку на паровые котлы, часть из которых может быть остановлена. Параметры острого пара КУ должны соответствовать значениям параметров энергетических котлов ТЭЦ. Для снижения температуры уходящих газов до 100 °С необходимо в «хвосте» КУ предусматривать установку газового подогревателя сетевой воды (ГПСВ). Тепловая нагрузка на ГПСВ должна быть не ниже тепловой нагрузки горячего водоснабжения для летнего режима работы.

Такое техническое решение наиболее эффективно для ТЭЦ с оборудованием на давление до 10 МПа, число которых в России значительно. В этом варианте подстройки ПГУ надежность теплоснабжения остается высокой, так как энергетические котлы снижают суммарную производительность на величину расхода пара от КУ и в случае аварийных остановов ГТУ и КУ могут увеличить паропроизводительность, а ТЭЦ перейдет на работу по паросиловому циклу. В рассматриваемом варианте паротурбинная часть ТЭЦ не подвергается существенной реконструкции. Мощность ГТУ при этом будет ограничена лишь величиной тепловой нагрузки на ГПСВ.

Расчеты показали, что эффективность такого варианта подстройки ПГУ выше, чем строительство отдельного блока. Такой вариант реконструкции может быть использован и на отраслевых ТЭЦ с оборудованием на давление 4 МПа.

В.Ф. Фокин, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., доц.

ПГУ МОЩНОСТЬЮ 325 МВт ДЛЯ ГОРОДА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

В настоящее время развитие отечественной энергетики базируется на строительстве парогазовых установок (ПГУ), которые имеют достаточно высокий КПД, достигающий 50-55 %, что существенно позволяет экономить органическое топливо по сравнению с производством электрической энергии на обычных ТЭС.

В рассматриваемом проекте предполагается осуществить энерго-снабжение крупного города от ПГУ-325. В состав ПГУ входит газовая турбина ГТ-110, котел утилизатор П-88 и паровая турбина К-110-6,8.

Выбор наиболее экономичной тепловой схемы осуществляется путем сравнения шести вариантов тепловых схем:

1. Тепловая схема ПГУ-325 (схема “связанная” с деаэратором Д-0,12).

2. Тепловая схема ПГУ-325 (схема “связанная” с деаэратором Д-0,12 и сливом сепарата в деаэратор).

3. Тепловая схема ПГУ-325 (схема “несвязанная” с деаэратором Д-0,02).

4. Тепловая схема ПГУ-325 (схема “несвязанная” с деаэратором Д-0,02 и сливом сепарата в деаэратор).

5. Тепловая схема ПГУ-325 (схема “связанная” с деаэратором Д-0,02).

6. Тепловая схема ПГУ-325 (схема “связанная” с деаэратором Д-0,02 и сливом сепарата в деаэратор).

Таблица 1. Сводная таблица результатов расчета тепловых схем ПГУ-325

Наименование	Тепловая схема					
	Давление в деаэраторе					
	7		1,2		0,2	
	Связанная	Несвязанная	Связанная	Несвязанная	Связанная	Несвязанная
$V_{ух}^{опт}, ^\circ C$	106	110	106	130	106	150
$W_{пгу},$ МВт	217,158	217,322	216,884	219,167	217,74	219,3
$W_{пгу},$ МВт	107,593	105,704	108,05	100,302	108,48	99,13
$W_{пгу},$ МВт	317,767	316,186	318,104	313,08	318,74	312,41
$\eta_{пгу}, \%$	52,00	51,74	52,053	51,13	52,16	50,83

На основании расчетов и ввиду заметно большего преимущества в экономичности из 6-ти рассчитанных схем для практической реализации целесообразно применить “связанную” схему деаэратором Д-0,02 и сливом сепарата в деаэратор, так как:

1. «Связанная» схема (схема с поджатием воды после барабана НД) всегда имеет более высокий КПД, чем схема «несвязанная» (проектная). Это объясняется большей тепловой нагрузкой экономайзера НД. Выигрыш в КПД – 0,26 %.

2. На качестве питательной воды давление в деаэраторе не сказывается, поэтому надо исходить из максимального КПД. Применение деаэратор Д-0,02 МПа при прочих равных условиях дает прирост в КПД – 0,18 %.

3. Наилучшим решением является использование всех мероприятий: “связывание” контуров, применение вакуумного (или атмосферного) деаэратора и утилизация тепла сепарата.

Такую схему мы рекомендуем для всех ПГУ. На рис.1 представлена наиболее оптимальная тепловая схема блока 325 МВт.

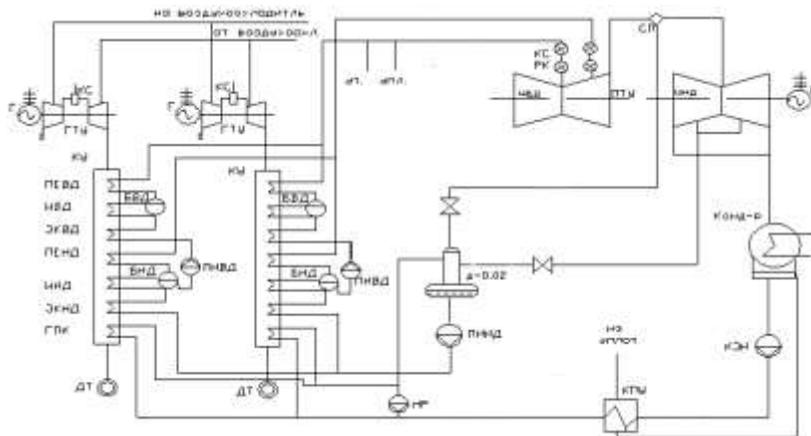


Рис.1 Тепловая схема ПГУ-325 (схема “связанная” с деаэратором Д-0,02 и сливом сепаратора в деаэратора):

ГТУ - газотурбинная установка; БВД – барабан высокого давления; БНД – барабан низкого давления; ППВД – пароперегреватель ВД, ЭЖВД – экономайзер ВД; ИВД – испаритель ВД; ППНД – пароперегреватель НД, ЭЖНД – экономайзер НД; ИНД – испаритель НД; ГПК – газовый подогреватель конденсата; ЦВД – цилиндр высокого давления; ЦНД – цилиндр низкого давления; Г – генератор; КЭН - конденсатный электронасос; КПУ – конденсатор пара уплотнений паровой турбины; СП – сепаратор; СК – стопорный клапан; РК – регулирующий клапан; ДТ – дымовая труба.

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

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЛОКА ПГУ-410 ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Для покрытия электрической и тепловой нагрузки ОАО «ЮГК ТГК-8» в настоящее время реализует проект расширения Краснодарской ТЭЦ парогазовым блоком мощностью 410 МВт. В состав основного оборудования блока входят:

1. Газовая турбина (ГТУ) промышленного типа модели M701F4 (изготовитель – Mitsubishi Heavy Industries, Ltd) мощностью 303,4 МВт

(при температуре наружного воздуха +15 °С и относительной нагрузки 100 %).

2. Котел-утилизатор (КУ) Еп-307/353/41,5-12,6/3,1/0,5-565/560/250 (изготовитель ОАО «ЭМАльянс»).

3. Паровая турбина типа Т-113/145-12,4 (изготовитель – ЗАО «Уральский турбинный завод»).

С помощью программного комплекса Boiler Designer разработана расчетная модель блока.

Моделирование ГТУ осуществлялось с помощью ее разгрузочных и климатических характеристик, полученных в ходе обработки численных данных компании Mitsubishi Heavy Industries, Ltd методами регрессионного анализа.

В работе проведен численный анализ и построены графические зависимости показателей основного оборудования ПГУ-410 на сниженных нагрузках при различных температурах наружного воздуха, а также отражено исследование изменения параметров теплоносителей и показателей КУ, паротурбинной установки и КПД ПГУ в зависимости от относительной нагрузки газовой турбины и температуры наружного воздуха.

Установлено, что КПД КУ возрастает на 2-2,8 % по сравнению с номинальным режимом при разгрузке блока (на нагрузке 60 % от номинальной) и увеличении температуры наружного воздуха.

КПД ПГУ от температуры наружного воздуха практически не зависит, а изменение мощности ПГУ при переменных режимах работы блока определяется, прежде всего, изменением мощности ГТУ.

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

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕЖИМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГТЭ-160 ПРИ ЧАСТИЧНЫХ НАГРУЗКАХ БЛОКА ПГУ-230

Проектирование газотурбинных установок (ГТУ), работающих в составе парогазовых установок (ПГУ) ТЭС, осуществляется в условиях ISO 2314:

- температура наружного воздуха +15 °С;
- барометрическое давление 101,3 кПа;
- относительная нагрузка 100 %;
- относительная влажность 60 %.

Значительный интерес представляет исследование характеристик ГТЭ-160 при переменных режимах работы блока ПГУ-230 (в условиях отличных от ISO 2314), в состав которого также входят:

- котел-утилизатор (КУ) Пр-224/57-7,15/0,53-508/207 (П-100);
- паровая турбина К-80-7,0.

Экономичность ПГУ существенно зависит от режима работы ГТУ, под которым подразумевается как степень нагрузки, так и уровни параметров рабочего тела по тракту ГТУ по сравнению с номинальным режимом.

Способ разгрузки ГТУ влияет на характеры зависимостей паропроизводительностей обоих контуров КУ. Установлено, что паропроизводительность контура высокого давления (ВД) КУ снижается согласно той же закономерности, что и КПД ПГУ, а паропроизводительность контура низкого давления (НД) достигает минимума при нагрузке ГТУ 50 % от номинальной, а при дальнейшей разгрузке ГТУ несколько возрастает. Это обусловлено повышением количества тепла, воспринимаемого контуром НД вследствие снижения тепловосприятости поверхностей нагрева ВД.

При уменьшении нагрузки ГТУ ниже 60 % начинает снижаться температура газов за ГТУ, а, следовательно, и по газовому тракту КУ. Понижение температур газов по газовому тракту обуславливает уменьшение температурных напоров, что наряду с низким расходом газов через КУ вызывает снижение тепловосприятости поверхностей нагрева. Сильнее это отражается на контуре ВД.

При нагрузках ГТУ ниже 50 % из-за уменьшения паропроизводительности контура ВД температура газов перед поверхностями нагрева НД начинает возрастать, о чем свидетельствует повышение температуры пара низкого давления и температуры уходящих газов на рассматриваемом интервале нагрузок ГТУ.

Возрастание температур газов по контуру НД наряду с незначительным снижением расхода газов через КУ обуславливает повышение паропроизводительности контура НД при разгрузке ГТУ от 50 до 30 % номинального уровня мощности.

Для снижения мощности ПГУ наиболее предпочтительным способом разгрузки ГТУ является уменьшение расхода воздуха через компрессор с поддержанием номинальной температуры газов перед газовой турбиной.

При разгрузке ПГУ-230 с работающей паровой турбиной даже до минимального уровня мощности (71,8 МВт) экономичность блока составляет 38,9 %, что превышает экономичность отдельно работающей в номинальном режиме газовой турбины – 34 %.

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

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ПГУ

Перспективным направлением технического перевооружения отечественных ТЭЦ является внедрение парогазовых установок (ПГУ). Следует отметить, что при реконструкции ТЭЦ большой интерес представляют газотурбинные надстройки паротурбинных энергоблоков, обладающие более низкими капитальными вложениями и позволяющие практически полностью сохранить компоновки главного корпуса и тепловую схему по сравнению с бинарными схемами.

Существуют различные варианты реализации газотурбинных надстроек:

- применение «сбросных ПГУ», в которых уходящие газы газотурбинных установок (ГТУ) направляются в топку парового котла;
- вытеснение регенерации паровой турбины и подогрев питательной воды и конденсата уходящими газами ГТУ;
- использование параллельной схемы ПГУ, в которой генерируемый в котле-утилизаторе пар необходимых параметров направляется в паровую турбину, частично вытесняя тем самым пар энергетического котла.

Теплофикационные ПГУ способны развивать большую, чем паротурбинные установки, электрическую мощность в расчете на единицу тепловой мощности. При преобразовании паротурбинной ТЭЦ в парогазовую при той же тепловой мощности в зависимости от типа замещаемой паровой турбины можно получить в $3\div 9$ раз большую электрическую мощность [1]. При этом выделяются три группы энергетических установок, имеющих близкую тепловую мощность, но разные значения электрической мощности:

1. $Q=360\ldots 480$ ГДж/ч: ПТ-25-90/10, Т-50/60-130, ПГУ-170Т;
2. $Q=720\ldots 850$ ГДж/ч: Т-105/120-130/10, ПТ-80/100-130/13, ПГУ-270Т;
3. $Q=1400\ldots 1480$ ГДж/ч: Р-40-130/13, Р-50-130/13, ПГУ-450Т.

КПД парогазовой теплофикационной установки зависит не только от характеристик собственно парогазовой установки, но и во многом от показателей, определяемых системой теплоснабжения, прежде всего видом суточного, недельного и годового графиков тепловой нагрузки. Вместе с тем можно указать диапазон значений КПД ПГУ-ТЭЦ по отпуску электроэнергии для указанных парогазовых установок: 66...68 %, что на 10...18 % выше КПД ПГУ-КЭС.

При определении энергетической эффективности технического перевооружения паротурбинных ТЭЦ с преобразованием их в парогазовые необходимо знать зависимости основных параметров и показателей исследуемых ПГУ-ТЭЦ от температуры наружного воздуха $t_{н.в}$ в течение года, а также графики электрической и тепловой нагрузки и другие факторы. Также для ПГУ необходимо знать характер параметров газотурбинной и паротурбинной частей.

Например, из анализа работы блока ПГУ-170Т при переменных режимах следует, что при низких $t_{н.в}$ значение температуры уходящих газов на выходе из газовой турбины также невелико, что приводит к уменьшению начальной температуры пара перед паровой турбиной. Так, при расчетном значении температуры наружного воздуха (+15 °С) начальная температура составляет 486 °С, а при температуре наружного воздуха, равной -40 °С, она равна 408 °С.

Мощность паровой турбины значительно уменьшается при снижении $t_{н.в}$. Это объясняется как большим отбором пара на подогрев сетевой воды, так и существенным снижением температуры пара перед турбиной. Так, если при $t_{н.в} = 15$ °С мощность паровой турбины составляет 45 МВт (конденсационный режим работы), то при температуре -40 °С она уменьшается до 20,7 МВт (теплофикационный режим).

Библиографический список

1. Хлебалин А.Ю. Термодинамическая эффективность паро- и газотурбинных установок // Промышленная энергетика. – 2007. – №3. – С.32-35.

А.А. Лазарев, студ. рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., доц.
**РАЗВИТИЕ КОТЕЛЬНОГО ЦЕХА ГОРТЕПЛОСЕТИ
г. ИВАНОВО (ТЭЦ-1)**

Устойчивый рост потребления электрической и тепловой энергии в условиях дефицита инвестиционных ресурсов на развитие электроэнергетики вынуждает особенно тщательно оценивать существующие производственные возможности предприятий отрасли, их способность надежно и эффективно обеспечивать растущий спрос на электроэнергию и тепло, и на этой основе определить реальные масштабы необходимой модернизации и развития электроэнергетики.

Структура топливного баланса тепловых электростанций России, в котором природный газ занимает более 60 %, создает благоприятные условия для перспективного направления развития энергетики га-

зотурбинными (ГТУ) и парогазовыми (ПГУ) энергетическими установками для тепловых электростанций. Применение ПГУ для современной энергетики – наиболее эффективное средство значительного повышения тепловой и общей экономичности электростанций на органическом топливе.

Современные ПГУ характеризуется низким уровнем вредных выбросов в атмосферу. Выработка значительной доли мощности газотурбинной установкой обеспечивает меньшие потребности ПГУ в охлаждающей воде и меньшее тепловое загрязнение окружающей среды по сравнению с паротурбинными блоками равной мощности. Именно эти, в первую очередь, и некоторые другие особенности ПГУ делают их столь популярными.

Прогнозируется, что рост энергетических мощностей в развитых странах, таких как США, Япония, Германия в ближайшее десятилетие будет достигаться в основном за счёт ввода новых ПГУ.

Применение парогазовых установок, таких, как ПГУ-325 или ПГУ-450, разработанных на базе реального оборудования, позволит уменьшить удельные расходы топлива на 25-30 % по сравнению с наиболее совершенными паровыми энергоблоками сверхкритического давления.

Ещё более эффективными ГТУ и ПГУ могут быть при комбинированном производстве с их помощью электроэнергии и тепла. Например, ПГУ-325 и ПГУ-450 на тепловом потреблении вырабатывают почти в два раза больше электроэнергии, чем лучшие паровые ТЭЦ. На ПГУ, при полной тепловой нагрузке, электроэнергия производится с КПД около 45 % - более высоким, чем на крупных конденсационных энергоблоках.

В последние годы много внимания уделяется применению в электроэнергетике газовых турбин небольшой и средней мощности от 1 до 25-30 МВт, которые созданы на моторостроительных предприятиях с использованием научных и технических достижений авиационного и судового газотурбостроения.

Для покрытия возрастающих тепловых нагрузок предлагается осуществить расширение котельного цеха гортеплосети г. Иваново (ТЭЦ-1) путем установки ПГУ мощностью 6 МВт.

Суть концепции расширения котельного цеха состоит в организации совместной выработки тепловой и электрической энергии с применением газотурбинных установок, с утилизацией тепла выхлопных газов в котлах-утилизаторах, а также осуществление реконструкции химводоочистки.

Для покрытия тепловых нагрузок потребителей и выработки электроэнергии на базе теплоснабжения предусматривается установка в главном корпусе трех паровых котлов Е-50-0,7, трех водогрейных котлов-утилизаторов КУВ-30 и двух газотурбинных установок ГТЭС-6000 производства ОАО «Авиадвигатель». Помимо этого, в работе остаются два существующих паровых котла ГМ-50-1.

В результате расширения гортеплосети в соответствии с проведенными расчётами выработка электроэнергии будет осуществляться в соответствии с суточным графиком выработки электроэнергии. Отпуск тепла в горячей воде составит порядка 70 МВт. Параметры отпускаемого пара будут следующими: давление – 0,7 МПа, температура – 250 °С.

Особенностью тепловой схемы расширения части котельного цеха гортеплосети является подпитка теплосети с помощью деаэраторов двойного назначения (ДДН), которые предназначены для осуществления деаэрации подпиточной воды теплосети и одновременного производства обессоленной воды высокого качества в количестве до 50 т/ч на каждые 1000 м³/ч подпиточной воды (рис. 1).

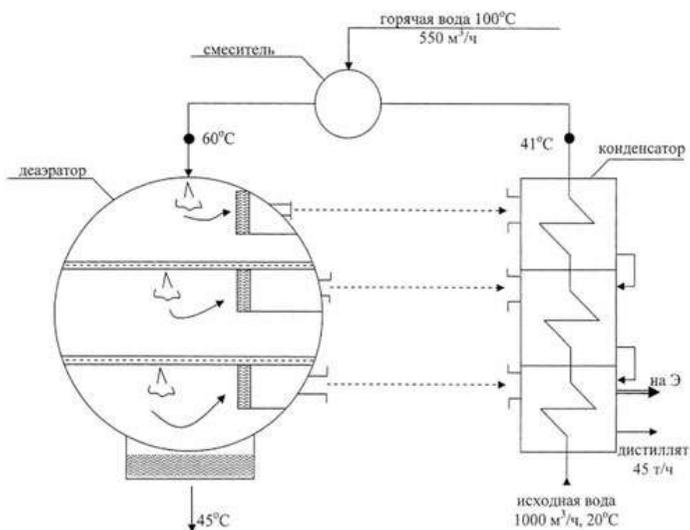


Рис.1. Принципиальная схема деаэратора двойного назначения с конденсатной колонкой на выходе паровоздушной смеси из деаэратора и смесителем на входе

*И.А. Борисов, студ.; рук. А.А. Коротков, асс.,
Г.В. Ледуховский, к.т.н., доц.*

ДВУХЦЕЛЕВАЯ ДЕАЭРАЦИОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОМСКОЙ ТЭЦ-5

Проблема дефицита производительности установок по подготовке добавочной воды цикла характерна для многих планируемых к расширению теплофикационных электростанций. Если присоединенная тепловая сеть является сетью с открытым водоразбором, указанную проблему можно решить при относительно малых дополнительных капитальных затратах, используя двухцелевые деаэрационные установки. Деаэрация подпиточной воды тепловой сети на таких электростанциях ведется, как правило, в вакуумных деаэраторах большой суммарной производительности. К примеру, расход подпиточной воды теплосети на Ивановской ТЭЦ-3 поддерживается на уровне 3000 т/ч, на Омской ТЭЦ-5 – около 2700 т/ч.

В докладе рассматривается технологическая схема и оборудование деаэрационной установки, создаваемой на базе вакуумных деаэраторов подпитки теплосети с надстройкой их малогабаритными центробежно-вихревыми деаэраторами (ДЦВ). Установка предназначена для Омской ТЭЦ-5. Реконструкция предполагает демонтаж внутренних элементов вакуумных деаэраторов, установку в освободившихся баках капельных деаэрационных устройств и надстройку установки ДЦВ. Трубопроводы выпара деаэраторного бака (капельных деаэрационных устройств) и ДЦВ объединяются, выпар с помощью пароструйного эжектора направляется в конденсатор выпара поверхностного типа. Установка работает следующим образом: подаваемая на деаэрацию вода подпитки теплосети полным расходом охлаждает конденсатор выпара и частичным расходом – холодильник эжектора (первая ступень нагрева), после чего нагревается до требуемой температуры в подогревателе второй ступени (паром низкого потенциала или прямой сетевой водой). Перегретая относительно температуры насыщения в деаэраторе вода поступает в ДЦВ, далее – через капельные деаэрационные устройства в деаэраторный бак, откуда поступает на всас насосов подпитки теплосети. Суммарный расход выпара установки подается в конденсатор выпара, работающий под вакуумом, создаваемым эжектором. Полученная деаэрационная установка обеспечивает деаэрацию подпиточной воды тепловой сети и получение при этом дистиллята в качестве добавочной воды паровых котлов электростанции.

Проектные показатели установки определены для одного деаэраци-

онного блока, создаваемого на базе вакуумного деаэратора ДСВ-800 и ДЦВ модели ДЦВ-670. Используются два капельных деаэрационных устройства типа КД-335, конденсатор выпара – типовой сальниковый подогреватель типа ПС-250-30-0,5, пароструйный эжектор типа ЭП-3-25/75 со встроенным холодильником. Суммарный максимальный удельный расход выпара деаэрационной установки (по условию отсутствия капельного уноса воды по линии выпара) составляет 20 кг на тонну деаэрированной воды. Минимальный удельный расход выпара (по условию обеспечения нормативного химического качества деаэрированной воды) – 10 кг на тонну деаэрированной воды. При варьировании удельного расхода выпара в указанном диапазоне концентрация растворенного в деаэрированной воде кислорода не превосходит 10 мг/дм^3 , а свободный диоксид углерода отсутствует. Степень термического разложения бикарбонатов при работе деаэратора на Натрационированной воде составляет не менее 50 %. При номинальной гидравлической нагрузке по подпиточной воде теплосети (670 т/ч) удастся получить до 13 т/ч добавочной воды паровых котлов. Температура деаэрированной воды составляет около 90 °С. Стоимость дистиллята для подпитки основного цикла электростанции, получаемого при работе установки, сопоставима со стоимостью дистиллята, производимого многоступенчатой испарительной установкой, и в несколько раз меньше стоимости обессоленной воды, получаемой, например, по методу ионного обмена.

А.Б. Ульянов, студ.; рук. Г.В. Ледуховский, к.т.н., доц.
**ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ
КОНДЕНСАТОРОВ ТУРБОАГРЕГАТОВ
КОЛЬСКОЙ АЭС**

Конденсационная установка паровой турбины в значительной мере определяет тепловую эффективность паротурбинной установки в целом. Необходимость контроля и анализа показателей работы конденсационной установки инженерным персоналом электростанции обуславливает актуальность разработки соответствующих программных инструментов, обеспечивающих автоматизированную обработку и хранение информации, ее анализ по заданным алгоритмам и представление

результатов этого анализа в удобном для пользователя виде.

В докладе приведено описание разработанного автором программного комплекса, предназначенного для организации эксплуатационного контроля конденсаторов турбин Кольской АЭС. Комплекс содержит математическую модель, обеспечивающую выполнение поверочного теплового расчета конденсатора с использованием методик Всероссийского теплотехнического института и Уральского государственного технического университета. Модель «настраивается» по результатам серии экспресс-испытаний действующей конденсационной установки путем автоматизированного подбора функциональных зависимостей поправочных коэффициентов для коэффициента теплопередачи на основе статистической обработки результатов испытаний.

Существует возможность расчета и построения энергетических характеристик конденсатора (зависимостей давления пара в конденсаторе и его температурного напора от расхода пара в конденсатор, расхода охлаждающей воды и ее температуры на входе в конденсатор), актуальных при данном техническом состоянии конденсационной установки, их статистическое сопоставление с нормативной энергетической характеристикой, расчет актуальных значений недовыработки электрической мощности турбины при ухудшении технического состояния конденсатора. Предусмотрен расчет характеристики экономического вакуума с использованием действительных режимных характеристик конденсаторов, обеспечивающей поддержание максимального отпуска электроэнергии в сеть с учетом загрузки циркуляционных насосов.

Комплекс является также системой управления базой данных, содержащей оперативные схемы, чертежи оборудования конденсационной установки, ретроспективные сведения о возникавших дефектах, выполненных ремонтах, акты технического состояния и другие документы.

Разработанный программный комплекс может быть полезен при проведении тепловых испытаний конденсаторов, построении его реальных энергетических характеристик, контроле технического состояния конденсатора и организации его эксплуатации.

И.Н. Забродина, студ.; рук. Г.В. Ледуховский, к.т.н., доц
**РЕКОНСТРУКЦИЯ ДЕАЭРАЦИОННОЙ
УСТАНОВКИ ПОДПИТКИ ТЕПЛОСЕТИ
ТЭЦ-2 ОАО «СЕВЕРСТАЛЬ»**

Деаэрационная установка подпитки теплосети ТЭЦ-2 ОАО «Северсталь» включает два атмосферных деаэрата ДСА-200. В результате анализа технического состояния и условий работы этих деаэраторов выявлено следующее. Ведение водно-химического режима теплосети обеспечивается дозированием в подпиточную воду ингибиторов отложений. В деаэраторы подается сырая вода, не прошедшая какой-либо предварительной химической очистки. По этой причине наблюдается занос струеобразующих тарелок деаэраторов отложениями солей жесткости, сопровождающийся нарушением гидродинамических условий работы аппаратов. Деаэраторы не оборудованы барботажными устройствами, что является причиной ухудшения качества подпиточной воды теплосети по содержанию свободной углекислоты. Трубопроводы выпара деаэраторов смонтированы с нарушением технических условий, в результате чего наблюдается переполнение струеобразующих тарелок с выносом воды по линии выпара. Указанные факторы в совокупности не позволяют добиться нормативного химического качества подпиточной воды теплосети по содержанию растворенного кислорода и углекислоты.

Для нормализации качества подпиточной воды теплосети в условиях ТЭЦ-2 ОАО «Северсталь» предложена реконструкция деаэрационной установки. Реконструкция предусматривает замену имеющихся деаэрационных колонок КДА-200 на современные колонки КДА-300м, оборудование деаэрационных баков затопленным барботажным устройством в виде горизонтального перфорированного коллектора. Предусмотрена установка индивидуальных охладителей выпара деаэраторов взамен одного имеющегося, а также монтаж двух предохранительно-сливных устройств. Для исключения заноса струеобразующих тарелок отложениями солей жесткости предложен перенос точки ввода ингибитора отложений со всаса насосов подпитки теплосети на всас насосов исходной воды деаэраторов подпитки теплосети.

В рамках работы выполнен поверочный тепло-химический расчет деаэрационной колонки до и после реконструкции деаэратора, проведен анализ результатов теплехимических испытаний деаэратора ДА-300м в условиях теплосилового цеха ОАО «Северсталь», определены условия эффективной деаэрации. Даны рекомендации по усилению узла ввода опускных труб деаэрационной колонки КДА-300м в деаэрационный бак, необходимому при организации в этом баке парового барботажа.

*А.А. Иванов, А.А. Пискарев, студ.; А.А. Веренин,
Н.С. Асташов, асп.; рук. д.т.н., проф. С.И.Шувалов*

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПЫЛЕСИСТЕМ ЧЕРЕПЕТСКОЙ ГРЭС

Одним из возможных путей повышения производительности пылесистемы является увеличение эффективности выделения пригодных для сжигания частиц из мельничного продукта в готовую пыль. В настоящее время на многих электростанциях России, сжигающих уголь, используются высокоэффективные сепараторы пыли конструкции ИГЭУ, переделанные из серийно выпускаемых и менее эффективных сепараторов конструкции ТКЗ-ВТИ. В частности, подобная реконструкция сепараторов была проведена на Черепетской ГРЭС. В результате реконструкции производительность пылесистем была увеличена на 15...20 %. Вместе с тем существует дополнительная возможность в совершенствовании процесса классификации.

На Черепетской ГРЭС для размола угля используются шаровые барабанные мельницы, у которых сепараторы пыли устанавливаются на 20...30 м выше самих мельниц. Вследствие неидеальности разделения в возврате из сепаратора содержится достаточно большое количество мелких частиц, которые могут быть поданы в топку котла без повторного измельчения, разгрузив тем самым мельницу и позволив увеличить ее производительность.

В 60х – 70х годах прошлого века было выполнено достаточно большое количество работ по повышению производительности пылесистем с шаровыми барабанными мельницами путем организации провеивания возврата основного сепаратора и подачи выделенного материала в готовую пыль. Однако эта схема не нашла применения вследствие того, что для реализации ее необходимо дополнительно установить сепаратор, циклон и вентилятор, типоразмеры которых близки к основным агрегатам, а прирост производительности не превышает 5...8 %.

Боле эффективной является схема, в которой выделенный из возврата основного сепаратора мелкий продукт направляется на вход основного сепаратора. В этом случае дисперсный состав мелкого продукта сепаратора провеивания должен быть близок к составу мельничного продукта перед основным сепаратором, что позволяет организовать разделение в сепараторе провеивания по границе 100...150 мкм. Расчеты показывают, что применение этой схемы увеличит производительность пылесистемы на 14...17 % при сохранении тонкости готовой пы-

ли. Для провеивания возврата основного сепаратора можно использовать гравитационные сепараторы с пересыпными полками, которые обладают высокой эффективностью разделения, просты в изготовлении и легко встраиваются в существующие пылесистемы. Для реализации такой не требуется установки дополнительных циклонов и вентиляторов, однако необходимо иметь запас в 20...30 % производительности мельничного вентилятора.

Другим вариантом провеивания возврата является организация зоны провеивания непосредственно внутри основного сепаратора конструкции ИГЭУ. Непосредственно над лопаточным аппаратом устанавливается кольцо с пересыпными полками, представляющее собой аналог гравитационного сепаратора. Оседающие на вертикальной стенке зоны разделения частицы попадают в это кольцо, где происходит повторная классификация их по размерам. Мелкий продукт разделения потоком воздуха выносится в зону разделения основного сепаратора, крупный продукт через кольцо и лопаточный аппарат поступает в нижний конус сепаратора и через течку возврата на вход мельницы.

Этот вариант провеивания является менее эффективным, т.к. повторной классификации подвергаются только те частицы, которые попадают на вертикальную стенку. Частицы, которые осаждаются во внутреннем конусе сепаратора, возвращаются в мельницу без повторной классификации. Кроме того, в этой конструкции граничный размер разделения зависит от расхода воздуха через кольцо, определяемого геометрическими параметрами кольца и положением лопаток основного сепаратора. Такой способ провеивания требует более точного выбора конструктивных параметров кольца и не предусматривает оперативного управления граничным размером разделения при провеивании.

Для котла №11 Черепетской ГРЭС были разработаны обе конструкции сепараторов провеивания возврата. Так как пылесистема 11Б позволяла установить сепаратор с внешним провеиванием, то для нее был разработан вариант гравитационного сепаратора из двух колонн общей шириной 4,25 м, длиной 5,5 м и высотой 5,6 м. Для работы сепаратора предусматривается подача воздуха в количестве до 20000 м³/ч от мельничного вентилятора. Для настройки сепаратора на требуемую границу разделения предусмотрены шиберы. Общий вес металлоконструкций сепаратора провеивания равен 15 т.

На пылесистеме 11А недостаточно свободного места для установки подобного аппарата, поэтому там предусмотрена реконструкция основного сепаратора с установкой кольца провеивания шириной 87 мм. Для облегчения монтажа кольцо выполняется в виде 16 секций, каждая из которых весит около 30 кг. Общий вес сепаратора несколько меньше 500 кг.

По разработанным чертежам изготовлены и установлены сепараторы провеивания. Так как в настоящее время котел № 11 находится в резерве, проведение пуско-наладочных работ планируется на апрель-май 2010 г. после вывода в ремонт котла № 9.

А.В. Дроздов, студ.; рук. Г.Г. Михеев, к.т.н., доц.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПЫЛЕСИСТЕМЫ КОТЛА ТП-87

В энергетике России широкое распространение получили замкнутые пылесистемы с промежуточными бункерами.

Существующие системы транспорта пыли являются дорогостоящими, они требуют сооружения громоздких и металлоемких пыле-воздухопроводов, а в ряде случаев и установки специальных вентиляторов горячего дутья.

При существующих системах подачи пыли ограничивается перспектива дальнейшего совершенствования горелочных устройств и топочного процесса (особенно при переменных нагрузках), так как при изменении паропроизводительности котла исключается возможность изменения расхода первичного воздуха из-за недопустимости уменьшения скорости аэросмеси в пылепроводах ниже определенного предела. Традиционная концентрация пыли в пылепроводах находится в пределах $0,5 \div 1,0$ кг/кг.

В последнее время на ряде электростанций России, работающих на каменном и буром угле, получила широкое распространение схема подачи пыли высокой концентрации.

В новом способе пыль с концентрацией $30 \div 50$ кг/кг транспортируется не первичным воздухом, а независимо от него, автономным воздухом. За счет высокой концентрации пыли в пылепроводе стало возможным уменьшить скорость транспорта пыли до $6 \div 12$ м/с вместо $25 \div 30$ м/с и уменьшить диаметр пылепроводов до $60 \div 80$ мм вместо $300 \div 500$ мм, а расход транспортирующего воздуха составляет $0,1 \div 0,3$ % от общего расхода на горение. Смешение же пыли с первичным воздухом производится в самом горелочном устройстве.

Тракт первичного воздуха может быть выполнен без ВГД и становится по длине и сопротивлению примерно равным тракту вторичного воздуха. Весь воздуха подводится общими коробами, а разделение его на первичный и вторичный производится перед или непосредственно в горелке.

С уменьшением скорости транспорта пыли с 30 до 6 м/с (в 6 раз) и

увеличением концентрации от 0,5 до 50 кг/кг (в 100 раз) снижается интенсивность абразивного износа пылепроводов в два раза.

Для транспортирующего воздуха, подающего пыль по традиционной технологии, расход составляет 25-30 %, а при ПВК – ниже 0,5 %, что ведет к уменьшению расхода электроэнергии на транспорт пыли в 8÷15 раз.

С.Д. Горшенин, асп.; рук. Ю.В. Салов, к.т.н., проф.
**АНАЛИЗ РАБОТЫ СЛОЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ВНЕШНИХ ГАЗОХОДОВ ТЭС**

Внешние газоходы – это участок газоотводящего тракта, начинающийся от дымососов и заканчивающийся вводом в дымовую трубу. Они занимают большую площадь на промышленной площадке, сравнимую с площадью главного корпуса. На преодоление их сопротивления тратится до 25 % мощности дымососов.

На отечественных блоках мощностью до 200 МВт для эвакуации уходящих газов применяются радиальные дымососы, свыше 200 МВт – осевые.

Обследования внешних газоходов блоков мощностью до 200 МВт показали, что наиболее сложным их элементом является диффузор-поворот после радиальных дымососов. Помимо большого сопротивления, при сжигании твердого топлива эти участки наиболее опасны в отношении образования золовых отложений, вызывающих перерасход электроэнергии на тягу и дополнительные нагрузки на конструкции. Это связано с отрывом пограничного слоя, образованием вихревых зон и вторичных течений, которые зависят от угла и степени расширения диффузора, числа Рейнольдса и состояния потока на входе [1].

Для внешних газоходов блоков мощностью свыше 200 МВт при наземном способе прокладки наиболее сложным элементом является диффузор-переход после дымососа, а при надземном способе еще и диффузор-поворот. В отличие от диффузор-поворота за радиальным дымососом, он выполняется с параллельными боковыми стенками.

Диффузор-переход служит для перехода с круглого выходного сечения дымососа к сечению газохода, которое может иметь форму круга, прямоугольника, квадрата или многогранника. Несмотря на многообразие геометрических форм сопряжения, имеется общая особенность – резкое расширение его сечения. Это приводит к отрыву потока, увеличению расхода электроэнергии на привод дымососа и золовым от-

ложениям при сжигании твердого топлива. Исследования показали, что на этот участок приходится до 10% от суммарных аэродинамических потерь внешних газоходов [2].

Таким образом, изыскание рациональной формы этих участков является важной задачей.

Библиографический список

1. **Исследование** работы внешних газоходов ТЭС /Ю.В. Салов //Автореф. диссерт. на соискание ученой степени канд техн наук- М.:МЭИ,-1967.
2. **Повышение** экономичности тракта внешних газоходов ТЭС путем установки обтекателя за осевым дымососом /Ю.В. Салов, В.В. Варнашов, С.Д. Горшенин // Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XV Бенардосовские чтения). Том 1, 2009 г.

С.Д. Горшенин, асп.; рук. Ю.В. Салов, к.т.н., проф.
**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ
ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНЫХ УЧАСТКОВ
ГАЗОХОДОВ ТЭС**

Обследования показали, что наиболее сложными элементами внешних газоходов блоков мощностью до 200 МВт является диффузор-поворот после радиальных дымососов, для блоков мощностью свыше 200 МВт – диффузор переходы и диффузор-повороты за ними.

Для сокращения зоны отрыва пограничного слоя и сопротивления данные участки должны иметь эффективную форму [1].

Задача отыскания рациональной формы данных участков может быть решена методом конформных отображений с использованием интеграла Кристоффеля-Шварца (1), который дает выражение для функций, осуществляющих отображение верхней полуплоскости λ на заданный многоугольник в плоскости z . При этом отображении точки a_1, a_2, \dots, a_n действительной оси попадут в точки A_1, A_2, \dots, A_n заданного многоугольника (рис.1). [2]

$$I(w) = c \int (w - a_1)^{\alpha_1 - 1} (w - a_2)^{\alpha_2 - 1} \dots dw + c_1, \quad (1)$$

где, $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – углы рассматриваемого многоугольника.

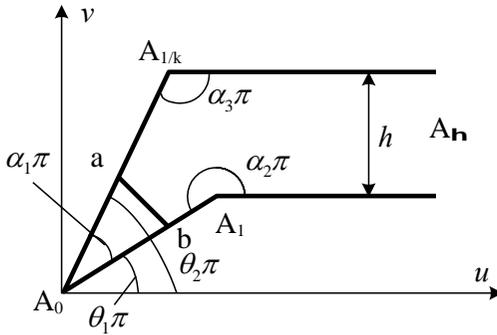


Рис. 1. Конформное отображение диффузор-поворота на верхнюю полуплоскость

Суть данного метода заключается в отыскании конформного отображения простейшего канала с параллельными стенками, в котором движение потока известно, на канал интересующей нас формы, который с точки зрения конформных отображений можно рассматривать как многоугольник. Тогда сможем определить линии тока и скорости в любой его точке [3].

Применим данный метод для отыскания рациональной формы диффузор-поворота за переходным участком осевого дымососа. Этот канал можно представить в виде четырехугольника с вершинами $A_{1/k}$, A_0 , A_1 , A_∞ , являющихся образами точек ветвления $a = 1/k, 0, I, \infty$.

Применив интеграл Кристоффеля-Шварца, и, сделав необходимые преобразования, получим:

$$I(w) = c(-1)^{\alpha_2-1} (k)^{1-\alpha_3} \int_0^w w^{\alpha_1} (1-w)^{\alpha_2-1} (1+kw)^{\alpha_3-1} dw, \quad (2)$$

Для нахождения двух неизвестных параметров c и $1/k$ обозначим длину стороны A_0A_1 через l_1 , длину стороны $A_0A_{1/k}$ через l_2 , а углы, образующие этими сторонами с действительной осью, через $\theta_1\pi$ и $\theta_2\pi$ соответственно. Тогда после подстановки в (2) и преобразований получим:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{\int_0^1 w^{\alpha_1-1} (1-w)^{\alpha_2-1} (1+kw)^{\alpha_3-1} dw}{\int_0^{1/k} w^{\alpha_1} (1-w)^{\alpha_2-1} (1+kw)^{\alpha_3-1} dw}. \quad (3)$$

После определения параметров c и k и разложения подынтегральных функций в уравнении (2) в биномиальные ряды

- для области $|w| \leq 1$, обозначив $w = re^{i\varphi}$, получим:

$$I(r, \varphi) = c(-1)^{\alpha_2-1} (k)^{1-\alpha_3} \sum_{m=0}^{\infty} \gamma_m e^{i(m+\alpha_1)\varphi} \frac{r^{m+\alpha_1}}{m+\alpha_1}, \quad (4)$$

- для области $|w| > 1$, обозначив $w = 1/W$, $W = Re^{-i\varphi}$ получим:

$$I(R, \varphi) = c(-1)^{2\alpha_2-1} (k)^{1-\alpha_3} \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} c_m e^{-i(m-\alpha_1-\alpha_2+1)\varphi} \frac{R^{m-\alpha_1-\alpha_2+1}}{m-\alpha_1-\alpha_2+1} \right\}_1^R + \\ + \sum_{m=1}^{\infty} c_{-m} e^{i(m-\alpha_1-\alpha_2+1)\varphi} \frac{R^{-m-\alpha_1-\alpha_2+1}}{-m-\alpha_1-\alpha_2+1} \Big|_1^R \left\} + c(-1)^{2\alpha_2-1} \sum_{m=1}^{\infty} \gamma'_m e^{-im\varphi} \frac{R^m}{m} \Big|_k^R, \quad (4)$$

Формулы (3), (4) дают численное решение задачи определения линий тока в диффузор-повороте за переходным участком осевого дымо-соча.

Библиографический список

1. **Исследование** работы внешних газоходов ТЭС /Ю.В. Салов //Автореф. диссерт. на соискание ученой степени канд техн наук- М.:МЭИ,-1967.
2. **Б.А. Фукс, Б.Ф. Шабат.** Функции комплексного переменного и некоторые их приложения: - Наука, 1964 г.
3. **Л.А. Рихтер.** Газовоздушные тракты тепловых электростанций. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984 г.

И.Е. Голубев, студ.; рук. Ю.Н. Муромкин, к.т.н., доц.
**РАЗРАБОТКА АУК ПО ИЗУЧЕНИЮ
 ГАЗОВОЗДУШНОГО ТРАКТА КОТЕЛЬНОЙ
 УСТАНОВКИ**

Следуя последним тенденциям в сфере образования, кафедра ТЭС ИГЭУ активно способствует внедрению современных компьютерных технологий в обучающий процесс. Наиболее перспективным направлением считаются автоматизированные обучающие системы (АОС). Частью такой АОС «структура оборудования и технологических схем котельной установки неблочной ТЭС» является данный курс.

В данном автоматизированном учебном курсе (АУК) приводятся общие положения и требования безопасности, изложенные в НТД [1,2,3], относящиеся к оборудованию, схеме газовоздушного тракта и

условиям ее эксплуатации. Подробно разбираются два варианта схем газоздушного тракта, а именно:

- для пылеугольного котла с рекуперативным, трубчатый воздухоподогревателем (ТВП);
- для газомазутного котла с регенеративным воздухоподогревателем (РВП).

Приводится схема установки контрольно-измерительных приборов (КИП), а также дается перечень сигнализаций, систем автоматического регулирования (САР), алгоритмы срабатывания защит и блокировок, необходимых при эксплуатации данных вариантов схемы газоздушного тракта.

По окончании изучения материала курса обучающимся предлагается пройти проверку усвоения полученных знаний путем электронного тестирования, которое даст объективную оценку с подробными комментариями.

Автоматизирование процесса образования позволяет увеличить эффективность работы преподавателя, сделать процесс обучения наглядным и доступным в любом месте, где есть компьютер.

Автоматизированный учебный курс (АУК) выполнен в операционной системе Windows, иллюстрационная часть создана с помощью редактора векторной графики *CorelDraw X3*, элементы анимации разработаны с использованием программных продуктов *Ulead GIF Animator 5* и *Flash Macromedia*. Автоматизированный обучающий курс выполнен в редакторе *Macromedia Dreamweaver 8*.

Разработанный АУК рассчитан на студентов теплоэнергетических специальностей, также может быть использован при подготовке работников энергетических предприятий, повышения их квалификации.

Библиографический список

1. **Правила** технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: СО 153-34.501-2003: утв. Минэнерго РФ 20.06.2003 – М.: СПО ОРГРЭС, 2003.– 148 с.
2. **Правила** устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов: ПБ 10-574-03: утв. постановлением Госгортехнадзора РФ от 11.06.2003 г. № 88: Зарегистрировано в Минюсте РФ 18.06. 2003 г. № 4703 – М.: изд. НЦ ЭНАС, 2003. – 95 с.
3. **Правила** устройства и безопасной эксплуатации паровых котлов с давлением пара не более 0,07 МПа (0,7 кгс/см²), водогрейных котлов и водоподогревателей с температурой нагрева воды не выше 338 К (115°С): разработ. объединением "Роскоммунэнерго": согласованы с Госгортехнадзором России от 03.06.92 № 03-35/89 – М.: СПО ОРГРЭС, 1992. – 34 с.

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

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ПО ИЗУЧЕНИЮ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМОВ КОТЛОВ-УТИЛИЗАТОРОВ ПГУ

Учитывая повышенные требования высшей школы к подготовке эксплуатационного персонала, на кафедре ТЭС ИГЭУ разработан программный продукт, предназначенный для подробного изучения особенностей переменных режимов работы котлов-утилизаторов парогазовых установок ТЭС. Он представляет собой автоматизированную обучающую систему для занятий со студентами энергетических специальностей, работниками ТЭС. Компьютерный учебник «Котлы-утилизаторы ПГУ электростанций» содержит ряд автоматизированных учебных курсов (АУК).

Для ПГУ-325 с котлами марки «П-88» изучается изменение выходных параметров агрегатов в зависимости от входных факторов. На основании расчетных исследований применительно к различным режимам энергоустановок (моноблочный или дубль-блочный) в виде статических характеристик получены ряд количественных зависимостей изменения рабочих параметров агрегатов от электрической мощности ГТУ, температуры наружного воздуха и степени открытия входного направляющего аппарата осевого компрессора газовой турбины.

Представленный АУК включает следующие разделы:

- общие особенности статических характеристик ПГУ;
- расчетные характеристики ГТУ при переменных режимах ПГУ;
- изменение условий работы котла-утилизатора в составе ПГУ ТЭС;
- показатели работы ПГУ ТЭС в зависимости от степени открытия входного направляющего аппарата ГТУ.

Изучение материала АУК заканчивается проверкой полученных знаний подключением трех блоков контрольных вопросов с последующей демонстрацией результатов ответов. Наглядность обеспечивается параллельной иллюстрацией изложенного материала схемами, графиками и применением элементов анимации.

Программный продукт подготовлен в операционной системе Win-

dows с использованием графического редактора *Corel Draw*, *Adobe Photoshop*, анимация разработана в среде *Flash Macromedia*, *Adobe Image Ready*. Собран в автоматизированный учебный курс в конструкторе *Macromedia Dreamweaver*.

Разработанный программный продукт рассчитан на студентов теплоэнергетических специальностей и может быть использован при подготовке и переподготовке работников энергопредприятий.

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

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРИНЦИПОВ УПРАВЛЕНИЯ КОТЛОМ-УТИЛИЗАТОРОМ ТЭС

Компьютерные технологии должны органично встраиваться в учебный процесс, не вытесняя традиционных форм обучения (лекции, семинары, работа с литературой и т.д.), а дополняя и расширяя их возможности. Кроме того, при активном внедрении компьютерных средств деятельности преподавателя должна быть направлена на организацию интенсивного усвоения обучающимися содержания учебной дисциплины. При этом изучаемый материал должен выглядеть в доступной и эффективной для усвоения форме.

Настоящий автоматизированный учебный курс (АУК) входит в состав компьютерного учебника «Котлы-утилизаторы парогазовых установок ТЭС». Он посвящен изучению общих принципов управления технологическими процессами котлов-утилизаторов (КУ).

Обозначены требования к эксплуатации КУ в нормальных условиях, т.е. формулируются задачи автоматизации энергооборудования. Разбираются основные параметры ПГУ, подлежащие контролю и регулированию. Рассматриваются условия срабатывания технологических защит в случае снижения тепловой нагрузки КУ, так и в случае аварийного останова ГТУ. Изучаются принципиальные схемы и функционирование основных регуляторов, поддерживающих требуемые значения рабочих параметров энергоустановки. Рассматриваются общие положения по организации эксплуатации ПГУ. Приводятся требования к техническому обслуживанию КУ.

Компьютерный учебник рассчитан для работы в операционной системе *Windows* и предъявляет минимальные требования к персональному компьютеру. Материал учебника сопровождается большим количеством анимации, выполненной с помощью пакетов *Flash Macromedia*, *Adobe ImageReady* и *CorelDraw*, что делает иллюстрации интересными, динамичными и повышает интерес пользователя к изучению курса.

Использование АОС повышает не только усвоение изучаемого материала, но и дает возможность самостоятельной подготовки, сокращает сроки обучения. В ходе изучения материала предоставлена возможность выхода из любого раздела курса в общее меню компьютерного пособия.

Изучение разделов заканчивается проверкой знаний материала, подключением соответствующего блока контрольных вопросов.

С.А. Поплавский, студ.; рук. Ю.Н. Муромкин, к.т.н., доц.

РАЗРАБОТКА АУК ПО ИЗУЧЕНИЮ СХЕМЫ ЗАПОЛНЕНИЯ И ПИТАНИЯ КОТЛА ВОДОЙ

В современном мире уже сложно представить процесс обучения без применения компьютерных технологий. На кафедре ТЭС ИГЭУ этим технологиям уделяется большое внимание. В данный момент разрабатывается автоматизированная обучающая система для детального изучения структуры оборудования и технологических схем котельной установки неблочной ТЭС.

Котельная установка является одним из главных звеньев ТЭС, включает непосредственно котельный агрегат, а также технологические схемы, обеспечивающие эксплуатацию установки во всех режимах работы. К основным технологическим схемам котельной установки относятся схемы питания и заполнения котла и схемы мазутопроводов в пределах котла. В этих разделах детально рассмотрены все аспекты правильной и экономичной работы котельного агрегата и элементов обвязки.

Надежность и экономичность работы оборудования ТЭС зависит как от совершенства используемых технических средств, так и от культуры их эксплуатации.

Культура эксплуатации определяется, в основном, уровнем подготовки и готовности эксплуатационного персонала к выполнению профессиональных функций. Эти качества могут быть достигнуты, в значительной степени, за счет формирования у эксплуатационного персонала эксплуатационно-значимой информации.

В разряд эксплуатационно-значимой информации для эксплуатационного персонала ТЭС следует отнести сведения о структуре и принципах формирования технологических схем, обеспечивающих надежную, бесперебойную и экономичную работу основного и вспомогательного оборудования ТЭС.

В представленной автоматизированной обучающей системе (АОС) подробно рассматриваются структура и принципы формирования технологических схем, входящих в энергетическую котельную установку. При этом, учитываются соответствующие требования НТД [1,2,3].

Входящие в состав АОС разделы могут изучаться в любой последовательности, т.к. каждый раздел представляет собой законченный программный продукт, включающий контроль знаний основных положений раздела.

Программный продукт подготовлен в операционной системе *Windows* с использованием графического редактора *CorelDraw*, анимация разработана в среде *Flash Macromedia, Adobe ImageReady*. Автоматизированный учебный курс собран в конструкторе *Macromedia Dreamweaver*.

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

Библиографический список

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

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

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ПО ИЗУЧЕНИЮ РАБОТЫ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА П-96 В СОСТАВЕ ПГУ-450Т

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

Настоящая работа входит в состав разрабатываемого на кафедре ТЭС компьютерного учебника «Котлы-утилизаторы парогазовых установок ТЭС». Она предназначена для самостоятельного изучения особенностей работы котла-утилизатора (КУ) марки «П-96» с горизонтальной компоновкой поверхностей нагрева при работе с паровой турбиной Т-150-7,7 в составе ПГУ-450Т.

Приводятся общая характеристика основного оборудования энергоблока и конструктивные данные КУ. Изучаются технологическая схема энергоустановки и рабочие тракты КУ с приведением и подробным описанием фрагментов контуров высокого, низкого давлений и газового подогревателя конденсата. Рассматриваются расчетные характеристики КУ и изменение показателей работы в зависимости от температуры наружного воздуха. Рассмотрены особенности работы отдельных элементов КУ и их взаимосвязи с другими трактами установки.

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

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

Отличающийся последовательностью, методически проработанный сценарий АУК отвечает требованиям системы интенсивного образования, повышает эффективность и скорость индивидуального обучения студентов теплоэнергетических специальностей и работников энерго-

предприятий на курсах подготовки и переподготовки в учебных центрах энергосистем.

*Н.А. Тютин, студ.; рук-ли: Б.Л. Шельгин, к.т.н., проф.;
А.В. Мошкарин, д.т.н., проф.*

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ПО ИЗУЧЕНИЮ РАБОТЫ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА П-108 В СОСТАВЕ ПГУ-130

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

На кафедре ТЭС разрабатывается компьютерное пособие «Котлы-утилизаторы парогазовых установок ТЭС» Одним из его разделов является АУК, посвященный изучению особенностей работы котла-утилизатора (КУ) марки «П-108» с вертикальной компоновкой поверхностей нагрева при работе с паровой турбиной SST PAC-400 в составе ПГУ-130. АУК предназначен для самостоятельного изучения энергетического оборудования.

Приводятся общая характеристика основного оборудования энергоблока и конструктивные данные КУ. Изучаются технологическая схема энергоустановки и рабочие тракты КУ с приведением и подробным описанием фрагментов контуров высокого, низкого давлений и газового подогревателя конденсата. Рассматриваются расчетные характеристики КУ и изменение показателей работы в зависимости от температуры наружного воздуха. Рассмотрены особенности работы отдельных элементов КУ и их взаимосвязи с другими трактами установки.

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

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

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

Е.А. Смирнов, студ.;рук. Ю.Н. Муромкин, к.т.н., доц.
**РАЗРАБОТКА АУК ПО ИЗУЧЕНИЮ СТРУКТУРЫ
И ПРИНЦИПОВ ФОРМИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ
ПАРОПРОВОДОВ ОСТРОГО ПАРА**

На сегодняшний день, компьютерные программы являются неотъемлемой составляющей современного обучения. На кафедре ТЭС ИГ-ЭУ разрабатывается автоматизированная обучающая система (АОС), в которой подробно рассматриваются структура и принцип формирования технологических схем. Схема паропроводов острого пара является одной из главных звеньев ТЭС.

Рассматривая обучение как деятельность, необходимо, в первую очередь, определить его цели.

Цели и содержание обучения взаимосвязаны, и об их совокупности следует говорить как о подсистеме педагогической системы. Эта подсистема является ядром условий дидактической задачи, т.к. подобно условиям любой задачи отвечает на вопрос о том, что требуется получить в ходе её решения.

При требуемом качестве образования любой метод обучения реализуется через множество приёмов, к наиболее прогрессивным из которых относится использование компьютерных разработок в виде автоматизированных учебных курсов (АУК). В этом случае освоение материала является желательным и неустойчивым.

Компьютерные технологии должны органично встраиваться в учебный процесс, не вытесняя традиционных форм обучения (лекции, семинары, работа с литературой и т.д.), а дополняя и расширяя их возможности. Кроме того, при активном внедрении компьютерных средств, деятельность преподавателя должна быть направлена на организацию интенсивного усвоения обучающимися содержания учебной дисциплины.

После обучения контроль знаний должен производиться индивидуально и достаточно часто. Преподавателю часто физически трудно организовать тщательный индивидуальный контроль знаний целой группы студентов. Вот почему автоматизация именно этой функции является одной из главных задач при внедрении компьютерных обучающих технологий.

Кроме того, система компьютерного обучения и контроля знаний должна регистрировать ошибки студентов, их неправильные ответы на контрольные вопросы по конкретным темам для получения полной информации об успеваемости группы. В этой связи использование компьютерных средств позволяет существенно снизить трудозатраты преподавателей и студентов, уровень психологической нагрузки и повысить объективность оценки знаний обучающихся.

В АУК по изучению паропроводов острого пар приводятся общие положения и требования безопасности, изложенные в НТД [1,2,3], относящиеся к оборудованию, схеме паропроводов острого пара и условиям ее эксплуатации. Подробно разбираются два варианта схем паропроводов острого пара, а именно: централизованная и секционная. При изучении рассматриваются:

- назначение основных элементов схемы;
- элементы, обеспечивающие ее включение и отключение, и алгоритмы данных операций;
- схемы утилизации или сброса греющего пара;
- система КИП и предохранительных устройств.

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

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

Библиографический список

1. **Правила** технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: СО 153-34.501-2003: утв. Минэнерго РФ 20.06.2003 – М.: СПО ОРГРЭС, 2003. – 148 с.
2. **Правила** устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением: ПБ 03-576-03: утв. постановлением Госгортехнадзора РФ от 11 июня 2003 г. № 91: Зарегистрировано в Минюсте РФ 19.06. 2003 г. № 4776 – М.: изд. НЦ ЭНАС, 2003. – 83 с.
3. **Правила** устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды: ПБ 10-573-03: утв. постановлением Госгортехнадзора РФ от 11.06.2003 г. № 90: Зарегистрировано в Минюсте РФ 16.06. 2003 г. № 4719 – М.: изд. НЦ ЭНАС, 2003. – 53 с.

*Д.В. Седов, студ.; рук-ли: Б.Л. Шельгин, к.т.н., проф.,
А.В. Мошкарин, д.т.н., проф.*

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ПО ИЗУЧЕНИЮ РАБОТЫ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА П-102 В СОСТАВЕ ТЭЦ

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

В данной работе представлена характеристика материала модуля, предназначенного для самостоятельного изучения особенностей работы котла-утилизатора (КУ) марки «П-102» с «П»-образной компоновкой поверхностей нагрева, включенный в систему теплоснабжения и вырабатывающий пар для производственных нужд. КУ использует тепло газов газотурбинной электростанции (ГТЭ) марки «Урал-6000». КУ предусматривает дополнительное сжигание топлива.

Приводятся общая характеристика вспомогательного оборудования и конструктивные данные КУ. Изучаются особенности и характеристики работы поверхностей нагрева котлоагрегата. На основании расчетного исследования проводится анализ возможностей эксплуатации КУ марки «П-102» (Е-50-0,7-250) при переменных режимах его работы:

- 1) режим утилизации газов ГТЭ;
- 2) режим утилизации газов ГТЭ при дополнительном сжигании топлива;
- 3) автономный режим КУ без утилизатора газов ГТЭ.

Выполнен сравнительный анализ возможных вариантов эксплуатации КУ.

Рассматривается изменение режимных характеристик и рабочих показателей котлоагрегата в зависимости определяющих факторов. Установлено, что для обеспечения номинальной паропроизводительности котла 50 т/ч наиболее эффективным является режим №2 при минимальном удельном расходе натурального топлива на общую выработку энергии 0,103 м³/кВт·ч.

Наглядность обеспечивается параллельной иллюстрацией изложенного материала схемами, графиками и применением элементов анимации. Изучение материала АУК заканчивается проверкой полученных знаний подключением блока контрольных вопросов с последующей

демонстрацией результатов ответов.

Подготовительный материал входит в состав компьютерного учебника «Котлы-утилизаторы парогазовых установок ТЭС» выполнен в операционной системе *Windows*, с использованием графического редактора *Corel Draw*. Анимация разработана в среде *Flash Macromedia* применением средств пакета *Microsoft Office*. Разработанный программный продукт рассчитан на студентов теплоэнергетических специальностей и работников энергопредприятий. В ходе занятий выявлена эффективность использования программного продукта в процессе индивидуального обучения.

*Ю.Е. Барочкин, студ.; рук. А.А. Коротков, асс.,
Г.В. Ледуховский, к.т.н., доц.*

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ АТМОСФЕРНОЙ ДЕАЭРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Разработка компьютерного тренажера по эксплуатации деаэрационной установки является актуальной задачей подготовки персонала энергетических объектов. Деаэрация является одной из основных стадий подготовки воды для энергетических установок. Эффективность работы деаэратора во многом определяется действиями эксплуатационного персонала. Недостаточное внимание к вопросам эксплуатации деаэрационных установок приводит не только к появлению нарушений норм качества деаэрированной воды, но и к аварийным ситуациям.

В докладе приведено описание автоматизированной обучающей системы, предназначенной для изучения принципов эксплуатации атмосферной деаэрационной установки. Тренажер включает четыре основных раздела:

- теоретический раздел, содержащий сведения о физических основах технологических процессов термической деаэрации воды, конструкциях деаэраторов и вспомогательного оборудования деаэрационных установок, режимных характеристиках деаэраторов, основных методах их расчета;
- раздел, в котором приведено описание принципов формирования технологической схемы деаэрационной установки, состава оборудования деаэрационной установки, перечень и назначение ее элементов,

включая запорную и регулирующую арматуру, контрольно-измерительные приборы, защитные элементы;

– раздел, включающий описание структуры оперативных состояний деаэрационной установки (работа, горячий резерв, холодный резерв, ремонт, консервация), а также порядок выполнения операций при переводе ее из одного оперативного состояния в другое;

– раздел, касающийся возможных нарушений в работе деаэрационной установки, аварийных ситуаций, порядка их локализации и ликвидации.

Все разделы включают схемы и рисунки с элементами анимации, обеспечивающими лучшее восприятие пользователем представленной информации. Каждый раздел содержит блок контрольных вопросов и ряд оперативных задач (например, «вывод деаэрационной установки из работы в горячий резерв»), позволяющих эффективно усвоить порядок действий персонала при эксплуатации деаэрационной установки.

Тренажер целесообразно использовать в высших и средне-специальных учебных заведениях при обучении студентов теплотехнических специальностей, а также в учебных подразделениях энергетических объектов, занимающихся эксплуатацией деаэрационных установок.