

РАСЧЕТ КОТЛОВ-УТИЛИЗАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА BOILER DESIGNER

ДОВЕРМАН Г.И., ШЕЛЫГИН Б.Л., кандидаты техн. наук, МОШКАРИН А.В., д-р техн. наук, МЕЛЬНИКОВ Ю.В., инж.

В программе BOILER DESIGNER рассмотрены особенности составления расчетных структур котлов. Дается характеристика моделей элементов, порядок формирования исходных данных. Приводятся особенности расчетной модели котла-утилизатора трех давлений для ПГУ-285.

Ключевые слова: котлоагрегат, расчетная схема, команды меню, элементы поверхностей нагрева.

CALCULATION OF BOILER-UTILIZER BASED ON BOILER DESIGNER SOFTWARE

G.I. DOVERMAN, B.L. SHELYGIN, Candidates of Engineering, A.V. MOSHKARIN, Doctor of Engineering, Yu.V. MELNIKOV, Engineer

The program BOILER DESIGNER presents peculiarities of developing boiler design configurations. Types of elements are characterized. The order of original data formation is suggested. The specification of the boiler-utilizer design model for three pressures, PGU-285 is suggested.

Key words: boiler unit, design diagram, menu commands, elements of the heating surface.

Важнейшей проблемой отечественной энергетики является износ основных фондов энергопредприятий [1, 2]. Согласно разработанной «Энергетической стратегии России до 2020 г.», планируется радикальная модернизация старых котлоагрегатов и создание новых, отвечающих лучшим международным показателям.

Реконструкции неперспективных котлов и проектированию прогрессивных конструкций предшествует расчетное исследование наиболее эффективных условий работы объекта. Решение таких задач качественно, быстро и достоверно может быть выполнено с использованием самых современных программных продуктов.

В условиях реформы высшей школы использование таких программ рационализирует учебный процесс, развивает творческую самостоятельность студентов, формирует инженерный склад мышления.

Котлоагрегат в качестве объекта моделирования рассматривается как система со сложными связями между различными элементами [3, 4]. При выборе совершенного программного продукта должны предусматриваться следующие обстоятельства:

- широта охвата типов и профилей энергетических установок [5–10];
- рациональное использование ресурсов ПЭВМ и точность полученных результатов;
- сокращение времени на подготовку расчета, удобство формирования исходной информации с использованием комфортных сервисных средств, облегчающих реализацию конкретной задачи;
- возможность получения результатов расчета в удобном для анализа виде и документов для оформления отчета.

Длительное время эффективной являлась программа TRAKT [11–13]. В настоящее время более совершенной и привлекательной представляется программа BOILER DESIGNER, разработанная фирмой OPTSIM-K (г. Москва) [14]. С ее использованием возможно выполнение на самом современном уровне теплогидравлического и аэродинамического расчетов котлоагрегатов любых типов и сложности. Программа позволяет проводить расчетные исследования работы котлов в переменных режимах с определением статических характеристик в широком диапазоне изменения тепловых нагрузок.

Ее отличает наглядность демонстрации полученных результатов и разнообразие их представления в виде документов. Программа располагает качественной диагностикой, включающей помощь пользователю с указанием на допущенные ошибки.

Программа BOILER DESIGNER построена по объектно-ориентированному принципу. Все агрегаты конструируются из стандартных элементов: топочных устройств, поверхностей нагрева различного типа, пароохладителей, устройств смешения и разделения потоков, различных видов топлив и др.

Для постановки задачи расчета котла на ПЭВМ составляется расчетная схема, формируются исходные данные, один набор которых позволяет выполнить серию вариантных расчетов установки при переменных нагрузках. Обязательным является разложение сложных схем на более простые и формирование внутренних иерархических групп.

Применительно к конкретному элементу произвольного тракта имеется возможность проанализировать значения входных и выходных режимных параметров, определить значения гидравлического и аэродинамического сопротивлений отдельной поверхности нагрева.

Отдельные элементы являются иерархически, включая группы, в которые помещаются другие расчетные элементы. Каждая схема включает пиктограммы элементов [14], которые можно перемещать по экрану дисплея, объединять соответствующими связями по рабочей среде и продуктам сгорания. Возможен перенос элементов из одной группы в другую. Все элементы состоят из объединенных в блоки отдельных программных модулей, содержащих определенный набор параметров и функций. Любой блок может включать другие блоки, т.е. используется иерархический принцип построения программы.

Программа позволяет выполнить расчет как на номинальную, так и на частичные нагрузки и в любом произвольном сочетании входных возмущающих воздействий (изменения расходов и состава топлив, воздуха, питательной воды и т.д.). Для изменения входных параметров предусмотрены модели регулирующих клапанов, которые могут управляться регуляторами, обеспечивающими поддержание значений соответствующих параметров на заданном уровне.

Органы управления программы состоят из команд меню, панелей (инструментальных и контек-

стных) и диалогов, которые можно разделить на стандартные (для работы с документами) и дополнительные (для создания элементов). Меню «Вид» содержит следующие элементы (команды): **панель инструментов**, позволяющую выводить на экран набор рабочих инструментов, обозначенных соответствующими кнопками; **строку состояния**, позволяющую выводить на экран (или скрывать) панель состояния.

Команда **Дерево объектов** выводит на экран список созданных для рассматриваемой структуры элементов и содержащихся в них иерархических групп, список клапанов.

Команда **Пуск** (старт) запускает расчет редактируемой структуры котла и становится доступной при следующих условиях:

- после того, как в группы «Газоход», «Пароводяной тракт» и т.д. вставлены элементы моделируемого котла и между ними назначены необходимые связи;
- для всех логических клапанов элементов назначены ассоциации с реальными клапанами;
- определены первые модели в группах элементов.

Для создания элементов и клапанов расчетной модели котлоагрегата активизируется дополнительная панель инструментов. Для создания моделей поверхностей нагрева котлоагрегата и топливных элементов используют панель и кнопки, характеризующие их действия.

Элементы «Вид топлива» вставляются в группу «Топливо» соответствующего топливного устройства. В элементе задаются состав топлива и все его свойства [5, 15, 16], необходимые для расчета котлоагрегата.

При выполнении теплогидравлического расчета конкретного варианта котлоагрегата используются следующие понятия:

- представитель объекта – способ отображения объекта на экране в виде различных представителей (пиктограммы, дерево элементов, альбом технологических изображений);
- интерфейсная часть объекта – набор специальных средств для получения информации об объекте и управления им (контекстные меню; диалоги, связанные с объектом; действия, обеспечивающие переход в следующий элемент по связи).

Окно «Дерево элемента» содержит следующие компоненты:

- названия иерархических (родительских) групп;
- названия элемента;
- блок исходных данных и блоки расчетных параметров;
- логические клапаны;
- названия вложенных групп;
- связь, назначенную на следующий элемент.

Расчетная схема изображается на экране в виде окна, содержащего рабочее поле, на котором размещаются входящие в конкретную группу пиктограммы ее элементов.

Каждая группа представляется:

- как компонент расчетной схемы;
- как компонент дерева элемента (содержит родительскую группу или вложенную группу).

Переменные содержат значения параметров (числа), характеризующих элемент. Переменная представляется:

- изображением (числом);
- компонентом дерева элемента, который содержит эту переменную в качестве исходного или расчетного параметра.

Переменные объединяются в блоки исходных данных и расчетных параметров.

Блок переменных представляется:

- изображением в виде таблицы, ячейки которой содержат изображения переменных этого блока;
- компонентом дерева элемента, который содержит этот блок переменных.

Управление реальным клапаном осуществляется:

- вручную (устанавливают требуемое значение степени открытия);
- при помощи регулятора (назначением необходимых связей и заданием соответствующего регулятора);
- при помощи программы (заданием зависимости степени открытия клапана от времени).

Сотрудники кафедры ТЭС ИГЭУ предложили тепловую схему ПГУ мощностью 285 МВт с использованием газовой турбины фирмы Siemens марки V.94.2A, температура и расход уходящих газов за которой соответственно равны 562 °С и 539 кг/с [17].

Для снабжения паром турбины марки К-90-9 специально разработан вариант конструкции барабанной котла-утилизатора (КУ) с трехконтурной компоновкой поверхностей нагрева и промежуточным перегревом пара [18]. Энергоустановка предполагает выработку пара высокого (9,45 МПа), среднего (2,97 МПа) и низкого давления (0,34 МПа). Величина непрерывной продувки для всех контуров циркуляции принята равной 1,5 %. Секции поверхностей нагрева рекомендовано выполнять из труб с наружным спирально-ленточным оребрением [8].

Расчетная модель котла-утилизатора содержит две рабочие структуры: «Газоход» (газовый тракт (рис. 1)) и «ГруппаВода» (пароводяной тракт (рис. 2)). В свою очередь, «ГруппаВода» содержит четыре тракта: НД, СД, ВД, ПП. Структуры «Газоход» и «ГруппаВода» являются вложенными группами элемента «Общие данные». Элементы поверхностей нагрева включались как в газовый, так и в пароводяной тракты.

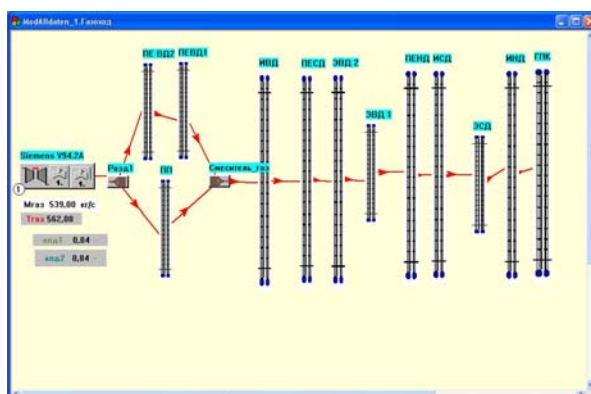


Рис. 1. Газовый тракт котла-утилизатора

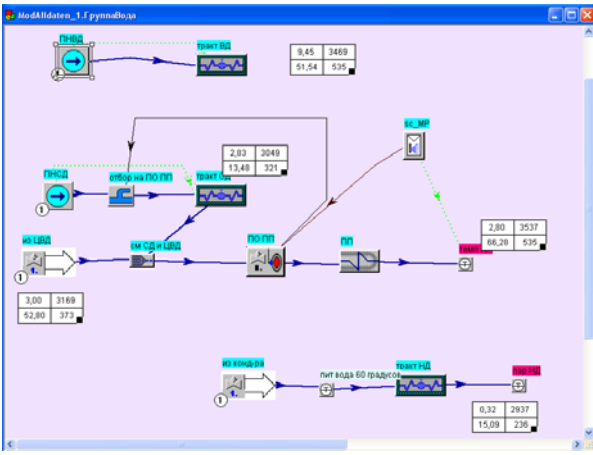


Рис. 2. Набор водяных трактов структуры «ГруппаВода»

Газовый тракт КУ составлен из 15 элементов (рис. 1). Первым является элемент типа «Входгазов» (Siemens V94.2A), снабженный клапанами для изменения входных параметров (температуры и расхода утилизируемых газов). В следующем элементе «Разд1» газовый поток разделяется на две части. Одна поступает в участки газохода, в которых размещены элементы ПЕВД1 и ПЕВД2 (модели первой и второй ступени пароперегревателя ВД). Остальной поток газов по связи поступает в участок газохода, в котором размещен элемент ПП (промежуточный пароперегреватель). После элемента «Смеситель газ» последовательно связываются следующие элементы газового тракта: ИВД, ПЕСД, ЭВД 2 и т.д.

Применительно к паровому тракту НД (рис. 2) первым (входным) является элемент «Из конд-ра», совмещенный с регулирующим расход клапаном. Элемент «Тракт НД» имеет иерархическую структуру. За данным элементом расположен элемент типа «Точка измерения» с демонстрацией выходных параметров среды.

Внутри элемента «Тракт НД» первым тепло-воспринимающим элементом является ГПК, представляющий модель оребренной поверхности нагрева газового нагревателя конденсата (рис. 3). Все элементы поверхностей нагрева вставляются в газовый тракт и в соответствующую группу по воде, имея две связи:

- на следующий элемент по воде;
- следующий элемент по газам.

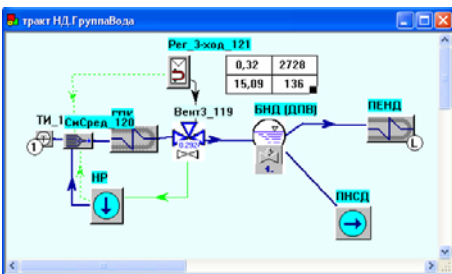


Рис. 3. Тракт НД котла-утилизатора

Элемент «Вент3» предназначен для отделения части потока воды и изменения его расхода. Степень его открытия осуществляется регулятором (элемент «Рег_3-ход»), связи от которого направлены на элементы «СмСред» и «Вент3». Элемент «Вент3» имеет обратную связь с элементом

«СмСред» через элемент НР, моделирующий насос рециркуляции воды.

Регулятор «Рег_3-ход» обеспечивает постоянство температуры воды на входе в ГПК (60 °С).

Элемент БНД представляет барабан тракта НД и предусматривает сброс продувочной воды из солевого отсека, изменение расхода которой осуществляется регулирующим клапаном. Элемент БНД – иерархический элемент, в состав которого входит циркуляционная система (элемент КЦ НД) (рис. 4). Модель циркуляционной системы, в свою очередь, является иерархическим элементом, в котором размещен элемент ИНД (рис. 4), моделирующий испаритель НД.

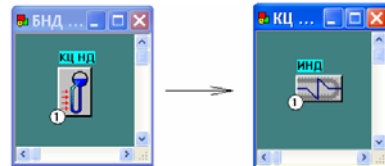


Рис. 4. Вложенные элементы сложного элемента «Барабан НД» котла-утилизатора

Элемент БНД, снабженный блоком параметров насыщенного пара, имеет связь на следующий элемент ПЕНД, моделирующий поверхность нагрева пароперегревателя НД (рис. 3). Согласно тепловой схеме ПГУ [17], дополнительно направлена связь на элемент ПНСД (питательный насос СД), предусматривающий отбор части воды в тракт СД.

Применительно к тракту СД входным является элемент ПНСД, связанный с элементом «Отбор на ПО ПП» (рис. 2), который предусматривает отбор части воды на впрыск в поток пара, поступающего в элемент ПП. Данный элемент имеет обратную связь от элемента ПО ПП, установленного в тракте промежуточного перегрева пара. После элемента «Отбор на ПО ПП» связь назначена на сложный элемент «Тракт СД», который имеет иерархическую структуру.

Внутри элемента «Тракт СД» входным является элемент ЭСД, предусматривающий модель водяного экономайзера СД, после которого связь направляется на элемент БСД, моделирующий барабан СД (рис. 5).

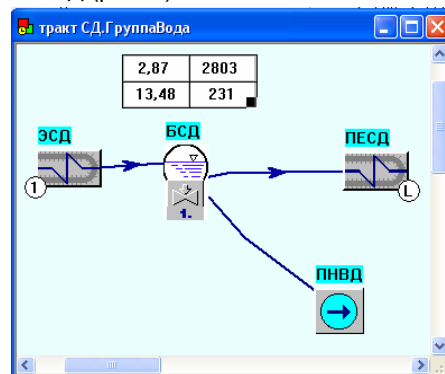


Рис. 5. Тракт СД котла-утилизатора

Элемент БСД представляет собой иерархический элемент, в состав которого входит циркуляционная система (элемент КЦ СД). Модель циркуляционной системы, в свою очередь, является иерархическим элементом, в котором размещен элемент ИСД, моделирующий испаритель СД.

Элементы КЦ СД и ИСД являются вложенными в структуру элемента БСД и связей с другими элементами не имеют. Сам элемент БСД, снабженный блоком параметров насыщенного пара, имеет связь на следующий элемент ПЕСД, моделирующий поверхность нагрева пароперегревателя СД.

Согласно тепловой схеме ПГУ [17], дополнительно направлена связь на элемент ПНВД (питаемый насос высокого давления), предусматривающий отбор части воды в тракт ВД.

Применительно к тракту ВД (рис. 2) входным элементом является элемент ПНВД, связанный со сложным элементом «Тракт ВД», имеющим, в свою очередь, иерархическую структуру. Внутри элемента «Тракт ВД» от первого элемента ТИ (точка измерения) направлена связь на элемент ЭВД 1, моделирующий поверхность нагрева первой ступени экономайзера ВД (рис. 6).

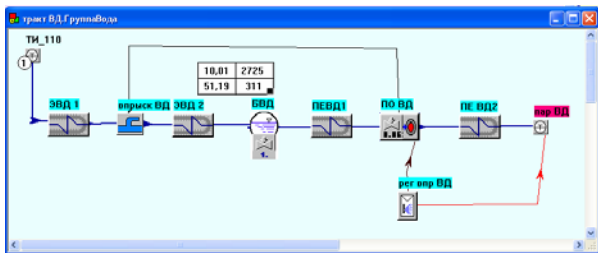


Рис. 6. Тракт ВД котла-утилизатора

Последний элемент связан с элементом «Впрыск ВД», который предусматривает отбор части воды на впрыск в поток пара, поступающего во вторую ступень пароперегревателя ВД. Этот элемент имеет обратную связь от элемента ПОВД (впрыскивающий парохладитель). После элемента «Впрыск ВД» связь через элемент ЭВД 2, моделирующий вторую ступень водяного экономайзера ВД, назначена на элемент БВД. Этот элемент, моделирующий барабан ВД, является иерархическим элементом, в его состав входит циркуляционная система (элемент КЦ ВД). Модель циркуляционной системы, в свою очередь, является иерархическим элементом, в котором расположен элемент ИВД, моделирующий испаритель ВД.

Элемент БВД, снабженный блоком параметров насыщенного пара, имеет связь на последовательно расположенные элементы ПЕВД1 и ПЕВД2, моделирующие первую и вторую ступени пароперегревателя ВД. В расщелку между ними установлен элемент ПОВД, снабженный логическим клапаном для изменения расхода воды на впрыск. Поддержание постоянства температуры пара ВД (535 °С) обеспечивается за счет элемента «Рег впр ВД», моделирующего регулятор впрыска и имеющего направленную связь на элементы ПОВД и «Пар ВД» (точка измерения).

В тракте промежуточного перегрева пара (рис. 2) входным элементом является элемент «Из ЦВД», совмещенный с регулирующим расход клапаном. Для него задаются параметры пара на входе в тракт промежуточного перегрева пара. Элемент имеет связь по пару на элемент «См СД и ЦВД», служащий для смешения данного потока пара с потоком пара от элемента «Тракт СД».

Перед элементом ПП, моделирующим промежуточный пароперегреватель, включен элемент ПО ПП (впрыскивающий парохладитель), обеспечивающий впрыск воды, отбираемой из тракта среднего давления. Управление впрыском воды и поддержа-

ние постоянства температуры пара (535 °С) за элементом ПП осуществляется регулятором «Рег пар ПП», имеющим направленную связь на клапан элемента ПО ПП и точку измерения (элемент «Пар ПП»).

Формирование банка исходных данных осуществлялось для всех элементов, входящих в структуры расчетной схемы объекта. Для элемента «Общие данные» в блоке исходных данных «Констр ОД» вводятся условия и параметры, необходимые для расчета всех элементов, входящих во все структуры расчетной модели КУ.

Расход, температура и состав уходящих из ГТУ газов вводились в блок исходных данных «Констр Газ», входящий в дерево элемента «Вход газов». Задавались признаки расхода газов (F_v , кг/с), среды («Газ») и теплообмена («ПризГор» – греющая среда). Задавались максимальные значения расхода и температуры газов ($M_{\text{газМакс}} = 539$ кг/с, $T_{\text{газМакс}} = 565$ °С). Более низкие значения устанавливаются с использованием соответствующих клапанов (рис. 1). Задавался состав утилизируемых газов (в % мас.).

Все поверхности нагрева вставлялись в схему расчета КУ по воде и дымовым газам. Необходимые конструктивные параметры поверхности нагрева и геометрические характеристики труб помещались в блоки исходных данных «КонстрКонв» (для расчета элементов «Гладкотрубный пучок труб») и «КонстрРП» (для расчета элементов «Оребренный пучок труб») (рис. 7).

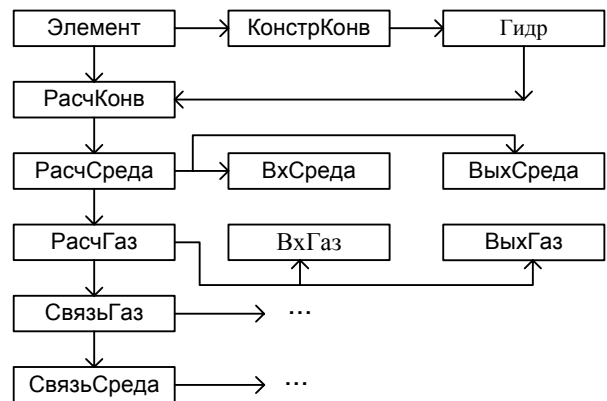


Рис. 7. Общая последовательность расчетных блоков в дереве произвольного элемента

В блоках «ВхГаз» и «ВыхГаз» приводятся значения расхода (массовый и объемный), температура, энтальпия, давление и состав газов применительно к входному и выходному сечениям газохода элемента. В блоке «РасчКонв» приводятся значения тепловосприятия, температурного напора, коэффициента теплопередачи, скорости газов, температуры металла поверхности нагрева, аэродинамического сопротивления по газам и т.д. В блоке «РасчСреда» приводятся значения линейной и массовой скоростей нагреваемой среды, тепловосприятия, изменения температур и энтальпий, гидравлического сопротивления элемента и т.д.

Результаты расчета параметров газового и пароводяных трактов представлены в табл. 1 и 2. Изменение температур газов и рабочей среды в зависимости от тепловосприятий поверхностей нагрева (Q, t -диаграмма) изображено на рис. 8.

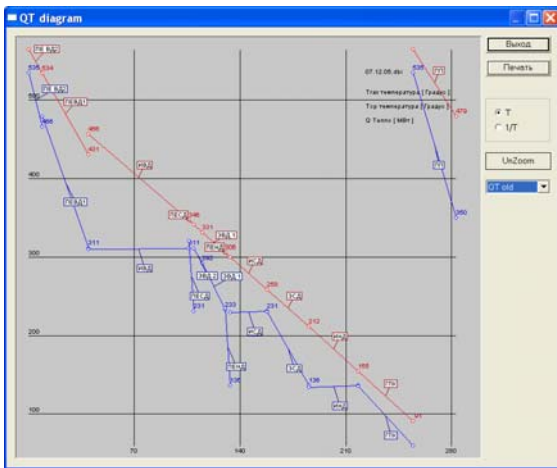


Рис. 8. Изменение температур газов и рабочей среды в зависимости от тепловосприятий поверхностей нагрева (Q,t-диаграмма)

Отдельные результаты расчетов представлены на технологических иллюстрациях (рис. 9–14).

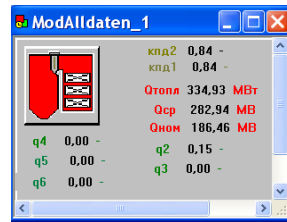


Рис. 9. Общие данные теплогидравлического расчета котла-утилизатора

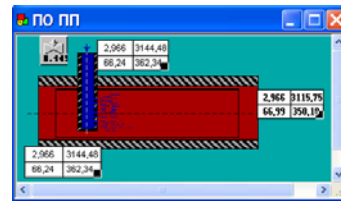


Рис. 10. Модель впрыскивающего пароохладителя, установленного в тракте пароперегревателя промежуточного перегрева пара

Таблица 1. Результаты расчета газового тракта КУ (экранная форма)

Элемент	Температура на входе, градус	Температура на выходе, градус	Средний расход газов, м ³ /с	Средняя скорость газов, м/с	Коэффициент теплоотдачи от газов	Коэффициент теплопередачи, ккал/(ч·К)	Ток	Потери давления в газовом тракте, Па	Средний температурный напор	Теплота, воспринятая от газов	Тепловая мощность, кВт
ПЕ ВД2	562	521,75	212,39	13,11	36,32	21,74	Противоток	161	48,79	12628	12627
ПП	562	477,21	212,39	12,76	36,06	18,05	Противоток	312	61,51	26437	26435
ПЕВД1	521,75	434,48	212,39	12,1	35,3	22,04	Противоток	148	102,54	26904	26904
ИВД	455,85	343,51	424,79	14,56	37,84	25,52	Перекр. ток	273	76,34	68047	68046
ПЕСД	343,51	337,77	424,79	9,35	33,31	15,1	Противоток	29	54,05	3437	3437
ЭВД 2	337,77	324,46	424,79	9,07	30,94	21,09	Противоток	48	35,1	7966	7966
ЭВД 1	324,46	303,72	424,79	8,82	30,66	20,89	Противоток	47	55,21	12412	12412
ПЕНД	303,72	297,61	424,79	10,47	52,92	31,25	Противоток	31	88,8	3623	3623
ИСД	297,61	256	424,79	11,94	35,5	24,16	Перекр. ток	148	43,22	24326	24326
ЭСД	256	207,4	424,79	8,19	31,07	21,45	Противоток	130	41,74	28414	28415
ИНД	207,4	153,06	424,79	9,88	33,62	23,09	Перекр. ток	181	38,71	31223	31223
ГПК	153,06	91,75	424,79	6,69	27,09	18,04	Противоток	214	25,77	35064	35068

Таблица 2. Результаты расчета параметров пароводяных трактов КУ (экранная форма)

Элемент	Расход среды на выходе, кг/с	Температура среды на входе, градус	Температура среды на выходе, градус	Давление среды на входе, МПа	Давление среды на выходе, МПа	Паросодержание	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки трубы, мм	Число параллельных труб	Сечение для прохода среды, м ²	Средняя скорость среды, м/с	Массовая скорость среды, кг/(м ² ·с)	Коэффициент теплоотдачи внутри труб, ккал/(ч·К)	Воспринятая теплота, кВт
ЭВД 1	52,54	232,7	281,2	10,1	10,01	-0,13	38	4	264	0,19	0,36	281,57	2968	12412
ЭВД 2	51,81	281,2	308,9	10,01	9,92	-0,01	38	4	264	0,19	0,38	277,62	3163	7966
ИВД	513	310,4	309,9	9,93	9,86	0,1	51	4,5	1752	2,43	0,49	211,35	9812	68046
ПЕВД1	51,06	310,4	453	9,92	9,72	1,39	38	4	146	0,1	12,16	494,73	2279	26904
ПО ВД	51,79	453	442,6	9,72	9,92	1,37	-	-	-	-	-	-	-	-
ПЕВД2	51,79	442,6	534,9	9,72	9,45	1,54	38	4	146	0,1	16,87	501,87	1795	12627
ЭСД	66,47	136,5	230,9	2,95	2,85	0	38	3	292	0,23	0,37	283,03	2840	28415
ИСД	160	231	229,6	2,85	2,78	0,09	51	2,5	1168	1,94	0,35	82,43	4474	24326
ПЕСД	13,77	230,9	322,3	2,85	2,83	1,14	38	3	132	0,11	10,46	129,72	552	3437
ГПК	115,41	60	132	0,45	0,32	-0,01	38	2,5	292	0,25	0,48	462,13	3244	35069
ИНД	190	136,1	133,9	0,33	0,3	0,08	51	2,5	1752	2,91	1,64	65,26	3934	31223
ПЕНД	13,83	136,2	261,7	0,32	0,32	1,12	51	2,5	292	0,49	18,92	28,51	119	3623
ПО ПП	64,17	362	353,7	2,96	2,96	1,18	-	-	-	-	-	-	-	-
ПП	64,17	353,7	534,9	2,96	2,89	1,41	38	3	438	0,35	19,98	182,17	687	26435

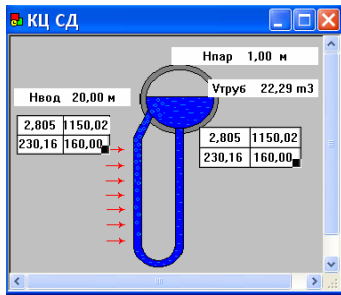


Рис. 11. Технологическая иллюстрация элемента КЦ СД

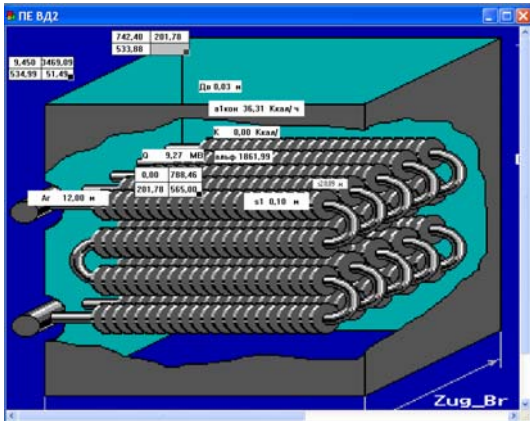


Рис. 12. Технологическая иллюстрация элемента ПЕВД2

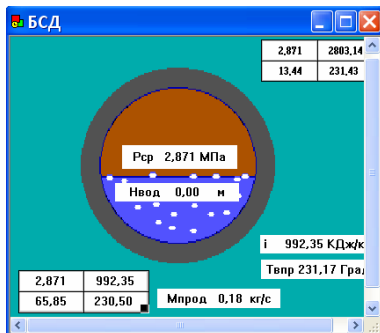


Рис. 13. Технологическая иллюстрация элемента БСД

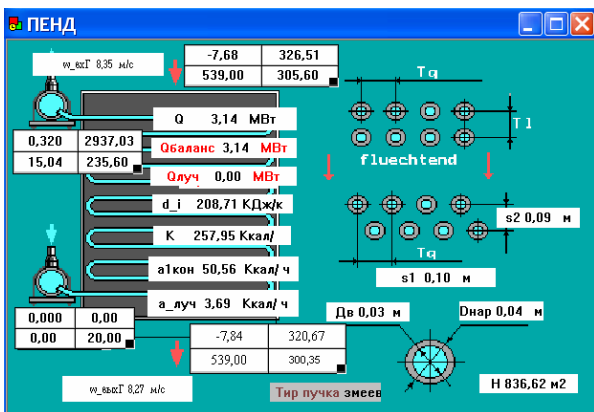


Рис. 14. Технологическая иллюстрация элемента ПЕНД

Заключение

Изложенный материал носит обучающий, методический характер, предназначен для учебно-исследовательских занятий, рассчитан на студентов и аспирантов теплоэнергетических специальностей вузов, а также может быть полезен для специалистов, изучающих особенности работы энергетических установок.

Список литературы

1. **Состояние** и перспективы развития энергетики Центра России; Под ред. А.В. Мошкарин / Иван. гос. энерг. ун-т им. В.И. Ленина. – Иваново, 2000.
2. **Анализ** направлений отечественной теплоэнергетики; Под ред. А.В. Мошкарин / Иван. гос. энерг. ун-т им. В.И. Ленина. – Иваново, 2002.
3. **Вульман Ф.А.** Тепловые расчеты на ЭВМ теплоэнергетических установок. – М.: Энергия, 1975.
4. **Хорьков Н.С.** Руководство для пользователей «Моделирование статических режимов паровых котлоагрегатов на ЭВМ третьего поколения». ЦНИИКА. – М., 1987.
5. **Резников М.И., Липов Ю.М.** Паровые котлы тепловых электростанций: Учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981.
6. **Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н.** Котельные установки промышленных предприятий: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
7. **Бузников Е.Ф., Роддатис К.Ф., Берзиньш Э.Я.** Производственные и отопительные котельные. – М.: Энергия, 1974.
8. **Газотурбинные** и парогазовые установки тепловых электростанций; Под ред. С.В. Цанева. – М.: Изд-во МЭИ, 2002.
9. **Котлы** большой мощности и топочные устройства: каталог 13-80 / НИИЭИНФОРМЭНЕРГОМАШ. – М., 1980.
10. **Котлы** малой и средней мощности и топочные устройства: отраслевой каталог 15-83 / Г.М. Вишерский [и др.]; НИИЭИНФОРМЭНЕРГОМАШ. – М., 1983.
11. **Носков А.И.** Руководство для пользователей «Справочные материалы по программе ТРАКТ» / ЗИО. – Подольск, 1984.
12. **Гудзюк В.Л., Ривкин А.С., Шельгин Б.Л.** Методические указания по теме «Тепловой поверочный расчет паровых котлов на ЭВМ ЕС» / Иван. гос. энерг. ун-т им. В.И. Ленина, каф. тепловых электрических станций. – Иваново, 1989.
13. **Ривкин А.С., Шельгин Б.Л.** Методические указания по теме «Тепловой расчет парового котла с естественной циркуляцией на ЭВМ ЕС» / Иван. гос. энерг. ун-т им. В.И. Ленина, каф. тепловых электрических станций. – Иваново, 1989.
14. **Доверман Г.И.** Руководство для пользователей «Справочные материалы по программе BOILER DESIGNER» / OPTSIM-K. – М., 2004.
15. **Тепловой** расчет котлов: нормативный метод; Под ред. Н.В. Кузнецова, В.В. Митора, Н.Е. Дубовского, Э.С. Карасиной. – СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998.
16. **Антонянц Г.Р.** Топливо-транспортное хозяйство тепловых электростанций. – М.: Энергия, 1977.
17. **Мошкарин А.В., Шельгин Б.Л., Мельников Ю.В.** Техническое предложение по замене паротурбинного оборудования блоков 300 МВт утилизационной ПГУ трех давлений // Вестник ИГЭУ. – 2006. – Вып. 2. – С. 3–6.
18. **Мошкарин А.В., Шельгин Б.Л., Мельников Ю.В.** Проект утилизационной ПГУ трех давлений для замены паротурбинного оборудования энергоблока 300 МВт // Газотурбинные технологии. – 2006. – № 5. – С. 27–31.

Доверман Григорий Иосифович,
ООО «Оптсим» (г. Москва),
директор, кандидат технических наук,
телефон (4932) 41-60-56,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Шельгин Борис Леонидович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Мошкарин Андрей Васильевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой тепловых электрических станций,
телефон (4932) 41-60-56,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Мельников Юрий Викторович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
инженер кафедры тепловых электрических станций,
e-mail: admin@tes.ispu.ru