

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Е. А. Беркова, А. Г. Филонов, С. В. Юрков

ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ

Учебно-методическое пособие – локальный электронный методический материал по выполнению курсовой работы для студентов, обучающихся в магистратуре по направлению подготовки 08.04.01 Строительство

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО "КГТУ"
2023

УДК 621.1.016

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики ФГБОУ ВО
«Калининградский государственный технический университет»

А.В. Толмачев,

кандидат технических наук, доцент кафедры теории механизмов и машин и
деталей машин ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический
университет» Н.А. Середа

Беркова, Е. А.

Теплогенерирующие установки: локальный электронный методический
материал по выполнению курсовой работы для студентов, обучающихся в
магистратуре по направлению подготовки 08.04.01 Строительство /
Е. А. Беркова, А. Г. Филонов, С. В. Юрков. – Калининград: Изд-во ФГБОУ
ВО «КГТУ», 2023. – 38 с.

Учебно-методическое пособие подготовлено в соответствии с учебным
планом и рабочей программой дисциплины «Теплогенерирующие установки» и
предназначено для подготовки магистров направления подготовки 08.04.01
Строительство.

В учебно-методическом пособии изложены общие положения по
курсовой работе, приведены варианты задания и методика выполнения работы,
даны указания по структуре, содержанию, правилам оформления
пояснительной записки и графической части.

Учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы
рассмотрено и одобрено методической комиссией института морских
технологий, энергетики и строительства 25.10.2023 г., протокол № 12

УДК 621.1.016

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2023 г.
© Беркова Е.А., Филонов А.Г.,
Юрков С.В., 2023 г.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
ЗАДАНИЕ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ	6
СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	9
1. СТРУКТУРА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ.....	9
2.-РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	10
3. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	11
4. ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	13
5. ПРИМЕР РАСЧЁТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ.....	15
5.1 Исходные данные для курсовой работы	17
5.2. Тепловой расчёт котлоагрегата	20
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	37

ВВЕДЕНИЕ

Климатические условия России определяют необходимость всех регионов страны вкладывать средства в создание и функционирование систем жизнеобеспечения, к которым относятся системы отопления, теплоснабжения и вырабатывающие для них тепловую энергию теплогенерирующие установки (ТГУ). Теплоснабжение в нашей стране развивалось, в основном, по пути централизованной выработки и поставки тепла потребителям. В настоящее время в России эксплуатируется большое количество разных источников теплоснабжения: тепловых электростанций, районных тепловых станций, отопительных и производственно-отопительных котельных.

Тепловую энергию, отпускаемую потребителям с паром, горячей водой, маслом, или горячим воздухом на них вырабатывают теплогенерирующие установки, которые в качестве первичного источника энергии могут использовать органическое топливо, вторичные энергоресурсы, возобновляемые источники энергии, электроэнергию. Наиболее распространённым типом теплогенерирующей установки в России по-прежнему являются паровые и водогрейные котельные установки, работающие на жидком, газообразном и твёрдом топливе.

Котельная установка состоит из котлоагрегата и обслуживающих его систем и вспомогательных механизмов. От степени технического совершенства котлоагрегата зависит коэффициент полезного действия котельной, а значит, расход топлива и себестоимость вырабатываемой тепловой энергии. Проектирование котлоагрегата включает в себя выполнение расчетов процессов горения топлива, тепловых, гидравлических и прочностных расчетов, взаимосвязанных между собой. Последующие этапы проектирования подразумевает также разработку тепловой схемы и подбор основного оборудования котельной.

Целью освоения дисциплины «Теплогенерирующие установки» является формирование знаний о современных источниках тепловой энергии систем теплоснабжения, энергетическом топливе и процессах производства тепловой энергии, умений и навыков правильно оценивать задачи при разработке, монтаже и эксплуатации источников систем теплоснабжения с учетом экологической, топливно-энергетической и экономической ситуации в стране. В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать: конструкции и принцип действия современных теплогенерирующих установок; порядок проведения испытаний и составления режимных карт теплогенерирующих установок; режимы их работы; методы защиты окружающей среды от выбросов теплогенерирующих установок.

Уметь: производить тепловые, аэродинамические и прочностные расчеты современных теплогенерирующих установок; разбираться в тепловых схемах источников теплоснабжения; оценивать эффективность их работы во время эксплуатации.

Владеть: навыками выбора основного и вспомогательного оборудования источников теплоснабжения; основами эксплуатации и обслуживающих их систем; представлением об основных направлениях развития современных теплогенерирующих установок в России и за рубежом.

Выполнение курсовой работы по дисциплине «Теплогенерирующие установки» для студентов магистратуры по направлению подготовки 08.04.01. «Строительство» является важным и неотъемлемым этапом обучения.

Цель курсовой работы:

- подтвердить знание конструкций и принципов действия современных теплогенерирующих установок;
- показать умение производить тепловые, аэродинамические и прочностные расчеты современных теплогенерирующих установок; пользоваться справочниками, подбирать оборудование ТГУ, проводить расчеты продуктов сгорания топлив, тепловой расчет теплогенераторов и хвостовых поверхностей;
- освоить навыки проектирования теплогенерирующих установок промпредприятий, отопительных котельных, РТС;
- освоить навыки проведения расчетов теплогенерирующих установок промпредприятий и систем теплоснабжения с использованием существующих типовых методик и стандартных средств автоматизации проектирования.

ЗАДАНИЕ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Тема курсовой работы: Расчёт теплогенерирующей установки.

Расчёт теплогенерирующей установки (по заданию преподавателя) производится на примере наиболее распространённого парового котла типа ДКВР.

Курсовая работа выполняется на основании индивидуального задания, выданного преподавателем, содержащего исходные данные на проектирование (таблица 1). Согласно заданию, определяется тип котла, его паропроизводительность, параметры пара и вид топлива, характеристики которого приведены в таблице 2.

Далее с учетом исходных данных производится расчет объёмов воздуха и продуктов сгорания, а также энтальпий продуктов сгорания, составляется тепловой баланс котла, осуществляется выбор топочного устройства и тепловой расчет топки. Выполняются конструктивные тепловые расчеты конвективно-испарительного пучка и водяного экономайзера, определяются невязка теплового баланса, расхождение принятого и полученного КПД котла. После теплового расчета котла осуществляется аэродинамический и прочностной расчеты теплогенерирующей установки, выполняется анализ эффективности проектируемого котла, его достоинства и недостатки по сравнению с прототипом.

Таблица 1.

Исходные данные для выполнения курсовой работы

Вариант	Прототип	Производительность, Дк, т/ч	Давление котла, Рк, МПа	Температура питательной воды, $t_{пв}$ °С	Топливо
1	2	3	4	5	6
1	ДКВР-20-13	20	0,8	80	торф
2		21	1,0	90	Мазут Ф5
3		24	1,2	100	Мазут Ф12
4		27	1,5	90	Мазут 40 малосернистый
5		30	2,0	80	Мазут 40В малосернистый
6	ДКВР-35-13	32	0,8	80	Мазут 40 высокосернистый
7		36	1,0	90	Мазут 40В сернистый
8		40	1,2	100	Мазут 40 высокосернистый
9		44	1,5	90	Мазут 100 малосернистый
10		48	2,0	80	Мазут 100 сернистый

11	ДКВР-2,5-13	1,0	0,8	50	Мазут Ф5
12		1,05	1,0	60	Мазут Ф12
13		2,0	1,2	70	Мазут 40 малосернистый
14		2,5	1,4	80	Мазут 40В малосернистый
15		3,0	1,6	90	Мазут 40 высокосернистый
16	ДКВР-4,0-13	3,5	0,6	50	Мазут 40В сернистый
17		4,0	0,7	60	Мазут 40 малосернистый
18		4,5	0,8	70	Мазут 100 малосернистый
19		5,0	0,9	80	Мазут 100 сернистый
20		5,5	1,0	100	Мазут 100 высокосернистый
21	ДКВР-6,5-13	6,0	0,7	50	Мазут 100В высокосернистый
22		6,5	0,8	60	Мазут 100 сернистый
23		7,0	0,9	70	Уголь Донецкий ДР
24		8,0	1,0	60	Уголь Донецкий ГР
25		9,0	1,1	50	Уголь Донецкий ТР
26	ДКВР-10-13	10	0,8	50	Уголь Донецкий АП
27		12	0,9	60	Уголь Донецкий ПА
28		14	1,0	70	Уголь Кузнецкий ДР
29		16	1,1	80	Уголь Кузнецкий ГР
30		18	1,2	100	Уголь Кузнецкий ИСС
31	ДКВР-20-13	20	0,8	80	Уголь Кузнецкий ТР
32		23	1,0	90	Уголь Карагандинский КР
33		26	1,2	100	Уголь Экибастузский ССР
34		29	1,4	90	Уголь Подмосковный Б2
35		32	1,6	80	Уголь Печорский ЖР
36	ДКВР-35-13	35	1,1	100	Уголь Печорский ЖР
37		38	1,3	90	Уголь Ангренское Б2
38		41	1,5	80	Уголь Кизилковский ГР
39		44	1,7	90	Уголь Челябинский Б3
40		47	1,9	100	Уголь Ангренское Б2

Таблица 2 - Основные характеристики твёрдого и жидкого топлива

№ шифра	Состав, %								Низшая теплота сгорания $Q_{н\ p}$, кДж/кг	V^o	V^o_{Ro2}	$V^o_{N_2}$	$V^o_{H_2O}$	V_r^o
	Вид топлива	W^p	A^p	S^p_{o+k}	C^p	H^p	N^p	O^p						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Марка угля													
	Донецкий Д	13,0	21,8	3,0	49,3	3,6	1,0	8,3	19610	5,16	0,94	4,08	0,64	5,67
	Донецкий	14,0	25,8	3,9	44,8	3,4	1,0	7,1	17766	4,78	0,68	3,78	0,63	5,27
	Донецкий Г	8,0	23,0	3,2	55,2	3,8	1,0	5,8	22040	5,83	1,05	4,61	0,61	6,28
	Донецкий Т	5,0	23,8	2,8	62,7	3,1	0,9	1,7	24218	6,43	1,19	5,09	0,51	6,79
	Кузнецкий Д	12,0	13,2	0,3	58,7	4,2	1,9	9,7	22835	6,02	1,10	4,77	0,71	6,58
	Кузнецкий Г	8,5	11,0	0,5	66,0	4,7	1,8	7,5	26146	6,88	1,24	5,45	0,74	7,42
	Кедровский СС	10,0	11,3	0,5	67,7	3,6	1,6	5,3	25894	6,81	1,27	5,39	0,63	7,29
	Краснобродский Т	10,0	16,2	0,3	65,7	3,0	1,7	3,1	24721	6,54	1,23	5,18	0,56	6,97
	Карагандинский К	8,0	27,6	0,8	54,7	3,3	0,8	4,8	21327	5,6	1,03	4,43	0,56	6,02
	Экибастузский СС	7,0	38,1	0,8	43,4	2,9	0,8	7,0	16760	4,42	0,81	3,5	0,48	4,79
	Подмосковный Б2	32,0	25,2	2,7	28,7	2,2	0,6	8,6	10433	2,94	0,55	2,33	0,69	3,57
	Бабаевский Б1	56,5	7,0	0,5	25,4	2,4	0,2	8,0	8757	2,69	0,48	2,09	1,01	3,58
	Кизеловский Г	6,0	31,0	6,1	48,5	3,6	0,8	4,0	19700	5,33	0,95	4,22	0,56	5,73
	Челябинский Б3	18,0	29,5	1,0	37,3	2,8	0,9	10,5	13953	3,74	0,7	2,96	0,59	4,26
	Ангренский Б2	34,5	13,1	1,3	39,8	2,0	0,2	9,1	13827	3,81	0,75	3,01	0,71	4,47
	Марка мазута													
	Низкосернистый	0,15	0,03	0,39	87,33	12,9	0,2		41680	10,92	1,63	8,63	1,5	11,76
	Малосернистый	0,2	0,03	0,85	86,58	12,04	0,3		40530	10,91	1,62	8,62	1,52	11,76
	Сернистый	0,49	0,05	1,8	85,71	11,45	0,5		39570	10,7	1,61	8,45	1,45	11,51
	Высокосернистый	1,0	0,06	2,55	85,04	10,64	0,71		39060	10,44	1,61	8,25	1,36	11,22

СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа должна содержать следующие разделы:

1. Определение состава рабочей массы топлива;
2. Определение объемов воздуха и продуктов сгорания;
3. Расчет энтальпий продуктов сгорания топлива;
4. Тепловой расчет котлоагрегата:
 - 4.1 Определение теплового баланса котлоагрегата;
 - 4.2. Расчёт топки;
 - 4.3. Расчет конвективно-испарительного пучка;
 - 4.4. Расчет водяного экономайзера;
 - 4.5. Определение баланса котла по пару и КПД;
5. Выполнение аэродинамического расчета котла;
6. Расчет на прочность элементов конструкции котла;
7. Сравнение характеристик проектируемой теплогенерирующей установки с прототипом;
8. Выводы

1. СТРУКТУРА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Пояснительная записка имеет следующую структуру:

- титульный лист;
- содержание;
- введение;

Задание на курсовую работу

1. Описание конструкции котельного агрегата;

- 1.1 Исходные данные.

2. Тепловой баланс котла и конструктивный расчет котлоагрегата;

3. Аэродинамический расчёт котла;

4. Расчёт прочности пароводяного коллектора и испарительных труб

котла;

5. Сравнение характеристик проектируемого парогенератора с прототипом

Выводы

Список использованной литературы;

Приложения

2. РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Титульный лист является первым листом курсовой работы. Он оформляется в соответствии с существующими в университете нормами.

После титульного листа приводится «Содержание», где последовательно перечисляются заголовки разделов и подразделов и указываются номера страниц, с которых они начинаются.

Обязательный пункт пояснительной записки – введение, где рассматриваются особенности схемы проектируемой теплогенерирующей установки и её место в промышленности. Далее излагается принятое студентом к выполнению задание. Для этого используются материалы, приведенные в настоящем учебно-методическом пособии. При описании конструкции проектируемого котлоагрегата, его назначения и принципа действия можно воспользоваться имеющимися сведениями в списке используемых источников [1-3, 6, 7].

Далее студент должен самостоятельно в соответствии с предложенным ему заданием определить состав рабочей массы топлива, выполнить расчеты теоретических и действительных объёмов воздуха и продуктов сгорания, энтальпий продуктов сгорания, построить I-T диаграмму продуктов сгорания, которая приводится в приложении.

Перед составлением теплового баланса студент должен знать конструкцию котла и выбрать тип топки и топочного устройства в соответствии с рекомендациями изложенными в [4].

При выполнении конструктивных тепловых расчетов топки, конвективно-испарительного пучка и водяного экономайзера необходимо использовать методику, формулы и номограммы, приведённые в нормативном методе «Тепловой расчет котельных агрегатов» [4].

Расчет сопротивлений воздушного и газового трактов проектируемой ТГУ выполняется в соответствии с методикой, изложенной в нормативном методе «Аэродинамический расчёт котельных установок» [5]. Расчет заканчивается выбором марки дымососа и дутьевого вентилятора.

При выполнении расчета прочности пароводяного коллектора и испарительных труб котла марка сталей и их прочностные характеристики выбираются по рекомендациям [1-3, 6, 7].

Расчеты завершаются составлением таблицы сопоставления результатов расчетов с данными прототипа, которые выбираются из [1-3, 6, 7].

Все расчеты в пояснительной записке необходимо представить в такой же форме, как это сделано в приведенном в приложении примере.

Список использованной литературы должен содержать сведения об источниках, которые были использованы в процессе выполнения курсового проекта. На каждый источник в тексте должна быть ссылка.

Графическая часть курсовой работа может выполняться в САПР «КОМПАС», или AutoCAD и включает в себя;

- сборочный чертёж теплогенерирующей установки (2-3 вида с разрезом);
- спецификацию к сборочному чертежу.

3. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Пояснительная записка курсовой работа выполняется печатным способом на стандартных листах формата А4 без рамок и распечатывается с одной стороны листа бумаги.

Текст оформляется согласно требованиям ГОСТ 2.105-2019 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Общие требования к текстовым документам».

Рекомендуется набирать текст работы шрифтом Times New Roman размером (кеглем) 12 через полуторный межстрочный интервал с выравниванием основного текста по ширине и автоматической расстановкой переносов.

Цвет шрифта – черный.

Отступ первой строки – 1,25 см.

Поля страницы «Обычные»: слева – 30 мм; сверху и внизу – 20 мм; справа – 15 мм.

Номера страниц проставляются внизу, посередине. Титульный лист учитывается в общей нумерации страниц работы, но номер страницы на нем не ставится.

Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах всей пояснительной записки, подразделы нумеруются внутри раздела. Заголовки разделов и подразделов печатаются полужирным шрифтом с выравниванием текста по центру. Подчеркивание и перенос слов в заголовках не допускается, точка в конце заголовка не ставится. От текста заголовки отделяются одним интервалом.

Рисунки, таблицы, формулы следует нумеровать арабскими цифрами. Нумерация может быть как сквозной по всему тексту, так и внутри раздела. В тексте курсового проекта на все таблицы и рисунки обязательно должны быть ссылки. Таблицы и рисунки помещают после упоминания о них в тексте или на

следующей странице. От основного текста рисунки, таблицы и формулы отделяются отступом в один интервал.

Слово «Таблица» указывается справа над таблицей, следом идет номер и название таблицы. Если таблица занимает несколько страниц, то в начале каждой следующей страницы пишут: «Продолжение таблицы», с указанием ее номера. При этом столбцы таблицы должны быть пронумерованы.

Рисунки нумеруются и подписываются снизу посередине.

Если в курсовой работе только одна таблица или один рисунок, они не нумеруются.

Изображения, используемые в пояснительной записке в качестве иллюстраций, могут быть полученные путем сканирования, но лишь при условии его высокого качества и последующей обработки, а также при соблюдении пропорций.

Список использованной литературы оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Список формируется в алфавитном порядке, или в порядке появления в тексте ссылок на использованные источники. Ссылка приводится в квадратных скобках и соответствует порядковому номеру источника в списке литературы.

Графическую часть рекомендуется выполнять с использованием методов компьютерного проектирования на листах формата А2 и А3. Оформление графических материалов должно соответствовать требованиям ГОСТ 2.109-73 «Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам» и других действующих стандартов ЕСКД.

4. ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Методическое пособие рекомендовано для использования студентам строительных специальностей и направлений подготовки при выполнении расчетных работ, курсовых и дипломных проектов.

Задание на курсовую работу студенты получают по мере изучения дисциплины.

Выполненная курсовая работа представляется для проверки преподавателю не позднее, чем за неделю до даты проведения промежуточной аттестации по дисциплине. После проверки курсовая работа допускается к защите или отправляется на доработку. Если курсовая работа отправляется на доработку, следует устранить все замечания, указанные преподавателем, и повторно сдать её на проверку.

Если курсовая работа допускается к защите, студент должен быть готовым дать все необходимые пояснения по расчетам, чертежам и содержанию работы. По результатам защиты выставляется оценка, при этом учитываются правильность выполнения заданий, оформление работы, а также качество защиты.

Промежуточная аттестация по дисциплине, осуществляется в форме экзамена. К экзамену допускаются при условии выполнения и успешной сдачи курсовой работы, по результатам тестирования. Оценка по курсовой работе выставляется в зависимости от уровня освоения студентом тем дисциплины (наличия и сущности ошибок, допущенных студентом) и выставляется в соответствии с критериями, указанными в таблице 1.

Таблица 3 - Система и критерии выставления оценки промежуточной аттестации

Система оценок	2	3	4	5
	0-40 %	41-60 %	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
1	2	3	4	5
Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно корректно связывать между собой (только	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект

Система оценок	2	3	4	5
	0-40 %	41-60 %	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
	некоторые из них может связывать между собой)	объект		
Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно-корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задаче данные	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

5. ПРИМЕР РАСЧЁТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ

Введение

Рассматриваемый в данной работе котёл ДКВР первоначально имел марку ДКВ (двухбарабанный котел водотрубный). По мере накопления опыта, в процессе изготовления и эксплуатации котел ДКВ подвергся реконструкции. При реконструкции была уменьшена длина топки, увеличено число рядов труб в конвективном пучке и уменьшен их шаг. Поэтому он стал именоваться ДКВР. Расшифровывается марка следующим образом: ДКВР-2,5-13:

Д - двухбарабанный,

К - котел,

В - водотрубный,

Р - реконструируемый,

2,5- паропроизводительность, т/ч,

13 - рабочее давление, МПа.

Котлы ДКВР по сравнению с другими котлами обладают рядом преимуществ: экономичностью и надежностью, компактностью, транспортабельностью, работают на любом топливе. Наряду с положительными сторонами имеется и характерный недостаток: большая требовательность к качеству воды, т.е. работа в безнакипном режиме. Несмотря на этот недостаток, котлы ДКВР нашли широкое применение в промышленной энергетике и в системах централизованного теплоснабжения и в настоящее время изготавливаются рядом энергомашиностроительных предприятий России.

Все котлы ДКВР имеют общую конструктивную схему. Это двухбарабанные котлы с естественной циркуляцией, экранированной топкой, продольным расположением барабанов и коридорным расположением труб (кипятильных).

Для осмотра барабанов и расположенных в них устройств, а также для очистки труб шарошками на задних днищах имеются лазы; у котла ДКВР-2,5-13 имеется еще лаз на переднем днище верхнего барабана.

Для наблюдения за уровнем воды в верхнем барабане установлены два водоуказательных стекла и сигнализатор уровня. У котлов с длинным барабаном водоуказательные стекла присоединены к цилиндрической части барабана, а у котлов с коротким барабаном к переднему днищу. Из переднего днища верхнего барабана отведены импульсные трубки к регулятору питания. В верхнем, пароводяном барабане котла находятся питательная труба— труба для непрерывной продувки, паросепарационные устройства. В нижнем

барабане установлены перфорированная труба для периодической продувки, устройство для прогрева барабана при растопке и штуцер для спуска воды.

Боковые экранные коллекторы расположены под выступающей частью верхнего барабана, возле боковых стен обмуровки. Для создания циркуляционного контура в экранах передний конец каждого экранного коллектора соединен опускной необогреваемой трубой с верхним барабаном, а задний конец - перепускной трубой с нижним барабаном.

Вода поступает в боковые экраны одновременно из верхнего барабана по передним опускным трубам, а из нижнего барабана по перепускным. Такая схема питания боковых экранов повышает надежность работы при пониженном уровне воды в верхнем барабане, увеличивает кратность циркуляции.

Экранные трубы паровых котлов ДКВР диаметром 51×2.5 мм изготавливают из малоуглеродистой стали.

В котлах с длинным верхним барабаном экранные трубы приварены к экранным коллекторам, а в верхний барабан ввальцованы.

Шаг труб боковых экранов у всех котлов ДКВР 80 мм, шаг труб задних и фронтальных экранов - 80×130 мм.

Пучки кипяtilьных труб выполнены из стальных бесшовных гнутых труб диаметром 51×2.5 мм.

Концы кипяtilьных труб паровых котлов типа ДКВР прикреплены к нижнему и верхнему барабану с помощью вальцовки.

Циркуляция в кипяtilьных трубах происходит за счет испарения воды в передних рядах труб, т.к. они расположены ближе к топке и омываются более горячими газами, чем задние, вследствие чего в задних трубах, расположенных на выходе газов из котла вода идет не вверх, а вниз.

Топочная камера в целях предупреждения затягивания пламени в конвективный пучок и уменьшения потери с уносом (от механической неполноты сгорания топлива), разделена перегородкой на две части: топку и камеру сгорания. Перегородки конвективно-испарительного пучка котла выполнены таким образом, что дымовые газы омывают трубы поперечным током, что способствует теплоотдаче в конвективном пучке.

5.1 Исходные данные для курсовой работы

В качестве прототипа рассматривается котёл типа ДКВР 2,5-13ГМ

Характеристики проектируемого котла

Таблица 5.1

Наименование	Обозначение	Размерность	Численное значение
1	2	3	4
Производительность котла	D_K	т/ч,	3,0
Давление пара (абсолютное)	P_K	МПа	1,1
Температура питательной воды	$t_{ПВ}$	°C	100
Топливо	-	-	Мазут М40 сернистый
Прототип	-	-	ДКВР 2,5-13ГМ

Элементарный состав топлива

Таблица 5.2

Наименование	Обозначение	Размерность	Численное значение
1	2	3	4
Элементарный состав горючей массы топлива	C^F	%	85,1
	H^F	%	10,4
	N^F	%	0,4
	O^F	%	0,6
	S_l^F	%	3,5
Зольность рабочей массы топлива	A^P	%	0,14
Влажность рабочей массы топлива	W^P	%	1,5
Теплота сгорания сухой массы топлива	Q_H^C	кДж/кг	39900

По данным литературных источников [1-4, 6,7] определяются технические характеристики прототипа проектируемого котла (см. таблицу 5.3). Подробно описываются особенности конструкции прототипа.

Технические характеристики котла типа ДКВР

Таблица 5.3

Котел	ДКВР-
Паропроизводительность, т/ч	2,5
Рабочее давление (избыточное) пара на выходе, МПа (кг/см ²)	1,3 (13)
Температура перегретого пара на выходе, °С	194
Расчетный КПД (газ), %	88
Расчетный КПД (мазут), %	85
Расход расчетного топлива (газ), м ³ /ч	187
Расход расчетного топлива (мазут), м ³ /ч	177
Расчетная поверхность нагрева экранов, м ²	16,7
Расчетная поверхность нагрева пучка, м ²	58
Общая поверхность нагрева котла, м ²	74,7
Поверхность нагрева пароперегревателя	-
Водяной объем котла, м ³	3,92
Паровой объем котла, м ³	1,5
Общее количество труб конвективного пучка, шт	220
Длина котла, мм	4120
Ширина котла, мм	3200
Высота котла (до штуцера верхнего барабана), мм	4343
Масса транспортабельного блока котла, кг	4925
Масса котла в объеме заводской поставки, кг	6890
Дополнительная комплектация:	
Экономайзер	2,5
Экономайзер	1,3 (13)
Вентилятор	194
Дымосос	88

Определение состава рабочей массы топлива

Таблица 5.4

Наименование	Обозначение	Размерность	Расчетная формула или источник	Расчет	Результат
1	2	3	4	5	6
Элементарный состав рабочей массы топлива	C^P	%	$C^P \cdot \frac{100 - A^P - W^P}{100}$	$85,1 \cdot \frac{100 - 0,12 - 1,5}{100}$	83,7
	H^P	%	$H^P \cdot \frac{100 - A^P - W^P}{100}$	$10,4 \cdot \frac{100 - 0,12 - 1,5}{100}$	10,23
	N^P	%	$N^P \cdot \frac{100 - A^P - W^P}{100}$	$0,4 \cdot \frac{100 - 0,12 - 1,5}{100}$	0,393
	O^P	%	$O^P \cdot \frac{100 - A^P - W^P}{100}$	$0,6 \cdot \frac{100 - 0,12 - 1,5}{100}$	0,59
	$S_{л}^P$	%	$S_{л}^P \cdot \frac{100 - A^P - W^P}{100}$	$3,5 \cdot \frac{100 - 0,12 - 1,5}{100}$	3,44
Теплота сгорания рабочей массы топлива	Q_H^P	кДж/кг	$Q_{н}^C \cdot \frac{100 - W^P}{100}$	$39900 \cdot \frac{100 - 1,5}{100}$	39301,5

5.2. Тепловой расчёт котлоагрегата

Исходные данные для расчета объемов воздуха и продуктов сгорания (принимаются в соответствии с [4])

Таблица 5.5

Наименование	Обозначение	Размерность	Источник	Численное значение
Коэффициент избытка воздуха в топке котла	α_T	-	-	1,1
Присосы воздуха в конвектно-испарительном пучке	$\Delta\alpha'$	-	-	0,1
Коэффициент избытка воздуха в испарительном пучке	α_{Γ}	-	$\alpha_T + \Delta\alpha'$	1,2
Коэффициент избытка воздуха в водяном экономайзере	$\alpha_{ЭК}$	-	$\alpha_{\Gamma} + \Delta\alpha'$	1,3

Определение объемов воздуха и продуктов сгорания

Таблица 5.6

Наименование	Обозначение	Размерность	Расчетная формула или источник	Расчет	Результат
1	2	3	4	5	6
Теоретический объем воздуха, необходимый для сгорания 1кг топлива	$V_{сух}^o$	$м^3/кг$	$0,089 \cdot (C^P + 0,375 \cdot S_1^P) + 0,265 \cdot H^P - 0,033 \cdot O^P$	$0,089 \cdot (83,7 + 0,375 \cdot 3,44) + 0,265 \cdot 10,23 - 0,033 \cdot 0,59$	10,251
Объем трехатомных газов	V_{RO2}	$м^3/кг$	$0,018 \cdot (C^P + 0,375 \cdot S_1^P)$	$0,018 \cdot (83,7 + 0,375 \cdot 3,44)$	1,529
Объем двухатомных газов (теоретически необходимый)	V_{R2}^o	$м^3/кг$	$0,79 \cdot V_{сух}^o + 0,008 \cdot N^P$	$0,79 \cdot 10,251 + 0,008 \cdot 0,393$	8,101
Теоретический объем водяных паров	V_{H2O}^o	$м^3/кг$	$0,0124 \cdot (9 \cdot N^P + W^P) + 0,0161 \cdot V_{сух}^o$	$0,0124 \cdot (9 \cdot 0,393 + 1,5) + 0,0161 \cdot 10,251$	1,325
Теоретический объем влажного воздуха	$V_{вл.в.}^o$	$м^3/кг$	$1,0161 \cdot V_{сух}^o$	$1,0161 \cdot 10,251$	10,416

Продолжение таблицы 5.6

1	2	3	4	5	6
Действительный объем продуктов сгорания:					
В топке	$V_{\text{ГТ}}$	$\text{м}^3/\text{кг}$	$V_{R2}^0 + V_{RO2} + V_{H2O}^0 + V_{H2O}^0 + (\alpha_{\text{Т}} - 1) \cdot V_{\text{ВЛ.В.}}^0$	$8,101+1,529+1,32$ 5 $+(1,1-1) \cdot 10,416$	11,9966
В конвективном испарительном пучке	$V_{\text{ГТ}}$	$\text{м}^3/\text{кг}$	$V_{R2}^0 + V_{RO2} + V_{H2O}^0 + (\alpha_{\text{ГТ}} - 1) \cdot V_{\text{ВЛ.В.}}^0$	$8,101+1,529+1,32$ 5 $+(1,2-1) \cdot 10,416$	13,04
В экономайзере	$V_{\text{ЭК}}$	$\text{м}^3/\text{кг}$	$V_{R2}^0 + V_{RO2} + V_{H2O}^0 + (\alpha_{\text{ЭК}} - 1) \cdot V_{\text{ВЛ.В.}}^0$	$8,101+1,529+1,32$ 5 $+(1,3-1) \cdot 10,416$	14,08

Исходные данные для составления теплового баланса котлоагрегата

Таблица 5.7

Наименование	Обозначение	Размерность	Источник	Численное значение
1	2	3	4	5
Энтальпия холодного воздуха	$I_{\text{ХВ}}$	кДж/кг		420
Коэффициент избытка воздуха	$\alpha_{\text{УХ}}$		$\alpha_{\text{ИВ}} = \alpha_{\text{ЭК}}$	1,3
Температура питательной воды	$t_{\text{ПВ}}$	$^{\circ}\text{C}$		100
Температура холодного воздуха	$t_{\text{ХВ}}$	$^{\circ}\text{C}$		30
Температура подогрева топлива	$t_{\text{Т1}}$	$^{\circ}\text{C}$	для м-100	120

Тепловой баланс котлоагрегата

Таблица 5.8

Наименование	Обозначение	Размерность	Расчетная формула или источник	Расчет	Результат
1	2	3	4	5	6
Энтальпия питательной воды	$I_{\text{ПВ}}$	кДж/кг	$c \cdot t_{\text{ПВ}}$	$4,19 \cdot 100$	419
Потери тепла от наружного охлаждения	q_5	%	$\frac{2,6}{D_K^{0,448}}$	$\frac{2,6}{0,83^{0,448}}$	2,85

Продолжение таблицы 5.8.

Потери тепла от неполного сгорания	q_3	%	Принимается	-	1,5
1	2	3	4	5	6
Потери тепла от механического недожога	q_4	%	Принимается	-	0
Потери с физической теплотой шлака	q_6	%	Принимается	-	0
КПД котла	η_k	%	Принимается по прототипу	-	88,6
Потери тепла с уходящими газами	q_2	%	$100\% - \eta_k - q_3 - q_4 - q_5 - q_6$	$100\% - 88,6 - 1,5 - 0 - 2,85 - 0$	7,05
Энтальпия уходящих газов	$I_{хв}$	кДж/кг	$q_2 \cdot \frac{Q_H^p}{100} + \alpha_{yx} \cdot I_{хв}$	$\frac{7,05 \cdot 39301,5}{100} + 1,3 \cdot 420$	3316,75
Температура уходящих газов за котлом	$t_{yx.з.к.}$	°C	Методом линейной интерполяции по табл. 3.4	Место для формулы	171
Теплоемкость топлива	$c_{т1}$	кДж/кг	$1,74 + 0,00251 \cdot t_{т1}$	$1,74 + 0,00251 \cdot 20$	2,04
Энтальпия топлива (тепло, вносимое в топку вместе с мазутом)	$i_{т1}$	кДж/кг	$c_{т1} \cdot i_{т1}$	$2,04 \cdot 120$	244,8
Располагаемое тепло, вносимое в топку котла	Q_p^p	кДж/кг	$Q_p^p + i_{т1}$	$39301,5 + 244,8$	39546,3
Коэффициент сохранения тепла	φ	-	$1 - \frac{q_5}{\eta_k + q_5}$	$1 - \frac{2,85}{88,6 - 2,85}$	0,968
Продувка котлоагрегата	$D_{пр}$	кг/с	$D_k \cdot \frac{P}{100}$	$0,83 \cdot \frac{5}{100}$	0,041
Полезная тепловая мощность котлоагрегата	Q_k	кВт	$D_k \cdot (i'' - r \cdot y - i_{пв}) + D_{пр} \cdot (i' - i_{пв})$	$0,83 \cdot (2783,4 - 1985 - 0,05 \cdot 420) + 0,041 \cdot (798,4 - 420)$	1894,76
Расход топлива, подаваемого в котел	B	кг/с	$\frac{Q_k \cdot 100}{Q_p^p \cdot \eta_k^{MAX}}$	$\frac{1894,76 \cdot 100}{39546,3 \cdot 88,6}$	0,054

5.3. Расчёт топки

Исходные данные для расчета (принимаются по прототипу и рекомендациям [4])

Таблица 5.9

Наименование	Обозначение	Размерность	Источник	Численное значение
1	2	3	4	5
Тепловая напряженность топочного объема	q_v	$кВт/м^3$	По прототипу	195
Ширина топки	b_T	$м$	По прототипу	2,18
Температура газа за топкой	$t_{зт}$	$^{\circ}C$	По прототипу	900
Энтальпия газов за топкой	$I_{зт}$	$кДж/кг$	По таблице 2.3	17749
Относительное положение максимума температур по высоте топки	X_T	-	По прототипу	0,6
Степень экранирования топки котла (предварительн.)	ψ'	-	По прототипу	0,7
Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами	K_n	$1/бар \cdot м$	$K_r \cdot r_n$	0,26
Коэффициент ослабления тепловых лучей сажистыми частицами	K_c	$1/бар \cdot м$	По прототипу	0,4
Коэффициент усреднения	m	-	По прототипу	0,668
Угловой коэффициент экрана	x	-	По прототипу	0,78

Таблица 5.10

Расчет топки

Наименование	Обозначение	Размерность	Расчетная формула или источник	Расчет	Результат
1	2	3	4	5	6
Объем топки	V_T	$м^3$	$\frac{B_p \cdot Q_p^p}{q_v}$	$\frac{0,054 \cdot 39546,3}{195}$	10,95
Длина топки	l_T	$м$	$\sqrt[3]{V_T}$	$\sqrt[3]{10,95}$	2,21
Площадь стен переднего (заднего) фронта	$F_{Tф}$	$м^2$	$\frac{V_T}{l_T}$	$\frac{10,95}{2,21}$	4,93

1	2	3	4	5	6
Площадь боковой стены	F_{6c}	m^2	$\frac{V_T}{b_T}$	$\frac{10,95}{2,18}$	5
Площадь потолка топки	F_{Π}	m^2	$l_T \cdot b_T$	2,21·5	11,05
Полная площадь стен	F'_{CT}	m^2	$2F_{T\Phi} + 2F_{6c} + 2F_{\Pi}$	2·(4,93+5+11,05)	41,96
Параметр М	M	-	0,54-0,2X _T	0,54-0,2·0,6	0,42
Эффективная толщина излучающего слоя в топке	S	m	$3,6 \cdot \frac{V_T}{F'_{CT}}$	$3,6 \cdot \frac{10,95}{41,96}$	0,96
Объемная доля трехатомных газов	r_{RO2}	-	$\frac{V_{RO2}}{V_{гT}}$	$\frac{1,529}{11,99}$	0,127
Объемная доля водяных паров	r_{H2O}	-	$\frac{V_{H2O}}{V_{гT}}$	$\frac{1,325}{11,99}$	0,11
Суммарная объемная доля трехатомных газов	r_n	-	$r_{RO2} + r_{H2O}$	0,127+0,11	0,237
Парциальное давление трехатомных газов	P_T	бар	$P_T \cdot r_n$	1·0,237	0,237
Произведение	$P_n \cdot S$	бар·м	$P_n \cdot S$	0,237·0,94	0,222
Коэффициент	K_r	1/бар·м	Определяется по номограмме	-	1,1
Степень черноты светящего факела	$\alpha_{св}$	-	$1 - e^{-(K_r \cdot r_n + K_c) \cdot P_T \cdot S}$	$1 - 2,73^{-0,62}$	0,47
Энтальпия газов в топке	I_a	кДж/кг	$Q_p^p \cdot \frac{100 - q_5}{100}$	$39546,3 \cdot 0,9715$	38419,23
Тепловая напряженность стен топки	q_F	кВт/м ²	Определяется по номограмме	$q_F = \begin{cases} \alpha_T = 0,477 \\ \psi = 0,7 \\ M = 0,42 \\ t_a = 1934 \\ t_{3T} = 900 \end{cases}$	72
Необходимая поверхность стен в топке	F_{CT}	m^2	$\frac{B_p \cdot I_a}{q_F}$	$\frac{0,054 \cdot 38419,23}{83,52}$	24,84
Радиационная поверхность нагрева	H_L	m^2	$\psi' \cdot F_{CT}$	0,7·24,84	17,38
Степень экранирования топки котла (уточненная)	ψ	-	$\frac{H_L}{F_{CT}}$	$\frac{17,38}{24,84}$	0,7

1	2	3	4	5	6
Поверхность стен топки (боковых фронтов), покрытых экранами	F_3	m^2	$\frac{H_d - F_n}{x}$	$\frac{17,38 \cdot 11,05}{0,78}$	8,11
Количество тепла, воспринимаемое в топке	Q_L	кг/с	$\varphi \cdot B_p(I_a - I_{3T})$	$0,968 \cdot 0,054 \cdot (38419,23 - 17749)$	1080,47

5.4. Расчет конвективно-испарительного пучка

Исходные данные для расчёта (принимаются по прототипу и рекомендациям [4])

Таблица 5.11

Наименование	Обозначение	Размерность	Источник	Численное значение
1	2	3	4	5
Температура газов за пучком	t_1	$^{\circ}C$	По прототипу	340
Диаметр испарительных труб в котле	d_k	мм	По прототипу	51
Поперечный шаг трубок в пучке	S_{1k}	мм	По прототипу	100
Средняя длина труб в пучке	l_k	м	По прототипу	1,72
Количество трубок в первом газоходе (предварительн.)	z'_1	шт.	По прототипу	6
Поправочные коэффициенты	c_z	-	По прототипу	1,0
	c_ϕ	-	По прототипу	1
	c_s	-	По прототипу	0,95
Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha_{1л}$	$Вт/м^2 \cdot K$	По прототипу	3
Коэффициент омывания пучка труб	ω	-	По прототипу	0,9
Коэффициент загрязнения труб в пучке	ε	$м^2 \cdot K/Вт$	По прототипу	0,008

Расчет конвективно-испарительного пучка

Таблица 5.12

Наименование	Обозначение	Размерность	Расчетная формула или источник	Расчет	Результат
1	2	3	4	5	6
Энтальпия газов за конвективно-испарительным пучком	I_1	$кДж/кг$	Определяется методом линейной интерполяции		6722,73
Кол-во тепла, отданное газами в конвективном испарительном пучке	Q_1	$кВт$	$\varphi \cdot B_p(I_a - I_{зт})$	$0,054 \cdot (17749 - 6722,73) \cdot 0,968$	576,39
Средняя температура потока газов	t_{1cp}	$^{\circ}C$	$0,5 \cdot (t_{зт} - t_1)$	$0,5 \cdot (900 + 340)$	620
Средний секундный объем газов	t_{1cp}	$м^3/с$	$B_p \cdot V_{гр} \frac{t_{1cp} + 273}{273}$	$0,054 \cdot 11,99 \cdot \frac{620 + 273}{273}$	2,11
Живое сечение" для прохода газов	F_1	$м^2$	$z'_1 \cdot l_k(S_{1к} - d_k)$	$6 \cdot 1,72 \cdot (0,1 - 0,051)$	0,505
Средняя скорость газов в пучке	ω_1	$м/с$	$\frac{V_{1сек}}{F_1}$	$\frac{2,11}{0,505}$	4,18
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$\alpha_{1н}$	$Вт/м^2 \cdot K$	Определяется по номограмме	-	40
Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$\alpha_{1к}$	-	$L_{1н} \cdot c_z \cdot c_{\phi} \cdot c_s$	$40 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,95$	38
Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	α_1	-	$\omega \cdot \alpha_{1к} + \alpha_{1л}$	$0,9 \cdot 38 + 3$	37,2
Коэффициент теплопередачи	K_1	$Вт/м^2 \cdot K$	$\frac{\alpha_1}{1 + \varepsilon \cdot \alpha_1}$	$\frac{37,2}{1 + 0,008 \cdot 37,2}$	28,66
Среднелогарифмический температурный напор	Δt_1	$^{\circ}C$	$\frac{t_{зт} - t_1}{\ln \frac{t_{зт} - t_s}{t_1 - t_s}}$	$\frac{900 - 340}{\ln \frac{900 - 187,9}{340 - 187,9}}$	363,6
Поверхность нагрева конвективного пучка	H_1	$м^2$	$\frac{Q_1 \cdot 10^3}{\Delta t_1 \cdot K_1}$	$\frac{576,39 \cdot 10^3}{363 \cdot 28,66}$	55,5
Количество трубок в пучке	n_1	шт.	$\frac{H_1}{\pi \cdot d_k \cdot l_k}$	$\frac{55,5}{3,14 \cdot 0,051 \cdot 1,72}$	200
Продольный шаг трубок в пучке	$S_{2к}$	мм	Принимается по прототипу	-	110
Количество рядом труб по ширине топки в обоих газоходах	z_2	шт.	$\frac{B_{гр}}{S_{2к}} + 1$	$\frac{2,18}{0,11} + 1$	20

1	2	3	4	5	6
Количество рядов труб по длине барабана	z_1	шт.	$\frac{n_1}{z'_{2max}}$	$\frac{200}{20}$	10
Количество рядов труб в газоходах	z'_1	шт.	Принимается по прототипу	-	6
	z'_1	шт.		-	4
Длина котла в зоне конвективно-испарительного пучка	l_{Γ}	м	$S_{1к} \cdot (z'_1 + z''_1)$	$0,1 \cdot (10 \text{ шт.})$	1

5.5. Расчет водяного экономайзера

Исходные данные для расчёта (принимаются по прототипу и рекомендациям [4])

Таблица 5.13

Наименование	Обозначение	Размерность	Источник	Численное значение
1	2	3	4	5
Поправочный коэффициент	C_V	-	-	0,98
Поверхность теплообмена одной трубы	$S'_{\text{эк}}$	м^2	-	2,95

Расчет водяного экономайзера

Таблица 5.14

Наименование	Обозначение	Размерность	Расчетная формула или источник	Расчет	Результат
1	2	3	4	5	6
Количество тепла, отданное газами в экономайзере	$Q_{\text{эк}}$	кВт	$B \cdot \varphi \cdot (I_1 - I_{\text{ух}})$	$0,054 \cdot 0,968 \cdot (6722,73 - 3316,75)$	178
Средняя температура потока газов	$t_{\text{эк.ср.}}$	$^{\circ}\text{C}$	$0,5 \cdot (t_{1\text{ср}} + t_{\text{ух}})$	$0,5 \cdot (340 + 170,99)$	255
Средний секундный объем газов	$V_{\text{эк.ср.}}$	$\text{м}^3/\text{с}$	$B \cdot V_{\text{г.эк.}} \cdot \frac{t_{\text{эк.ср.}} + 273}{273}$	$0,054 \cdot 14,41 \cdot \frac{255 + 273}{273}$	1,5
“Живое сечение” для прохода газов в одной трубе	$F'_{\text{эк}}$	м^2	$(l_{\text{эк}} - n' \delta') (S_{1\text{эк}} - d_{\text{эк}})$	$(2 \cdot 75 \cdot 0,005) \cdot (0,15 - 0,076)$	0,12

1	2	3	4	5	6
Количество труб в ряду (предварит.)	$z'_{1эк}$	<i>шт.</i>	$\frac{V_{эк}}{V'_{эк} \cdot F'_{эк}}$	$\frac{1,5}{8 \cdot 0,12}$	1,5
Количество труб в ряду (окончател.н.)	$z_{1эк}$	-	<i>Принимается</i>	-	3
“Живое сечение” для прохода газов в пучке	$F_{эк}$	м ²	$z_{1эк} \cdot F'_{эк}$	3·0,12	0,36
Средняя скорость газов в экономайзере	$w_{эк.ср.}$	м/с	$\frac{V_{эк.ср.}}{F_{эк}}$	$\frac{1,5}{0,24}$	6,25
Коэффициент теплоотдачи в экономайзере	K_H	Вт/м ² ·К	<i>Определяется по номограмме</i>	-	16,5
Коэффициент теплопередачи экономайзера	$K_{эк}$	Вт/м ² ·К	$K_H \cdot C_V$	16,5·0,98	16,17
Температура воды на выходе из экономайзера	$t''_{эк}$	°C	$t_H - 30$	180-30	150
Температурный напор в конце экономайзера	$t^M_{эк}$	°C	$t_{yx} - t_{пв}$	171-100	71
Температурный напор в начале экономайзера	$t^6_{эк}$	°C	$t_1 - t''_{эк}$	340-150	190
Логарифмический температурный напор	$\Delta t_{эк}$	°C	$\frac{t^6_{эк} - t^M_{эк}}{\ln \frac{t^6_{эк}}{t^M_{эк}}}$	$\frac{190 - 71}{\ln \frac{190}{71}}$	121
Поверхность нагрева экономайзера (расчетная)	$H'_{эк}$	м ²	$\frac{Q_{эк} \cdot 10^3}{\Delta t_{эк} \cdot K_{эк}}$	$\frac{178 \cdot 10^3}{71 \cdot 16,17}$	155
Количество труб в пучке (расчетное)	$n'_{эк}$	<i>шт.</i>	$\frac{H''_{эк}}{H'_{эк}}$	$\frac{155}{2,95}$	53
Количество рядов труб (расчетное)	$z'_{эк}$	<i>шт.</i>	$\frac{n'_{эк}}{z_{1эк}}$	$\frac{53}{3}$	18

1	2	3	4	5	6
Количество колонок	$n_{\text{ЭК}}$	шт.	Принимается	-	2
Количество рядов труб в одном проходе	$z_{\text{ЭК.пр.}}$	шт.	$\frac{z'_{\text{ЭК}}}{n_{\text{ЭК}}}$	$\frac{18}{2}$	9
Ширина экономайзера	$b_{\text{ЭК}}$	м	$z_{1\text{ЭК}} \cdot S_{1\text{ЭК}} \cdot n_{\text{ЭК}}$	$3 \cdot 0,15 \cdot 2$	0,9
Продольный шаг трубок в экономайзере	$S_{2\text{ЭК}}$	м	Принимается	-	0,15
Высота сажеобдувочных устройств	$h_{\text{с}}$	м	Принимается	-	0,83
Количество сажеобдувочных устройств	$n_{\text{с}}$	шт.	Принимается	-	2
Высота экономайзера	$h_{\text{ЭК}}$	м	$z_{\text{ЭК.пр.}} \cdot S_{2\text{ЭК}} + h_{\text{с}} \cdot n_{\text{с}}$	$9 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,83$	3,01

5.6. Баланс котла по пару и КПД

Таблица 5.15

Наименование	Обозначение	Размерность	Расчетная формула или источник	Расчет	Результат
1	2	3	4	5	6
Количество тепла, переданное поверхности нагрева котла	$Q_{\text{к}}$	кВт	$Q_{\text{луч}} + Q_1 + Q_{\text{ЭК}}$	$1080 + 576 + 178$	1834
Проектная полная производительность котла	$D'_{\text{к}}$	кг/с	$\frac{Q_{\text{к}}}{i'' - r \cdot y - i_{\text{пв}} + \frac{P}{100}(i' - i_{\text{пв}})}$	$\frac{1834}{2783.4 - 1985 \cdot 0.05 - 419} + \frac{5}{100}(798.4 - 419)$	0,816
Невязка теплового баланса	$\Delta D_{\text{к}}$	%	$\frac{D_{\text{к}} - D'_{\text{к}}}{D_{\text{к}}} \cdot 100\%$	$\frac{0,83 - 0,81}{0,83} \cdot 100\%$	2,4
Проектный КПД котла	$\eta'_{\text{к}}$	%	$\frac{Q_{\text{к}} \cdot 100}{B \cdot Q_{\text{Р}}^{\text{Р}}}$	$\frac{1834 \cdot 100}{0,054 \cdot 40307}$	84,26

5.7. Аэродинамический расчет котла

Таблица 5.16

Исходные данные для расчета (принимаются по прототипу и рекомендациям [5])

Наименование	Обозначение	Размерность	Источник	Численное значение
1	2	3	4	5
Плотность холодного воздуха	$\rho_{\text{хв}}^{\text{н.у.}}$	кг/м ³	Принимается	1,293
Температура холодной воды	$t_{\text{хв}}$	°C	Принимается	30
Коэффициент избытка воздуха в топке	$\alpha_{\text{т}}$	-	Принимается	1,1
Скорость воздуха в напр. аппарата горелки	$w_{\text{в}}$	м/с	Принимается	25
Коэффициент аэродинамического сопротивления в горелке	$\xi_{\text{вну}}$	-	Принимается	3,2
Коэффициенты запаса вентиляторов				
по расходу воздуха	K_1	-	Принимается	1,05
по напору воздуха	K_2	-	Принимается	1,1
по мощности	$K_{\text{м}}$	-	Принимается	1,1
Коэффициент избытка воздуха в газоходе	$\alpha_{\text{г}}$	-	Принимается	1,2
Поправочный коэффициент на геометрические характеристики пучка	C_{σ}	-	Принимается	0,8
Диаметр трубок испарительного пучка	$d_{\text{к}}$	мм	Принимается	51
Скорость газов	$w_{1\text{ср}}$	м/с	Принимается	4,18
Средняя температура газов в конвективно-испарительном пучке	$t_{1\text{ср}}$	°C	Принимается	620

Расчет сопротивлений газового и воздушного тракта

Таблица 5.17

Наименование	Обозначение	Размерность	Расчетная формула или источник	Расчет	Результат
1	2	3	4	5	6
Плотность воздуха при $t=30^\circ$	$\rho_{\text{хв}}$	кг/м ³	$\frac{273}{273 + t_{\text{хв}}}$	$\frac{273}{273 + 30}$	1,165
Сопротивление воздухонагревающего устройства	$\Delta h_{\text{вну}}$	Па	$\xi_{\text{вну}} \frac{w_{\text{в}}^2}{2} \rho_{\text{хв}}$	$\frac{3,2 \cdot 25^2 \cdot 1,165}{2}$	1165
Местное сопротивление воздушного тракта котла	$\Sigma \Delta h'_{\text{в}}$	Па	Принимается по прототипу	-	114
Общее сопротивление воздушного тракта	$\Delta h_{\text{в}}$	Па	$\Delta h_{\text{вну}} + \Sigma \Delta h'_{\text{в}}$	1165+114	1279
Необходимый расход воздуха	$\omega_{\text{в}}$	м ³ /с	$\alpha_{\text{т}} \cdot V_{\text{вл.в.}} \cdot B$	1,1·10,6·0,054	0,63
		м ³ /ч		0,63·3600	2268
КПД вентилятора	$\eta_{\text{в}}$	%	Принимается по прототипу	-	0,62
Мощность привода вентилятора	$N_{\text{в}}$	кВт	$K_1 K_2 K_{\text{м}} \frac{W_{\text{в}} \cdot \Delta h_{\text{в}}}{1000 \cdot \eta_{\text{в}}}$	$1,05 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \frac{0,63 \cdot 1279}{1000 \cdot 0,62}$	1,65
Плотности газов при нормальных физических условиях	ρ_{RO2}	кг/м ³	Принимается	-	1,965
	ρ_{R2}	кг/м ³	Принимается	-	1,25
	ρ_{H2O}	кг/м ³	Принимается	-	0,804
	$\rho_{\text{хв}}$	кг/м ³	Принимается	-	1,293
Масса газов	M_{RO2}	кг/кг.т.	$\rho_{\text{RO2}} \cdot V_{\text{RO2}}$	1,965·1,596	3,13
	M_{R2}	кг/кг.т.	$\rho_{\text{R2}} \cdot V_{\text{R2}}$	1,25·8,25	10,3
	M_{H2O}	кг/кг.т.	$\rho_{\text{H2O}} \cdot V_{\text{H2O}}$	0,804·1,39	1,14
	$M_{\text{вл.в.}}$	кг/кг.т.	$\rho_{\text{вл.в.}} \cdot V_{\text{вл.в.}}$	1,293·10,6	13,7
Масса продуктов сгорания в дымоходе	$M_{\text{гт}}$	кг/кг.т	$M_{\text{RO2}} + M_{\text{R2}} + M_{\text{H2O}} + (\alpha_{\text{г}} - 1) M_{\text{вл.в.}}$	3,13+10,3+1,14+ +(1,2-1)·13,7	17,31
Коэффициент сопротивления 1 ряда трубок испарительного пучка	$\xi_{\text{тр}}$	-	В зависимости от параметров	Определяется по номограмме	0,54

Коэффициент сопротивления испарительного пучка	ξ_{Γ}	-	$C_{\sigma} \cdot \xi_{\text{тр}} \cdot z_1 \cdot 2$	$0,8 \cdot 0,54 \cdot 20 \cdot 2$	17,28
Плотность дымовых газов при нормальных физических условиях	ρ_{Γ}	кг/м ³	$\frac{M_{\Gamma\Gamma}}{V_{\Gamma\Gamma}}$	$\frac{17,31}{12,29}$	1,4
Сопротивление испарительного пучка	$\Delta h_{\text{исп}}$	Па	$\xi_{\Gamma} \cdot \frac{w_{1\text{сп}}^2}{2} \cdot \rho_{\Gamma\Gamma}$	$17,28 \cdot \frac{4,18^2}{620 + 273}$	64,46
Потеря напора на 1 ряде трубок водяного экономайзера	$\Delta h_{\text{эк.р.}}$	Па	<i>В зависимости от параметров</i>	$0,54 \cdot 9,8$	5,3
Общее сопротивление экономайзера	$\Delta h_{\text{эк}}$	Па	$\Delta h_{\text{эк.р.}} \cdot z_{\text{эк}2}$	$5,3 \cdot 20$	106
Местное сопротивление газового тракта	$\Sigma \Delta h_{\text{м}}$	Па	<i>Принимается по прототипу</i>	-	225
Общее сопротивление газового тракта	Δh_{Γ}	Па	$\Delta h_{\text{исп}} \cdot z_{\text{эк}} \cdot \Sigma \Delta h_{\text{м}}$	$64,46 + 106 + 225$	396
Объем газов в дымососе	V_{yx}	м ³ /кг	$V_{\text{RO2}} + V_{\text{R2}}^o + V_{\text{H2O}} + (\alpha_{\text{yx}} - 1) \cdot V_{\text{ВЛ.В.}}^o$	$1,596 + 8,25 + 1,39 + (1,35 - 1) \cdot 10,6$	14,946
Необходимый расход газов	W_{Γ}	кг/с	$B \cdot V_{\text{yx}}$	$0,63 \cdot 14,946$	9,4
Мощность привода дымососа	$N_{\text{д}}$	В	$K_1 K_2 K_{\text{м}} \frac{W_{\Gamma} \cdot \Delta h_{\Gamma}}{1000 \cdot \eta_{\text{д}}}$	$1,05 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \frac{0,807 \cdot 396}{1000 \cdot 0,62}$	0,65

Выбор вентилятора и дымососа

По результатам расчетов, по расходу воздуха и сопротивлению воздушного такта с учетом коэффициентов запаса, по рекомендациям [5] подбираем вентилятор ВР 75-80

По расходу дымовых газов и сопротивлению газового такта с учетом коэффициентов запаса по рекомендациям [5] подбираем дымосос Д-3,5

5.8. Расчет на прочность

Исходные данные для расчета (принимаются по прототипу и рекомендациям [1-3, 6,7])

Таблица 5.18

Наименование	Обозначение	Размерность	Источник	Численное значение
1	2	3	4	5
Давление пара	P_k	$МПа$	Из табл.	1,4
Температура насыщения	t_n	$^{\circ}C$	Из табл.	195
Диаметр испарительных труб (наружный)	d_k	$мм$	Из табл.	51
Диаметр испарительных труб (внутренний)	d_v	$мм$	По прототипу	1000
Марка стали для труб	-	-	По прототипу	ст. 10
Предел текучести стали	σ_T	$МПа$	Принимается	170
Коэффициент запаса прочности	n	-	Принимается	1,7
Коэффициент ослабления стенки трубы	$\varphi_{тр}$	-	Принимается	1,0
Прибавка к толщине стенки трубы	$c_{тр}$	$мм$	Принимается	0
Продольный шаг труб в коллекторе	$S_{1к}$	$мм$	Из табл. 2.1	100
Прибавка к толщине доньшка коллектора	$c_{дн}$	$мм$	Принимается	2,0
Коэффициент ослабления днища коллектора	$\varphi_{дн}$	-	Принимается	0,8
Коэффициент формы днища	$\gamma_{дн}$	-	Принимается	29

Расчет на прочность пароводяного коллектора и испарительных труб

Таблица 5.19

Наименование	Обозначение	Размерность	Расчетная формула или источник	Расчет	Результат
1	2	3	4	5	6
Расчетная температура для испарительных труб	$t_{ст}$	$^{\circ}C$	$t_n + 90$	195+90	285
Допускаемые напряжения для материала труб	σ_{δ}	МПа	$\frac{\sigma_T}{n}$	$\frac{170}{1,7}$	100
Толщина стенки испарительных труб	$S'_{тр}$	мм	$\frac{d_k \cdot P_k}{2 \cdot \sigma_{\delta} \cdot \varphi_{тр}} + c_{тр}$	$\frac{51 \cdot 1,4}{2 \cdot 100 \cdot 1,0 + 1,4} + 0$	0,35
Толщина стенки испарительных труб (конструктивная)	$S_{тр}$	мм	Принимается	-	3,6
Коэффициент ослабления стенки коллектора	$\varphi_{кол}$	-	$\frac{S_{1к} - d_k}{S_{1к}}$	$\frac{100 - 51}{51}$	0,49
Толщина стенки пароводяного коллектора	$S'_{кол}$	мм	$\frac{d_b \cdot P_k}{2 \cdot \sigma_{\delta} \cdot \varphi_{кол}} - P_k$	$\frac{100 \cdot 1,4}{2 \cdot 100 \cdot 0,49 - 1,4}$	14,49
Толщина стенки коллектора (конструктивная)	$S_{кол}$	мм	Принимается	-	20,0
Толщина днища коллектора (расчетная)	$S'_{дн}$	мм	$\frac{(d_b + 2 \cdot S_{кол}) \cdot P_k \cdot \gamma_{дн}}{4 \cdot \sigma_{\delta} \cdot \varphi_{дн}} + c_{дн}$	$\frac{(1000 + 2 \cdot 20) \cdot 1,4 \cdot 2,9}{4 \cdot 100 \cdot 0,8} + 2$	15,195
Толщина днища коллектора (констр.)	$S_{дн}$	мм	Принимается	-	20,0

6. Сравнение характеристик проектируемого парогенератора с прототипом

Наименование	Обозначение	Размерность	Проект	Прототип
Паропроизводительность	D_k	$кг/с$	3,0	2,5
Давление пара	P_k	$МПа$	1,1	1,3
Температура питательной воды	$t_{п.в.}$	$^{\circ}C$	100	100
КПД котлоагрегата	η_k	$\%$	88,6	81,86
Расход топлива	B	$кг/с$	0,054	0,073
Теплота сгорания рабочей массы топлива	Q_H^P	$кДж/кг$	39301,5	-
Коэффициент избытка воздуха	α_T	-	1,1	1,4
Теплонапряженность топочного объема	q_v	$кВт/м^3$	195	195
Объем топки	V_T	$м^3$	10,95	11,8
Потери тепла от химического недожога	q_3	$\%$	1,5	1,5
Потери тепла от механического недожога	q_4	$\%$	0	0
Потери тепла от охлаждения	q_5	$\%$	2,85	2,85
Радиационная поверхность нагрева	H_L	$м^2$	17,38	13
Температура газов за топкой	t_{3T}	$^{\circ}C$	900	900
Испарительный конвективный пучок				
Поверхность нагрева	H_1	$м^2$	55,5	75
Скорость газов (средняя)	$W_{1\text{ ср}}$	$м/с$	4,18	4,6
Коэффициент теплопередачи	K_1	$Вт/м^2 \cdot K$	28,66	29,5
Температура газов за пучком	t_1	$^{\circ}C$	340	340
Экономайзер				
Поверхность нагрева	$H_{эк}$	$м^2$	155	106,4
Скорость газов(средняя)	$W_{эк\text{ ср}}$	$м/с$	6,25	6,45
Коэффициент теплопередачи	$K_{эк}$	$Вт/м^2 \cdot K$	16,17	14,1
Температура воды на выходе	$t_{эк}^{//}$	$^{\circ}C$	150	106
Температура уходящих газов	t_{yx}	$^{\circ}C$	171	175
Потери тепла с уходящим газом	q_2	$\%$	7,05	7,64

Выводы

Проектируемый котел оказался более эффективным, по сравнению с прототипом. КПД проектируемого котла выше при меньшем расходе топлива и меньшем объеме топки за счет меньшей потери тепла с уходящими газами, большей радиационной поверхности топки. Более низкая температура уходящих газов, чем в прототипе, снижает потери тепла в экономайзере.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Карауш С.А. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения / С.А. Карауш, А.Н. Хуторной. – Томск, 2003. - 161 с.
2. Фокин, В.М. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения. – М.: «Машиностроение», 2006. - 240 с.
3. Карницкий, Н.Б. Теплогенерирующие установки: методическое пособие к курсовому проекту / Н.Б. Карницкий, Б.М. Руденков, В.А. Чиж. – Минск, БНТУ, 2005. - 58 с.
4. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод), СПб., 1998. - 259 с.
5. Аэродинамический расчёт котельных установок. Нормативный метод. – Л., «Энергия», 1977. - 256 с.
6. Делягин Г.Н. Теплогенерирующие установки / Делягин Г.Н., Лебедев В.И., Пермяков Б.А., Хаванов П.А., М. 2010. - 624 с.
7. Быстрицкий, Г. Ф. Теплотехника и энергосиловое оборудование промышленных предприятий: учебник для вузов / Г. Ф. Быстрицкий. – 5-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 305 с.

Локальный электронный методический материал

Елена Анатольевна Беркова, Александр Георгиевич Филонов,
Сергей Валерьевич Юрков

ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ

Редактор И. Голубева

Уч.-изд. л. 2,7. Печ. л. 2,4.

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1