

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Генераторы тепла и автономное теплоснабжение зданий»
для студентов направления 08.03.01 Строительство
модуль «Теплогазоснабжение и вентиляция»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Генетическая и промышленная классификация основных видов твердого топлива

1.1 Цель работы

Основная цель работы – знакомство с различными видами твердого топлива, их классификацией, по различию происхождения, и основам промышленной квалификации на имеющихся образцах в коллекции. По указанию преподавателя проводится определение стадии метаморфизма угля и наличие карбонатов в горючих сланцах.

1.2 Теоретическое обоснование

При разработке конструкций топочных устройств парогенераторов и промышленных печей, а также при решении всех других вопросов повышения эффективности топливоиспользования, необходимо учитывать свойства применения топлива – состав горючей и рабочей массы, теплоту сгорания топлива, выход летучих, состав и свойства золы, фракционный состав и некоторые другие технологические свойства (спекаемость, содержание карбонатов, серы и т. п.). Специфические свойства отдельных видов твердого топлива, например, склонность к самовозгоранию, следует учитывать при проектировании и эксплуатации топливных складов предприятий.

Указанные свойства ископаемых топлив зависят:

- 1) от исходного материала, из которого топливо образовалось;
- 2) от изменений, которым этот материал подвергался в процессе образования данного вида топлива в природе.

Существует неразрывная связь между свойствами и генезисом горючих ископаемых.

Генетическая классификация

Исходным материалом для образования месторождений ископаемого твердого топлива служили: 1) наземная растительность каменноугольного и смежных с ним геологических периодов; 2) микроорганизмы и водоросли, развивающиеся в мелководных бассейнах.

По химическому составу эти исходные вещества весьма различны: в составе высших наземных растений преобладает целлюлоза, пентозаны, гексозаны и лигнии. Микроводоросли и микроорганизмы характеризуются повышенным содержанием жировых веществ.

В условиях повышенной влажности и недостатка кислорода, а затем без доступа воздуха под слоем воды или минеральных отложений преобразование остатков отмершей наземной растительности ведет к образованию гумусовых веществ, превращение жирового материала водорослей и планктона – к образованию сапропеля.

Отсюда генетическая классификация основана на делении горючих ископаемых на:

- 1) гумусовые: торф, бурые и каменные угли, а также антрациты;
- 2) сапропелевые: горючие сланцы и сапропели.

Угли некоторых месторождений могут быть отнесены к образованиям гумусо-сапропелевым, так как в образовании их, помимо высших растений, принимали участие простейшие водоросли и микроорганизмы. Точно так же некоторые горючие сланцы могут иметь сапропелево-гумусное происхождение. Процесс формирования залежей горючих ископаемых продолжается на протяжении нескольких геологических периодов.

Первой стадией образования гумусового топлива является торф, при этом превращение исходного материала приводит к накоплению гуминовых кислот.

Вторая стадия – превращение торфа в ископаемые угли – протекала после покрытия залежей минеральными осадками.

Под воздействием аэробных и анаэробных бактерий происходит углефикация исходного органического материала, то есть глубокое изменение его, сопровождающееся увеличением содержания углерода и уменьшением содержания кислорода. Свойства ископаемых углей зависят не только от состава исходного материала, но также от степени метаморфизма и от условий накопления и превращения органических отложений. По степени углефикации все виды топлива гумусового происхождения могут быть расположены в определенном порядке, как это показано в таблице 1.1.

Торф, землистый бурый уголь и бурые угли содержат гуминовые кислоты, растворимые в щелочах. Каменные угли и антрациты не содержат растворимых в щелочах гуминовых кислот.

Таблица 1.1- Элементарный состав органической массы гумусовых топлив

Вид топлива	Состав органической массы, %		
	С	Н	О
Древесина	44,0	6,0	50,0
Торф	59,0	6,0	35,0
Бурый уголь	70,0	5,5	24,5
Каменный уголь	82,0	5,0	13,0
Антрацит	95,0	2,0	3,0

Промышленная классификация твердых топлив

Промышленная классификация углей России разработана по отдельным угольным бассейнам. В основу промышленной классификации углей положен выход летучих веществ, что отражает степень метаморфизма угля.

Каменные угли в зависимости от выхода летучих веществ (V^f %) и спекаемости, выраженной толщиной пластического слоя (Y , мм) или характеристик нелетучего остатка, полуантрацит и антрацит в зависимости от выхода летучих веществ и теплоты сгорания (Q_B^f), а бурые угли от содержания влаги (W , %), разделяются на марки и группы.

Основные марки углей: длиннопламенный (Д), газовый (Г), жирный (Ж), коксовый (К), тощий (Т), полуантрацит (ПА), антрацит (А), бурый (Б).

Угли одной марки разделяются на группы: каменные угли по спекаемости, выраженной величиной пластического слоя (Y , мм) (например, каменный уголь марки Ж разделяется на две группы Ж₁₃ и Ж₁₈), а бурые угли по влажности, например: бурый уголь марки Б разделяется на Б1, Б2, Б3, где Б1 – содержание влаги более 40%, Б2 – содержание влаги от 30% до 40%, Б3 – содержание влаги до 30%.

Антрацит, каменные и бурые угли разделяются на классы по размеру кусков (мм):

Плита (П)	более 100 мм
Крупный (К)	50 – 100 мм
Орех (О)	25 – 50 мм
Мелкий (М)	13 – 25 мм
Семечко (С)	6 – 13 мм

Штыб (Ш)	менее 6 мм
Рядовой (Р)	не ограничены

На базе промышленных бассейновых классификаций углей разработаны так называемые потребительские ГОСТы, в которых регламентируются показатели качества углей для эффективного использования их в различных отраслях народного хозяйства.

Данный раздел работы выполняется путем изучения Государственных общероссийских стандартов на твердое топливо и знакомства с существующими системами промышленной классификации топлива по учебнику.

1.3 Аппаратура и материалы

Две пробирки, образцы бурого угля, торфа и антрацита, едкий натр, спиртовка.

1.4 Методика и порядок выполнения

Взять две пробирки, в одну из них насыпать 0,5 г измельченного бурого угля или торфа, а во вторую – 0,5 г измельченного антрацита. В каждую из пробирок наливается 8 – 10 мл 2% раствора едкого натра.

Обе пробирки слегка подогреваются и взбалтываются. Раствор щелочи в пробирке с антрацитом остается бесцветным, а в пробирке с бурым углем приобретает коричневую окраску вследствие перехода в раствор гуминовых кислот, содержащихся в буром угле.

Вышеописанный прием позволяет отличать бурый уголь высокой стадии углефикации от каменных углей и антрацитов.

Месторождения сапропелевых топлив – горючих сланцев и сапропелей – образовались вследствие отмирания и последующего разложения без доступа воздуха планктона – микроорганизмов, населяющих водные бассейны. В связи с особенностями исходного материала и условиями образования органическое вещество сапропелевых топлив – кероген – содержит повышенное количество водорода.

Типичным сапропелевым топливом являются горючие сланцы, которые, как правило, отличаются высокой зольностью и имеют чаще всего слоистое строение.

В зависимости от состава минеральных веществ горючие сланцы разделяются на карбонатные и бескарбонатные. Некоторые сланцы характеризуются высоким содержанием серы.

1.5 Содержание отчета и его форма

- название и цель работы;
- краткое содержание основных положений;
- наблюдения в ходе проведения опыта;
- вывод.

1.6. Вопросы для защиты работы

1. Основы генетической классификации твердых топлив.
2. Основные виды гумусовых и сапропелевых топлив.
3. Состав и свойства гумусовых топлив. Как отличить бурые угли от каменных?
4. Основные виды и свойства сапропелевых топлив.
5. Как влияет наличие карбонатов на свойства горючих сланцев как топлива. Назовите месторождения карбонатных и бескарбонатных сланцев.
6. Какой показатель качества углей принят за основу промышленной классификации?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Технический анализ твердого топлива

2.1 Цель работы

- ознакомление с методикой определения влажности, зольности и выхода летучих веществ;
- изучение опытных установок по определению указанных характеристик топлив;
- определение влажности, зольности и выхода летучих веществ исследуемой пробы топлива;
- анализ полученных результатов.

2.2 Теоретическое обоснование

Влажность топлива – примесь балластная. Она снижает тепловой эффект горения, т.к. вода своим присутствием уменьшает долю горючих элементов в единице массы или объема топлива, и, кроме того, при горении топлива вода испаряется, отнимая на это часть тепла реакции.

В твердом топливе различают внешнюю, гигроскопическую и общую влагу. Внешняя влага W^{BH} – влага механически удерживаемая наружной поверхностью топлива при его смачивании (дождем, тающим снегом и т.д.). Эта влага удаляется при естественной сушке топлива до равновесного состояния с окружающей средой; такое топливо называют воздушно-сухим.

Гигроскопическая влага W^T – влага, заполняющая поры и капилляры твердых топлив и удерживаемая в них после воздушной сушки. Ее также называют влагой аналитической пробы топлива W^A . При определении гигроскопической влаги топливо предварительно доводят до воздушного состояния при определенных условиях окружающей среды: при относительной влажности воздуха $60 \pm 2\%$ и температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$ (аналитическая проба топлива). Гигроскопическая влага удаляется из топлива путем нагревания его в сушильном шкафу при определенном тепловом режиме.

Общая влажность топлива – сумма внешней и гигроскопической влаги, то есть это влажность рабочей массы топлива W^P .

$$W=W^P = W^{BH} + W^T \frac{100 - W^{BH}}{100}, \% \quad (2.1)$$

В настоящее время для определения влажности твердого топлива преимущественно используется весовой метод. Он основан на сопоставлении убыли массы высушенной пробы топлива с первоначальной массой навески топлива. Проба топлива высушивается постепенно в термостате при постоянном тепловом режиме.

Зола – негорючая минеральная часть топлива. В золу твердого топлива входят: глинозем Al_2O_3 и H_2O , свободный кремнезем SiO_2 , окиси железа FeO и Fe_2O_3 , известь CaO , магнезия MgO , щелочи, хлориды и др.

По происхождению различают золу внутреннюю и внешнюю.

Внутренняя (первичная) зола – минеральные вещества тех растений, из которых образовался тот или иной сорт топлива. Количество первичной золы является величиной характерной и постоянной для каждого определенного сорта топлива.

Внешняя зола состоит из вторичной, образовавшейся за счет заноса пласта минеральными веществами, и третичной, являющейся пустой породой, захваченной при добыче топлива или при его транспортировании и перегрузках.

Обычно в лаборатории определяют общую зольность топлива весовым методом при соблюдении следующих условий:

1. Сжигание следует проводить при свободном доступе воздуха (при достаточном для горения количестве воздуха).

2. При сжигании необходимо следить, чтобы не возникало пламя.

Топливо должно тлеть, а не гореть, т.к. пламенное горение сопровождается уносом твердых частиц топлива и золы. В случае появления пламени тигель следует прикрыть на несколько секунд крышкой.

3. При температуре прокаливании тигли с золой выдерживают до постоянной массы (или до разности в массе в 0,1% от массы первоначальной навески топлива). Если уменьшающаяся масса золы при дальнейшем прокаливании начинает увеличиваться, то это указывает на окисление солей железа. В этом случае, за массу золы принимается последняя масса, разнящаяся с предыдущей не более чем на 0,1% независимо от того, уменьшалась или увеличивалась масса.

Содержание золы в топливе уменьшает теплоту его сгорания и часто усложняет процесс горения отдельных сортов топлива: происходят механическая неполнота сгорания многозольных топлив, зашлаковывание топок легкоплавкой

золой, большой вынос золы (до 80%) при факельном сжигании с сухим золоудалением.

В процессе нагревания твердого топлива происходит распад органических веществ горючей массы с выделением газообразных продуктов разложения – летучих веществ. Они бывают горючие и негорючие. К первым относятся: водород, окись углерода, метан, сложные углеводороды; ко вторым – водяные пары.

Твердый остаток топлива полученный после отгонки летучих веществ, называется коксом. Он состоит из углерода и золы. Кокс различают: порошкообразный, слипшийся, сплавленный, слабоспекшийся, рыхлый, вспученный и др.

Содержание летучих веществ и характер кокса влияют на процесс горения топлива: температуру воспламенения, характер пламени, оживление процессов горения на решетке в случае спекающихся коксов и т.д.

По количеству летучих веществ и характеру кокса каменные угли маскируют на длиннопламенные, паровичные, газовые, тощие и др., а также учитывают эти характеристики при выборе способа сжигания топлива и конструкции отдельных элементов топki. Количество летучих принято определять на горючую массу топлива V^T с помощью весового метода. Сущность метода заключается в нагревании навески топлива в закрытом тигле при температуре 850°C. Выход летучих веществ вычисляется по разности между общей потерей, происходящей за счет испарения влаги.

2.3 Аппаратура и материалы

Весы с набором гирь, бокса с крышкой, сушильный шкаф, эксикатор, тигель, муфельная печь, хлористый кальций, образец топлива.

2.4 Методика и порядок выполнения опыта

2.4.1 Определение влажности топлива.

Взвесив с точностью до 0,001г просушенный стаканчик (бюксу) с притертой крышкой, насыпают в него 1-2г измельченного топлива, высушенного при комнатной температуре, и снова взвешивают.

Помещают открытую бюксу с топливом 2 и крышку 5 в нагретый сушильный шкаф 1(рис. 4.1) и выдерживают в течение часа. Во время высушивания топлива следят за температурой воздуха в шкафу по термометру 4 и поддерживают ее

посредством имеющихся регуляторов 6,7 в пределах 102-105°C , 3 - вентиляционная заслонка.

Если температура в термостате будет выше 110°C, то из топлива начнут выделяться горючие летучие вещества, что исказит результаты опыта. При температуре в нем ниже 100°C из топлива удаляется не вся гигроскопическая влага.

После высушивания топлива, бюксу закрывают крышкой и вынимают (лабораторными щипцами) из шкафа, помещают в эксикатор на 10-15 мин. для охлаждения. Чтобы предотвратить поглощение влаги топливом из воздуха, находящегося внутри эксикатора, в него насыпают хлористый кальций.

После охлаждения бюксу вынимают из эксикатора и взвешивают (на тех же весах).

Для проверки полного удаления влаги бюксу с топливом, открыв крышку, снова помещают в термостат на 15-20 мин, а затем вторично охлаждают и взвешивают. Так поступают до тех пор, пока разница с предыдущей массой после сушки будет менее 0,003г, то есть до постоянной массы.

Относительная влажность топлива (аналитическая) определяется по формуле:

$$W^A = \frac{g - a}{g} \cdot 100 = \frac{g_1}{g} \cdot 100, \% \quad (2.2)$$

где g – масса пробы топлива до сушки, г; a – масса топлива после сушки, г;

g_1 – убыль массы при высушивании топлива, г.

2.4.2 Определение зольности топлива

Взвесив с точностью до 0,001 г просушенный тигель, насыпают в него 1-2 г измельченного топлива, высушенного при комнатной температуре, и снова взвешивают.

Тигель с топливом 6 ставят в предварительно разогретую до температуры 800°C муфельную печь 1 (рис.4.2), 2 - нагреватель, 5 - реостат.

Вначале тигель 6 ставят у входа в муфель и выдерживают 10 мин. При появлении пламени тигель на несколько секунд прикрывают крышкой.

Затем постепенно, со скоростью 1 см в минуту, подвигают тигель в зону полного накала муфеля. Дверцу печи закрывают и прокаливают топливо в течение 40 мин, следя за постоянством температуры по термоэлектрическому пирометру 3,4 ($t = 800^\circ\text{C}$).

Об окончании сжигания топлива судят по исчезновению искрения в тигле и получению серого или желтоватого порошка золы. Наличие обугленных частиц черного цвета в тигле говорит об остатке не сожженного кокса. В таком случае прокаливание следует продолжать.

Убедившись (визуально) в окончании прокаливания, вынимают щипцами тигель из муфельной печи, ставят его на асбестовую или фарфоровую подставку и охлаждают 5 мин, затем переносят в эксикатор и охлаждают в нем до комнатной температуры. Охлажденный тигель взвешивают. Проверку содержания золы в пробе топлива производят путем повторного прокаливания в течение 20-30 мин до постоянной массы.

Полученные данные позволяют определить:

а) содержание золы в аналитической пробе топлива:

$$A^A = \frac{e}{g} \cdot 100, \% \quad (2.3)$$

где e – масса золы, г; g – масса топлива до прокаливания, г;

б) содержание золы в абсолютно сухом топливе:

$$A^C = A^A \cdot \frac{100}{100 - W^A}, \% \quad (2.4)$$

где W^A – аналитическая влага топлива.

2.4.3 Определение выхода летучих и кокса

Взвесив с точностью до 0,001 г просушенный тигель 6 (рис. 2.2) с крышкой, помещают в него 1 г измельченного топлива, покрывают крышкой и снова взвешивают.

Открывают дверцу муфельной печи 1, нагретой до устойчивой температуры 850°C, и быстро ставят в печь тигель 6, закрытый крышкой.

Продолжительность нагревания пробы угля массой 1 г составляет 7 мин. При навеске более 1 кг об окончании нагревания топлива судят по исчезновению язычков пламени из отверстия в крышке. Это свидетельствует о завершении сгорания основной массы летучих веществ.

Температура при нагревании навески топлива не должна превышать 850°C, что контролируется термоэлектрическим пирометром 3, 4.

По окончании нагревания тигель вынимают из печи. При наличии налета сажи на внешней поверхности тигля опыт повторяют, т.к. это приводит к искажению весовых отношений.

Вынутый тигель охлаждают на воздухе 5 мин. и окончательно в эксикаторе до комнатной температуры.

После охлаждения тигель с коксом взвешивают и определяют искомые величины:

а) выход летучих в аналитической пробе топлива:

$$V^A = \frac{g_1}{g} \cdot 100 - W^A, \% \quad (2.5)$$

где g_1 – убыль массы топлива, г; g – масса навески топлива, г;

W^A – влажность аналитической пробы топлива, %;

б) содержание кокса в топливе:

$$K^A = 100 - V^A, \% \quad (2.6)$$

в) выход летучих на условную горючую массу:

$$V^{\Gamma} = V^A = \frac{100}{100 - W^A - A^A}, \% \quad (2.7)$$

где A^A – содержание золы в аналитической пробе топлива, %.

В конце опыта рекомендуется осторожно высыпать твердый остаток из тигля на бумагу и, осмотрев его, указать характер полученного кокса.

В конце проведения опытов нужно сравнить полученные данные влажности, зольности и выхода летучих веществ топлива с нормальными величинами для данного топлива (табл. 2.2.) и при наличии значительных расхождений установить причины этого.

Обобщение данных по исследуемому топливу приводят в таблице.

Таблица 2.1

Показатели	$W^A, \%$	$A^C, \%$	$V^{\Gamma}, \%$	Примечание*
Опытные				
Нормативные				
Расхождение				

Привести объяснение выявленных расхождений.

Таблица 2.2

Республика, край, область	Бассейн, месторождение	Марка топлива	W ^P , %	A ^P , %	A ^C , %	W ^Г , %	V ^Г , %	Q _H ^P , ккал\кг
Украина, Донецкая, Луганская, область; Россия, Ростовская область	Донецкий	Д	13,0	21,8	25,0	4,5	44,0	4680
		Г	8,0	23,0	25,0	3,0	40,0	5260
		Т	5,0	23,8	25,0	1,5	15,0	5780
		А	8,5	22,9	25,0	2,5	3,5	5390
		Ж	9,0	35,5	29,0	1,3	10,0	4300
Россия, Кемеровская область	Кузнецкий	Д	12,0	13,2	15,0	4,0	42,0	5450
		Г	8,5	11,0	12,0	3,0	40,0	6240
		Т	6,5	16,8	18,0	1,5	13,0	6250
Россия, Коми	Печёрский: Воркутинское	Ж	5,5	23,6	25,0	1,8	33,0	5650
	Интинское	Д	11,0	25,4	28,5	7,0	40,0	4370
Россия, Пермская область	Кизеловский	Г	6,0	31,0	33,0	1,5	42,0	4700
Россия, Свердловская область	Егоршинское	ПА	8,0	23,9	26,0	1,5	9,0	5350
Россия, Красноярский край	Минусинский: Черногорское	Д	14,0	15,5	18,0	8,0	44,0	5030
Россия, Иркутская область	Черемховское	Д	13,0	27,0	31,0	4,5	47,0	4270

При сравнительных характеристиках определяют приведенную влажность:

$$W^{\Pi} = 1000 \frac{W^P}{Q_H^P}, \% \quad (2.8)$$

и приведенную зольность топлива:

$$A^{\Pi} = 1000 \frac{A^P}{Q_H^P}, \% \quad (2.9)$$

где Q_H^P – низшая теплота сгорания рабочей массы топлива, ккал\кг (табл. 2.2); W^P и A^P – соответственно влажность и зольность рабочей массы топлива, % (табл. 2.2).

При значении $W^{\Pi} < 3$ % топливо считают маловлажным, при $W^{\Pi} > 8$ % – сильновлажным.

Если $A^{\Pi} < 4$ %, топливо считают малозольным.

2.5 Содержание отчета и его форма

- Название и цель работы;

- результаты измерений;
- описание опытной установки;
- расчетные формулы в общем виде с названиями и размерностями входящих в них величин;

- расчеты по обработке опытных данных;
- результаты обработки опытных данных в формате таблицы 2.1;
- вывод.

2.7. Вопросы к защите лабораторной работы

1. Как объяснить влияние балластных примесей – влажности и зольности на тепловой эффект горения топлива?
2. Как классифицируются влажность и зольность топлива? Летучие вещества и кокс?
3. Каким методом пользуются для определения зольности, влажности и выхода летучих веществ?
4. Как определяется гигроскопическая влажность топлива?
5. Почему температура воздуха в сушильном шкафу поддерживается 102-105°C?
6. Какого назначения и устройства эксикатора?
7. Как определяется содержание золы в абсолютно сухом топливе?
8. Какого назначения, принцип действия и устройство термоэлектрического пирометра?
9. Как влияют на процесс горения топлива содержание летучих веществ и характер кокса?
10. Как определяется выход летучих веществ на горючую массу топлива?
11. Как классифицируется топливо: по величине приведенной влажности топлива, по приведенной зольности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Определение процентного состава продуктов сгорания топлива

3.1 Цель работы

Задачей настоящей работы является:

- углубление знаний студентов по теории горения топлива;
- получение необходимых навыков в проведении газового анализа продуктов сгорания топлива с помощью химического газоанализатора.

Целью настоящей работы является опытное определение процентного состава продуктов сгорания с помощью газоанализатора ГХП-3М и нахождение коэффициента избытка воздуха.

3.2 Теоретическое обоснование

Газоанализаторами называют приборы, применяемые для количественного анализа газов. В частности, газоанализаторы применяют для контроля качества сгорания топлива, то есть для определения объемного состава продуктов сгорания, что дает возможность судить о качества сгорания топлива и определить коэффициент избытка воздуха. Кроме того, с помощью газоанализаторов производят анализ природных искусственных горючих газов (то есть, газообразных топлив), а также определяют концентрацию вредных газов в воздухе производственных помещений. В зависимости от назначения используют различные типы газоанализаторов.

Газоанализатор ВТИ-2 предназначен для полного анализа горючих газов как природных, так и искусственных с вариантами определения суммы всех кислотных газов (CO_2 ; SO_2 ; H_2S) или ненасыщенных углеводородов состава C_nH_m , окиси углерода, кислорода, водорода.

Принцип действия прибора основан на избирательном поглощении соответствующими поглотительными растворами компонентов C_nH_m , O_2 , и фракционном сжигании H_2 и $\text{C}_n\text{H}_{2n+n}$ над окисью меди при различных температурах ее нагревания. При этом процентное содержание компонентов определяется путем замера сокращения объема анализируемой пробы газа при последовательно проводимых операциях поглощения или сжигания.

Универсальный переносной газоанализатор типа УГ-2 предназначается для определения в воздухе производственных помещений концентрации вредных газов или паров: сернистого ангидрита, ацетилен, окиси углерода, сероводорода, хлора, аммиака, окислов азота, этилового эфира, бензина, бензола, толуола, ксилола, ацетона, углеводородов нефти.

Прибором можно производить определение указанных вредных компонентов в воздухе, характеризуемом следующими данными:

- содержание кислорода, азота, водорода и инертных газов – не ограничено;
- содержание пыли – не более 40 мг/м^3 ;
- давление 740 - 780 мм. рт. ст.;
- относительная влажность – не более 90%;
- температура – $+10 \dots +30^\circ\text{C}$

Принцип работы газоанализатора основан на том, что при пропускании проб воздуха с различным содержанием определяемого компонента в индикаторной трубке образуется окрашенный столбик различной высоты.

Газоанализатор ГПХ-3М предназначен для определения объемного состава продуктов сгорания (сухих дымовых газов) состоящих из CO_2 , SO_2 , O_2 , CO и N_2 . Принцип действия газоанализаторов основан на избирательном поглощении отдельных компонентов газов соответствующими поглотительными растворами. В результате этого выявляют процентное содержание отдельных компонентов путем определения сокращения общего объема пробы газовой смеси после каждого последующего поглощения.

3.3 Аппаратура и материалы.

Газоанализатор ГПХ-3М

3.4 Методика и порядок выполнения работы.

Состав сухих дымовых газов при неполном сгорании топлива можно представить уравнением:

$$\text{O}_2 + \text{SO}_2 + \text{O}_2 + \text{CO} + \text{N}_2 = 100\% \quad 3.1)$$

Определив с помощью газоанализатора содержание $\text{CO}_2 + \text{SO}_2$, O_2 и CO , количество азота N_2 находим:

$$\text{N}_2 = 100 - (\text{CO}_2 + \text{SO}_2 + \text{O}_2 + \text{CO}) \% \quad 3.2)$$

В газоанализаторе ГПХ-3М для поглощения указанных компонентов имеются три поглотительных сосуда 9, 10, 11, заполненных специальными растворами.

В сосуд 9 для поглощения $\text{CO}_2 + \text{SO}_2$, заливается концентрированный раствор щелочей (КОН или NaOH). В сосуд 10 для поглощения кислорода заливается щелочной раствор пирогаллола. В сосуд 11 для поглощения окиси углерода (CO) – щелочной раствор полухлористой меди. Порядок проведения анализа газов следующий: перед началом проведения анализа уровень реактивов во всех трех поглотительных сосудах 9, 10 и 11 доводят до контрольных рисков х-х, имеющих на капиллярных трубках ниже кранов 6, 7 и 8.

С целью удобства забора пробы, количество воды в уравнительном сосуде 13 должно быть таким, чтобы при установке его на какой-то отметке (например, в том положении как он показан на рисунке) уровень воды в измерительной бюретке был на отметке 0-100 в нижней ее части. Шкала измерительной бюретки имеет двойную оцифровку: на правой стороне вверху – ноль шкалы, внизу – 100 мл (см); на левой стороне внизу – ноль шкалы, вверху – 100 мл (см). Такая оцифровка шкалы позволяет отсчитать по правой стороне объем забранной газовой смеси, а по левой – объем поглощенных газов.

Перед забором пробы вначале производят продувку заборной линии и гребенки (то есть элементов 1, 2 и 3). С этой целью трехходовой кран ставят в положение, чтобы газообразная линия 1, через гребенку 3 соединялась (сообщалась) с мерной бюреткой 12.

Приподнимая правой рукой уравнильный сосуд 13 вверх, вытесняют из бюретки 12 воздух, доводя уровень воды в ней до верхней отметки шкалы 100-0, а затем левой рукой поворачивают кран 5 в положение, при котором заборная линия отсоединяется от бюретки и сообщается с насосом 4. С помощью насоса (груши) 4 прокачивают газ через газообразную трубку 1, фильтр 2 из газохода в атмосферу. После прокачки, поворачивая кран 5, соединяют газообразную трубку 1 с бюреткой 12. При этом вода из бюретки 12 (по закону сообщающихся сосудов) начнет перетекать в уравнильный сосуд 13, а бюретка заполнится газом из газохода. При последнем наборе газа в бюретку 12 обращают внимание на то, чтобы уровень воды в бюретке опустился до нижней отметки 0-100, то есть, чтобы было обработано 100 мл газа. После чего поворотом крана 5 отсоединяют бюретку от заборной линии 1 и насоса 4. Приподняв уравнильную склянку, поворачивают кран 8 поглотительного сосуда 9 и помещают газ из бюретки в сосуд с водным раствором едкого калия (или натрия), где поглощается углекислый газ.

Манипулируя уравнильной склянкой 13, перемещают газ из поглотительного сосуда в бюретку 12 и обратно до полного поглощения углекислоты CO_2 . Завершение процесса поглощения определяется постоянством объема газа в бюретке 12 между двумя последними контрольными отсчетами, осуществляемыми каждый раз при определенном положении уравнильного сосуда 13. Затем уровень реактива в сосуде 9 доводят до уровня х-х и с помощью крана 8 отсоединяют его от бюретки 12. Содержание CO_2 определяется по уменьшению объема газа в бюретке 12 при положении воды в бюретке и уравнильном сосуде 13 на одном уровне.

Таким же точно образом определяют содержание кислорода, пропуская остаток газа после первого поглощения в следующий сосуд 10 наполненный щелочным раствором пирогаллола. После поглощения остаток газа переводят в сосуд 11 для поглощения CO . Следует отметить, что реактив для поглощения O_2 быстро насыщается и портится. Поэтому из-за ненадежной работы реактива определение газоанализатором не всегда является точным. В качестве проверки и контроля концентрации CO можно воспользоваться аналитическим выражением вида:

$$CO = \frac{21 - \beta RO_2 - (RO_2 + O_2)}{8,605 + \beta} \%, \quad (3.3)$$

где $RO_2 = \text{CO}_2 + \text{SO}_2$ для Ставропольского края $\text{SO}_2 = 0$ поэтому $RO_2 = \text{CO}_2$,

β – безразмерная характеристика топлива, зависящая от его химического состава, для природного газа $\beta = 0,6$.

Таким образом, по полученным данным определяют коэффициент избытка воздуха, представляющий отношение количества воздуха, действительно поданного в топку, к теоретически необходимому количеству воздуха.

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{70}{21} \cdot \frac{O_2 - 0,5CO}{N_2}} \quad (3.4)$$

Все данные, полученные как с помощью газоанализатора, так и путем расчетов по формулам (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), занести в таблицу 3.1.

Обработка результатов анализа данных газа.

При обработке результатов анализа газа вычислить:

1. Объемные доли CO_2 , O_2 , N_2 в смеси.
2. Кажущуюся молекулярную массу смеси.
3. Газовую постоянную смеси, а также компонентов.

4. Плотность и удельный объем смеси газов и компонентов при нормальных условиях и при условиях анализа (температура окружающей среды по термометру и атмосферное давление по барометру).

5. Массовые доли компонентов.

6. Парциальное давление при условиях анализа.

Результаты занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2.- Таблица результатов анализа и вычислений

Наименование газа	r_i	μ_i	R_i	Удельный объем		Плотность		g_i	P_i
				V_n	V	ρ_n	ρ		
CO_2									
O_2									
N_2									
Смесь	1,0							1,0	

Вычисления:

1. Объемные доли газов и смеси

$$r_{\text{CO}_2} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{см}}}; \quad r_{\text{O}_2} = \frac{V_{\text{O}_2}}{V_{\text{см}}}; \quad r_{\text{N}_2} = \frac{V_{\text{N}_2}}{V_{\text{см}}};$$

где V_{CO_2} , V_{O_2} , V_{N_2} – объемные содержания газов в анализируемой смеси газов, $V_{\text{см}}$ – объем анализируемой смеси газов равный 100 см^3 .

2. Кажущаяся молекулярная масса смеси:

$$\mu_{\text{см}} = \sum_{i=1}^n r_i \mu_i, \quad (3.6)$$

где r_i – объемные доли компонентов, входящих в смесь; μ_i – молекулярные массы компонентов.

3. Газовая постоянная смеси:

$$R_{\text{см}} = \frac{8314}{\mu_{\text{см}}}, \text{ Дж/кгК} \quad (3.7)$$

4. Газовая постоянная компонентов:

$$R_i = \frac{8314}{\mu_i}, \text{ Дж/кгК} \quad (3.8)$$

5. Удельный объем при нормальных условиях ($P_n=760$ мм. рт. ст., $t_n=0^\circ \text{C}$)

$$V_n = \frac{22,4}{\mu_i}, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (3.9)$$

6. Плотность при нормальных условиях:

$$\rho_n = \frac{\mu_i}{22,4}, \text{ кг/м}^3 \quad (3.10)$$

7. Удельный объем и плотность при условиях анализа:

$$V_i = V_n \frac{P_n T_1}{P_1 T_n}, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (3.11)$$

$$\rho_i = \rho_n \frac{P_1 T_n}{P_n T_1}, \text{ кг/м}^3 \quad (3.12)$$

где P_1 – давление окружающего воздуха, T_1 – температура окружающего воздуха.

8. Массовая доля компонента:

$$g_i = \frac{r_i \mu_i}{\mu_{см}} \quad (3.13)$$

9. Парциальное давление компонента при условиях анализа:

$$P_i = r_i \cdot P_{см},$$

где $P_{см}$ – давление окружающего воздуха.

Таблица 3.1.- Экспериментальные и расчетные данные процентного состава продуктов сгорания топлива.

№ опыта	CO, %	O ₂ , %	CO, %	N ₂ , %	α
1					
2					
3					

3.5 Содержание отчета и его форма.

Отчет по выполненной работе должен содержать следующее:

- краткое описание работы
- принципиальную схему опытной установки
- протокол записи показаний прямых измерений и результатов обработки по форме таблицы 5.1. и 5.2.
- анализ (сопоставление) полученных результатов с литературными данными.

3.6 Вопросы для защиты работы.

Сущность теории горения газообразного топлива.

Расчет весовых количеств компонентов, участвующих в окислительных реакциях горения.

Физический смысл коэффициента избытка воздуха и его усредненное значение при сжигании жидкого, газообразного и твердого топлива.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Испытание и составление теплового баланса водогрейного котла

4.1 Цель работы

Задачей настоящей работы является:

- углубление знаний студентов по теории горения топлива и расчету объемов продуктов сгорания;
- изучение методик расчета составляющих теплового баланса котельного агрегата и коэффициента полезного действия (КПД);
- получение необходимых навыков в проведении экспериментального исследования водогрейного котла.

Целью настоящей работы является опытное определение КПД водогрейного котла и установление оптимального значения коэффициента избытка воздуха (α), при котором КПД достигает максимума.

4.2 Теоретическое обоснование

Тепловой баланс котельного агрегата дает представление о распределении введенного в топку тепла, в частности о том, какая его часть используется на нагрев воды и какая безвозвратно теряется с уходящими дымовыми газами, от химической и механической неполноты сгорания топлива и в окружающую среду через стенки котла.

Проанализировав данные теплового баланса, можно разработать необходимые технологические мероприятия, направленные на улучшение показателей работы котлоагрегата. Например, выявить оптимальное значение коэффициента избытка воздуха (α), при котором экономичность работы котла будет наивысшей.

Тепловой баланс составляется на 1 кг топлива для установившегося теплового режима котла. Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q_H^P = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \quad (4.1) \quad \text{где}$$

Q_H^P

– низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг; Q_1 – полезное тепло, затраченное на получение горячей воды, кДж/кг; Q_2 – потери тепла с дымовыми газами, кДж/кг; Q_3 – потери тепла от химической неполноты сгорания, кДж/кг; Q_4 – потери тепла от механической неполноты сгорания, кДж/кг; Q_5 – потери тепла в окружающую среду, кДж/кг.

Если левую и правую часть уравнения (4.1) разделить на Q_H^P и умножить на 100%, то получим уравнение теплового баланса в процентах от низшей теплоты сгорания топлива, то есть:

$$100\% = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5, \quad (4.2)$$

где $q_1 = \frac{Q_1}{Q_H^P} 100\%$; $q_2 = \frac{Q_2}{Q_H^P} 100\%$ и т. д.

Величина q_1 по смыслу и числовому значению совпадает с коэффициентом полезного действия котлоагрегата, то есть:

$$q_1 = \eta_K = \frac{Q_1}{Q_H^P} 100\%. \quad (4.3)$$

С
лед

овательно, коэффициент полезного действия можно определить из уравнения:

$$\eta_K = 100 - \sum q_{\text{потерь}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5). \quad (4.4)$$

Принимая в этой формуле потерю от механической неполноты сгорания для газообразного топлива, равной нулю ($q_4=0$), а потерю в окружающую среду для водогрейного котла (q_5) равной 5%, получим коэффициент полезного действия котла в зависимости только от q_2 и q_3 . Эти два вида потерь, при заданной производительности и параметрах воды, при прочих равных условиях, зависят только от коэффициента избытка воздуха (α). С повышением α потери от химической неполноты сгорания (q_3) будут уменьшаться, а потери с уходящими газами (q_2) – увеличиваться.

4.3 Аппаратура и материалы

Экспериментальная установка представляет собой бытовой водогрейный котел АГВ-80, оснащенный необходимой для проведения экспериментальных исследований контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратурой.

Водонагреватель снабжен также автоматикой безопасности, состоящей из термопары, электромагнитного клапана, обеспечивающих отсекание газа при погасании запальника.

Контрольные, измерительные и регистрирующие приборы установлены на щите КИП и А.

Замеры температуры рабочих потоков в характерных точках осуществляются с помощью термопар или термометров сопротивления с последующей регистрацией по показаниям вторичных приборов на щите КИП и А.

Процентный состав уходящих дымовых газов определяется с помощью химического газоанализатора ГПХ-3М. Отбор проб дымовых газов для анализа осуществляется по соединительному трубопроводу пересталитическим насосом. Расход нагреваемой воды определяется по показаниям ротаметра поплавкового типа, установленного на подающей магистрали питательной воды котла. Перевод показаний ротаметра в единицы расхода теплоносителя осуществляется с помощью тарировочного графика, закрепленного на панели щита КИП и А.

4.4 Методика и порядок выполнения работы

Включение водонагревателя осуществляется преподавателем или лаборантом кафедры, прошедшим соответствующую подготовку и имеющим допуск на право обслуживания бытовых газовых приборов.

После ознакомления с описанием и устройством установки устанавливается расход нагреваемой воды по заданию преподавателя. Испытания котла проводятся в 4-х стационарных режимах при различных значениях коэффициента избытка воздуха, охватывающих интервал от минимальных до максимальных значений. Регулирование притока воздуха, подаваемого в смесительный канал, осуществляется поворотом заслонки эжекционного устройства водонагревателя. В каждом режиме испытания проводятся при постоянной температуре горячей воды на выходе из котла, которая во всех режимах поддерживается в области 50-80° С. При этом, постоянство температуры воды на выходе из водонагревателя поддерживается путем изменения ее расхода. Расход сжигаемого топлива остается без изменений.

Во время опыта в каждом стационарном режиме производят анализ дымовых газов, замеряют с помощью ротаметра расход воды и ее температуру до и после котла, а также температуру уходящих газов и температуру воздуха, поступающего в топку котла.

Все данные, полученные путем замеров, и результаты анализа дымовых газов заносятся в рабочую таблицу 4.1.

Таблица 4.1- Экспериментальные значения рабочих параметров и расчетные результаты их обработки

Измеряемые параметры, расчетные показатели	Обозначение	Единицы измерен.	№ режима			
1	2	3	4			
Расход нагреваемой воды	D	кг/ч				
Температура питательной воды	t _{пв}	°C				
Температура горячей воды	t _{гв}	°C				
Температура воздуха помещения	t _в	°C				
Температура топлива (газ)	t _т	°C				
Температура уходящих газов	t _{уг}	°C				
Состав продуктов сгорания:						
кислород	O ₂	%				
углекислота	CO ₂	%				
окись углерода	CO	%				
азот	N ₂	%				
Коэффициент избытка воздуха	α	б/м				
Химический недожог	Q _з , q _з	кДж/кг, %				
Потери с уходящими газами	Q ₂ , q ₂	кДж/кг, %				
КПД	η	%				
Расход топлива	B, b	кг/ч, кг/кг				

Осуществляя процесс горения с различными коэффициентами избытка воздуха, подсчитывают потери q₂ и q_з, а затем, по уравнению (4.4), находят коэффициент полезного действия котла (η) для различных α. По полученным значениям и η_к для различных эксплуатационных режимов строят графическую зависимость: η_к = f(α).

Численное значение коэффициента избытка воздуха определяется для каждого режима на основании полученных результатов газового анализа из формулы:

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{71}{29} \cdot \frac{O_2 - 0,5CO}{N_2}}, \quad (4.5)$$

где CO, O₂ и N₂ – процентное содержание соответствующих газов в продуктах сгорания.

Количество окиси углерода (CO) и азота (N₂) определяется на основе полученных данных концентрации кислорода (O₂) и углекислого газа (CO₂) из формул:

$$CO = (21 - 1,6CO_2 - O_2) \cdot 0,835, \% \quad (4.6) \quad \text{П}$$

$$N_2 = 100 - (CO + O_2 + CO_2), \% \quad (4.7) \quad \text{оте}$$

ря

тепла от химической неполноты сгорания определяется по формуле:

$$Q_3 = 237(C^P + 1,5S^P) \cdot \frac{CO}{RO_2 + CO}, \text{ кДж/кг}, \quad (4.8) \quad \begin{array}{l} \text{где} \\ C^P \text{ и} \\ S^P - \end{array}$$

рабочее содержание углерода и серы в топливе, в % по весу. Для Ставропольского газа рабочий состав в % по весу следующий: C^P=73,55; H=24,33; S^P=0; O^P=0,12; N₂=2; RO₂ – трехатомные газы в % по объему, определяемые газовым анализом, причем, при сгорании Ставропольского газа SO₂=0.

Затем определяют эту потерю в процентах от низшей теплотворной способности топлива по формуле:

$$q_3 = 100 \cdot \frac{Q_3}{Q_H^P}, \% \quad (4. \quad \text{где } Q_H^P$$

9) –

теплотворная способность топлива, кДж/кг; для Ставропольского газа $Q_H^P = 49805$ кДж/кг.

Потеря тепла с отходящими газами q_2 равна энтальпии газов удаляемых в атмосферу за вычетом количества тепла, вносимого с топливом и с поступающим в топку воздухом, деленной на теплотворную способность топлива, то есть:

$$q_2 = \frac{Y_{yx} - Q_T - Q_B}{Q_H^P} \cdot 100\%, \quad (4. \quad \text{где}$$

10) Y_{yx} –

энталь

пия уходящих газов, кДж/кг; Q_T – физическое тепло топлива, кДж/кг; Q_B – энтальпия поступающего в топку воздуха, кДж/кг.

Порядок подсчета величин Y_{yx} , Q_T , Q_B приводится ниже.

Энтальпия уходящих газов подсчитывается по уравнению:

$$Y_{yx} = (V_{RO_2} C_{RO_2} + V_{R_2}^{\min} C_{R_2} + V_{H_2O}^{\min} C_{H_2O} + \Delta V C_{BB}) t_{yx}, \quad (4. \quad \text{где}$$

11) $C_{RO_2}, C_{R_2}, C_{H_2}$

– средние объемные теплоемкости газов при постоянном давлении: значения их приводятся в таблице 4.2 в зависимости от температуры, в кДж/нм³ К; t_{yx} – температура уходящих газов, °С.

Таблица 4.2 - Значение средних объемных теплоемкостей газов и влажного воздуха при постоянном давлении

Температура °С	C_{RO_2} , кДж/нм ³ К	C_{R_2} , кДж/нм ³ К	C_{H_2O} , кДж/нм ³ К	C_{BB} , кДж/нм ³ К
0	1,593	1,293	1,494	1,319
100	1,713	1,296	1,506	1,324
200	1,796	1,300	1,522	1,332
300	1,871	1,307	1,542	1,342
400	1,929	1,317	1,566	1,354
500	1,997	1,329	1,589	1,368

Объем трехатомных газов подсчитывается по уравнению:

$$V_{RO_2} = 0,0186(C^P + 0,375S^P), \text{ нм}^3/\text{кг}, \quad (4.12) \quad \begin{matrix} \text{где} \\ C^P, \end{matrix}$$

S^P – рабочее содержание углерода и серы в топливе в % по весу. Причем для Ставропольского газа $C^P=73,55$, а $S^P=0$.

Объем двухатомных газов определяется по уравнению:

$$V_{R_2}^{\min} = 0,79V_0 + 0,8 \frac{N^P}{100}, \text{ нм}^3/\text{кг}, \quad (4.13) \quad \begin{matrix} \text{где } V_0 \\ \text{–} \\ \text{теоретическое количество воздуха,} \end{matrix}$$

необходимое для сжигания единицы массы топлива, определяемое по уравнению:

$$V_0 = 0,089C^P + 0,265H^P + 0,033(S^P - O^P), \text{ нм}^3/\text{кг}, \quad (4.14) \quad \begin{matrix} \text{где} \\ C^P, H^P, \\ N^P, O^P \end{matrix}$$

– рабочий состав топлива.

Объем водяных паров определяется:

$$V_{H_2O}^{\min} = 0,0124(9H^P + W^P) + 0,016V_0, \text{ нм}^3/\text{кг}, \quad (4.15) \quad \begin{matrix} \text{где } W^P \\ \text{–} \\ \text{влажность топлива,} \end{matrix}$$

для газа $W^P=0$.

Объем избыточного воздуха определяется из выражения:

$$\Delta V = (\alpha - 1)V_0, \text{ нм}^3/\text{кг}, \quad (4.16) \quad \begin{array}{l} \text{где } \alpha \\ \text{—} \\ \text{коэфф} \end{array}$$

ициент избытка воздуха.

Таким образом, зная все члены, входящие в уравнение (4.11), подсчитывают величину энтальпии уходящих газов. Температура уходящих газов t_{yx} при испытании котла замеряется термопарой с последующей записью на вторичном приборе. Значения объемных теплоемкостей компонентов составляющих дымовые газы принимаются из таблицы 4.2 в зависимости от температуры t_{yx} .

Q_T и Q_B , входящие в состав уравнения (4.10), определяются по формулам:

$$Q_T = C_T t_T, \text{ кДж/кг}, \quad (4.17)$$

$$Q_B = \alpha V_0 C_B t_B, \text{ кДж/кг}, \quad (4.18) \quad \begin{array}{l} \text{где} \\ C_T \end{array}$$

— средняя теплоемкость топлива, принимаемая для газа равной 1,675 кДж/кгК; t_T — температура топлива, принимаемая равной 10°C; α — коэффициент избытка воздуха; V_0 — теоретическое количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг топлива, нм³/кг, C_B , t_B — теплоемкость воздуха и его температура. C_B берется из таблицы 4.2 в зависимости от температуры.

Определив из уравнений (4.9) и (4.10) потери q_2 и q_3 подсчитывается по уравнению (4.4) КПД котла.

Зная КПД котла, подсчитывают часовой расход топлива по уравнению:

$$B = \frac{D(i_{zg} - i_{xg})}{Q_H^P \cdot \eta} 100\%, \quad (4.19) \quad \begin{array}{l} \text{где } D \\ \text{—} \\ \text{нагруз} \end{array}$$

ка котла, то есть производительность по горячей воде, кг/ч; $i_{гв}$, $i_{хв}$ — энтальпия горячей и холодной воды, кДж/кг.

Для температуры до 100° С значения энтальпии горячей и холодной воды можно принять численно равными произведению удельной теплоемкости воды ($C_B = 4,190$ кДж/кгК) на ее температуру.

Удельный расход топлива на получение 1 кг горячей воды заданных параметров определяется по формуле:

$$B = \frac{D(i_{zg} - i_{xg})}{Q_H^P \cdot \eta} 100\%, \text{ кг/кг.} \quad (4.20)$$

4.5 Содержание отчета и его форма

Отчет по выполнению работы должен содержать следующее:

- краткое описание лабораторной установки;
- принципиальную схему установки с указанием точек замеров рабочих параметров;
- протокол записи показания измерительных приборов и результатов обработки экспериментальных данных;
- график зависимости коэффициента полезного действия котла от коэффициента избытка воздуха.

4.6 Вопросы для защиты работы

1. Общие понятия о котельных установках и элементах парового котла.
2. Виды теплотерь, их характеристика и влияние на величину КПД котла.
3. Методика расчета энтальпии уходящих газов и коэффициентов избытка воздуха.
4. Методика расчета теоретически необходимого количества воздуха и объемов продуктов сгорания.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по дисциплине

«Генераторы тепла и автономное теплоснабжение зданий»

для студентов, обучающихся по направлению подготовки
08.03.01 – Строительство
Профиль – «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Практическое занятие

Расчет объемов продуктов сгорания и воздуха

1.1. Теоретическая часть

Задачей расчетов является определение необходимого для горения объема окислителя (воздуха) и объема образующихся продуктов сгорания (дымовых газов).

Объемы продуктов сгорания и воздуха рассчитываются на сжигание 1 кг топлива (или на 1 м³ сухого газообразного топлива) при нормальных условиях (0°C и 101,3 кПа). В процессе сгорания топлива образуются следующие продукты сгорания:

- азот (N_2),
- трехатомные газы (CO_2 и SO_2),
- водяные пары (H_2O).

Теоретическое количество кислорода (кмоль), необходимое для полного окисления (сжигания) 1 кг топлива, определяют по стехиометрическим соотношениям, приведенным в таблице 4.1.

Таблица 1.1 – Стехиометрические соотношения

Ед. изм.	Углерод	Сера	Водород
–	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	$S + O_2 \rightarrow SO_2$	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$
кмоль	$1 + 1 \rightarrow 1$	$1 + 1 \rightarrow 1$	$2 + 1 \rightarrow 2$
кг	$12 + 32 = 44$	$32 + 32 = 64$	$4 + 32 = 36$

Определение теоретического объема воздуха необходимого для сжигания топлива

Приведем пример расчета требуемого объема кислорода по реакции горения углерода. При взаимодействии 1 кмоль углерода с 1 кмоль кислорода получается 1 кмоль углекислого газа (табл. 1.1). По таблице Менделеева можно определить, что 1 кмоль углерода соответствует 12 кг. Тогда, для полного сжигания 1 кг углерода требуется 1/12 кмоль кислорода. Таким образом, можно рассчитать суммарное количество кислорода, необходимое для сжигания всех горючих компонентов топлива. Для рабочей массы жидких и твердых топлив можно записать следующее уравнение:

$$M_{O_2}^0 = \frac{1}{12} \cdot \frac{C^p}{100} + \frac{1}{32} \cdot \frac{S_{O+K}^p}{100} + \frac{1}{4} \cdot \frac{H^p}{100} - \frac{1}{32} \cdot \frac{O^p}{100}, \frac{\text{кмоль}}{\text{кг}}. \quad (0.1)$$

Зная, что объем 1 киломоля любого газа при нормальных условиях равен 22,41 м³, рассчитаем соответствующий теоретический объем кислорода, необходимый для сжигания 1 кг топлива:

$$V_{O_2}^0 = 22,41 \cdot M_{O_2}^0, \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \quad (0.2)$$

Зная, что объемная доля кислорода в воздухе составляет примерно 0,21, можно рассчитать соответствующий объем воздуха:

$$V_{\text{в}}^0 = \frac{22,41}{0,21} \cdot M_{O_2}^0, \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \quad (0.3)$$

Развернем это уравнение для состава рабочей массы топлива

$$V_{\text{в}}^0 = \frac{22,41}{0,21} \left(\frac{1}{12} \cdot \frac{C^p}{100} + \frac{1}{4} \cdot \frac{H^p}{100} + \frac{1}{32} \cdot \frac{S_{O+K}^p}{100} - \frac{1}{32} \cdot \frac{O^p}{100} \right), \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \quad (0.4)$$

$$V_{\text{в}}^0 = 0,089 \cdot C^p + 0,265 \cdot H^p + 0,033 \cdot S_{O+K}^p - 0,033 \cdot O^p, \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \quad (0.5)$$

Определение теоретических объемов продуктов сгорания топлива

Теоретические объемы продуктов сгорания, получаемые при сгорании 1 кг топлива рассчитываются отдельно для сжигания каждого горючего компонента топлива.

Определение теоретических объемов продуктов сгорания ведется на основе реакции горения и рабочего состава топлива по известной методике:

– Теоретический объем двухатомных газов определяется, в основном, содержанием двухатомного азота в продуктах сгорания

$$V_{R_2}^0 = 0,79 \cdot V_{\epsilon}^0 + 22,41 \left(\frac{1}{28} \cdot \frac{N^p}{100} \right), \frac{M^3}{KZ}; \quad (0.6)$$

$$V_{R_2}^0 = 0,79 \cdot V_{\epsilon}^0 + 0,008 N^p, \frac{M^3}{KZ}. \quad (0.7)$$

– Теоретический объем трехатомных газов определяется содержанием в продуктах сгорания двуокиси углерода и серы

$$V_{RO_2}^0 = 22,41 \left(\frac{1}{12} \cdot \frac{C^p}{100} + \frac{1}{32} \cdot \frac{S_{O+K}^p}{100} \right), \frac{M^3}{KZ}; \quad (0.8)$$

$$V_{RO_2}^0 = 0,0187 C^p + 0,007 S_{O+K}^p, \frac{M^3}{KZ}. \quad (0.9)$$

– Теоретический объем водяных паров. В продуктах сгорания содержатся водяные пары, которые образуются: при сгорании водорода, при испарении влаги из топлива, а также вносятся в топку с воздухом, подаваемым для горения топлива.

$$V_{H_2O}^0 = 22,41 \cdot \left(\frac{2}{4} \cdot \frac{H^p}{100} + \frac{1}{18} \cdot \frac{W^p}{100} + \frac{1}{18} \cdot \frac{\rho_{\epsilon} \cdot d_{\epsilon}}{1000} \cdot V_{\epsilon}^0 \right), \frac{M^3}{KZ}, \quad (0.10)$$

где $\rho_{\epsilon} = 1,203 \text{ кг/м}^3$ – плотность сухого воздуха при нормальных условиях;
 d_{ϵ} – влагосодержание атмосферного воздуха, в среднем равное 10 г/кг .

$$V_{H_2O}^0 = 0,111 H^p + 0,0124 W^p + 0,0161 V_B^0, \frac{M^3}{KZ}, \quad (0.11)$$

Определение теоретического объема воздуха и продуктов сгорания при сжигании газообразного топлива

1. Теоретическое количество сухого воздуха, необходимое для полного сгорания 1 м^3 газа (коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1$):

$$V_B^0 = 0,0476 \left[0,5 CO + 0,5 H_2 + 1,5 H_2 S + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right], \frac{M^3}{M^3}, \quad (0.12)$$

2. Теоретические объемы продуктов сгорания, полученные при полном сгорании 1 м^3 газа с теоретически необходимым количеством воздуха:

– азота

$$V_{R_2}^0 = 0,79 V_B^0 + 0,01 N_2, \frac{M^3}{M^3}, \quad (0.13)$$

– трехатомных газов

$$V_{RO_2}^0 = 0,01 (CO_2 + CO + H_2 S + \sum m C_m H_n), \frac{M^3}{M^3}, \quad (0.14)$$

– водяных паров

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \left(H_2S + H_2 + \sum \frac{n}{2} C_m H_n + 0,124 d_z \right) + 0,0161 V_{\epsilon}^0, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (0.15)$$

где d_z – влагосодержание газообразного топлива, принимается 10 г/кг.

Расчет действительных объемов воздуха и продуктов сгорания

Действительное количество воздуха, расходуемое для горения, на практике всегда больше теоретического и определяется с учетом коэффициента избытка воздуха – α :

$$V_{\epsilon} = \alpha \cdot V_{\epsilon}^0, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (\text{м}^3/\text{м}^3) \quad (0.16)$$

Величина α зависит от вида топлива, способа его сжигания, типа топочного устройства и т.д. При увеличении α улучшается полнота горения топлива, уменьшаются потери от химического недожога топлива, но увеличивается объем продуктов сгорания топлива, что приводит к увеличению потери тепла с уходящими газами. В связи с этим, коэффициент α должен поддерживаться на оптимальном уровне. Оптимальное значение устанавливается по минимальной сумме потерь тепла в теплогенераторе и равно в среднем:

- для газа, $\alpha_m = 1,05 \div 1,1$;
- для мазута, $\alpha_m = 1,1 \div 1,15$;
- для твердого топлива сжигаемого в виде пыли, $\alpha_m = 1,2 \div 1,3$;
- для твердого топлива сжигаемого в слоевой топке, $\alpha_m = 1,3 \div 1,6$.

Действительный объем дымовых газов определяется как сумма объемов сухих дымовых газов (V_{cz}) и водяных паров (V_{H_2O}):

$$V_z = V_{cz} + V_{H_2O}, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (\text{м}^3/\text{м}^3) \quad (0.17)$$

Действительный объем сухих дымовых газов и водяных паров определяется с учетом избыточного воздуха (т.е. при $\alpha > 1$):

$$V_{cz} = V_{RO_2}^0 + V_{R_2}^0 + (\alpha - 1) \cdot V_{\epsilon}^0, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (\text{м}^3/\text{м}^3); \quad (0.18)$$

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_{\epsilon}^0, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (\text{м}^3/\text{м}^3). \quad (0.19)$$

1.2. Практические задания

Задание 1. Рассчитать теоретические и действительные объемы воздуха и продуктов сгорания для топлив, указанных в таблице 0.1 по варианту.

Таблица 0.1 – Марки топлива

№ варианта	Твердое топливо	Жидкое топливо	Газообразное топливо
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

Состав рабочей массы топлива определяется по [Ошибка! Источник ссылки не найден., табл. III, IV].

Задание 2. Используя MS Excel построить круговые диаграммы, где отобразить процентное соотношение действительных объемов компонентов продуктов сгорания для различных топлив.

Диаграммы отобразить в двух видах: $(V_{c2} + V_{H_2O})$ и $(V_{RO_2} + V_{R_2} + V_{\epsilon} + V_{H_2O})$ для каждого вида топлива. Ориентировочный пример диаграмм приведен на рисунке 0.1.

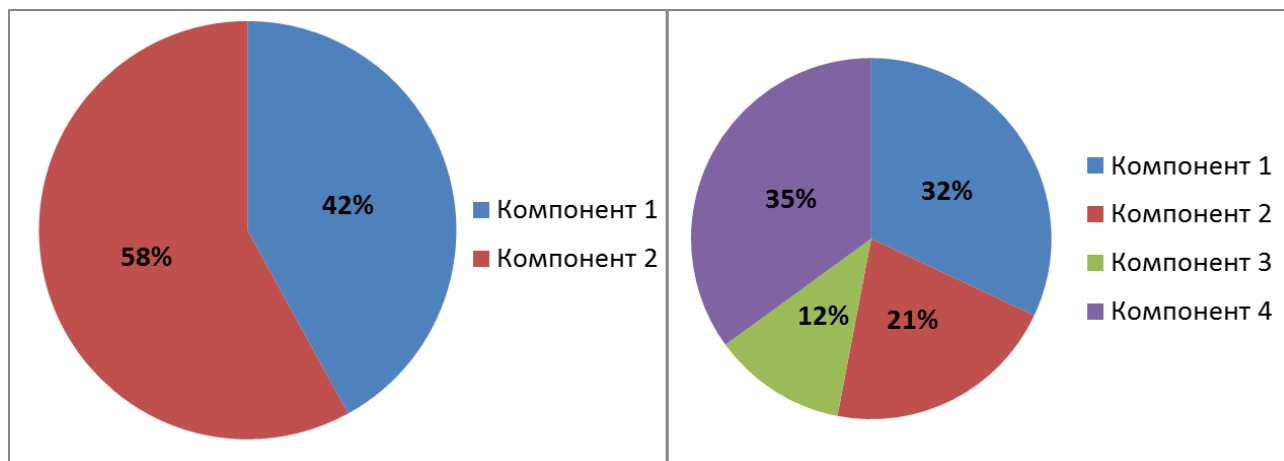


Рисунок 0.1 – Круговые диаграммы объемов продуктов сгорания

Задание 3. Рассчитать объемные доли трехатомных газов и водяных паров и отобразить их на круговой диаграмме по примеру на рисунке 0.2.

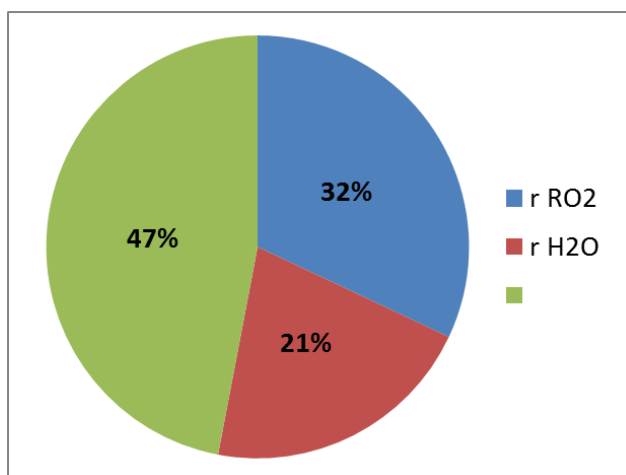


Рисунок 0.2 – Круговая диаграмма объемных долей трехатомных газов и водяных паров

Объемные доли трехатомных газов и водяных паров определяются из соотношений:

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_c}, \quad r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_c}. \quad (0.20)$$

Задание 4. Выполнить задания 2 и 3 увеличив при этом коэффициент избытка воздуха на 0,5. Проанализировать, как влияет увеличение коэффициента избытка воздуха на соотношение компонентов продуктов сгорания топлива.

Задание 5. Построить и проанализировать график изменения действительного объема продуктов сгорания в зависимости от коэффициента избытка воздуха в диапазоне $\alpha = 1 \div 2$.

1.3. Контрольные вопросы

1. Какие вещества образуются при сгорании топлива и как их можно сгруппировать?
2. Что такое теоретический объем воздуха и как он определяется при сжигании твердого и жидкого топлива?
3. Что такое действительный объем воздуха и как он определяется?
4. Что такое коэффициент избытка воздуха и что показывает его число?
5. Написать стехиометрические соотношения горения основных горючих компонентов твердого и жидкого органического топлива.
6. Определение теоретического объема двухатомных газов в продуктах сгорания.
7. Определение теоретического объема трехатомных газов в продуктах сгорания.
8. Определение теоретического объема водяных паров в продуктах сгорания.
9. Определение действительного объема водяных паров в продуктах сгорания.
10. Как изменение коэффициента избытка воздуха влияет на соотношение объемов компонентов продуктов сгорания?

Практическое занятие

Расчет энтальпий продуктов сгорания и воздуха

1.4. Теоретическая часть

Задачей расчета является определение энтальпий дымовых газов и воздуха в зависимости от их температуры. Из курса термодинамики известно, что удельная энтальпия газообразного вещества определяется как произведение удельной объемной теплоемкости (C') на температуру (t)

$$i = C' \cdot t, \text{ кДж/м}^3. \quad (0.1)$$

Соответственно энтальпия всего объема газообразного вещества:

$$I = V \cdot C' \cdot t, \text{ кДж}. \quad (0.2)$$

Энтальпия смеси газов будет определяться из уравнения

$$I = \sum V_i \cdot C'_i \cdot t, \text{ кДж}. \quad (0.3)$$

Рассчитаем общую энтальпию теоретического объема дымовых газов. Энтальпия определяется в кДж в расчете на 1 кг (или 1 м³) сжигаемого топлива.

$$I_{\Gamma}^0 = V_{RO_2}^0 (C\vartheta)_{RO_2} + V_{N_2}^0 (C\vartheta)_{N_2} + V_{H_2O}^0 (C\vartheta)_{H_2O}, \text{ кДж/кг} \left(\text{кДж/м}^3 \right), \quad (0.4)$$

где ϑ – температура дымовых газов (одинаковая для каждого компонента), °C; $(C\vartheta)_i$ – удельная объемная энтальпия газа (при температуре ϑ), кДж/м³, определяется по данным [Ошибка! Источник ссылки не найден., табл. XIV]. V_i^0 – теоретический объем каждого газа в продуктах сгорания, отнесенный на 1 кг (или на 1 м³) сжигаемого топлива, м³/кг (м³/м³).

Энтальпия действительного объема дымовых газов определяется:

$$I_{\Gamma} = I_{\Gamma}^0 + (\alpha - 1) I_B^0, \text{ кДж/кг} \left(\text{кДж/м}^3 \right), \quad (0.5)$$

где I_B^0 – энтальпия теоретического объема воздуха:

$$I_B^0 = V_B^0 (C\vartheta)_B, \text{ кДж/кг} \left(\text{кДж/м}^3 \right), \quad (0.6)$$

где $(C\vartheta)_B$ – удельная объемная энтальпия воздуха (при температуре ϑ), кДж/м³, определяется по данным [Ошибка! Источник ссылки не найден., табл. XIV].

1.5. Практические задания

Задание 1. Рассчитать энтальпии теоретического и действительного объемов продуктов сгорания в интервале температур 0÷2000°C с шагом через каждые 100°C. Полученные данные представить в виде таблицы 0.1. За исходные данные принять результаты, полученные в предыдущих расчетах для жидкого и газообразного топлива (0).

Таблица 0.1 – $I\vartheta$ –таблица воздуха и продуктов сгорания

ϑ , °C	$(C\vartheta)_{RO_2}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$	$(C\vartheta)_{N_2}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$	$(C\vartheta)_{H_2O}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$	$(C\vartheta)_B$, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$	I_{Γ}^0 , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ (кДж/м ³)	I_B^0 , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$, (кДж/м ³)	I_{Γ} , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$, (кДж/м ³)
---------------------	--	---	--	---	---	--	---

100							
200							
...							
2000							

Задание 2. Полученные табличные данные (табл. 0.1) аппроксимировать полиномом второй степени. В процессе аппроксимации необходимо получить аналитические зависимости $I_T = f_1(\vartheta)$ и $\vartheta = f_2(I_T)$. Аппроксимацию целесообразно выполнять с помощью электронных инструментов MS Excel. Для выполнения этого задания рекомендуется использовать построение «линий тренда» на «точечных диаграммах». В результате должны получиться два квадратных уравнения. Пример одного из уравнений приведен на рисунке 0.1.

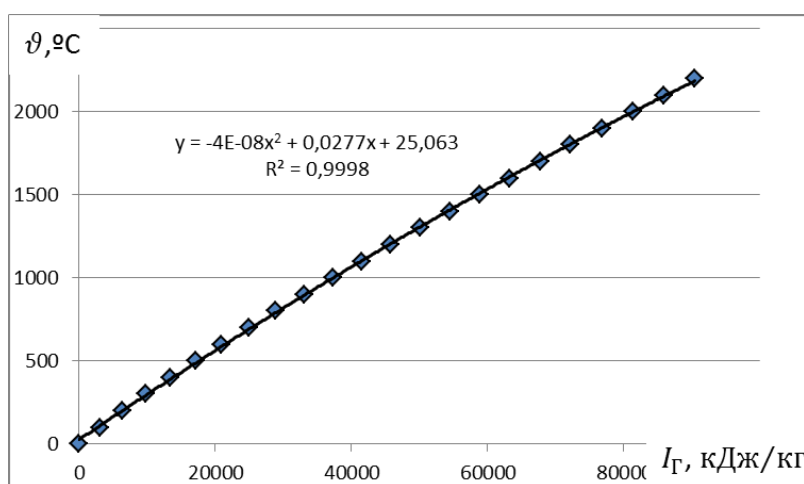


Рисунок 0.1 – Пример аппроксимации табличных данных $I\vartheta$.

Задание 3. Вычислить среднее относительное отклонение полученных функций от табличных данных по формуле

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \tilde{y}_i|}{y_i} \cdot 100, \% , \quad (0.7)$$

где y_i – табличные значения; $\tilde{y}_i$ – расчетные значения, соответствующие условиям при y_i ; n – количество табличных значений.

1.6. Контрольные вопросы

1. Понятие теплоемкости.
2. Разновидность теплоемкости и единицы ее измерения.
3. Удельная и полная энтальпия, единицы ее измерения.
4. Единицы измерения энтальпии продуктов сгорания (вывод размерностей и их физический смысл).
5. Методика определения энтальпии теоретического объема продуктов сгорания.
6. Методика определения энтальпии теоретического объема воздуха.
7. Методика определения энтальпии действительного объема продуктов сгорания.

Практическое занятие

Тепловой баланс теплогенератора

1.7. Теоретическая часть

Задачей расчета теплового баланса является определение величин всех потерь теплогенератора и определение его КПД.

Тепловой баланс котла заключается в установлении равенства между поступившим в котел располагаемым количеством тепла (Q_p) и суммой потраченного тепла на полезный нагрев теплоносителя (Q_1) и на тепловые потери ($Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$).

Общее уравнение теплового баланса имеет вид

$$Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (0.1)$$

где Q_1 – полезно воспринятое тепло в котле, Q_2 – потеря тепла с уходящими газами, Q_3 – потеря тепла с химическим недожогом, Q_4 – потеря тепла с механическим недожогом, Q_5 – потеря тепла с наружной теплоотдачей,

Q_6 – потеря тепла со шлаком.

Если левую и правую части этого уравнения разделить на Q_p и умножить на 100, то получим тепловой баланс в процентном выражении:

$$100\% = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \quad (0.2)$$

где $q_1 = \frac{Q_1}{Q_p} 100\%$, $q_2 = \frac{Q_2}{Q_p} 100\%$ и т.д. – составляющие теплового баланса, выраженные в процентном отношении.

На основании теплового баланса вычисляется КПД (η) и расчетный расход топлива (B_p).

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_p} 100, \% , \quad (0.3)$$

$$\eta = q_1 = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6), \% . \quad (0.4)$$

$$B_p = B \left(1 - \frac{q_4}{100} \right), \text{ кг/с } \left(\text{м}^3/\text{с} \right), \quad (0.5)$$

где B – полный расход топлива, подаваемого в топку теплогенератора;

$$B = \frac{Q_{ТГ}}{\eta \cdot Q_p} 100, \text{ кг/с } \left(\text{м}^3/\text{с} \right), \quad (0.6)$$

$Q_{ТГ}$ – тепловая мощность теплогенератора, (Bm).

Тепловой баланс составляется применительно к установившемуся тепловому состоянию котла на 1 кг (или 1 м³) сгоревшего топлива при 0 °С и 101,3 кПа. Все составляющие теплового баланса (Q) имеют размерность: кДж/кг – для жидкого и твердого топлива или кДж/м³ – для газообразного.

Располагаемое тепло (Q_p), вносимое в топку котла при сжигании 1 кг (или 1 м³) топлива, складывается из: низшей теплоты сгорания топлива (Q_H^p), тепла внесенного в топку с воздухом ($Q_{в.вн}$), тепла внесенного в топку паровым «форсуночным» дутьем (Q_ϕ) и физического тепла топлива ($i_{тл}$).

$$Q_p = Q_H^p + Q_{в.вн} + Q_\phi + i_{тл}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \right) \quad (0.7)$$

Величина Q_H^p определяется по данным [Ошибка! Источник ссылки не найден., табл. III, IV].

Величина $Q_{в.вн}$ рассчитывается по данным [Ошибка! Источник ссылки не найден., п. 5-20] при подогреве воздуха вне котла. В маломощных котлах подогрев воздуха отсутствует.

Величина Q_{ϕ} рассчитывается по данным [Ошибка! Источник ссылки не найден., п. 5-21], если мазут в топке распыляется с помощью пара.

Величина $i_{\text{ТЛ}}$ учитывается в тех случаях, когда топливо предварительно подогревается посторонним источником тепла [Ошибка! Источник ссылки не найден., п. 5-03].

$$i_{\text{ТЛ}} = c_{\text{ТЛ}} \cdot t_{\text{ТЛ}} + \frac{\kappa \text{Дж}}{\text{кг}} \left(\frac{\kappa \text{Дж}}{\text{м}^3} \right) \quad (0.8)$$

где $c_{\text{ТЛ}}$ – теплоемкость рабочего топлива, $\kappa \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ [Ошибка! Источник ссылки не найден., п. 3-14],

$t_{\text{ТЛ}}$ – температура подогретого топлива перед подачей в топку, °С.

При сжигании жидкого топлива, для снижения вязкости его обычно предварительно разогревают:

– дизельное топливо и нефть: $t_{\text{ТЛ}} = 20 \div 130$ °С,

– мазут: $t_{\text{ТЛ}} = 90 \div 110$ °С.

Потеря тепла с уходящими газами (q_2) это та доля тепла, которая теряется в окружающую среду с уходящими газами через дымовую трубу, определяется как разность энтальпии продуктов сгорания на выходе из последней поверхности нагрева и энтальпии холодного воздуха

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_p} 100 = \frac{(I_{\text{yx}} - \alpha I_{\text{x.в.}}^0)(100 - q_4)}{Q_p}, \% \quad (0.9)$$

где I_{yx} – энтальпия уходящих газов, определяется по данным (0); $I_{\text{x.в.}}^0$ – энтальпия теоретического количества холодного воздуха, определяется по -таблице в функции от температуры холодного воздуха $t_{\text{x.в.}}$.

Потеря тепла от химической неполноты сгорания (q_3) обусловлена суммарной теплотой сгорания продуктов неполного горения, остающихся в уходящих газах

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_p} 100, \% \quad (0.10)$$

Для камерных топок котлов малой мощности величина потери тепла от химической неполноты сгорания в среднем составляет 0,1÷0,5%.

Потеря тепла от механической неполноты сгорания (q_4) определяется недожогом твердого топлива в шлаках, провале и уносе

$$q_4 = \frac{Q_4}{Q_p} 100, \% \quad (0.11)$$

В камерных топках величина Q_4 зависит от вида топлива и способа его сжигания; имеет место только при сжигании твердых топлив.

Потеря тепла в окружающую среду от наружного охлаждения (q_5) обусловлена теплопередачей через ограждающие конструкции теплогенератора. Зная температуру наружной поверхности теплогенератора, эту потерю можно рассчитать по уравнению конвективной теплоотдачи (в отношении на 1 кг (1 м³) сжигаемого топлива)

$$Q_5 = \frac{\alpha_{\kappa} (t_{\text{н.ст}} - t_{\text{возд}}) F_{\text{н.ст}}}{B_p} \cdot 10^{-3}, \frac{\kappa \text{Дж}}{\text{кг}} \left(\frac{\kappa \text{Дж}}{\text{м}^3} \right) \quad (0.12)$$

где α_{κ} – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности котла в окружающую среду, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{К})$; $t_{\text{н.ст}}$ и

$t_{\text{возд}}$ – температура наружной стенки теплогенератора и окружающего воздуха, °С; $F_{\text{н.ст}}$ – площадь наружной поверхности стенок котла, м^2 .

Т.к. теплоотдача происходит при свободной конвекции в воздухе, то можно приблизительно принять

$\alpha_{\kappa} \approx 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{К})$. Если температура наружной поверхности котла не задана заводом изготовителем, то ее

можно принять $t_{\text{н.ст}} = 50$ °С. Площадь наружных стен котла цилиндрической формы можно рассчитать, как сумму площади наружной цилиндрической обечайки и площадей двух круглых торцов:

$$F_{\text{н.ст}} = \pi D_n L + \pi D_n^2 / 2, \text{ м}^2. \quad (0.13)$$

Зная потерю Q_5 , рассчитывают ее в процентном выражении:

$$q_5 = \frac{Q_5}{Q_p} 100, \% \quad (0.14)$$

При расчете количества тепла, отданного продуктами сгорания, используется коэффициент сохранения тепла, учитывающий потери от наружного охлаждения:

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta + q_5}. \quad (0.15)$$

Потеря тепла со шлаком (q_6). Потеря возникает при удалении из топки шлака в расплавленном состоянии. Эта потеря учитывается в тепловом балансе только при сжигании высокосольных твердых топлив в топках с жидким шлакоудалением.

Общие рекомендации к расчету теплового баланса

Общий порядок расчета заключается в следующей последовательности:

1. Рассчитывается располагаемое тепло Q_p (0.7)
2. Задается значение КПД (в первом приближении рекомендуется принять $\eta = 90\%$).
3. Определяется расчетный расход топлива B_p (0.5).
4. Определяются все потери тепла (q_2, q_3, q_4, q_5, q_6).
5. Рассчитывается КПД по обратному балансу (0.4).
6. По полученному КПД уточняется B_p, q_5, φ и снова рассчитывается КПД по обратному балансу.

Далее, пункты (3–5) этой последовательности повторяются до тех пор, пока значение КПД перестанет меняться с точностью до 0,1%.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению расчетно-графической работы
по дисциплине «Генераторы тепла и автономное теплоснабжение зданий»
для студентов направления 08.03.01 Строительство
профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА И РАБОТЫ ЖАРОТРУБНЫХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ	43
1.1. Водогрейные жаротрубные котлы КСВ 0,1÷0,5 МВт.....	43
1.2. Водогрейные жаротрубные котлы КСВ 1÷12 МВт.....	44
2. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К РАСЧЕТУ.....	46
2.1. Виды расчета теплогенератора.....	46
2.2. Порядок расчета и оформления пояснительной записки	46
2.3. Исходные параметры расчета.....	46
3. РАСЧЕТ ОБЪЕМОВ И ЭНТАЛЬПИЙ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ И ВОЗДУХА	48
3.1. Расчет теоретических объемов.....	48
3.2. Расчет действительных объемов и объемных долей	49
3.3. Расчет энтальпий воздуха и продуктов сгорания.....	50
4. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА.....	51
4.1. Располагаемое тепло (Q_p).....	51
4.2. Потеря тепла с уходящими газами (q_2).....	52
4.3. Потеря тепла от химического недожога (q_3).....	52
4.4. Потеря тепла от механического недожога (q_4)	52
4.5. Потеря тепла от наружного охлаждения котла (q_5)	52
4.6. Потеря тепла со шлаком (q_6).....	39
4.7. Общие рекомендации к расчету теплового баланса	39
4.8. Свод полученных данных	53
5. РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В ТОПКЕ	55
5.1. Геометрические характеристики топки.....	55
5.2. Радиационные свойства продуктов сгорания	56
5.3. Расчет суммарного теплообмена в топке	55

5.4. Общие рекомендации к расчету теплообмена в топке	57
5.5. Свод полученных данных	57
6. РАСЧЕТ КОНВЕКТИВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	58
6.1. Основные уравнения	58
6.2. Коэффициент теплопередачи	59
6.3. Коэффициент теплоотдачи конвекцией	59
6.4. Коэффициент теплоотдачи излучением	61
6.5. Общие рекомендации к расчету дымогарных труб	62
6.6. Методика последовательных приближений	62
6.7. Свод полученных данных	64
7. Невязка теплового баланса теплогенератора	65
8. Литература	66
ПРИЛОЖЕНИЯ	67

Приложение I. Технические характеристики водогрейных жаротрубных котлов Нефтемаш КСВ - 0,1-0,5 МВт	67
---	----

Приложение II. Технические характеристики водогрейных жаротрубных котлов Нефтемаш КСВ - 1-12 МВт.....	68
--	----

ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА И РАБОТЫ ЖАРОТРУБНЫХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ

1.8. Водогрейные жаротрубные котлы КСВ 0,1÷0,5 МВт

Жаротрубные котлы стальные водогрейные двухходовые предназначены для производства теплоносителя в системах отопления и ГВС производственных предприятий, административно-общественных и жилых зданий, а также технологических объектов.

Технические характеристики котлов приведены в приложении I.

Преимущества котла

- Высокий КПД до 93,5% при низкой эмиссии вредных газов.
- Работа котла как с разрежением в топке, так и под наддувом.
- Надежность, долговечность и простота в эксплуатации.
- Полная готовность котла к монтажу.
- Пониженные требования к температуре воды на входе.
- Минимальное гидравлическое сопротивление.
- Использование высокоэффективных автоматизированных горелок отечественных и зарубежных производителей.
- Малая инерционность.

Устройство котла

Котел состоит из сварного корпуса, передней крышки, задней крышки с коробом для отвода дымовых газов, теплоизоляции, декоративной облицовки, опор (Рис. 0.1).

Корпус котла цилиндрической формы из стального листа включает в себя топочную камеру – «плавающую» жаровую трубу с овальным доньшком, переднюю и заднюю трубные доски, конвективную часть, переднюю поворотную камеру, опоры.

Топка реверсивного типа вварена в переднюю трубную доску, обеспечивает самокомпенсацию осевых тепловых напряжений. Конвективный газоход образован дымогарными трубами, вваренными в трубные доски концентрично топке. В трубах размещаются турбулизаторы для обеспечения высокоэффективного теплосъема конвективной части.

На обечайке корпуса размещены входной и выходной патрубки теплоносителя, смотровые окна, в нижней части обечайки вварен патрубок слива теплоносителя, приварены опоры котла.

Между трубной доской и передней крышкой образована поворотная камера для дымовых газов. На передней крышке вварен фланец для крепления горелки.

Задняя крышка имеет короб для вывода дымовых газов и присоединения дымохода.

Корпус котла покрывается теплоизоляционными матами толщиной 100 мм и кожухом из оцинкованного листа с декоративным покрытием.





Рисунок 0.1 – Схема работы и устройства котла КСВ 0,1÷0,5 МВт

Работа водогрейного котла

Движение дымовых газов

Топочная камера тупиковая с поворотным факелом. Дымовые газы, образовавшиеся в топке при сгорании топлива, у доньшка разворачиваются на 180°, по периферии топки возвращаются к фронту котла и через поворотную камеру поступают в дымогарные трубы конвективной части. Отдав тепло теплоносителю, дымовые газы через короб поступают в дымоход.

Движение теплоносителя

Теплоноситель (подготовленная вода) подается в котел через входной патрубок («обратку»), распределяется в корпусе. Теплоноситель, совершая принудительное движение в продольном направлении, за счет естественной циркуляции в полости корпуса нагревается и выдается из котла через выходной патрубок подачи.

1.9. Водогрейные жаротрубные котлы КСВ 1÷12 МВт

Котлы секционные водогрейные серии КСВ предназначены для эффективного отопления и горячего водоснабжения производственных помещений, административно-общественных и жилых зданий. Используются как в стационарных, так и блочно-модульных котельных.

Технические характеристики котла приведены в приложении II.

Устройство котла

Котлы КСВ мощностью от 1 до 12 МВт – секционные водогрейные трехходовые жаротрубные. Первый ход котла образован жаровой трубой и поворотной камерой. Второй и третий ходы образованы газоходными трубами конвективной части котла (Рис. 0.2).

Котел состоит из корпуса, передней крышки, короба для отвода дымовых газов, опор, теплоизоляции и декоративного кожуха.

Корпус котла – цилиндрической формы, включает в себя топочную камеру, переднюю и заднюю трубные доски, конвективный газоход, переднюю поворотную камеру и наружную обечайку.

Топочная камера – цилиндрическая, выполнена в виде жаровой трубы и задней поворотной камеры пламени, задней трубной доски. К фронтальной стенке приварен фланец горелки (Прил. II).

Днище топочной камеры и задняя трубная доска образуют пластичную систему, компенсирующую температурные удлинения жаровой трубы.

Конвективный газоход котла выполнен из бесшовных дымогарных труб. Трубы сгруппированы и сварены в трубные доски. Между пучками дымогарных труб для осмотра и очистки котла по водяной стороне оставлены промежутки.

Корпус котла выполнен из листовой стали. На корпусе размещены:

- подводящий патрубок «обратной» воды;
- отводящий патрубок «прямой» воды;
- три смотровых люка ;
- сливной патрубок;
- взрывной клапан.



Передняя крышка двустворчатая, изготовлена из стального листа с заливкой огнеупорной массой. Под коробом для отвода дымовых газов расположен взрывной клапан, обмурованный с внутренней стороны, оснащенный пружинами и смотровым патрубком.

Передняя крышка имеет уплотнение, на котором производится равномерная затяжка крышки к корпусу с помощью стяжных болтов.

Теплоизоляция котла – легкого типа. В качестве изоляционного материала используются плиты из волокнистых материалов, выдерживающие температуру $300\div 500^{\circ}\text{C}$.

Толщина изоляции равна 100 мм. Поверх изоляции котел облицовывается декоративным кожухом из алюминиевого или оцинкованного листа с полимерным покрытием.

Факел горелки располагается горизонтально по оси топки.

Работа котла

Движение дымовых газов

Дымовые газы, достигнув поворотную камеру, поступают в дымогарные трубы 1-го хода конвективного пучка и направляются к фронту котла (Рис 1.2). В передней камере газы поворачивают на 180° и по второму ходу конвективного пучка направляются в сборный короб и далее в дымовую трубу котельной.

Турбулизаторы объемного смешивания оригинальной конструкции обеспечивают повышение КПД и снижение аэродинамического сопротивления котла дымовым газам в конвективных трубах.

Движение теплоносителя

Вода подается в котел через входной патрубок в задней части корпуса. Установленная между корпусом котла и конвективным пучком экранная пластина расширяет зону смешивания холодной «обратной» воды с горячей котловой водой. Вода из котла подается в сеть через выходной патрубок, расположенный в передней части котла.

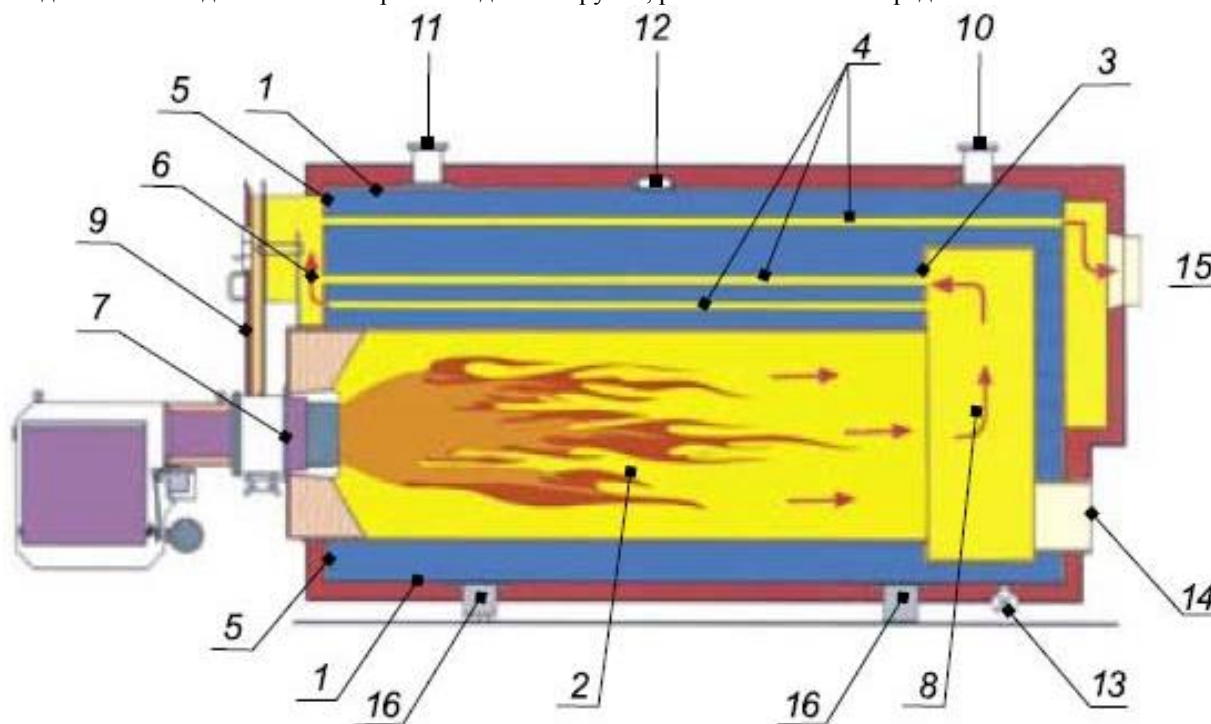


Рисунок 0.2 – Схема работы и устройства котлов КСВ 1÷12 МВт

Размещение и монтаж

Котел должен устанавливаться в отдельных помещениях, удовлетворяющих требованиям СНиП 2.01.02-85.

Монтаж котла должен производиться в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации паровых котлов с давлением пара не более $0,7 \text{ кгс/см}^2$, водогрейных котлов и водоподогревателей с температурой нагрева воды не выше 115°C » и по документации проектной организации на котельную.

Под котлом имеются две опоры, на которых котел может быть установлен либо непосредственно на полу котельной, либо на фундаменте. Одна опора должна быть закреплена, другая – в свободном положении для смещения.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К РАСЧЕТУ

1.10. Виды расчета теплогенератора

Тепловой расчет ТГ может быть конструктивным (проектным) и поверочным. Различие в основном заключается в задачах расчета и искомых величинах. При конструктивном расчете для заданных теплопроизводительности, параметров теплоносителя и характеристики топлива определяют размеры топки и поверхностей нагрева отдельных элементов агрегата, а также ожидаемые КПД и расход топлива.

При поверочном тепловом расчете по принятой конструкции и размерам ТГ для заданных нагрузки и вида топлива определяют температуру теплоносителя, воздуха и дымовых газов на границах между отдельными поверхностями нагрева, КПД и расход топлива.

При реконструкции ТГ, переводе на сжигание других видов топлива производится поверочный тепловой расчет, который реально всегда содержит элементы конструктивного. При разработке новых конструкций ТГ тепловой расчет носит во многом поверочный характер, поскольку размеры некоторых поверхностей нагрева определяются рациональной компоновкой. Поэтому поверочный расчет, как наиболее распространенный и методически более сложный, включается в программу курсового и дипломного проектирования.

Тепловой расчет дает исходные материалы для выбора вспомогательного оборудования, аэродинамического, гидравлического, прочностного и других расчетов надежности.

1.11. Порядок расчета и оформления пояснительной записки

Прежде чем приступить к выполнению поверочного расчета, следует изучить конструкцию и устройство ТГ и отдельных его элементов, пользуясь чертежами и литературой [1, 2, 3, 5, 6]. Затем следует определиться со всеми необходимыми для расчета исходными данными в соответствии с п. 2.3.

Тепловой расчет рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

- расчет объемов и энтальпий воздуха и продуктов сгорания;
- расчет теплового баланса ТГ, КПД и расхода топлива;
- расчет теплообмена в топочной камере;
- расчет теплообмена в конвективных поверхностях нагрева;
- составление сводной таблицы результатов расчета.

Таким же должен быть порядок расположения расчетных данных в пояснительной записке. Вначале приводятся исходные данные в соответствии с заданием, описание работы теплогенератора выбранной конструкции, а затем основные пункты расчета. Расчеты рекомендуется выполнять в табличной форме с помощью редактора электронных таблиц Excel. Каждую таблицу следует размещать на отдельном листе Excel.

Графическая часть проекта выполняется на листе формата A1 и должна содержать:

- фронтальный вид ТГ,
- горизонтальный вид ТГ,
- продольный разрез ТГ,
- поперечный разрез ТГ.

На чертежах должны быть указаны все основные элементы ТГ и основные размеры в миллиметрах. Формат, шрифт, толщина линий и прочие атрибуты чертежа должны соответствовать ГОСТам.

1.12. Исходные параметры расчета

1. Теплогенератор (задается вид и марка). В чертежах должны быть указаны конструкция, размеры топочного устройства и всех элементов, подлежащих расчету.

2. Топливо. Исходный («рабочий») состав жидкого топлива в том виде, как оно поступает в топку котла, задается в элементарном виде [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**, табл. III] и выражается в % по массе:

$$C^P + H^P + N^P + O^P + S^P + A^P + W^P = 100\%, \quad (0.1)$$

Состав газообразного топлива задается в виде механической смеси элементарных газов [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**, табл. IV] и выражается в процентах по объему:

$$\sum C_m H_n + CO + CO_2 + N_2 + O_2 + H_2S + H_2 = 100\%. \quad (0.2)$$

3. Мощность теплогенератора может определяться по марке котла или по таблицам его технических характеристик (Прил. I, II); также может определяться по параметру теплопроизводительности.

4. Температура воды на входе и выходе из теплогенератора определяется по таблицам технических характеристик ТГ (Прил. I, II).

5. Температура уходящих газов предварительно задается, а затем уточняется в результате поверочного расчета. В зависимости от вида топлива температура уходящих газов можно предварительно принять: при сжигании мазута 160÷180°С, при сжигании природного газа 140÷160°С. Чем больше содержание серы в топливе, тем выше следует принять температуру уходящих газов.

6. Температура исходного воздуха. При сжигании газа и мазута в котлах малой мощности подогрев воздуха не является обязательным, поэтому, в расчете рекомендуется принять температуру исходного («холодного») воздуха 20÷25°С.

7. Давление дымовых газов в теплогенераторе. Для котлов малой мощности, работающих под наддувом, если этот параметр не указан, то можно принять давление приблизительно равным атмосферному ~ 0,1 МПа.

Котел и вид топлива выбираются по двузначному варианту из таблицы:

№	Котел	№	Топливо
1	КСВ-0,1	1	Мазут низкосернистый
2	КСВ-0,2	2	Газ саратовский (Саратов-Москва)
3	КСВ-0,4	3	Мазут малосернистый
4	КСВ-0,5	4	Мострансгаз (кольцо)
5	КСВ-1,0	5	Мазут сернистый
6	КСВ-2,0	6	Каменный Лог - Пермь
7	КСВ-3,0	7	Мазут высокосернистый
8	КСВ-5,0	8	Кулешовка-Самара
9	КСВ-8,0	9	Стабилизированная нефть
0	КСВ-12,0	0	Газ коксовых печей

РАСЧЕТ ОБЪЕМОВ И ЭНТАЛЬПИЙ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ И ВОЗДУХА

Объемы и энтальпии продуктов сгорания и воздуха рассчитываются на сжигание 1 кг жидкого топлива (или на 1 м³ сухого газообразного топлива) при нормальных условиях (0°С и 101,3 кПа). В процессе сгорания топлива образуется азот (N_2), трехатомные газы (CO_2 и SO_2) и водяные пары (H_2O).

1.13. Расчет теоретических объемов

При сжигании жидкого топлива

1. Теоретическое количество сухого воздуха, необходимое для полного сгорания 1 кг топлива (коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1$):

$$V_B^0 = 0,0889(C^P + 0,375S^P) + 0,265H^P - 0,0333O^P, \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (0.1)$$

2. Теоретические объемы продуктов сгорания, получаемые при полном сгорании 1 кг топлива с теоретически необходимым количеством воздуха:

– азота

$$V_{N_2}^0 = 0,79V_B^0 + 0,008N^P, \text{ м}^3/\text{кг}; \quad (0.2)$$

– трехатомных газов

$$V_{RO_2} = 0,01866(C^P + 0,375S^P), \text{ м}^3/\text{кг}; \quad (0.3)$$

– водяных паров

$$V_{H_2O}^0 = 0,111H^P + 0,0124W^P + 0,0161V_B^0, \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (0.4)$$

При сжигании газообразного топлива

1. Теоретическое количество сухого воздуха, необходимое для полного сгорания 1 м³ газа (коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1$):

$$V_B^0 = 0,0476 \left[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right], \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (0.5)$$

2. Теоретические объемы продуктов сгорания, полученные при полном сгорании 1 м³ газа с теоретически необходимым количеством воздуха:

– азота

$$V_{N_2}^0 = 0,79V_B^0 + 0,01N_2, \text{ м}^3/\text{м}^3; \quad (0.6)$$

– трехатомных газов

$$V_{RO_2} = 0,01(CO_2 + CO + H_2S + \sum m C_m H_n), \text{ м}^3/\text{м}^3; \quad (0.7)$$

– водяных паров

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \left(H_2S + H_2 + \sum \frac{n}{2} C_m H_n + 0,124d_{\Gamma} \right) + 0,0161V_B^0, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (0.8)$$

где d_{Γ} – влагосодержание газообразного топлива, принимается 10÷15 г/м³.

1.14. Расчет действительных объемов и объемных долей

Действительные объемы водяных паров и продуктов сгорания рассчитываются на основе их теоретических объемов, с учетом $\alpha > 1$.

Коэффициент избытка воздуха α принимается по рекомендации завода изготовителя котла. Если таких рекомендаций нет в наличии, то по справочным данным [Ошибка! Источник ссылки не найден. (табл. XX), 2 (табл. 7.50–7.54)].

1. Объем водяных паров в продуктах сгорания

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161(\alpha - 1)V_B^0, \text{ м}^3/\text{кг} (\text{ м}^3/\text{м}^3). \quad (0.9)$$

2. Общий объем продуктов сгорания

$$V_{\Gamma} = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O} + (\alpha - 1)V_B^0, \text{ м}^3/\text{кг} (\text{ м}^3/\text{м}^3). \quad (0.10)$$

3. Объемные доли трехатомных газов в продуктах сгорания

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_{\Gamma}}, \quad r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{\Gamma}} \quad (0.11)$$

4. Суммарная объемная доля трехатомных газов в продуктах сгорания

$$r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O} \quad (0.12)$$

Полученные теоретические и действительные объемы воздуха и продуктов сгорания, а также объемные доли трехатомных газов рекомендуется сводить в виде таблицы 0.1.

Таблица 0.1 – Расчет объемов воздуха и продуктов сгорания

№ п/п	Наименование величины	Обозначение	Размерность	Значение	Обоснование или формула
1	Теоретический объем воздуха	V_B^0	$\text{м}^3/\text{кг}$ ($\text{м}^3/\text{м}^3$)		
2	Теоретический объем азота	$V_{N_2}^0$	$\text{м}^3/\text{кг}$ ($\text{м}^3/\text{м}^3$)		
3	Теоретический объем трехатомных газов	$V_{RO_2}^0$	$\text{м}^3/\text{кг}$ ($\text{м}^3/\text{м}^3$)		
4	Теоретический объем водяных паров	$V_{H_2O}^0$	$\text{м}^3/\text{кг}$ ($\text{м}^3/\text{м}^3$)		
5	Коэффициент избытка воздуха	α	–		
6	Действительный объем водяных паров	V_{H_2O}	$\text{м}^3/\text{кг}$ ($\text{м}^3/\text{м}^3$)		
7	Действительный объем водяных паров	V_{RO_2}	$\text{м}^3/\text{кг}$ ($\text{м}^3/\text{м}^3$)		
7	Действительный объем продуктов сгорания	V_{Γ}	$\text{м}^3/\text{кг}$ ($\text{м}^3/\text{м}^3$)		
8	Объемная доля трехатомных газов	r_{RO_2}	–		
9	Объемная доля водяных паров	r_{H_2O}	–		
10	Суммарная объемная доля трехатомных газов	r_n	–		

1.15. Расчет энтальпий воздуха и продуктов сгорания

Энтальпии воздуха и продуктов сгорания определяются в кДж в расчете на 1 кг (или 1 м³) сжигаемого топлива. Энтальпия действительного объема дымовых газов определяется:

$$I_{\Gamma} = I_{\Gamma}^0 + (\alpha - 1)I_B^0, \quad \text{кДж/кг, (кДж/м}^3\text{)}, \quad (0.13)$$

где I_{Γ}^0 – энтальпия теоретического объема продуктов сгорания ($\alpha = 1$),

$$I_{\Gamma}^0 = V_{RO_2}^0 (C\vartheta)_{RO_2} + V_{N_2}^0 (C\vartheta)_{N_2} + V_{H_2O}^0 (C\vartheta)_{H_2O}, \quad \text{кДж/кг, (кДж/м}^3\text{)}; \quad (0.14)$$

I_B^0 – энтальпия теоретического объема воздуха ($\alpha = 1$),

$$I_B^0 = V_B^0 (C\vartheta)_B, \quad \text{кДж/кг, (кДж/м}^3\text{)}; \quad (0.15)$$

где C – теплоемкость газа, кДж/(м³°C); ϑ – температура газа, °C;

$C\vartheta$ – энтальпия газа, кДж/м³, определяется по [Ошибка! Источник ссылки не найден., табл. XIV].

По приведенным формулам необходимо просчитать энтальпии воздуха и продуктов сгорания в интервале температур 0÷2000°C с шагом через каждые 100°C. Полученные данные сводятся в таблицу 0.1.

Таблица 0.2 – $I\vartheta$ –таблица воздуха и продуктов сгорания

ϑ , °C	$(C\vartheta)_{RO_2}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$	$(C\vartheta)_{N_2}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$	$(C\vartheta)_{H_2O}$, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$	$(C\vartheta)_B$, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$	I_{Γ}^0 , кДж/кг (кДж/м ³)	I_B^0 , кДж/кг, (кДж/м ³)	I_{Γ} , кДж/кг, (кДж/м ³)
100							
200							
...							

Полученные табличные данные необходимо аппроксимировать полиномом второй (или третьей) степени в виде прямой и обратной функции:

$$I_{\Gamma} = k_1 \cdot \vartheta^2 + k_2 \cdot \vartheta + k_3, \quad (0.16)$$

$$\vartheta = c_1 \cdot I_{\Gamma}^2 + c_2 \cdot I_{\Gamma} + c_3 \quad (0.17)$$

где c и k – эмпирические коэффициенты, полученные в процессе аппроксимации с помощью инструментов электронных таблиц Excel.

Пример полученной функции приведен на рисунке 0.1.

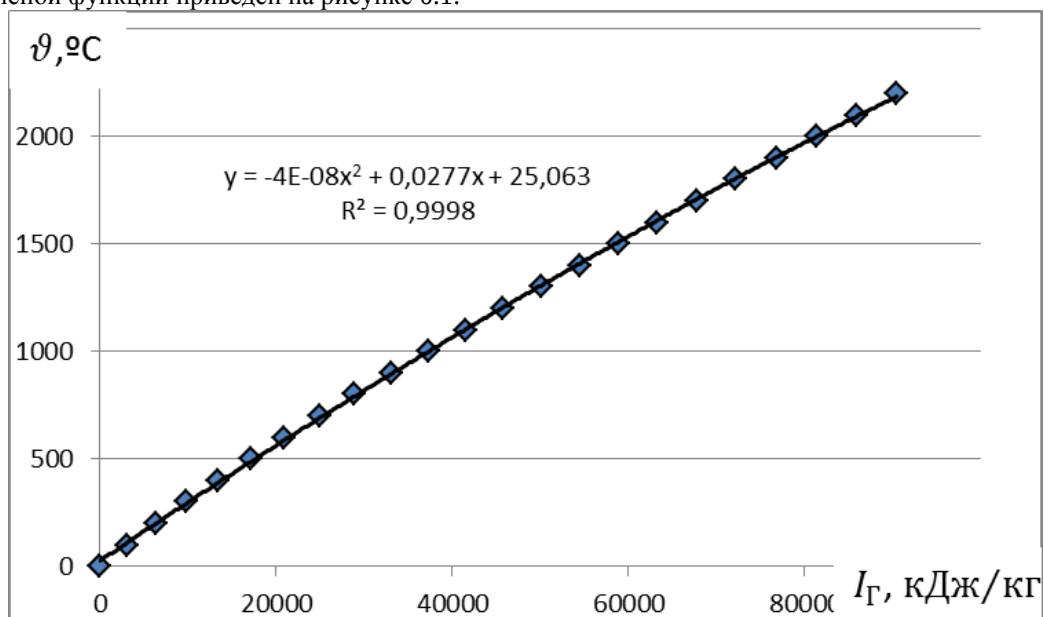


Рисунок 0.1 – Результат аппроксимации табличных данных $I\vartheta$.

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА

Составление теплового баланса котла заключается в установлении равенства между поступившим в котел располагаемым количеством тепла (Q_p) и суммой потраченного тепла на полезный нагрев теплоносителя (Q_1) и на тепловые потери ($Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$).

Общее уравнение теплового баланса имеет вид

$$Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (0.1)$$

где Q_1 – полезно воспринятое тепло в котле, Q_2 – потеря тепла с уходящими газами, Q_3 – потеря тепла с химическим недожогом, Q_4 – потеря тепла с механическим недожогом, Q_5 – потеря тепла с наружной теплоотдачей,

Q_6 – потеря тепла со шлаком.

Если левую и правую части этого уравнения разделить на Q_p и умножить на 100, то получим тепловой баланс в процентном выражении:

$$100\% = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \quad (0.2)$$

где $q_1 = \frac{Q_1}{Q_p} 100\%$, $q_2 = \frac{Q_2}{Q_p} 100\%$ и т.д. – составляющие теплового баланса, выраженные в процентном отношении.

На основании теплового баланса вычисляется КПД (η) и расчетный расход топлива (B_p).

$$\eta = q_1 = \frac{Q_1}{Q_p} 100, \% , \quad (0.3)$$

$$\eta = q_1 = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6), \% . \quad (0.4)$$

$$B_p = B \left(1 - \frac{q_4}{100} \right), \text{ кг/с } (\text{ м}^3/\text{с}), \quad (0.5)$$

где B – полный расход топлива, подаваемого в топку теплогенератора;

$$B = \frac{Q_{ТГ}}{\eta \cdot Q_p} 100, \text{ кг/с } (\text{ м}^3/\text{с}), \quad (0.6)$$

$Q_{ТГ}$ – тепловая мощность теплогенератора, (Bt).

Тепловой баланс составляется применительно к установившемуся тепловому состоянию котла на 1 кг (или 1 м³) сгоревшего топлива при 0 °С и 101,3 кПа. Все составляющие теплового баланса (Q) имеют размерность: кДж/кг – для жидкого и твердого топлива или кДж/м³ – для газообразного.

1.16. Располагаемое тепло (Q_p)

Располагаемое тепло, вносимое в топку котла при сжигании 1 кг (или 1 м³) топлива, складывается из: низшей теплоты сгорания топлива (Q_n^p), тепла внесенного в топку с воздухом ($Q_{в.вн}$), тепла внесенного в топку паровым «форсуночным» дутьем (Q_ϕ) и физического тепла топлива ($i_{тл}$).

$$Q_p = Q_n^p + Q_{в.вн} + Q_\phi + i_{тл}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \right) \quad (0.7)$$

Величина Q_n^p определяется по данным [Ошибка! Источник ссылки не найден., табл. III, IV].

Величина $Q_{в.вн}$ рассчитывается по данным [Ошибка! Источник ссылки не найден., п. 5-20] при подогреве воздуха вне котла. В маломощных котлах подогрев воздуха отсутствует.

Величина Q_ϕ рассчитывается по данным [Ошибка! Источник ссылки не найден., п. 5-21], если мазут в топке распыляется с помощью пара.

Величина $i_{тл}$ учитывается в тех случаях, когда топливо предварительно подогревается посторонним источником тепла [Ошибка! Источник ссылки не найден., п. 5-03].

$$i_{\text{ТЛ}} = c_{\text{ТЛ}} \cdot t_{\text{ТЛ}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \right) \quad (0.8)$$

где $c_{\text{ТЛ}}$ – теплоемкость рабочего топлива, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ [Ошибка! Источник ссылки не найден., п. 3-14],

$t_{\text{ТЛ}}$ – температура подогретого топлива перед подачей в топку, °С.

При сжигании жидкого топлива, для снижения вязкости его обычно предварительно разогревают:

– дизельное топливо и нефть: $t_{\text{ТЛ}} = 20 \div 130$ °С,

– мазут: $t_{\text{ТЛ}} = 90 \div 110$ °С.

1.17. Потеря тепла с уходящими газами (q_2)

Потеря тепла с уходящими газами это та доля тепла, которая теряется в окружающую среду с уходящими газами через дымовую трубу, определяется как разность энтальпии продуктов сгорания на выходе из последней поверхности нагрева и энтальпии холодного воздуха

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_p} 100 = \frac{(I_{\text{yx}} - \alpha I_{\text{x.в.}}^0)(100 - q_4)}{Q_p}, \% \quad (0.9)$$

где I_{yx} – энтальпия уходящих газов, определяется по $I\vartheta$ -таблице в функции от температуры уходящих газов ϑ_{yx} (0.16); $I_{\text{x.в.}}^0$ – энтальпия теоретического количества холодного воздуха, определяется по $I\vartheta$ -таблице в функции от температуры холодного воздуха $t_{\text{x.в.}}$.

1.18. Потеря тепла от химического недожога (q_3)

Потеря тепла от химической неполноты сгорания обусловлена суммарной теплотой сгорания продуктов неполного горения, остающихся в уходящих газах

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_p} 100, \% \quad (0.10)$$

Для камерных топок котлов малой мощности величина потери тепла от химической неполноты сгорания в среднем составляет $0,1 \div 0,5\%$.

1.19. Потеря тепла от механического недожога (q_4)

Потеря тепла от механической неполноты сгорания определяется недожогом твердого топлива в шлаках, провале и уносе

$$q_4 = \frac{Q_4}{Q_p} 100, \% \quad (0.11)$$

В камерных топках величина Q_4 зависит от вида топлива и способа его сжигания; имеет место только при сжигании твердых топлив.

1.20. Потеря тепла от наружного охлаждения котла (q_5)

Потеря тепла в окружающую среду от наружного охлаждения обусловлена теплопередачей через ограждающие конструкции теплогенератора. Зная температуру наружной поверхности теплогенератора, эту потерю можно рассчитать по уравнению конвективной теплоотдачи (в отношении на 1 кг (1 м^3) сжигаемого топлива)

$$Q_5 = \frac{\alpha_k (t_{\text{н.ст}} - t_{\text{возд}}) F_{\text{н.ст}}}{B_p} \cdot 10^{-3}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \right) \quad (0.12)$$

где α_k – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности котла в окружающую среду, $Bm/(m^2K)$; $t_{н.см}$ и $t_{возд}$ – температура наружной стенки теплогенератора и окружающего воздуха, °C; $F_{н.см}$ – площадь наружной поверхности стенок котла, m^2 .

Т.к. теплоотдача происходит при свободной конвекции в воздухе, то можно приблизительно принять

$\alpha_k \approx 10 Bm/(m^2K)$. Если температура наружной поверхности котла не задана заводом изготовителем, то ее можно принять $t_{н.см} = 50$ °C. Площадь наружных стен котла цилиндрической формы можно рассчитать, как сумму площади наружной цилиндрической обечайки и площадей двух круглых торцов:

$$F_{н.см} = \pi D_n L + \pi D_n^2 / 2, m^2. \quad (0.13)$$

Зная потерю Q_5 , рассчитывают ее в процентном выражении:

$$q_5 = \frac{Q_5}{Q_p} 100, \% \quad (0.14)$$

При расчете количества тепла, отданного продуктами сгорания, используется коэффициент сохранения тепла, учитывающий потери от наружного охлаждения:

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta + q_5}. \quad (0.15)$$

1.21. Потеря тепла со шлаком (q_6)

Потеря возникает при удалении из топки шлака в расплавленном состоянии. Эта потеря учитывается в тепловом балансе только при сжигании высокозольных твердых топлив в топках с жидким шлакоудалением.

1.22. Общие рекомендации к расчету теплового баланса

Общий порядок расчета заключается в следующей последовательности:

7. Рассчитывается располагаемое тепло Q_p (0.7)
8. Задается значение КПД (в первом приближении рекомендуется принять $\eta = 90\%$).
9. Определяется расчетный расход топлива B_p (0.5).
10. Определяются все потери тепла (q_2, q_3, q_4, q_5, q_6).
11. Рассчитывается КПД по обратному балансу (0.4).
12. По полученному КПД уточняется B_p, q_5, φ и снова рассчитывается КПД по обратному балансу.

Далее, пункты (3–5) этой последовательности повторяются до тех пор, пока значение КПД перестанет меняться с точностью до 0,1%.

1.23. Свод полученных данных

Данные расчета рекомендуется сводить в форме таблицы 0.1.

Таблица 0.1 – Пример таблицы расчета теплового баланса

№ п/п	Наименование величины	Обозначение	Размерность	Значение величины	Обоснование

№ п/п	Наименование величины	Обозна- чение	Размер- ность	Значение величины	Обоснование
1	Низшая теплота сгорания	Q_H^p	$\frac{\kappa ДЖ}{м^3}$	35300	[Ошибка! Источник ссылки не найден., табл. IV]
2	Внешнее тепло, вносимое с воздухом	$Q_{в.вн}$	$\frac{\kappa ДЖ}{м^3}$	0	[Ошибка! Источник ссылки не найден., п. 5- 20]
3	И т.д. по списку...				

Список величин, которые необходимо отобразить в таблице 0.1:

1. Низшая теплота сгорания, Q_H^p ;
2. Внешнее тепло, вносимое с воздухом, $Q_{в.вн}$;
3. Тепло вносимое форсуночным паром, Q_ϕ ;
4. Физическое тепло топлива, $i_{тл}$;
5. Располагаемое тепло топлива, Q_p ;
6. Тепловая мощность теплогенератора, $Q_{ТГ}$;
7. КПД (предварительно), η ;
8. Расчетный расход топлива, B_p ;
9. Температура уходящих газов, $\vartheta_{ух}$;
10. Теплосодержание уходящих газов, $I_{ух}$;
11. Температура холодного воздуха, $t_{х.в.}$;
12. Теплосодержание холодного воздуха, $I_{х.в.}^0$;
13. Потеря тепла с уходящими газами, q_2 ;
14. Потеря тепла с химическим недожогом, q_3 ;
15. Потеря тепла с механическим недожогом, q_4 ;
16. Температура наружной поверхности котла, $t_{н.ст}$;
17. Коэффициент конвективной теплоотдачи, α_k ;
18. Площадь наружной поверхности, $F_{н.ст}$;
19. Потеря тепла от наружной теплоотдачи, Q_5 ;
20. Потеря тепла от наружной теплоотдачи, q_5 ;
21. Коэффициент сохранения тепла, φ ;
22. Потеря тепла со шлаком, q_6 ;
23. КПД по обратному балансу, η ;
24. Невязка КПД, δ .

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В ТОПКЕ

1.24. Геометрические характеристики топки

1. Полная поверхность стен топки $F_{\text{ст}}, \text{ м}^2$; определяется по чертежу как полная площадь всех стенок, ограничивающих объем топки $V_{\text{т}}$.

2. Лучевоспринимающая поверхность топки $H_{\text{л}}, \text{ м}^2$; определяется как сумма площадей, участвующих в теплообмене с подогреваемой водой.

3. Эффективная толщина излучающего слоя топки

$$s = 3,6 \frac{V_{\text{т}}}{F_{\text{ст}}}, \text{ м}. \quad (0.1)$$

4. Относительный уровень расположения горелок в топке

$$x_{\text{г}} = \frac{h_{\text{г}}}{H_{\text{т}}}, \quad (0.2)$$

где $h_{\text{г}}$ – уровень расположения оси горелки, м; $H_{\text{т}}$ – высота топки, м.

1.25. Расчет суммарного теплообмена в топке

Целью расчета теплообмена в топке является определение температуры на выходе из топки ($\vartheta''_{\text{т}}$). Основными параметрами, определяющими безразмерную температуру газов на выходе из топки ($\theta''_{\text{т}}$), является критерий радиационного теплообмена Больцмана (Bo) и критерий поглощательной способности Бугера (Bu)

$$\theta''_{\text{т}} = \frac{T''_{\text{т}}}{T_{\text{а}}} = \frac{Bo^{0,6}}{M \cdot \overline{Bu}^{0,3} + Bo^{0,6}}, \quad (0.3)$$

где $\overline{Bu}$ – эффективное значение критерия Бугера

$$\overline{Bu} = 1,6 \cdot \ln \left(\frac{1,4Bu^2 + Bu + 2}{1,4Bu^2 - Bu + 2} \right); \quad (0.4)$$

M – эмпирический параметр, учитывающий относительное положение ядра факела по высоте топки

$$M = M_0 (1 - 0,4x_{\text{г}}) \sqrt[3]{r_{\text{в}}}; \quad (0.5)$$

$M_0 = 0,4$ – принимается по данным [Ошибка! Источник ссылки не найден., п. 6-18] для газомазутных топок с настенным расположением горелок, $x_{\text{г}}$ – относительный уровень расположения горелок в топке (0.2), $r_{\text{в}}$ – параметр забалластированности топочных газов

$$r_{\text{в}} = \frac{V_{\text{г}}}{V_{N_2}^0 + V_{RO_2}}. \quad (0.6)$$

После определения всех необходимых величин из формулы (0.3) рассчитывается температура продуктов сгорания на выходе из топки

$$\vartheta''_{\text{т}} = \theta''_{\text{т}} \cdot T_{\text{а}} - 273, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (0.7)$$

1.26. Радиационные свойства продуктов сгорания (критерий Бугера)

Критерий Бугера (критерий поглощательной способности) является основной радиационной характеристикой продуктов сгорания и определяется по формуле:

$$Bu = kps, \quad (0.8)$$

где k – коэффициент поглощения топочной среды, $1/(м \cdot МПа)$, рассчитывается по температуре и составу газов на выходе из топки. При его определении учитывается излучение трехатомных газов (RO_2 и H_2O) и взвешенных в их потоке частиц сажи; p – давление в топочной камере, $МПа$; s – эффективная толщина излучающего слоя, $м$.

$$k = k_r + mk_c, \quad 1/(м \cdot МПа), \quad (0.9)$$

где k_r – коэффициент поглощения лучей газовой фазой продуктов сгорания; k_c – коэффициент поглощения лучей частицами сажи; m – коэффициент относительного заполнения топочной камеры светящимся пламенем (частицами сажи). При сжигании доменного газа $m = 0$, при сжигании природного газа $m = 0,1$, при сжигании мазута $m = 0,3$ [Ошибка! Источник ссылки не найден., п. 6-12].

$$k_r = k_r^0 r_n = \left(\frac{7,8 + 16r_{H_2O}}{\sqrt{10pr_n s}} - 1 \right) (1 - 0,37 \cdot 10^{-3} T_T'') r_n, \quad 1/(м \cdot МПа), \quad (0.10)$$

где $r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O}$ – суммарная объемная доля трехатомных газов в продуктах сгорания (0.12); T_T'' – температура газов на выходе из топки, $К$.

$$k_c = \frac{1,2}{1 + \alpha_T^2} \left(\frac{C^r}{H^r} \right)^{0,4} (1,6 \cdot 10^{-3} T_T'' - 0,5), \quad 1/(м \cdot МПа), \quad (0.11)$$

где α_T^2 – коэффициент избытка воздуха на выходе из топки;

T_T'' – температура продуктов сгорания на выходе из топки, $К$;

C^r/H^r – соотношение углерода и водорода в рабочей массе топлива, для газового топлива это соотношение вычисляется по формуле

$$\frac{C^r}{H^r} = 0,12 \sum \frac{m}{n} C_m^r H_n^r, \quad (0.12)$$

где m и n – количества атомов углерода и водорода в соединении.

1.27. Радиационный теплообмен в топке (критерий Больцмана)

Теплообмен в топке в основном происходит лучистым способом и характеризуется величиной критерия Больцмана.

$$Bo = \frac{\varphi B_p (Vc)_{cp}}{\sigma_0 \psi_{cp} F_{ст} T_a^3}, \quad (0.13)$$

где φ – коэффициент сохранения тепла, определяется по (0.15);

B_p – расчетный расход топлива, $кж/с$ (или $м^3/с$), определяется по (0.5);

$\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-11} \text{ } кмВ/(м^2 К^4)$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела; ψ_{cp} – среднее значение коэффициента тепловой эффективности экранов

$$\psi_{cp} = X \zeta, \quad (0.14)$$

где $X = 1$ – угловой коэффициент экранов в топке жаротрубного котла;

ζ – коэффициент, учитывающий снижение тепловосприятия экранов при их загрязнении, определяется по [Ошибка! Источник ссылки не найден., п. 6-22];

$F_{ст}$ – поверхность стен топки, $м^2$; определяется по (п. 1.24); T_a – адиабатическая температура горения,

$$T_a = \vartheta_a + 273, K; \quad (0.15)$$

$(Vc)_{cp}$ – средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания топлива в интервале температур $(T_a - T_T'')$ в расчете на 1 кг (или 1 м³) сгоревшего топлива

$$(Vc)_{cp} = \frac{Q_T - I_T''}{\vartheta_a - \vartheta_T''}, \frac{kJ}{kg \cdot K} \left(\frac{kJ}{m^3 \cdot K} \right) \quad (0.16)$$

где ϑ_T'' – температура продуктов сгорания на выходе из топки, °C;

I_T'' – энтальпия продуктов сгорания на выходе из топки, кДж/кг

(или кДж/м³), определяется по $I\vartheta$ -таблице в функции от ϑ_T'' (0.16);

ϑ_a – адиабатическая температура горения, °C; определяется по $I\vartheta$ -таблице в функции от полезного тепловыделения в топке Q_T (0.17).

Для газомазутных топок полезное тепловыделение в топке определяется с поправкой на химический недожог [Ошибка! Источник ссылки не найден., п. 6-20]:

$$Q_T = Q_p \frac{100 - q_3}{100}, \frac{kJ}{kg} \left(\frac{kJ}{m^3} \right) \quad (0.17)$$

Количество тепла воспринятого в топке при сжигании 1 кг (или 1 м³) топлива определяется по формуле

$$Q_{л} = \varphi(Q_T - I_T''), \frac{kJ}{kg} \left(\frac{kJ}{m^3} \right). \quad (0.18)$$

1.28. Общие рекомендации к расчету теплообмена в топке

Расчет выполняется методом последовательных приближений.

1. Рассчитываются геометрические характеристики топки (п. 1.24).
2. Задается температура на выходе из топки ϑ_T'' .
3. Рассчитываются радиационные свойства продуктов сгорания (п. 1.26)
4. Рассчитываются уравнения (0.4 – 0.16)
5. Рассчитывается температура на выходе из топки ϑ_T'' (0.7).
6. Сравниваются температуры ϑ_T'' заданная (2) и рассчитанная (5). Если расхождение рассчитанной температуры от принятой более 10%, то пункты (2–5) данной последовательности повторяются при новом значении температуры ϑ_T'' .
7. Рассчитывается количество тепла воспринятого в топке (0.18).

1.29. Свод полученных данных

Данные расчета рекомендуется сводить в форме таблицы 0.1.

В таблице необходимо отобразить все рассчитываемые величины и исходные данные к их расчету.

РАСЧЕТ КОНВЕКТИВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В жаротрубных котлах конвективными поверхностями являются дымогарные трубы. Теплообмен в этих поверхностях по большей части (80÷95%) происходит за счет конвекции. Однако дымовые газы здесь имеют еще достаточно высокую температуру (~800°C) и в связи с этим радиационная составляющая теплообмена также должна быть учтена в расчетах.

В условиях повышенной интенсивности конвективного теплообмена ключевое значение имеет скорость потока дымовых газов. Оптимальное значение этой скорости составляет 8÷12 м/с, ориентируясь на которую подбирается соответствующее суммарное проходное сечение дымогарных труб, регулируя их количество.

1.30. Основные уравнения

Целью расчета теплообмена в дымогарных трубках является определение температуры дымовых газов на выходе из них (ϑ''). Расчет теплообмена производится на базе системы двух уравнений:

а) уравнение теплопередачи

$$Q = \frac{k H \Delta t}{B_p} \cdot 10^{-3}, \quad \frac{\kappa \text{Дж}}{\text{кг}} \left(\frac{\kappa \text{Дж}}{\text{м}^3} \right), \quad (0.1)$$

а) уравнение баланса

$$Q = \varphi (I' - I''), \quad \frac{\kappa \text{Дж}}{\text{кг}} \left(\frac{\kappa \text{Дж}}{\text{м}^3} \right), \quad (0.2)$$

где Q – тепло, воспринятое поверхностью посредством конвекции и излучения, отнесенное к 1 кг (или 1 м³) сгоревшего топлива;

k – коэффициент теплопередачи, отнесенный к расчетной поверхности нагрева, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \text{К})$, определяется по рекомендациям (п. 1.31);

Δt – температурный напор, °C; определяется из формулы среднелогарифмической разности:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}} \quad (0.3)$$

где $\Delta t_{\max}$ и $\Delta t_{\min}$ – максимальная и минимальная разность теплоносителей на концах поверхности нагрева, между дымовыми газами и водой

Если $\Delta t_{\max} < 1,7 \cdot \Delta t_{\min}$, то Δt_{cp} можно определять по формуле среднеарифметической разности:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\max} + \Delta t_{\min}}{2}. \quad (0.4)$$

$$\Delta t = \vartheta - t, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (0.5)$$

где ϑ – температура дымовых газов в поверхности нагрева, °C;

t – температура подогреваемой воды, °C.

B_p – расчетный расход топлива, $\text{кг}/\text{с}$ (или $\text{м}^3/\text{с}$), определяется по (0.5);

H – расчетная поверхность нагрева, м^2 , определяется по внутренней поверхности дымогарных труб; φ –

коэффициент сохранения тепла, определяется по (0.15); I', I'' – энтальпия дымовых газов на входе в дымогарные

трубки и на выходе из них, $\text{кДж}/\text{кг}$ (или $\text{кДж}/\text{м}^3$), определяется по $I\vartheta$ -таблице в функции соответственно

от ϑ' и ϑ'' (0.16).

1.31. Коэффициент теплопередачи

Коэффициент теплопередачи для дымогарных трубок принимается с достаточной точностью как для многослойной плоской стенки

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{\delta_{в.о.}}{\lambda_{в.о.}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{К}), \quad (0.6)$$

где α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи от дымовых газов к стенке и от стенки к подогреваемой воде,

$\text{Вт} / (\text{м}^2 \text{К})$; δ_3, λ_3 – толщина и коэффициент теплопроводности загрязняющего слоя; δ_m, λ_m – толщина и коэффициент теплопроводности металла стенки трубы; $\delta_{в.о.}, \lambda_{в.о.}$ – толщина и коэффициент теплопроводности слоя водных отложений.

Термическим сопротивлением металла стенки трубы пренебрегают в виду его стремящегося к нулю значения $\delta_m / \lambda_m = 0$.

При нормальной эксплуатации котла внутренние отложения также не должны вызывать существенного роста термического сопротивления трубы, поэтому в тепловом расчете они не учитываются $\delta_{в.о.} / \lambda_{в.о.} = 0$.

Сопротивление теплоотдаче со стороны газообразной среды ($1/\alpha_1$) превосходит в несколько порядков сопротивление со стороны воды ($1/\alpha_2$). Поэтому сопротивлением теплоотдачи со стороны воды пренебрегают в виду его относительной малости $1/\alpha_2 = 0$.

Тепловое сопротивление загрязнения (δ_3 / λ_3) зависит от большого числа факторов: рода топлива, скорости дымовых газов, диаметра труб и др. Из-за отсутствия в ряде случаев этих данных, влияние загрязнений учитывается с помощью коэффициента эффективности (ψ), представляющего собой отношение коэффициента теплопередачи загрязненных и чистых труб [Ошибка! Источник ссылки не найден., п. 7-45, 7-46].

С учетом выше изложенного коэффициент теплопередачи для дымогарных труб можно определить по формуле

$$k = \psi \alpha_1, \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{К}), \quad (0.7)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от газов к стенке трубы;

$$\alpha_1 = \xi (\alpha_k + \alpha_l), \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{К}), \quad (0.8)$$

где ξ – коэффициент использования поверхности нагрева; в случае, если обеспечивается прохождение через поверхность всего газового потока, принимается $\xi = 1$; α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией,

$\text{Вт} / (\text{м}^2 \text{К})$, рассчитывается по (п. 1.32); α_l – коэффициент теплоотдачи излучением, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \text{К})$, рассчитывается по (п. 1.33).

1.32. Коэффициент теплоотдачи конвекцией

Коэффициент конвективной теплоотдачи зависит от скорости и температуры потока, определяющего линейного размера канала, вида поверхности, характера омывания, физических свойств омывающей среды и в отдельных случаях от температуры стенки. При течении дымовых газов внутри труб коэффициент теплоотдачи определяется из следующего критериального уравнения

$$\alpha_k = 0,023 \frac{\lambda}{d} \left(\frac{wd}{\nu} \right)^{0,8} \text{Pr}^{0,4} C_t C_l C_k, \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{К}), \quad (0.9)$$

где λ – коэффициент теплопроводности среды, $Вт / (м^2 К)$;

ν – коэффициент кинематической вязкости среды, $м^2 / с$; d – внутренний диаметр дымогарной трубы, $м$; Pr – критерий Прандтля; w – расчетная скорость дымовых газов, $м / с$; C_t, C_l, C_k – поправочные коэффициенты.

Физические свойства дымовых газов (λ, ν, Pr) определяются при расчетной температуре (ϑ) в соответствии с методикой [Ошибка! Источник ссылки не найден., п. 3-03 – 3-06]. В целях автоматизации расчетов последующих итераций рекомендуется табличные данные [Ошибка! Источник ссылки не найден., табл. VI] аппроксимировать полиномами второй-третьей степени.

Расчетная температура потока газов равна сумме средней температуры обогреваемой среды (воды) и температурного напора.

При охлаждении газов в пределах поверхности нагрева не более чем на $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ расчетную температуру потока с достаточной точностью можно определить как полусумму температур газов на входе в поверхность нагрева (ϑ') и выходе из нее (ϑ'')

$$\vartheta = \frac{\vartheta' + \vartheta''}{2}, \text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (0.10)$$

Расчетная скорость дымовых газов

$$w_r = \frac{B_p V_r (\vartheta + 273)}{F_r 273}, \text{ } м / с, \quad (0.11)$$

где B_p – расчетный расход топлива, $кг / с$ (или $м^3 / с$), определяется по (0.5); V_r – объем дымовых газов при сжигании $1\text{ }кг$ (или $1\text{ }м^3$) топлива, $м^3 / кг$ ($м^3 / м^3$), определяется по данным (п. 1.14); F_r – площадь живого сечения дымогарных труб для прохода газов, $м^2$.

Площадь живого сечения определяется как произведение площади проходного сечения одной дымогарной трубки на их количество (n)

$$F_r = \frac{\pi d^2}{4} n, \text{ } м^2, \quad (0.12)$$

Количество дымогарных труб (n) необходимо подобрать таким образом, чтобы расчетная скорость дымовых газов в данном газоходе находилась в оптимальном диапазоне $w_r = 8 \div 12\text{ } м / с$.

Поправочные коэффициенты C_t, C_l, C_k определяются в соответствии с указаниями [Ошибка! Источник ссылки не найден., п. 7-30]. Номограмма по коэффициенту C_l [Ошибка! Источник ссылки не найден., ном. 11] аппроксимирована уравнением [3, ф-ла 6.39].

Для интенсификации конвективной теплоотдачи в дымогарных трубах рекомендуется принудительная турбулизация потока. Для этого трубы подвергаются кольцевой или спиральной обкатке, или внутри труб помещаются специальные пластинчатые спиральные вставки (рис. 0.1). Такие меры позволяют в разы увеличить интенсивность теплоотдачи.

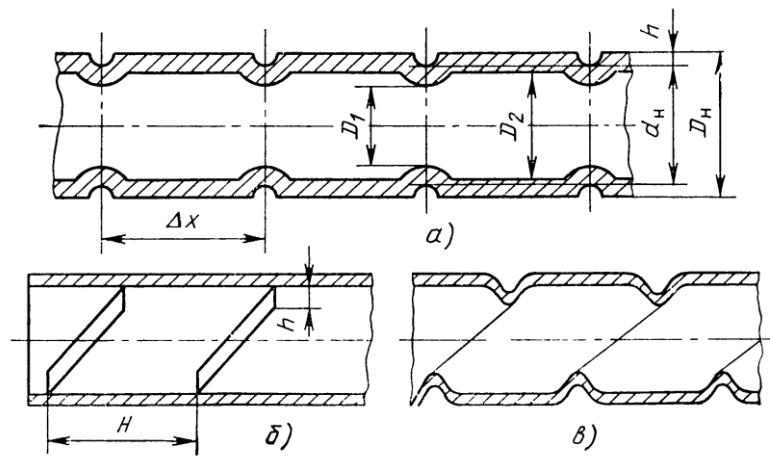


Рисунок 0.1 – Дымогарные трубы с турбулизацией потока около стенки:

- а) с кольцевой накаткой, б) с пластинчатыми спиральными вставками,
в) со спиральной накаткой.

Увеличение теплоотдачи определяется через соотношение соответствующих критериев Нуссельта ($Nu/Nu_{эл}$) по данным [4, табл. 16.4]; где Nu – критерий теплоотдачи в трубах с турбулизацией потока,

$Nu_{эл}$ – критерий теплоотдачи в тех же трубах без турбулизаторов.

В [4, табл. 16.4] принимается относительный шаг обкатки $\Delta x/D_2$ и относительная глубина обкатки D_1/D_2 (рекомендуется $D_1/D_2 > 0.95$)

Таким образом, в расчете дымогарных труб увеличение α_k до $\alpha_k^{турб}$ учитывается путем умножения α_k на соответствующий коэффициент

$$\alpha_k^{турб} = \alpha_k \cdot \frac{Nu}{Nu_{эл}}, \text{ Bm} / (\text{m}^2 \text{K}), \quad (0.13)$$

В случае установки в дымогарных трубах пластинчатых спиральных вставок, в формуле (0.8) α_k необходимо заменить на $\alpha_k^{турб}$.

1.33. Коэффициент теплоотдачи излучением

Коэффициент лучистой теплоотдачи (α_l) учитывает излучение трехатомных газов и для незапыленного потока определяется по формуле

$$\alpha_l = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{a_3 + 1}{2} \cdot a \cdot T^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{T_3}{T}\right)^{3,6}}{1 - \frac{T_3}{T}}, \text{ Bm} / (\text{m}^2 \text{K}), \quad (0.14)$$

где a_3 – степень черноты загрязненных стенок лучевоспринимающих поверхностей; для поверхностей нагрева котлов $a_3 = 0,8$;

a – степень черноты потока дымовых газов при расчетной температуре T ; определяется по формуле для изотермического объема

$$\alpha = 1 - e^{-kps}, \quad (0.15)$$

где kps – суммарная оптическая толщина продуктов сгорания.

Для незапыленного газового потока

$$kps = (k_r r_n) ps, \quad (0.16)$$

где $k_r r_n$ – коэффициент ослабления лучей трехатомными газами, определяется по формуле (0.10) при расчетной температуре дымовых газов.

Эффективная толщина излучающего слоя в дымогарных трубах

$$s = 3,6 \frac{V}{F_{\text{ст}}}, \text{ м}, \quad (0.17)$$

где V – объем излучающего слоя, м^3 ; $F_{\text{ст}}$ – площадь стен ограждающих поверхностей, м^2 .

Для дымогарных труб одинакового диаметра (d) эта формула может быть значительно упрощена

$$s = 3,6 \frac{\pi d^2}{4} L \frac{1}{\pi d L} = 0,9d, \text{ м}, \quad (0.18)$$

Расчетная температура дымовых газов (T) определяется по формуле (0.10) в градусах Кельвина.

Температура загрязненной поверхности (T_3) внутренней стенки дымогарной трубы определяется по формуле

$$T_3 = t + \Delta t_3 + 273, \text{ К}, \quad (0.19)$$

где Δt_3 – перегрев стенки, обусловленный ее загрязнением, принимается в соответствии с рекомендациями [Ошибка! Источник ссылки не найден., п. 7-39].

1.34. Общие рекомендации к расчету дымогарных труб

Каждый ход дымогарных труб рассчитывается отдельно. Сначала рассчитывается первый ход (в который дымовые газы попадают сразу из топки), а затем второй ход. Методика расчета второго хода дымогарных труб полностью аналогична расчету первого хода (п. 1.30–1.33).

Температура дымовых газов на входе в первый ход дымогарных труб принимается равной температуре на выходе из топки. Температура дымовых газов на входе во второй ход дымогарных труб принимается равной температуре на выходе из дымогарных труб первого хода.

Общая последовательность расчета одного хода дымогарных труб состоит в следующем.

1. Задается температура дымовых газов на выходе ($\mathcal{G}''$).
2. Рассчитывается тепловосприятие по уравнению баланса $Q_{\bar{o}}$ (0.2).
3. Рассчитываются коэффициенты α_k, α_l, k (п. 1.33, 1.32 и 1.31).
4. Рассчитывается тепловосприятие по уравнению теплопередачи Q_m (0.1).
5. Рассчитывается невязка тепловосприятия $\Delta Q = Q_{\bar{o}} - Q_m$.

Далее, методом последовательных приближений подбирается такая температура на выходе ($\mathcal{G}''$), чтобы невязка тепловосприятия была равна нулю ($\Delta Q = 0$).

1.35. Методика последовательных приближений

Для автоматизации расчетов, последовательные приближения рекомендуется выполнять методом хорд. Этот метод в применении к расчету дымогарных труб одного хода заключается в следующей последовательности.

1. Задается температура дымовых газов на выходе $(\mathcal{G}'')_1$ и рассчитываются невязка тепловосприятия $(\Delta Q)_1$.

2. Рассчитывается температура на выходе $(\vartheta'')_2$ из уравнения (0.1) при тепловосприятии по уравнению баланса $(Q = Q_{\partial})$, определенном ранее в шаге 1:

$$\vartheta'' = 2t - \vartheta' + 2 \frac{B_p}{kH} Q \cdot 10^3, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (0.20)$$

3. Рассчитываются невязка тепловосприятия $(\Delta Q)_2$ при температуре дымовых газов на выходе $(\vartheta'')_2$.
4. Составляется уравнение прямой по двум точкам и находится точка пересечения прямой с осью абсцисс (рис. 0.2).

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}, \quad (0.21)$$

$$\frac{(\vartheta'') - (\vartheta'')_1}{(\vartheta'')_2 - (\vartheta'')_1} = \frac{(\Delta Q) - (\Delta Q)_1}{(\Delta Q)_2 - (\Delta Q)_1}, \quad (0.22)$$

Точка пересечения прямой 1-2 с осью абсцисс имеет координаты $\vartheta'' = (\vartheta'')_3$ и $\Delta Q = 0$. Тогда, при $\Delta Q = 0$ из уравнения (0.22) получаем

$$(\vartheta'')_3 = (\vartheta'')_1 - (\Delta Q)_1 \frac{(\vartheta'')_2 - (\vartheta'')_1}{(\Delta Q)_2 - (\Delta Q)_1}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (0.23)$$

5. Рассчитываются невязка тепловосприятия $(\Delta Q)_3$ при температуре дымовых газов на выходе $(\vartheta'')_3$.

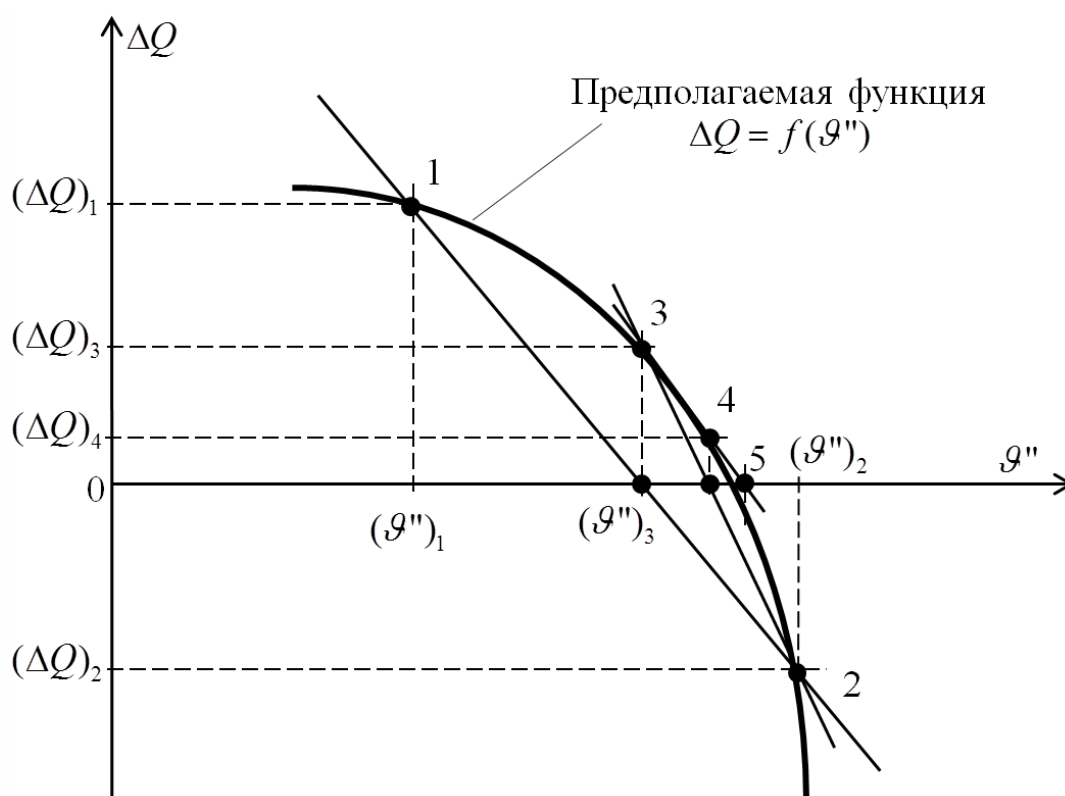


Рисунок 0.2 – Метод хорд

Далее шаги 4 и 5 повторяются, но уже для прямой 2-3; затем для прямой 3-4, для прямой 4-5 и т.д. до тех пор пока ΔQ станет равной нулю с достаточной точностью $\Delta Q \approx 0$.

В конечном итоге можно записать общее итерационное уравнение, расчет которого с каждой итерацией (i) будет приближать $(\Delta Q)_i$ к нулю.

$$(\vartheta'')_i = (\vartheta'')_{i-2} - (\Delta Q)_{i-2} \frac{(\vartheta'')_{i-1} - (\vartheta'')_{i-2}}{(\Delta Q)_{i-1} - (\Delta Q)_{i-2}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (0.24)$$

1.36. Свод полученных данных

Данные расчета рекомендуется сводить в форме таблицы 0.1.

В таблице необходимо отобразить все рассчитываемые величины и исходные данные к их расчету.

Невязка теплового баланса теплогенератора

С учетом найденного значения температуры уходящих газов (на выходе из последнего хода дымогарных труб) уточняется потеря тепла с уходящими газами, КПД котла и расход топлива (п. 0). Затем уточняется тепловосприятие в топке и дымогарных трубах (п. 0–0).

Определяется невязка теплового баланса теплогенератора

$$\Delta Q_{\text{тг}} = Q_p \eta - (Q_{\text{л}} + Q_{\text{дг1}} + Q_{\text{дг2}}), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (0.1)$$

где $Q_{\text{л}}$ – количество тепла, воспринятое в топке, $Q_{\text{дг1}}$, $Q_{\text{дг2}}$ – тепловосприятие в первом и втором ходе дымогарных труб.

Величина невязки не должна превышать 0,5% от Q_p

Литература

1. Тепловой расчет котлов: нормативный метод / РАО «ЕЭС России»; ВТИ; ЦКТИ. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
2. Роддатис К. Ф., Полтарецкий А. Н. Справочник по котельным установкам малой производительности / Под ред. К. Ф. Роддатиса. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 488 с.
3. Тепловой расчет теплогенераторов: учебное пособие / И. А. Гейвандов, М. Ю. Калиниченко, Д. В. Аборнев. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2010 – 140 с.
4. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие / С. С. Кутателадзе – М.: Энергоатомиздат, 1990.— 367 с.
5. Липов, Ю. М. Компоновка и тепловой расчет парогенератора Ю. М. Липов, Ю. Ф. Самойлов, З. Г. Модель – М. : Энергия, 1975.
6. Зах, Р. Г. Котельные установки / Р. Г. Зах – М. : Энергия, 1968.
7. Делягин, Г. Н. Теплогенерирующие установки Г. Н. Делягин, В. И. Лебедев, Б. А. Пермяков – М. : Стройиздат, 1986.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I.

Технические характеристики водогрейных жаротрубных котлов

Нефтемаш КСВ - 0,1-0,5 МВт

Показатель	КСВ-0,1	КСВ-0,2	КСВ-0,25	КСВ-0,4	КСВ-0,5
Номинальная мощность, МВт	0,1	0,2	0,25	0,4	0,5
КПД, %	92	92	92	93	93
Расход топлива:					
Газ, нм ³ /ч (Q _{нр} =35 МДж/нм ³),	10,8	21,6	27	42,8	53,5
диз. топливо, кг/ч (Q _{нр} =42 МДж/кг)	9,2	18,4	23	35,4	45,5
Температура на выходе/входе, С°	115/70	115/70	115/70	115/70	115/70
Рабочее давление в котле, МПа	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Гидравлическое сопротивление, МПа	0,004	0,007	0,01	0,15	0,019
Аэродинамическое сопротивление, Па	110	205	255	340	410
Разряжение за котлом, Па	30	30	30	30	30
Коэффициент α	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Давление/разрежение в топке, Па	+350/-30	+350/-30	+350/-30	+350/-30	+350/-30
Поверхность нагрева, м ²	3,31	5,66	6,72	10,76	12,12
Объем топочного пространства, м ³	0,11	0,137	0,146	0,237	0,39
Объем дымовых газов, м ³ /ч	145	295	365	600	725
Диаметр/длина топочного пространства, м	384/660	464/965	464/1165	524/1493	524/1693
Температура дымовых газов, С°	160	160	160	155	150
Содержание СО/NO _x , мг/м ³	60/80	60/80	60/80	55/80	55/80
Тепловыделения наружных поверхностей, кВт	1,2	2,42	2,68	3,95	4,97
Габаритные размеры (дхшхв), м	1,30×0,76 ×1,10	1,54×0,80 ×1,16	1,74×0,80 ×1,16	2,34×1,00 ×1,33	2,54×1,00 ×1,33
Масса, кг	270	430	490	1000	1100

Приложение II.

Технические характеристики водогрейных жаротрубных котлов

Нефтемаш КСВ - 1-12 МВт

Общие характеристики (независимо от установленной мощности):

- КПД – 92%.
- Температура на выходе/входе – 115/70°C.
- Гидравлическое сопротивление (не более) – 0,01 МПа.
- Максимальное рабочее давление воды (не более) – 0,6 МПа.
- Температура наружной поверхности кожуха (не более) – 45°C.
- Содержание в дымовых газах CO/NO_x (не более) – 60/80 мг/м³.

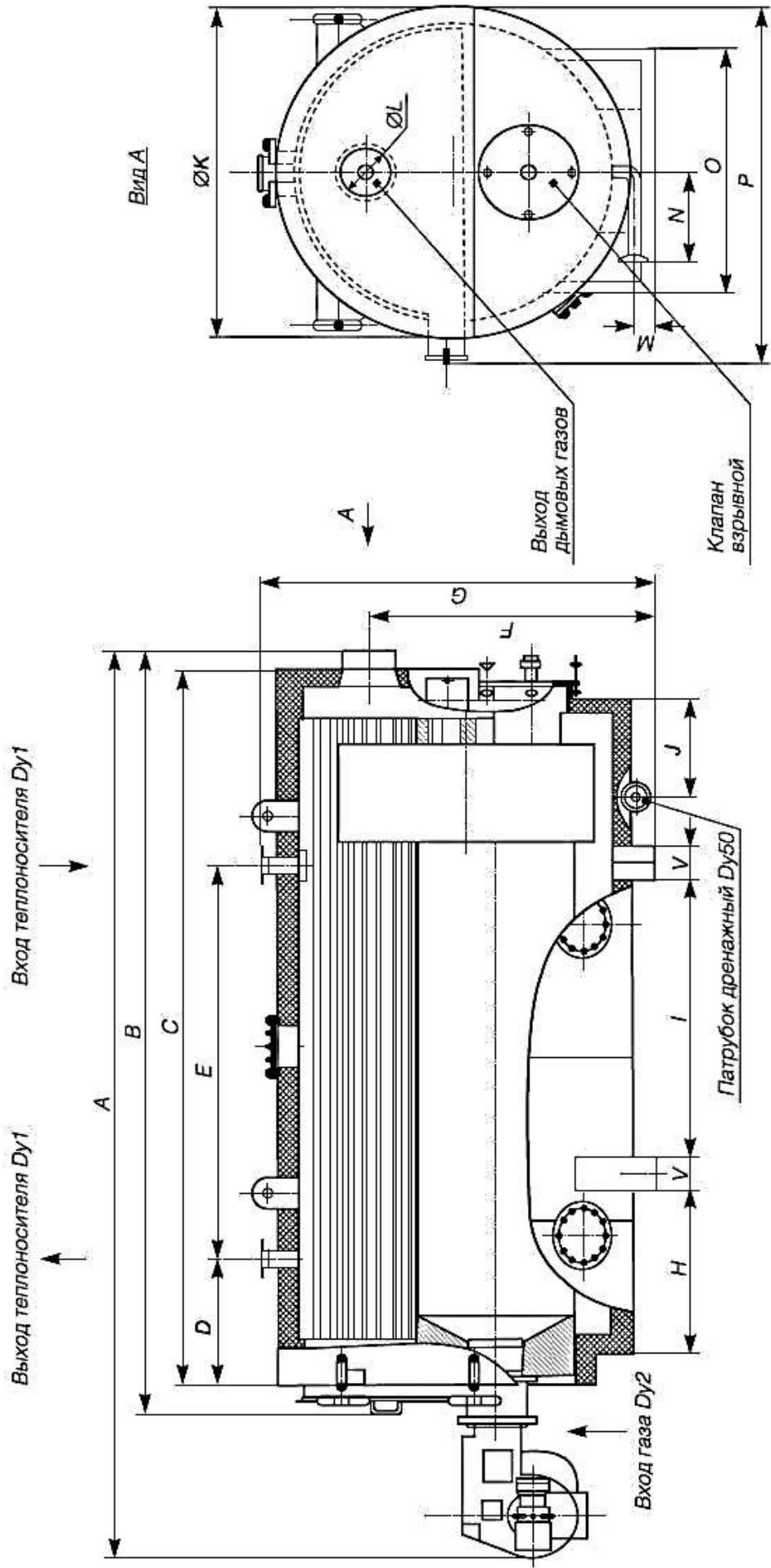
Характеристики в зависимости от установленной мощности:

Обозначение котла	КСВ–1,0	КСВ–2,0	КСВ–3,0	КСВ–5,0	КСВ–8,0	КСВ–12,0
Мощность, МВт	1	2	3	5	8	12
Аэродинамическое сопротивление, Па	555	687	560	670	820	1820
Расход топлива:						
Газ, нм ³ /ч (Q _{НР} =35 МДж/нм ³)	108,1	216,2	324,2	540,4	864,6	1297,2
диз. топливо, кг/ч (Q _{НР} =42 МДж/кг)	92,1	184,2	276,3	460,5	736,8	1105,2
Объём котла, м ³	3,5	5,31	7,6	11,4	18,8	23,6
Поверхность нагрева котла, м ²	37,57	68,69	96,26	138,74	216,38	367,2
Габаритные размеры (д×ш×в), м	4,25× 1,78× 1,93	4,66× 2,30× 2,28	4,94× 2,49× 2,65	5,25× 3,05× 2,98	6,02× 3,00× 3,40	7,40× 3,25× 3,60
Масса, кг	4400	6200	11000	14500	20000	28600

Габаритные и присоединительные размеры:

	Мощность, МВт					
Размер, м	1	2	3	5	8	12
А	4,85	5,54	6,00	6,43	6,75	9,22
В	4,34	4,66	4,65	5,50	5,50	7,43

	Мощность, МВт					
Размер, м	1	2	3	5	8	12
C	4,16	4,38	4,55	4,48	5,3	7,05
D	0,78	0,78	0,78	0,94	1,00	0,82
E	2,50	2,40	2,80	2,95	3,80	4,70
F	1,35	1,63	1,71	1,84	0,82	2,40
G	1,92	2,24	2,55	2,95	3,30	3,62
H	0,96	1,00	0,66	0,61	0,90	1,11
I	1,70	2,00	2,30	2,73	3,70	3,55
J	0,52	0,60	0,52	0,27	0,45	0,71
K	1,52	2,00	2,30	2,30	3,50	3,04
L	0,22	0,30	0,30	0,33	0,60	0,92
M	0,13	0,10	0,15	0,10	0,20	0,12
N	0,5	0,55	0,69	1,63	0,75	1,03
O	1,29	1,49	1,85	2,21	2,5	2,62
P	1,72	2,18	2,45	3,05	3,6	3,21
Dy ₁	0,08	0,1	0,13	0,15	0,15	0,2
Dy ₂	0,05	0,07	0,08	0,15	0,1	0,2



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

для студентов, обучающихся по направлению подготовки
08.03.01 – Строительство
Профиль – «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Содержание

Введение

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса
2. Цели и основные задачи самостоятельной работы
3. Виды самостоятельной работы
4. Организация самостоятельной работы
5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы
6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы
7. Критерии оценки самостоятельной работы

Введение

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности профессионала, способного к саморазвитию, самообразованию и инновационной деятельности.

Успешное усвоение дисциплин по различным образовательным программам предполагает активное, творческое участие обучающегося на всех этапах ее освоения путем планомерной, повседневной не только аудиторной, но и самостоятельной работы.

Самостоятельная работа студентов является одной из важнейших составляющих образовательного процесса. Самостоятельная работа – это процесс активного, целенаправленного приобретения обучающимися новых знаний, умений без непосредственного участия преподавателя, характеризующийся предметной направленностью, эффективным контролем и оценкой результатов деятельности обучающегося.

Объем самостоятельной работы (в часах) определен учебным планом.

Методические указания по организации самостоятельной работы студентов (далее – СРС) являются обязательной частью учебно-методических комплексов учебных дисциплин, реализуемых на кафедре теплогазоснабжения и экспертизы недвижимости по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, направленность (профиль) Теплогазоснабжение и вентиляция.

Методические указания по организации самостоятельной работы для студентов, наряду с методическими указаниями по выполнению лабораторных работ, практических занятий и работе с лекционным материалом; по формам текущего, промежуточного и итогового контроля; по выполнению курсовых работ/проектов, расчетно-графических работ, контрольных работ; по подготовке и защите выпускных квалификационных работ, составляют единый комплекс методического обеспечения УМК каждой учебной дисциплины.

Цель методических указаний СРС – определить роль и место самостоятельной работы студентов в учебном процессе; конкретизировать ее уровни, формы и виды; обобщить методы и приемы выполнения определенных типов учебных заданий; объяснить критерии оценивания.

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа обучающихся, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой обучающихся).

Самостоятельная работа обучающихся является важным видом учебной и научной деятельности. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРО должна стать эффективной и целенаправленной работой.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи высшего образования – «подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности».

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы обучающихся над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста обучающихся, воспитание творческой активности и инициативы.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие обучающихся в практических занятиях, лабораторных работах, выполнении контрольных и расчетно-графических работ, написание курсовых работ (проектов) и выпускных

квалификационных работ. При этом самостоятельная работа обучающихся играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. Они включают в себя:

- изучение и систематизацию официальных государственных документов - законов, постановлений, указов, нормативно-инструкционных и справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем «Консультант-плюс», «Гарант», глобальной сети «Интернет»;
- изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств официальной, статистической, периодической и научной информации;
- подготовку докладов и рефератов, написание выпускных квалификационных работ;
- участие в работе студенческих конференций, комплексных научных исследованиях.

Самостоятельная работа приобщает студентов к научному творчеству, поиску и решению актуальных современных проблем.

2. Цели и основные задачи самостоятельной работы

Ведущая цель организации и осуществления СРМ должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра. При организации СРМ важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для деятельности.

Цели самостоятельной работы:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей, активности обучающихся, творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Основными задачами СРМ являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений магистров;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к промежуточной аттестации - зачетам и экзаменам.

3. Виды самостоятельной работы

Самостоятельная работа магистрантов включает:

- самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы;
- подготовка к лекциям;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к лабораторным работам;
- написание рефератов;
- выполнение контрольной работы;
- выполнение курсовой работы (проекта);
- выполнение расчетно-графической работы;

- подготовка исследовательской работы (написание статьи, доклада);
- подготовка выпускной квалификационной работы;
- подготовка к текущей и промежуточной аттестации;
- подготовка к государственной итоговой аттестации.

Для выполнения самостоятельной работы студентам необходимо ознакомиться с содержанием рабочей программы дисциплины, с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, методическими разработками по данной дисциплине, с графиком консультаций преподавателей кафедры, с перечнем ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

4. Организация самостоятельной работы

Самостоятельная работа студента – способ активного, целенаправленного приобретения новых знаний и умений без непосредственного участия в этом процессе преподавателей.

Организационные мероприятия, обеспечивающие развитие навыков самостоятельной работы студентов, воспитание их творческой активности и инициативы, а также, в целом, обеспечивающие нормальное функционирование самостоятельной работы студентов, должны основываться на следующих предпосылках:

- самостоятельная работа должна быть конкретной по своей предметной направленности;
- самостоятельная работа должна сопровождаться эффективным, непрерывным контролем и оценкой ее результатов.

Предметно и содержательно самостоятельная работа определяется федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (уровень бакалавриата), основной образовательной программой, учебным планом, рабочими программами дисциплин.

Контроль самостоятельной работы и оценка ее результатов организуются как единство двух форм:

- самоконтроль и самооценка;
- внешний контроль и оценка со стороны преподавателей, государственных экзаменационных комиссий и др.

5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы

Организация самостоятельной работы магистрантов направлена на решение следующих задач:

- а) закрепление, обобщение и повторение пройденного учебного материала; применение полученных знаний в традиционных педагогических ситуациях и при решении задач высокого уровня неопределенности;
- б) совершенствование умений и навыков по изучаемой дисциплине; формирование межпредметных, общеучебных, исследовательских умений;
- в) активизация учебной и научно-исследовательской деятельности обучающихся, ее максимальная индивидуализация с учетом индивидуальных особенностей и академической успеваемости студентов;
- г) формирование готовности студентов к самообразованию в течение всей жизни.

Видами занятий для самостоятельной работы могут быть:

Для овладения знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, конспектов лекций);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста;
- конспектирование текста; выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами;
- учебно-исследовательская работа, использование аудио и видеозаписей, компьютерной техники, интернета и др.

Для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций, повторная работа над материалом;

- составление плана и тезисов ответа;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- ответы на контрольные вопросы;
- аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, контент-анализ);
- подготовка сообщения для выступления на конференции;
- подготовка рефератов, докладов;
- составление библиографии.

Для формирования умений:

- выполнение контрольных работ;
- выполнение чертежей, схем, расчетно-графических работ;
- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности.
- подготовка курсовых и дипломных работ (проектов);

Для формирования компетенций:

- принятие решений по конкретной ситуации;
- грамотная формулировка задания для исполнения;
- организация контроля по сферам деятельности.

6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы

Система вузовского обучения подразумевает значительную самостоятельность студентов в планировании и организации своей деятельности.

6.1 Самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы

Работа с литературой является основным методом самостоятельного овладения знаниями. Это сложный процесс, требующий выработки определенных навыков, поэтому студенту нужно обязательно научиться работать с книгой.

Осмысление литературы требует системного подхода к освоению материала. В работе с литературой системный подход предусматривает не только тщательное (иногда многократное) чтение текста и изучение специальной литературы, но и обращение к дополнительным источникам – справочникам, энциклопедиям, словарям. Эти источники – важное подспорье в самостоятельной работе студента, поскольку глубокое изучение именно их материалов позволит студенту уверенно «распознавать», а затем самостоятельно оперировать теоретическими категориями и понятиями, следовательно – освоить новейшую научную терминологию. Такого рода работа с литературой обеспечивает решение студентом поставленной перед ним задачи (подготовка к практическому занятию, выполнение контрольной работы и т.д.).

Выбор литературы для изучения делается обычно по предварительному списку литературы, который выдал преподаватель, либо путем самостоятельного отбора материалов. После этого непосредственно начинается изучение материала, изложенного в книге.

Наиболее надежный способ собрать нужный материал – составить план или конспект. *Конспект, план-конспект* – это последовательная фиксация отобранной и обдуманной в процессе чтения информации.

Цель – зафиксировать, переработать тот или иной научный текст. Они позволяют восстановить в памяти ранее прочитанное без дополнительного обращения к самой книге.

План – это «скелет» текста, он компактно отражает последовательность изложения материала. План как форма записи обычно более подробно передает содержание частей текста, чем оглавление книги или подзаголовки статей. Самые важные места в книге отмечайте, используя для этого легко стирающийся карандаш или вкладки листки. Запись любых планов следует делать так, чтобы ее легко можно было охватить одним взглядом.

Вся рекомендуемая для изучения курса литература подразделяется на основную и дополнительную. К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия). Необходимость изучения дополнительной литературы диктуется прежде всего тем, что в учебной литературе (учебниках) зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражение новые

документы, события, явления, научные открытия последних лет. Поэтому дополнительная литература рекомендуется для более углубленного изучения программного материала.

6.2 Подготовка к лекциям и работа с конспектом лекций

При подготовке к лекции студенты должны предварительно ознакомиться с учебным материалом по данной теме и при конспектировании лекции акцентировать внимание на новых теоретических положениях, правовых и иных данных, не нашедших отражения в учебной литературе.

Лекция имеет цель – систематизация основы научных знаний по дисциплине, сконцентрировать внимание обучающихся на наиболее актуальных проблемах.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы. Дает рекомендации на практические занятия и указания на самостоятельную работу.

Предварительное не углубленное знакомство с материалом очередной лекции дает многое. Студенты получают общее представление о ее содержании и структуре, о главных и второстепенных вопросах, о терминах и определениях. Все это облегчает работу на лекции и делает ее целеустремленной.

Основные моменты лекционных занятий конспектируются. Отдельные темы предлагаются для самостоятельного изучения с обязательным составлением конспекта.

Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим обучающимся.

Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях.

Самостоятельную работу следует начинать с доработки конспекта, желательно в тот же день, пока время не стерло содержание лекции из памяти. С целью доработки необходимо в первую очередь прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить опiski, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая в ходе чтения, возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополнения и исправляя свои записи. Записи должны быть наглядными, для чего следует применять различные способы выделений. В ходе доработки конспекта углубляются, расширяются и закрепляются знания, а также дополняется, исправляется и совершенствуется конспект.

Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

6.3 Подготовка к практическим занятиям

Целью практических занятий является получение базовых навыков по применению теоретических знаний. Это необходимо при решении всевозможных задач на различных этапах практической деятельности.

Задачи подготовки и проведения практических занятий:

- закрепление и углубление знаний;
- создание практических навыков и умений в практической деятельности и повседневной жизни для: поиска, первичного анализа и использования информации;
- анализа конкретных ситуаций и условий их реализации;
- изложения и аргументации собственных суждений по практической ситуации;
- развитие стремления и способности к самостоятельному исследованию изучаемых реальностей, их критической оценки.

Подготовка к практическим занятиям включает: изучение нормативных актов, учебной литературы, лекционного материала; подготовка рефератов.

Практические занятия по дисциплине проводятся в форме различных дискуссий (семинарских занятий) и (или) анализа конкретных ситуаций (выполнение практических заданий).

6.4 Подготовка к лабораторным работам

Лабораторные работы составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки магистрантов. Они направлены на формирование учебных и профессиональных практических умений.

На лабораторных занятиях задания выполняются по материалам согласно плану.

До начала лабораторных занятий обучающиеся должны пройти инструктаж по технике безопасности.

Перед выполнением лабораторной работы обучающийся должен изучить теоретический материал по теме лабораторной работы по основной и дополнительной литературе, ознакомиться с ресурсами информационно - телекоммуникационной сети «Интернет». При этом обучающийся должен учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы.

В ходе подготовки к лабораторным занятиям необходимо ознакомиться с методическими указаниями; с порядком ее выполнения; освоить основные понятия; изучить алгоритмы; методы и технологии, необходимые для реализации этих алгоритмов; ответить на контрольные вопросы.

После выполнения работы производится обработка полученных результатов, составляется и защищается отчет. Без защиты отчета студент, как правило, не допускается к очередной работе.

6.5 Написание рефератов

Реферат представляет собой краткое изложение в письменной форме содержания научного труда по определенной теме, возможно выходящего за рамки учебной программы, а также изложение книги, статьи, исследования. Иными словами, реферат – это индивидуальная научная работа, раскрывающая содержание исследуемой проблемы с различных позиций и точек зрения, с формированием самостоятельных выводов.

Целью написания реферата является сообщение определенной информации для развития навыков научно-исследовательской работы.

В процессе подготовки реферата, обучающиеся, глубже постигают вопросы изучаемого предмета, поскольку:

- анализируются различные точки зрения, факты и события;
- ведется научно обоснованная полемика;
- обобщается материал;
- лаконично излагаются мысли;
- правильно оформляется работа с составлением плана, библиографии и систематизацией информации.

Подготовка реферата включает в себя:

- выбор и формулирование темы, которая должна обладать новизной, актуальностью и оригинальностью;
- подбор литературы и изучение основных источников;
- составление содержания, раскрывающего название работы;
- выписки из литературных источников с целью накопления теоретического и практического материала;
- написание реферата и его оформление;
- составление списка использованной литературы.

6.6 Выполнение контрольной работы

Контрольная работа является одной из составляющих учебной деятельности студента по овладению знаниями в области теплогазоснабжения и вентиляции. К ее выполнению необходимо приступить только после изучения тем дисциплины.

Целью контрольной работы является определения качества усвоения лекционного материала и части дисциплины, предназначенной для самостоятельного изучения.

Задачи, стоящие перед студентом при подготовке и написании контрольной работы:

1. закрепление полученных ранее теоретических знаний;
2. выработка навыков самостоятельной работы;
3. выяснение подготовленности студента к будущей практической работе.

Преподаватель готовит задания либо по вариантам, либо индивидуально для каждого студента. По содержанию работа может включать теоретический материал, задачи, тесты, расчеты и т.п. выполнению контрольной работы предшествует инструктаж преподавателя.

Ключевым требованием при подготовке контрольной работы выступает творческий подход, умение обрабатывать и анализировать информацию, делать самостоятельные выводы, обосновывать целесообразность и эффективность предлагаемых рекомендаций и решений проблем, чётко и логично излагать свои мысли. Подготовку контрольной работы следует начинать с повторения соответствующего раздела учебника, учебных пособий по данной теме и конспектов лекций.

6.7 Выполнение курсовой работы (проекта)

Курсовая работа (проект) - это самостоятельное исследование обучающимся определенной проблемы, комплекса взаимосвязанных вопросов, касающихся конкретной профессиональной ситуации.

Курсовая работа (проект) не должна состояться из фрагментов статей, монографий, пособий. Кроме простого изложения фактов и цитат, в курсовой работе (проекте) должно проявляться авторское видение проблемы и ее решения.

Рассмотрим основные этапы подготовки курсовой работы (проекта).

Выполнение курсовой работы (проекта) начинается с выбора темы.

Затем студент приходит на первую консультацию к руководителю, которая предусматривает:

- обсуждение цели и задач работы, основных моментов избранной темы;
- консультирование по вопросам подбора литературы;
- составление предварительного плана;
- составление графика выполнения курсовой работы (проекта).

Следующим этапом является работа с литературой. Необходимая литература подбирается студентом самостоятельно.

После подбора литературы целесообразно сделать рабочий вариант плана работы. В нем нужно выделить основные вопросы темы и параграфы, раскрывающие их содержание.

Составленный список литературы и предварительный вариант плана уточняются, согласуются на очередной консультации с руководителем.

Затем начинается следующий этап работы - изучение литературы. Только внимательно читая и конспектируя литературу, можно разобраться в основных вопросах темы и подготовиться к самостоятельному (авторскому) изложению содержания курсовой работы (проекта). Конспектируя первоисточники, необходимо отразить основную идею автора и его позицию по исследуемому вопросу, выявить проблемы и наметить задачи для дальнейшего изучения данных проблем.

Систематизация и анализ изученной литературы по проблеме исследования позволяют написать первую (теоретическую) главу.

Выполнение курсовой работы (проекта) предполагает проведение определенного исследования. На основе разработанного плана обучающийся осуществляет сбор фактического материала, необходимых цифровых данных. Затем полученные результаты подвергаются анализу, статистической, математической обработке и представляются в виде текстового описания, таблиц, графиков, диаграмм. Программа исследования и анализ полученных результатов составляют содержание второй (аналитической) главы.

В третьей (рекомендательной) части должны быть отражены мероприятия, рекомендации по рассматриваемым проблемам.

Рабочий вариант текста курсовой работы (проекта) предоставляется руководителю на проверку. На основе рабочего варианта текста руководитель вместе со студентом обсуждает возможности доработки текста, его оформление. После доработки курсовая работа (проект) сдается на кафедру для ее оценивания руководителем.

Защита курсовой работы (проекта) обучающихся проходит в сроки, установленные графиком учебного процесса.

При подготовке к защите курсовой работы (проекта) обучающийся должен знать основные положения работы, выявленные проблемы и мероприятия по их устранению, перспективы развития рассматриваемой экономической ситуации.

Защита курсовой работы (проекта) проводится на кафедре при наличии у обучающегося курсовой работы (проекта). Оценка - дифференцирована. Преподаватель оценивает защиту курсовой работы (проекта) и заполняет графу "оценка" в ведомости и в зачетной книжке.

Не допускаются к защите варианты курсовых работ (проектов), найденные в Интернет, сканированные варианты учебников и учебных пособий, а также копии ранее написанных работ.

6.8 Выполнение расчетно-графической работы

Расчетно-графическая работа является важным элементом учебного процесса, предусмотрена учебным планом.

Цель расчетно-графической работы – систематизация и закрепление теоретических знаний, и развитие практических навыков по решению задач в области теплогазоснабжения и вентиляции, выработка навыков анализа данных и формулирования выводов по полученным результатам.

Задачами расчетно-графической работы являются:

- развитие навыков самостоятельной работы в области решения практических задач;
- подбор и систематизация теоретического материала, являющегося основой для решения практической задачи, развитие навыков самостоятельной работы с учебной и методической литературой;
- проведение расчетов показателей по исходным данным и анализ полученных значений;
- формулирование выводов по полученным результатам.

Выполнение расчетно-графической работы проводится студентом по конкретному варианту задания, который необходимо уточнить у преподавателя.

Содержанием расчетно-графической работы является краткое изложение теоретического материала к каждой задаче, решение задачи по индивидуальному варианту, включающее в себя расчет основных показателей, анализ полученных результатов, формулирование выводов.

Расчетно-графическая работа должна содержать:

1. Титульный лист.
2. Условие задачи.
3. Теоретическая часть по каждой задаче (1-3 страницы).
4. Практическая часть и выводы по каждой задаче.
5. Библиографический список (не менее 5 источников).

Условие задачи оформляется по центру заголовком «Задача №».

Текст условия задачи должен совпадать с текстом в методических указаниях, включая таблицы, при их наличии.

Далее излагается теоретический материал, лежащий в основе решения задачи, включающий в себя основные определения, формулы расчетов показателей и др.

В практической части излагается подробное решение задачи. При необходимости результаты оформляются в виде сводной таблицы.

К каждой задаче необходимо сформулировать выводы, проанализировав полученные результаты.

Расчетно-графическая работа должна выполняться в соответствии с установленным графиком. В процессе выполнения расчетно-графической работы допускаются консультации у преподавателя на практических занятиях.

Выполнение основных этапов контролируется преподавателем и учитывается при проведении текущего контроля по дисциплине и при оценке расчетно-графической работы.

6.9 Подготовка исследовательской работы (написание статьи, научного доклада)

Научный доклад представляет собой исследование по конкретной проблеме, изложенное перед аудиторией слушателей. Работа по подготовке научного доклада включает не только знакомство с литературой по избранной тематике, но и самостоятельное изучение определенных вопросов.

Научный доклад может быть подготовлен для выступления на семинарском занятии, конференции научного общества, или в рамках круглого стола. В любом случае успешное выступление во многом зависит от правильной организации самого процесса подготовки научного доклада.

Подготовка научного доклада включает несколько этапов работы:

- выбор темы доклада;
- подготовка материалов;
- работа над текстом доклада;
- подготовка к выступлению.

Подготовка к научному докладу начинается с выбора темы Вашего будущего выступления.

Не следует выбирать слишком широкую тему научного доклада. Это связано с ограниченностью докладчика во времени. Доклад должен быть рассчитан на 7-15 минут.

Работа по подбору материалов для доклада связана с изучением соответствующей тематике литературы.

В процессе работы над текстом доклада обучающиеся глубже постигают вопросы изучаемого предмета, поскольку:

- анализируются различные точки зрения, факты и события; ведется научно обоснованная полемика;
- обобщается материал; лаконично излагаются мысли;
- правильно оформляется работа с составлением плана, библиографии и систематизацией информации.

Текст научного доклада должен включать три основные части:

- введение – краткое знакомство слушателей с обсуждаемой в докладе проблемой;
- основную часть – логическое продолжение вопросов, обозначенных автором во введении.

В этой части доклада раскрывается тема выступления, приводятся необходимые доказательства (аргументы);

- заключение – обобщение основной мысли и идеи выступления. В заключении можно кратко повторить основные выводы и утверждения, прозвучавшие в основной части доклада.

Научный доклад представляет собой устное произведение и чтение вслух подготовленного текста недопустимо.

К секретам хорошего выступления можно отнести следующие моменты:

- до и после важных мыслей следует делать паузу;
- для большего акцента сказанного необходимо менять тон голоса и тембр речи. Это сделает Вашу речь более выразительной;
- необходимо иметь контакт с аудиторией.

6.10 Подготовка выпускной квалификационной работы

ВКР представляет собой самостоятельное логически завершенное исследование, связанное с решением научной или научно-практической задачи. При его выполнении студент должен показать способности и умения, опираясь на полученные знания, решать на современном уровне задачи профессиональной деятельности, грамотно излагать специальную информацию, докладывать и отстаивать свою точку зрения перед аудиторией.

Цель защиты ВКР – установление уровня подготовленности выпускника к выполнению профессиональных задач в соответствии с требованиями ФГОС ВО к квалификационной характеристике и уровню подготовки выпускника по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (уровень бакалавриата), направленность (профиль) Теплогазоснабжение и вентиляция.

Студенту предоставляется право самостоятельного выбора темы ВКР. Для подготовки ВКР назначается научный руководитель и, при необходимости, консультанты.

ВКР состоит из текста (рукописи) и графических материалов, отражающих решение профессиональных задач в соответствии с избранной тематикой. Структура ВКР включает:

- титульный лист;
- задание, включая календарный план;
- содержание;
- введение;
- основной текст;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Руководитель выпускной работы выдает задание; оказывает помощь в организации и выполнении работы; проводит систематические консультации обучающегося; проверяет выполнение работы; дает письменный отзыв о работе.

Представление иллюстративного материала к публичной защите возможно в виде:

- плакатов и чертежей;
- раздаточного материала с иллюстрациями; с использованием:
- проекционной техники;
- компьютерной презентации.

Конкретные требования к содержанию, структуре, формам представления и объемам устанавливаются в соответствующих Положениях о выпускных квалификационных работах и методических указаниях по их подготовке и оформлению.

6.11 Подготовка к текущей и промежуточной аттестации

Система контроля включает в себя текущий и промежуточный контроль. Текущий контроль должен быть непрерывным. Формы текущего контроля устанавливаются по усмотрению

преподавателя. Промежуточный контроль – это итог работы студента за семестр с учетом всех видов учебной работы.

Текущий контроль. Текущий контроль успеваемости обучающихся – это систематическая проверка учебных достижений обучающихся, проводимая в целях оценивания хода освоения дисциплин в соответствии с рабочей программой.

Текущий контроль успеваемости студентов очной формы обучения проводится по всем дисциплинам учебного плана в течение семестра:

- на лабораторных, семинарских, практических занятиях, по которым рабочими программами дисциплин предусмотрены отчетности;

- по всем формам самостоятельной работы студентов в заранее установленное время.

Текущий контроль успеваемости студентов осуществляется преподавателями кафедр, за которыми закреплены дисциплины учебного плана, и может проводиться в следующих формах:

- собеседование,
- контрольная работа,
- защита лабораторной работы,
- реферата,
- расчетно-графическая работа, и др.

Виды и сроки проведения текущего контроля успеваемости студентов устанавливаются рабочей программой дисциплины.

Текущий контроль успеваемости является элементом внутривузовской системы контроля качества подготовки обучающихся и способствует активизации познавательной деятельности студентов в ходе аудиторных занятий, при выполнении программ самостоятельной и индивидуальной работы.

Текущий контроль успеваемости должен учитывать выполнение обучающимися всех видов учебных занятий, предусмотренных учебным планом и рабочей программой дисциплины, самостоятельную, исследовательскую работу и посещаемость учебных занятий.

Анализ результатов текущего контроля студентов, обучающихся на основе рейтинговой оценки знаний, проводится 2 раза в семестр:

- в первом полугодии - на 1 ноября, на 10 декабря;
- во втором полугодии - на 1 апреля, на 20 мая.

Анализ результатов текущего контроля студентов, не участвующих в рейтинговой системе оценки знаний, проводится в институтах: к указанным выше датам итоги текущего контроля и количество пропущенных занятий (в часах) преподаватели, ведущие занятия, проставляют в листы текущего контроля успеваемости, которые анализируются и хранятся в институтах.

Промежуточная аттестация. Промежуточная аттестация призвана оценить уровень сформированности компетенций, полученных студентами в процессе изучения дисциплины, курсового проектирования и обеспечить контроль качества освоения образовательных программ.

Промежуточная аттестация проводится по завершении изучения какой - либо дисциплины.

Формами промежуточной аттестации являются зачет и экзамен.

При явке на промежуточную аттестацию обучающийся обязан предъявить зачетную книжку. Фамилия обучающегося должна значиться в зачетно-экзаменационной ведомости.

Зачеты студентам по изучаемым дисциплинам выставляются преподавателем, проводившим практические, семинарские или лабораторные занятия группы (подгруппы), на последнем занятии по результатам работы в семестре. Для студентов, обучающихся на основе рейтинговой системы оценки знаний, зачет выставляется автоматически при условии сдачи всех контрольных мероприятий, предусмотренных текущим контролем успеваемости.

6.12 Подготовка к государственной итоговой аттестации

В соответствии с образовательным стандартом по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (уровень бакалавриата) и образовательной программой по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, в состав государственной итоговой аттестации входят:

- государственный экзамен;
- защита выпускной квалификационной работы.

Подготовка к государственному экзамену

Цель государственного экзамена – оценить глубину полученных знаний, практические навыки применения этих знаний при решении профессиональных задач (компетентность).

В связи с необходимостью объективной оценки степени сформированности компетенций выпускника, тематика экзаменационных вопросов и заданий должна быть комплексной и соответствовать избранным разделам из различных учебных дисциплин, формирующих конкретные компетенции.

Например, в экзаменационное задание (вопрос) могут входить элементы нескольких дисциплин (модулей) общенаучного, и профессионального циклов.

На государственном экзамене могут контролироваться как отдельные компетенции, так и элементы различных компетенций.

Государственный экзамен может проводиться в письменной, устной и смешанной форме. Экзаменационные билеты включают несколько вопросов из представленного перечня дисциплин. Один из вопросов рекомендуется делать комплексным, ситуационным или представляющим задание практического характера. Перед итоговым экзаменом предполагается предэкзаменационная консультация и выделение времени на подготовку к экзамену не менее 7 дней. Для подготовки студентов к государственному экзамену разрабатывается программа, где должна быть отражена процедура подготовки и проведения государственного экзамена, критерии оценки.

В содержание программы включается перечень вопросов и заданий, выносимых на экзамен, и позволяющих оценить результаты обучения.

Подготовка к защите ВКР

Выпускная квалификационная работа (ВКР) представляет собой самостоятельную и логически завершённую выпускную квалификационную работу, связанную с решением задач того вида (видов) деятельности, к которым готовится студент (научно-исследовательской, научно-педагогической, проектной, технологической, исполнительской, творческой, организаторской и другим).

Выпускник должен не только подготовить ВКР, но и уметь защитить ее на итоговой государственной аттестации.

При подготовке к защите необходимо:

- повторить основные требования руководящих документов на текущий год по теме ВКР;
- подготовить все графические иллюстрации; составить доклад для устного изложения;
- изучить отзыв и рецензию на ВКР, подготовить ответы на замечания рецензента и окончательно уточнить свой доклад;
- ознакомиться с новыми руководящими документами и литературой по вопросам ВКР, а также с последними изменениями по вопросам теплогазоснабжения и вентиляции;
- провести предварительную защиту.

Демонстрационные материалы представляются по согласованию с руководителем.

Подготовка выпускником доклада по выполненной ВКР является важным этапом подготовки к защите. К подготовке доклада приступают после оформления пояснительной записки (текстуальной части) ВКР, запланированных в задании графических документов и разработки иллюстративного материала.

По времени доклад должен занимать 10...12 минут. За это время можно изложить 5...8 страниц машинописного текста доклада.

В докладе отражается: актуальность темы работы; теоретические положения, на которых базируется ВКР; результаты проведенного анализа изучаемой проблемы; конкретные предложения по деятельности соответствующих органов; дается разъяснение и убедительное обоснование положений и выводов по этим вопросам, исходя из полученных результатов. Особое внимание необходимо сосредоточить на собственных разработках и предложениях.

Доклад при защите ВКР может быть построен по следующей схеме: вначале излагается наименование темы, актуальность, раскрывается цель и задачи исследования, затем в необходимой логической последовательности докладывается содержание важнейших узловых вопросов темы и делается заключение. При изложении основного содержания ВКР следует показать постановку задач на исследование заданных вопросов, методику решения поставленных задач, основные результаты и выводы, к которым пришел выпускник в ходе выполнения выпускной квалификационной работы.

Основные выводы и предложения обосновываются необходимыми расчетами и примерами из практики.

В заключительной части доклада указывается, как достигнуты цели ВКР, что сделано и разработано, что нового выпускник предложил в результате выполнения ВКР, основные результаты работы и где они могут быть использованы.

Доклад строят с учетом графического материала (Чертежи, схемы, диаграммы и т.д.). Текст доклада согласовывается с руководителем.

Написанный доклад представляется руководителю для просмотра.

Текст доклада отрабатывают таким образом, чтобы его можно было излагать на память. Чтение доклада нежелательно, оно может привести к снижению оценки выпускной квалификационной работы.

7. Критерии оценки самостоятельной работы

Компетенции (знания, умения и навыки) студентов оцениваются оценками:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно»;
- «зачтено»;
- «не зачтено».

Зачеты оцениваются отметкой: «зачтено», «не зачтено».

Зачеты с оценкой оцениваются по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

По курсовым работам (проектам) в обязательном порядке выставляется зачет с оценкой.

Экзамены оцениваются по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

Основные критерии оценивания компетенций:

Отметка «зачтено» ставится студентам, успешно обучающимся по данной дисциплине в семестре и не имеющим задолженностей по результатам текущего контроля успеваемости.

Отметка «не зачтено» ставится студенту, имеющему задолженности по результатам текущего контроля успеваемости по данной дисциплине.

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Отметка «неудовлетворительно» выставляется также, если обучающийся после начала экзамена отказался его сдавать.

Оценка «неудовлетворительно» проставляется только в экзаменационную ведомость, в зачетную книжку студента проставлять отметку «неудовлетворительно» не разрешается.

Критерии оценки уровня обученности и уровня сформированности компетенций по дисциплине устанавливает кафедра и отражает их в рабочей программе и фондах оценочных средств дисциплины.

Ответственность за единообразие требований, предъявляемых на экзаменах, несет заведующий кафедрой. По дисциплинам, изучаемым в течение двух и более семестров, итоговой оценкой является оценка, полученная на последнем экзамене.

Заключение

Самостоятельная работа всегда завершается какими-либо результатами. Таким образом, широкое использование методов самостоятельной работы, побуждающих к мыслительной и практической деятельности, развивает столь важные интеллектуальные качества человека, обеспечивающие в дальнейшем его стремление к постоянному овладению знаниями и применению их на практике.