

Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Сибирский федеральный университет»

Е. А. Бойко

КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

Методические указания для самостоятельной работы

Красноярск 2008

Бойко Е.А.

Котельные установки и парогенераторы. Методические указания для самостоятельной работы. Красноярск: СФУ, 2008. 66 с.

Методические указания по освоению дисциплины составлены для студентов бакалавриата по направлению 140100.62 – «Теплоэнергетика и теплотехника» дневной и заочной формы обучения, по дисциплине «Котельные установки и парогенераторы» в соответствии с действующими нормативными документами.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования максимальный объем учебной нагрузки студента включает все виды его аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) учебной работы.

При самостоятельном изучении дисциплины «Котельные установки и парогенераторы» кроме учебной литературы необходимо использовать нормативные и руководящие документы: ГОСТы, РД и др. Существенную помощь в изучении курса может оказать чтение журналов «Теплоэнергетика», «Тепловые электрические станции», «Известия вузов. Проблемы энергетики» и др.

Студент, после освоения материала для самостоятельного изучения по дисциплине «Котельные установки и парогенераторы» должен:

- творчески применять полученные теоретические знания к решению конкретных инженерных задач;

- ознакомление с особенностями технологических процессов, протекающих в топливном, пароводяном и газозоудшном трактах котельных установок;

- ознакомление с конструкцией и принципом работы котельных агрегатов ТЭС и их вспомогательного оборудования;

- ознакомление с этапами и принципами проектирования котельного оборудования;

- приобретение навыков анализа поставленной задачи с целью определения состава и структуры данных, ограничений на них и выбор способа решения, возникающих при проектировании и эксплуатации котельных установок ТЭС;

- ознакомление с современными инженерными методиками, положенными в основу расчета котельных установок ТЭС;

- приобретение навыков по управлению технологическими процессами котельных установок тепловых электростанций;

- приобретение навыков использования специальной литературы, справочников, каталогов, стандартов, руководящих указаний, правил и норм.

В указаниях для каждого компонента учебной программы приведены методические подходы по самостоятельному изучению отдельных разделов дисциплины с использованием материалов учебно-методического комплекса.

Основная задача самостоятельного изучения материала – закрепление знаний студента.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров 140100 – «Теплоэнергетика и теплотехника» дневной и заочной формы обучения.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

Задания на самостоятельную работу выдает преподаватель на первом занятии.

Для освоения теоретического материала необходимо использовать основную литературу.

Для подготовки к лабораторным и практическим занятиям – методическую литературу по комплексу лабораторных и практических работ /18, 19/.

Сдача заданий самостоятельной работы происходит:

- для теоретического материала – в виде итогового контроля (экс., зач.);
- для курсового проекта – в виде защиты;
- для лабораторных работ – в виде защиты;
- для работ, выполняемых на практических занятиях – в виде защиты.

Проверку знаний осуществляет преподаватель, ведущий данную дисциплину.

4 семестр (модуль 1, 2)

Таблица 1.1

Теоретический материал для самостоятельного изучения

№ п/п	Наименование теоретических разделов	Объем в зачетных единицах и часах	Рекомендуемая литература
1.	Энергетическое топливо	0,11 (4)	1, 2, 3
2.	Материальные балансы процесса горения топлива	0,05 (2)	1, 2, 3, 6
3.	Тепловой баланс и КПД котельного агрегата.	0,05 (2)	1, 2, 3, 9
4.	Подготовка топлива к сжиганию	0,05 (2)	1, 2, 3, 6, 14
5.	Теоретические основы горения топлива и топочных процессов	0,05 (2)	1, 2, 3, 6, 14
6.	Способы сжигания органического топлива	0,05 (2)	1, 2, 3

5 семестр (модуль 3, 4)

Таблица 1.2

Изучение теоретического материала перед практическими занятиями

№ п/п	Наименование	Объем в часах	Рекомендуемая литература
1.	Гидродинамика и температурный режим поверхностей нагрева	0,03 (1)	3, 5

Продолжение таблицы 1.2

2.	Водный режим котельных агрегатов	0,03 (1)	2, 3, 10
3.	Испарительные поверхности нагрева паровых котлов	0,05 (2)	1, 2, 3
4.	Пароперегреватели. Регулирование температуры перегретого пара	0,03 (1)	1, 2, 3
5.	Низкотемпературные поверхности нагрева	0,03 (1)	1, 2, 3, 10
6.	Металлы и прочность элементов паровых котлов	0,03 (1)	1, 2, 3, 7, 10
7.	Трубопроводы, арматура и гарнитура котла	0,03 (1)	1, 2, 3, 7, 10
8.	Газовоздушный тракт и его оборудование	0,03 (1)	1, 2, 3, 4
9.	Защита поверхностей нагрева от загрязнений	0,03 (1)	1, 2, 3, 7, 10
10.	Каркас и обмуровка котлов	0,03 (1)	1, 2, 3, 7, 10
11.	Тепловая схема котла	0,03 (1)	1, 2, 3, 7, 8, 10
12.	Конструкции паровых котлов	0,03 (1)	1, 2, 3, 7, 10, 11
13.	Эксплуатация паровых котлов	0,05 (2)	2, 3, 10

Для самоконтроля полученных знаний по каждому теоретическому материалу имеется набор контрольных вопросов, поиск ответов на которые позволяет более эффективно освоить дисциплину.

4 семестр (модуль 1, 2)

Теоретический раздел №1

1. Какими особенностями должны отличаться энергетические топлива от топлив, используемых для других нужд народного хозяйства?

2. Перечислите основные химические элементы, из которых состоят органические топлива. Какие из них могут выделять теплоту при окислении?

3. Как изменяется содержание горючих элементов в массе топлива по мере увеличения химического возраста топлива?

4. В чем различие высшей и низшей теплот сгорания топлива?

5. Что такое условная теплота сгорания и какое значение она имеет?

6. Перечислите технические характеристики твердых топлив, жидкого топлива и природного газа.
7. Какие трудности в процессе работы парового котла может создать золовой остаток топлива?
8. Какова роль летучих веществ при сжигании твердых топлив?
9. Почему вязкость относят к наиболее важной технической характеристике мазута?
10. Какие технические характеристики природного газа следует считать наиболее важными?
11. В каких случаях удобно пользоваться приведенными характеристиками топлив?

Теоретический раздел №2

1. Перечислите характерные компоненты продуктов сгорания.
2. Почему действительный объем воздуха для горения должен быть больше теоретического?
3. Как найти значение V_b^0 по известному составу топлива?
4. Чем отличаются значения V_b^0 и V_r^0 значения V_b и V_r при $\alpha > 1$?
5. Как найти значение V_r на выходе на котла? Какие данные для этого необходимо иметь?
6. Назовите способы определения коэффициента избытка воздуха на работающем котле. Какой из них более точный?
7. В каких местах газового тракта контролируют избыток воздуха в эксплуатации?
8. Как найти энтальпию газов в заданном месте газового тракта? Что нужно для этого знать?

Теоретический раздел №2

1. Что такое располагаемая теплота сгорания топлива? У каких топлив Q_p^p и Q_n^p отличаются более заметно друг от друга и за счет каких составляющих?
2. Какие поверхности нагрева обеспечивают тепловосприятие Q_1 ?
3. Почему необходима оптимизация температуры уходящих газов, а не максимальное ее снижение для уменьшения потерь q_2 ?
4. Какие характеристики топлива влияют на выбор оптимальной температуры уходящих газов?
5. Какие эксплуатационные факторы определяют потери теплоты q_3 ?
6. Как на практике определяют потери теплоты q_4 ? При сжигании каких топлив эта потеря наибольшая и почему?

7. Определите, в каком случае потеря q_5 будет больше: на котле номинальной мощностью 300 МВт (1000 т/ч) или при нагрузке 300 МВт на котле с номинальной мощностью 600 МВт (2000 т/ч).

8. Какие значения тепловых потерь влияют на определение оптимального избытка воздуха?

9. В чем различие между КПД котла брутто и нетто?

Теоретический раздел №3

1. Перечислите основные характеристики угольной пыли?

2. Зачем строят интегральную зерновую характеристику и на основании чего ее получают?

3. Что включает в себя тепловой баланс сушильно-мельничной системы?

4. Что представляет собой процесс сушки топлива и перечислите основные виды устройств для сушки?

5. Почему для высокорекреационных топлив применяется газовая сушка?

6. Назовите виды замкнутых схем пылеприготовления?

7. Перечислите преимущества и недостатки различных схем пылеприготовления?

8. Почему в схему пылеприготовления без промбункера не рекомендуется ставить ШБМ?

9. Укажите основные типы и принципы действия сепараторов пыли?

10. Какая схема пылеприготовления и оборудование лучше всего подходит для приготовления к сжиганию бурого угля с $V^f > 25\%$ и $W^p > 25\%$?

11. В чем заключается принципиальное отличие молотковых мельниц типа ММТ от ММА?

12. Перечислите основное оборудование, которое входит в состав технологических схем подготовки к сжиганию газа и мазута на ТЭС?

Теоретический раздел №4

1. Что такое гомогенные и гетерогенные химические реакции?

2. По каким показателям определяют скорость горения в гомогенной и гетерогенной химических реакциях?

3. Какие основные факторы влияют на скорость химической реакции?

4. Почему скорости горения обычно выше расчетных, полученных на основе молекулярных балансов?

5. Ограничен ли диапазон концентраций, в пределах которых возможна реакция?

6. Как происходит горение газового топлива? Что такое активные центры реакций горения?

7. Что такое разветвленная цепная реакция? При каких условиях цепная разветвленная реакция может развиваться?

8. Назовите стадии сгорания частиц твердого топлива. Какова роль влажности топлива и летучих веществ при сжигании твердого топлива?

9. Дайте характеристику областям горения топлива. В каких областях начинается и заканчивается горение топлива? Чем определяется перемещение температурной границы между кинетической и диффузионной областью горения?

10. За счет чего мазутная капля сгорает быстрее твердой частицы топлива эквивалентного размера?

11. Почему зона горения испаряющейся капли мазута находится на удалении от ее поверхности?

12. Почему необходимо тонкое распыление поступающего на горение мазута?

13. В чем выражается процесс диссоциации газов? При каких температурах он происходит?

Теоретический раздел №5

1. Почему газ и мазут можно экономично сжигать в одной топочной камере?

2. Назовите наиболее характерные способы расположения горелок в газомазутных топках.

3. Какими методами получают тонкий распыл мазута? Какой из них более пригоден для котла, работающего при переменных нагрузках?

4. Как можно обеспечить тонкий распыл мазута при сниженной нагрузке котла?

5. Какие применяют способы для завихрения воздуха в горелках?

6. Как обеспечивают необходимую степень крутки воздушного потока при низкой нагрузке?

7. Каким способом обеспечивают быстрое перемешивание газа и воздуха в газовой горелке? Завершается ли этот процесс в пределах горелки?

8. Что такое комбинированная горелка?

5 семестр (модуль 3, 4)

Теоретический раздел №1

1. Назовите характерные режимы течения двухфазной среды в вертикальных трубах при высоком давлении.

2. Какие неприятности могут возникнуть при движении двухфазного потока в горизонтальных трубах? При каких условиях?

3. Дайте определение характеристикам двухфазного потока.

4. В чем разница физических условий, определяющих ухудшенный режим теплообмена, при ДКД и СКД?

5. Назовите составляющие полного перепада давления в трубе.

6. Почему при одинаковом массовом расходе рабочей среды в трубе гидравлическое сопротивление при двухфазном потоке будет больше, чем при однофазном?

7. Что такое гидравлическая разверка и чем она определяется?

8. Что такое тепловая разверка и какие факторы ее определяют?

9. В каком случае гидравлическая характеристика змеевика будет однозначной – при поступлении в него воды догретой или недогретой до кипения?

10. В чем различие в сопротивлении трубы при подъемном и опускном движении?

11. Как изменится высота экономайзерного участка при естественной циркуляции в случаях увеличения расхода G_0 , увеличения давления в нижнем коллекторе, увеличения теплового потока в топке?

12. Какие факторы влияют на величину полезного напора трубы?

13. Почему давление воды в нижнем коллекторе контура выше, чем в барабане? Как оно изменится, если скорость воды в опускных трубах увеличится?

Теоретический раздел №2

1. Назовите характерные места поступления внешних примесей в питательную воду котлов?

2. Почему загрязнение пара минеральными примесями ограничивают?

3. Назовите пути попадания минеральных веществ в пар.

4. Факторы, влияющие на качество пара.

5. Как уменьшить унос из барабана котла капле влаги с насыщенным паром?

6. Как уменьшить попадание в пар минеральных веществ за счет растворимости их в паре?

7. Схема и конструкции сепарационных устройств.

8. В чем смысл организации ступенчатого испарения в барабанных котлах?

9. Почему схема ступенчатого испарения с выносным циклоном лучше, чем при установке перегородки внутри барабана?

10. Назовите основные пути вывода примесей из цикла станции.

11. Какие цели решают различные водные режимы?

Теоретический раздел №3

1. Назовите типы экранов, используемые в топках паровых котлов.

2. Зачем производят секционирование экранов при естественной циркуляции? Как обеспечивается самостоятельная работа секции?

3. Что такое пояс жесткости? Какие задачи он решает?

4. Почему в топке прямоточного котла не удастся обеспечить одноходовое подъемное движение рабочей среды по всем стенам топки?

5. Перечислите возможные схемы размещения лент (панелей) на стенах топки прямоточного котла.
6. В чем состоят преимущества газоплотных топочных экранов?
7. Как обеспечивается газовая плотность топки, работающей под наддувом?
8. Как обеспечивают надежную работу футерованного экрана?
9. Каким показателем определяется надежность сваренных газоплотных панелей? Какие методы применяют для повышения надежности?

Теоретический раздел №4

1. Перечислите виды пароперегревателей по характеру тепловосприятия. Какие виды перегревателей различают по конструкции?
2. В каких случаях рекомендуется применение прямоточной и противоточной схем движения потоков пара и газов?
3. Какие меры применяют для уменьшения разверки температур пара по змеевикам?
4. Что такое комбинированный перегреватель?
5. Как изменяются радиационная и конвективная регулировочные характеристики перегревателя? Почему нельзя выполнить перегреватель с независимым от нагрузки котла значением температуры перегрева?
6. Перечислите виды парового регулирования перегрева пара и газового регулирования.
7. Почему и в каких случаях приходится применять схему впрыска собственного конденсата?
8. Проанализируйте преимущества и недостатки ПШТО и регулирующей поверхности.
9. Для каких топлив целесообразно применять рециркуляцию газов, для каких – байпасирование газов и почему?

Теоретический раздел №5

1. Какие поверхности котла относят к низкотемпературным?
2. Каково основное назначение водяных экономайзеров? Как они устроены?
3. В каких случаях применяют чугунные экономайзеры?
4. Каким образом достигают уменьшения затрат металла на поверхность экономайзеров?
5. Почему температура нагрева воздуха в одной ступени воздухоподогревателя ограничена?
6. Как устроены рекуперативные трубчатые воздухоподогреватели?
7. Когда и для чего воздухоподогреватель разбивается на две ступени?
8. Как крепятся воздухоподогреватели в газоходе?
9. Как устроен регенеративный вращающийся воздухоподогреватель? Укажите его преимущества и недостатки.

10. Какие факторы являются определяющими при выборе одноступенчатой или двухступенчатой схемы расположения воздухоподогревателя?
11. Исходя из каких соображений выбирают наивыгоднейшую скорость газов в конвективных газоходах котла?
12. Почему скорость воздуха в рекуперативных воздухоподогревателях всегда выше скорости газов?
13. Почему на мощных паровых котлах применяют РВП вместо ТВП?
14. Какие тепловые и энергетические потери вызывают перетоки воздуха в РВП?
15. Перечислите способы, позволяющие снизить (или исключить) низкотемпературную коррозию воздухоподогревателей.
16. Что такое «температура точки росы»? Каковы ее значения для мало-сернистых и сильносернистых топлив?
17. При каких условиях усиливается загрязнение труб поверхностей летучей золой?
18. Какие факторы определяют абразивный износ труб золой?

Теоретический раздел №6

1. Какие явления сопровождают работу металла при температурах более 400 °С?
2. Как устанавливается допустимая скорость ползучести металла?
3. Перечислите виды сталей, применяемых для изготовления элементов котла.
4. С какой целью в углеродистую сталь вводят легирующие добавки?
5. Какие стали применяют для изготовления барабанов, горячих пакетов перегревателей, воздухоподогревателей?
6. В чем различие в расчете толщины стенки цилиндрических элементов коллектора и трубы?
7. Как учитывается влияние температуры металла на прочность при расчете толщины стенки трубы (коллектора)?

Теоретический раздел №7

1. Классификация трубопроводов?
2. На какие виды подразделяется котельная арматура?
3. В чем заключается принципиальное конструктивное отличие регулирующего вентиля и запорного вентиля?
4. Какие бывают по принципу действия обратные клапаны?
5. Укажите типы предохранительных клапанов? Их назначение?
6. Укажите типы водоуказательных приборов?
7. Что называется гарнитурой котла?

Теоретический раздел №8

1. Назовите, способы организации работы газозвоздушного тракта котла. Какая из групп тягодутьевых машин имеет больший расход энергии: дутьевые вентиляторы или дымососы? Почему?
2. Какова роль самотяги при опускном движении газов в конвективной шахте и подъемном движении в дымовой трубе?
3. Какие показатели используются при определении экономичности (КПД) тягодутьевой установки?
4. Какие типы машин применяют в качестве дутьевых вентиляторов и дымососов на котлах большой мощности?
5. Назовите способы, используемые для регулирования нагрузки тягодутьевых машин.
6. Что отражается в маркировке тягодутьевых машин?

Теоретический раздел №9

1. Какие аппараты применяют для очистки от загрязнений экранных поверхностей, ширм, вертикальных пакетов перегревателей, горизонтальных пакетов конвективной шахты?
2. Укажите причины загрязнения «хвостовых» поверхностей нагрева? Основные методы очистки этих поверхностей.
3. Укажите основные элементы сепараторов дробеочистки.
4. Укажите схемы работы системы дробеочистки.
5. Какой способ золо- и шлакоудаления наиболее распространен на ТЭС и почему?
6. Что включает в себя система ГЗУ?

Теоретический раздел №10

1. Основные элементы и назначение каркаса котла.
2. Назовите типы используемых каркасов котла. Какие нагрузки воспринимают каркасы?
3. Когда целесообразнее использовать совмещенный со зданием каркас? Какие преимущества он дает?
4. Как обеспечивается свобода тепловых расширений элементов котла?
5. Какие материалы относят к обмуровочным, а какие к теплоизоляционным?
6. Назовите виды обмуровок и разновидности их конструкций.
7. Назовите способы, обеспечивающие газовую плотность обмуровки в местах компенсации тепловых расширений.

Теоретический раздел №11

1. Дайте объяснение, в каких случаях целесообразно применение Т-, N-, U-образных и башенной компоновок котла.
2. Что такое «сомкнутая компоновка»? Какие преимущества она имеет?

3. Что такое тепловая схема котла? Какие элементы котла она включает?
4. Факторы, определяющие тепловую схему котла?
5. Суть расчета тепловой схемы котла?
6. Назовите основные тепловые характеристики топочных экранов.
7. Какие основные уравнения используются при тепловом расчете топочной камеры?
8. Как учитывается в расчете теплообмена уровень расположения горелок (ядра факела) в топке?
9. Как определяется тепловосприятие ширмового перегревателя?
10. Составьте основные уравнения теплообмена для конвективных поверхностей нагрева. В какой последовательности ими пользуются при конструктивном и поверочном расчетах?
11. В чем различие в формулах расчета коэффициента теплопередачи для змеевиковой поверхности и трубчатого воздухоподогревателя? То же для РВП?
12. Сформулируйте различие задач конструктивного и поверочного расчетов котла.
13. Как обеспечивается сведение теплового баланса по всем поверхностям барабанного и прямоточного котлов?

Теоретический раздел №12

1. Какие мероприятия предусматриваются для повышения надежности и компактности поверхностей нагрева?
2. Какими параметрами ограничена область применения барабанных паровых котлов и почему?
3. Как связан уровень температуры перегрева пара со стоимостью поверхности нагрева?
4. Каким требованиям должны отвечать маневренные блоки?
5. В чем преимущество газоплотных конструкций котлов?
6. Назовите виды комбинированных ПГУ и их основное назначение.
7. Какими особенностями отличается полупиковый паровой котел?
8. Какую задачу выполняют пиковые теплофикационные котлы? Назовите типы этих котлов.
9. Способы снижения металлоемкости котлов? Назовите примеры таких котлов.

Теоретический раздел №13

1. Назовите и дайте определение режимам работы энергоблоков.
2. Чем ограничена минимальная устойчивая нагрузка котлов?
3. Что такое «режимная карта» и каково ее содержание?

4. Что означает аккумулирующая способность котла и чем она определяется?
5. Что означают термины «степень, улавливания» и «степень проскока»?
6. Перечислите типы золоуловителей, применяемые за паровыми котлами. Какой из них имеет наивысший КПД?
7. Какие факторы обеспечивают достижение высокой степени улавливания золы из газового потока в электрофильтрах?
8. Перечислите вредные газообразные выбросы ТЭС. Какие из них относятся к наиболее опасным?

Рекомендуемая литература:

Основная литература.

1. Резников, М. И. Паровые котлы тепловых электростанций / М. И. Резников, Ю. М. Липов. М.: Энергоиздат, 1987
2. Ковалев, А. П. Парогенераторы / А. П. Ковалев, Н. С. Лелеев, Т. В. Виленский. М.: Энергоиздат, 1985
3. Липов, Ю. М. Котельные установки и парогенераторы / Ю. М. Липов, Ю. М. Третьяков. Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003. 592 с.
4. Мочан, С. И. Аэродинамический расчет котельных установок. Нормативный метод / С. И. Мочан. Л.: Энергия, 1977.
5. Болдина, С. М. Гидравлический расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / С. М. Болдина. М.: Энергия, 1978.
6. Хзмалян Д. М. Теория топочных процессов / Д. М. Хзмалян. М. Энергоатомиздат, 1990
7. Мейкляр, В. М. Паровые котлы электростанций / В. М. Мейкляр. М.: Энергоиздат, 1974
8. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. Изд. 3-е, перераб. и доп. С.-Петербург: НПО ЦКТИ-ВТИ. 1998. 257 с.
9. Липов, Ю. М. Тепловой расчет парового котла: Учебное пособие для вузов / Ю. М. Липов. Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика: 2001. 208 с.
10. Стырикович, М. А. Парогенераторы электростанций / М. А. Стырикович, К. Я. Катковская, Е. П. Серов. М.: Энергия, 1996.
11. Бойко, Е. А. Котельные установки и парогенераторы (конструкционные характеристики энергетических котельных агрегатов) / Е. А. Бойко, Т. И. Охорзина. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. 228 с.

Дополнительная литература:

12. Ривкин, С. Л. Теплотехнические свойства воды и водяного пара / С. Л. Ривкин, А. А. Александров. М.: Энергия, 1980. 424 с.
13. Бойко, Е. А. Котельные установки и парогенераторы (тепловой

расчет котельного агрегата) / Е. А. Бойко, И. С. Деринг, Т. И. Охорзина. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. 98 с.

14. Бойко, Е. А. Котельные установки и парогенераторы (аэродинамический расчет котельного агрегата) / Е. А. Бойко, И. С. Деринг, Т. И. Охорзина. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2007. 76 с.

15. Бойко, Е. А. Котельные установки и парогенераторы (тепловой расчет систем пылеприготовления) / Е. А. Бойко, И. С. Деринг, Т. И. Охорзина. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2007. 45 с.

16. Бойко, Е. А. Котельные установки и парогенераторы (гидравлический расчет контуров естественной циркуляции) / Е. А. Бойко, И. С. Деринг, Т. И. Охорзина. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2007. 98 с.

17. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. Министерство энергетики и электрификации Российской Федерации. СПб.: Издательство «Деан». 2000.

18. Справочник по котельным установкам: Топливо. Топливоприготовление. Топки и топочные процессы / под общ. Ред. М.И. Неуймина, Т.С. Добрякова. – М.: Машиностроение. 1993

19. Росляков, П.В. Технологические мероприятия по снижению вредных выбросов ТЭС в атмосферу / П. В. Росляков, Л. Е. Егорова, И. Л. Ионкин – М.: МЭИ. 2001

2. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ И ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Учебной программой дисциплины «Котельные установки и парогенераторы» предусмотрено выполнение в 4-ом семестре 8-ми лабораторных работ:

Таблица 2.1

Теоретический материал для самостоятельного изучения

№ п/п	Наименование практических работ	Объем в зачетных единицах и часах	Рекомендуемая литература
1.	Определение влажности твердого органического топлива	0,015 (0,5)	1, 2, 3
2.	Определение выхода летучих веществ	0,015 (0,5)	1, 2, 3
3.	Определение зольности твердого органического топлива	0,015 (0,5)	1, 2, 3
4.	Определение температуры вспышки и воспламенения нефтепродуктов	0,015 (0,5)	1, 2, 3
5.	Определение теплоты сгорания твердого органического топлива	0,015 (0,5)	1, 2, 3
6.	Определение условной вязкости нефтепродуктов	0,015 (0,5)	1, 2, 3
7.	Газовый анализ продуктов сгорания органического топлива	0,015 (0,5)	1, 2, 3
8.	Определение гранулометрического состава угольной пыли	0,015 (0,5)	1, 2, 3

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ В БУРЫХ И КАМЕННЫХ УГЛЯХ, АНТРАЦИТАХ И ГОРЮЧИХ СЛАНЦАХ

1. Общие сведения

Влажность является одной из важнейших технических характеристик топлива. Наличие влаги вызывает значительные трудности при его транспортировке, переработке и сжигании. Являясь балластом, влага топлива увеличивает расходы на транспортировку и погрузо-разгрузочные работы. В трактах топливоподачи и при переработке нарушается нормальное движение топлива вследствие потери сыпучести, а в зимнее время топливо смерзается. Вы-

сокая влажность способствует выветриванию и самовозгоранию твердого топлива при его длительном хранении в штабелях, что приводит к необходимости ограничения их высоты и сроков обновления.

Влага в топливе снижает теплоту сгорания, температуру в топочной камере, увеличивает расходы топлива и объемы продуктов сгорания, что приводит к увеличению потери теплоты с уходящими газами и затраты энергии на привод дымососов. Увеличение влажности газов вызывает усиление коррозии металла воздухоподогревателя, приводит к повышенному загрязнению поверхности нагрева.

2. Цель работы

Освоение методики экспериментального определения содержания влаги в твердом топливе; определение различных видов общей влаги твердого топлива ускоренным и основным методами сушки; нахождение приведенной влажности.

3. Оборудование, измерительные приборы, образцы

Для проведения испытаний применяют:

шкаф сушильный электрический с терморегулятором для поддержания необходимых температур с точностью до 5 °С;

стеклянные или алюминиевые бюксы с крышками таких размеров, чтобы масса слоя топлива в них по стандарту не превышала 0,15 г/см² для лабораторной пробы крупностью менее 3 мм массой около 10 г;

весы с погрешностью взвешивания не более 0,0002 г;

эксикатор с осушающим веществом (хлористый кальций, серная кислота);

щипцы тигельные длиной 250–300 мм;

ложечку или шпатель;

секундомер.

4. Содержание отчета

В отчете следует, привести результаты определения различных видов влаги и приведенной влажности твердого топлива.

5. Контрольные вопросы

1. Источники влаги в топливе и основные ее виды.
2. Основные технологические показатели качества топлива по влажности.
3. Что такое приведенная влажность?
4. Чем определяется выбор температуры и времени сушки топлива при определении влаги?

5. Что такое рабочая, лабораторная и аналитическая пробы топлива? Порядок их приготовления.
6. Порядок определения влаги в топливе ускоренным методом сушки.
7. Порядок определения влаги в топливе основным методом сушки.
8. Как влияет влажность на экономические показатели работы тепловых электростанций, котельных агрегатов, на работу основных узлов котлоагрегатов?
9. К какому виду топлива (маловлажному, средневлажному, высоковлажному) относится исследуемый уголь?
10. Какие виды общей влаги определялись в работе?

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДА ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ

1. Общие сведения

Важнейшими теплотехническими характеристиками твердого топлива является выход летучих веществ и свойства нелетучего остатка (кокса). Эти показатели являются одними из основных при определении рациональных путей его использования, они положены в основу промышленной классификации органических топлив.

При сжигании топлива в пылевидном состоянии величина выхода летучих веществ и характер коксовой частицы оказывают большое влияние на прочесе воспламенения и полноту, его сгорания. Летучие вещества, выделившиеся из топлива, обеспечивают более раннее воспламенение кокса, так как они сами воспламеняются при более низкой температуре, чем коксовый остаток (350–600 °С), быстро повышая тем самым температуру коксовых частиц. Чем больше выход летучих, тем ниже температура воспламенения и легче зажигание топлива и тем больше поверхность фронта пламени. Топливо с большим выходом летучих веществ легко загорается и сгорает быстро с малой потерей тепла. Воспламенение таких топлив в камерных топках начинается почти у самих горелок, вследствие чего приходится принимать меры для удаления ядра факела от горелок во избежание обгорания и шлакования последних.

Пыль топлив с большим выходом летучих веществ в определенной концентрации с кислородом образует взрывоопасную смесь. Взрывоопасной является торфяная, сланцевая, бурогольная пыль, а также пыль каменных углей с выходом летучих веществ более 20%.

Топливо с малым выходом летучих веществ загорается значительно труднее, горит медленнее и сгорает не полностью, поэтому при сжигании таких топлив требуется поддержание высоких температур в зоне воспламене-

ния, что достигается установкой зажигательного пояса и специальных горелочных устройств, обеспечивающих быстрый прогрев аэропыли.

Общее тепловыделение при сгорании топлива складывается из теплот сгорания летучих веществ и коксового остатка. При сгорании топлив с малым выходом летучих веществ основное количество тепла выделяется при сгорании коксовой частицы. У топлив с большим выходом летучих веществ коксовый остаток получается пористым, что придает ему высокую реакционную способность, т.е. способность легко вступить в реакцию с кислородом и восстанавливать CO_2 и CO . Антрацит, полуантрацит и тощие каменные угли являются малореакционными топливами.

Время пребывания малореакционных топлив в топке должно быть достаточно продолжительным, а пыль очень мелкой (размер 90–95 % пылинок не должен превышать 0,09 мм).

Выход летучих веществ используется для технической классификации углей. Наиболее молодые топлива имеют более высокий выход летучих веществ и меньше содержат углерода. С увеличением возраста топлива уменьшается выход летучих веществ и увеличивается содержание углерода. Так, у бурых углей выход летучих веществ составляет 45–50%, каменных – 25–40%, а у антрацитов – 3–4%.

Кокс, оставшийся после полного выделения летучих, состоит из углерода и минеральных топливных примесей. В зависимости от вида термически разложенного топлива кокс может быть порошкообразным, слипшимся, спекшимся, сплавленным. Характер коксового остатка определяет такое важное свойство углей, как спекаемость. Спекаемость топлива имеет практическое значение: она определяет возможность коксования углей и способы их сжигания на колосниковой решетке. Применяемые для коксования угли должны образовывать прочный спекшийся коксовый остаток. К таким углям относятся каменные угли марок: жирный – Ж, коксовый жирный – КЖ, коксовый – К и др.

Топлива, образующие непрочный спекшийся кокс, относятся к слабо-спекающимся каменным углям марок: отощенный спекающийся – ОС к слабо-спекающийся – СС. Если после выхода летучих веществ образуется порошкообразный кокс, то топливо называется неспекающимся. К таким топливам относятся: торф, бурые угли, антрациты и некоторые каменные угли.

Неспекающееся топливо при слоевом сжигании очень неустойчиво; оно представляет собой рыхлую, подвижную массу, состоящую из отдельных, несвязанных друг с другом частиц. При сжигании таких топлив наблюдается большой унос частиц топлива из слоя. Кроме того, часть топлива при этом не сгорает и теряется, проваливаясь, сквозь колосниковую решетку.

2. Цель работы

Освоение методики экспериментального определения выхода летучих веществ из твердого топлива, определение выхода летучих из аналитической пробы твердого топлива, выхода нелетучего остатка, пересчет полученных результатов на сухое беззольное состояние и классификация нелетучего остатка.

3. Оборудование, измерительные приборы, образцы

Для проведения испытаний применяют:

печь муфельную электрическую, обеспечивающую температуру нагрева до 1000 °С, с терморегулятором для поддержания температуры на уровне 840–860 °С (муфельная печь должна иметь отверстия в передней стенке для выхода летучих веществ, в задней - для установки термопары);

термопары с гальванометром для измерения температур до 1000 °С;

тигли фарфоровые или кварцевые цилиндрической или конической формы с шлифованными крышками (тигли и крышки должны быть пронумерованы, прокалены при температуре 840–860 °С до постоянной массы и храниться в эксикаторе);

подставку для тиглей из жароупорной проволоки или листовой жаростойкой стали на два, четыре или шесть тиглей (размеры подставки должны обеспечивать возможность размещения тиглей в зоне устойчивой температуры печи 840–860 °С, а также расстояние 20 мм между дном тигля и подом печи);

весы с погрешностью взвешивания не более 0,0002 г;

эксикатор с серной кислотой, хлористым кальцием, силикагелем или другими осушающими веществами;

щипцы тигельные длиной 250–300 мм;

ложечку или шпатель;

секундомер;

пресс лабораторный для брикетирования.

4. Содержание отчета

1. Результаты определения выхода летучих веществ из аналитической пробы, твердого топлива.

2. Результаты определения выхода нелетучего остатка,

3. Результаты пересчета выхода летучих веществ и нелетучего остатка на сухое беззольное состояние.

4. Характеристика нелетучего остатка.

5. Контрольные вопросы

1. Что такое летучие вещества и коксовый остаток, из каких элементов они состоят и какую роль играют при сжигании топлива?
2. Влияние выхода летучих веществ на работу котельного агрегата и его конструкцию,
3. Связь между величиной выхода летучих веществ и реакционной способностью коксового остатка.
4. Спекаемость твердого топлива и ее практическое значение.
5. Почему выход летучих веществ рассчитывается на горючую массу?
6. Основные стадии термического разложения твердого топлива и их характеристика.
7. Чем основан выбор температуры и времени, при которых определяется выход летучих веществ?
8. Почему при определении выхода летучих веществ тигель закрывают крышкой?
9. По величине выхода летучих веществ, характеру коксового остатка определить, к какому виду относится исследуемое топливо (торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит)?

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛЬНОСТИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

1. Общие сведения

Негорючие минеральные примеси являются: балластом топлива. Они уменьшают содержание горючей массы. Вследствие этого уменьшается теплота сгорания рабочего топлива, увеличивается его расход, возрастают затраты на добычу и перевозку,

Твердый негорючий остаток, получающийся после всех преобразований минеральной части в процессе горения топлива, называют золой. Состав и вес золы не идентичны составу и весу минеральных примесей топлива.

Минеральные примеси топлива являются причиной загрязнения либо износа поверхностей нагрева котлоагрегатов. Процессы загрязнения поверхностей нагрева становятся острой проблемой в случае образования на них связанных отложений летучей золы, и особенно в тех случаях, когда такие отложения срастаются со слоем оксида металла на трубах. В этом случае средства для очистки поверхностей нагрева или становятся малоэффективными, или при достижении желаемого эффекта очистки вызывают разрушения поверхностей нагрева: эрозию при обдувке и дробевой очистке, усталостные трещины в трубах при вибрационной очистке и др.

При неравномерном образовании отложений на кипятильных трубах возможно нарушение циркуляции пароводяной смеси, а поверхностная коррозия металла труб под слоем химически агрессивных загрязнений иногда является причиной разрыва труб.

Крупные шлаковые образования могут привести к поломке котельных труб и обмуровки.

Забивание газоходов отложениями золы увеличивает газовое сопротивление и снижает паропроизводительность котла до 50–70% от проектной. Являясь вредным термическим сопротивлением на поверхности нагрева, золотые слои резко ухудшают процесс теплопередачи.

Увеличение зольности топлива и количества летучей золы в потоке газов требует установки более дорогих золоулавливающих устройств после котла для защиты воздушного бассейна от загрязнения.

2. Цель работы

Освоение методики экспериментального определения зольности твердого топлива, определение зольности аналитической пробы твердого топлива и пересчет ее на сухую и рабочую массы.

3. Оборудование, измерительные приборы, образцы

Для проведения испытаний применяются:

электропечь муфельная с максимальной температурой нагрева 900 °С;
термопара со вторичным измерительным прибором, обеспечивающая измерения температуры (термопару устанавливают в специальные отверстия, расположенные в задней стенке муфельной печи);

лодочки фарфоровые прямоугольные № 1,2 и 3 по ГОСТ 9147-80;

пластинка керамическая или из жароупорного материала толщиной не более 5 мм;

штапель или ложечка для перемешивания испытуемой пробы и взятия навески;

щипцы тигельные;

весы аналитические;

кальций хлористый двуводный;

эксикатор с хлористым кальцием или с другим осушающим веществом

4. Содержание отчета

В отчете следует привести результаты определения зольности аналитической пробы твердого топлива и результаты пересчета на сухую массу и рабочую.

5. Контрольные вопросы

1. Что такое зола?
2. Происхождение минеральных примесей топлива и их состав.
3. Как влияют минеральные примеси топлива на работу котельного агрегата и на экономические показатели электростанций?
4. Какие изменения происходят в минеральной части топлива при его горении.
5. Что такое шлак, летучая зола и провал?
6. Порядок определения зольности.
7. Преимущества и недостатки методов медленного и ускоренного озоления.

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ И ВОСПЛАМЕНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

1. Общие сведения

На тепловых электростанциях широко применяются, в качестве масел, смазок и топлива продукты переработки нефти. Одними из показателей качества нефтепродуктов являются температуры воспламенения и вспышки.

В условиях электростанций определение температуры вспышки производится для установления степени огнеопасности нефтепродукта при хранении и для определения максимально допустимой температуры его подогрева в емкостях, не изолированных от окружающего воздуха. Эта температура должна быть не менее чем на 10 °С ниже температуры вспышки.

Все нефтепродукты по степени огнеопасности разделяются, на четыре класса.

К первому классу относятся наиболее легковоспламеняющиеся нефтепродукты – бензин и лигроин, температура вспышки которых ниже 28 °С.

Ко второму классу – керосин тракторный и осветительной с, температурой вспышки в пределах 28–45 °С.

К третьему классу – жидкие нефтепродукты, имеющие температуру вспышки в пределах 45–120 °С (дизельное топливо, мазут).

К четвертому классу – жидкие и твердые нефтепродукты с температурой вспышки выше 120 °С (смазочные масла, парафин, асфальт, битумы и др.).

2. Цель работы

Освоение методики и экспериментальное определение температуры вспышки и воспламенения нефтепродукта.

3. Оборудование, измерительные приборы, образцы

Прибор ПВНЭ (рис. 2.1) состоит из резервуара 1 с фланцем, плотно прижатой к резервуару крышки 2 с укрепленными на ней деталями и корпуса 3 со встроенным в нем электронагревателем.

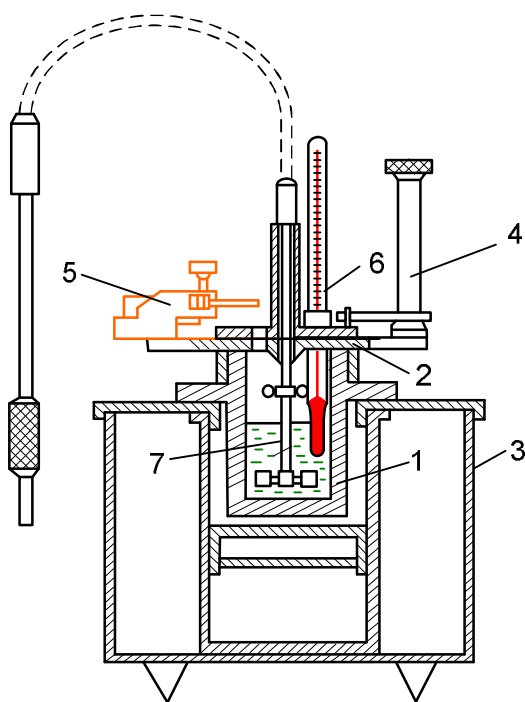


Рисунок 2.1 – Прибор для определения температуры вспышки жидких нефтепродуктов ПВНЭ: 1 – резервуар; 2 – крышка; 3 – корпус; 4 – механизм перемещения заслонки; 5 – жигалка; 6 – термометр; 7 – мешалка

На внутренней поверхности резервуара имеется риска, до которой наливают испытуемый продукт. На крышке укреплены: заслонка с поворотным механизмом 4, зажигалка 5, тубус для термометра 6 и мешалка на гибкой пружинистой ручке 7. При вращении заслонки открываются трапециевидные отверстия крышки и зубец, укрепленный на заслонке, упираясь в нижнюю часть зажигалки, наклоняет ее к отверстию в крышке.

Возвращение заслонки и зажигалки в первоначальное положение происходит под действием пружины механизма перемещения.

Питание прибора осуществляется от сети переменного тока через регулятор напряжения, который позволяет плавно изменять скорость нагрева нефтепродуктов.

4. Содержание отчета

В отчет следует привести результаты определения температуры вспышки и воспламенения нефтепродукта, а также заключение о том, к какому классу по степени огнеопасности относится исследуемый нефтепродукт.

5. Контрольные вопросы

1. Что такое температура вспышки температур воспламенения нефтепродукта?
2. Для чего необходимо знать температуру вспышки нефтепродукта?
3. К какому классу по степени огнеопасности относится исследуемый нефтепродукт?

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

1. Общие сведения

Теплота сгорания, являясь основной теплотехнической характеристикой топлива, определяет его энергетическую ценность и представляет собой количество теплоты, выделяющейся в ходе химических реакций окисления горючих компонентов топлива газообразным кислородом.

Под удельной теплотой сгорания понимается количество теплоты, выделяющейся при полном сгорании единицы массы твердого или жидкого топлива или единицы объема газообразного топлива. В зависимости от вида массы топлива различают теплоту сгорания топлива в рабочей состоянии Q^P его сухой массы Q^c , сухой беззольной Q^r и органической массы Q^o . Первая и вторая величины теплоты сгорания зависят от химического состава горючей и минеральной части топлива, а также от количества балласта в нем; третья и четвертая величины – только от степени углефикации топлива.

2. Цель работы

Освоение методики экспериментального определения теплоты сгорания твердого топлива, определение удельной теплоты сгорания в бомбе аналитической пробы топлива, пересчет полученного значения на высшую теплоту сгорания аналитической пробы, высшую теплоту сгорания рабочей пробы и низшую теплоту сгорания рабочей пробы.

3. Оборудование, измерительные приборы, образцы

Для проведения испытания применяются:
калориметр сжигания с бомбой (жидкостный);
весы аналитические;

весы лабораторные технические;
 термометры ртутные постоянного или переменного наполнения с ценой деления шкалы 0,01 °С и погрешностью отсчета не более 0,002 °С;
 термометр ртутный лабораторный с пределами измерения от 0 до 50 °С;
 секундомер;
 кислород, полученный методом глубокого охлаждения воздуха;
 бумага фильтровальная лабораторная;
 асбест волокнистый прокаленный;
 проволока для запала (железная, никелиновая, константановая или медная диаметром от 0,1 до 0,2 мм).

Удельную теплоту сгорания проволоки для запала в зависимости от материала, из которого она изготовлена, принимают согласно табл. 2.2.

Таблица 2.2

Значение удельной теплоты сгорания проволоки для запала
в зависимости от материала

Наименование материала	Удельная теплота сгорания проволоки, кДж/кг
Железо	6 698
Никелин	3 244
Константан	3 140
Медь	2 512

Испытание проводят в калориметре В-08 (см. рис. 2.2), Основными частями калориметра являются: сосуд калориметрический 1; оболочка калориметрического сосуда воздушная 2; оболочка калориметрического сосуда водяная 3; бомба калориметрическая 4; оптическое устройство 5; привод мешалки калориметрического сосуда (двигатель Д32) 6; привод мешалки водяной оболочки калориметрического сосуда (двигатель ДВА-У4) 7; основание калориметра 8.

Калориметрический сосуд 1 изготовлен из латуни толщиной 1 мм. Снаружи поверхность сосуда полирована. Емкость сосуда 3,4 литра. Через горловину в сосуд на подставку ставят бомбу 4. Горловина закрывается крышкой 9 с токоподводами цепи зажигания. В нижней части сосуда имеется подпятник 10 для оси мешалки сосуда, на которой закреплены две крыльчатки. Ось мешалки сосуда проходит внутри нагревателя 11, а ее вращение осуществляется от электродвигателя (Д32) 6 со скоростью 260 об/мин. Электродвигатель закреплен на съемной крышке 12.

Наружные стенки 13 воздушной оболочки калориметрического сосуда изготовлены из латуни, внутренняя поверхность их отполирована, В нижней части оболочки сосуда укреплены подставки 14 из оргстекла для установки сосуда 1.

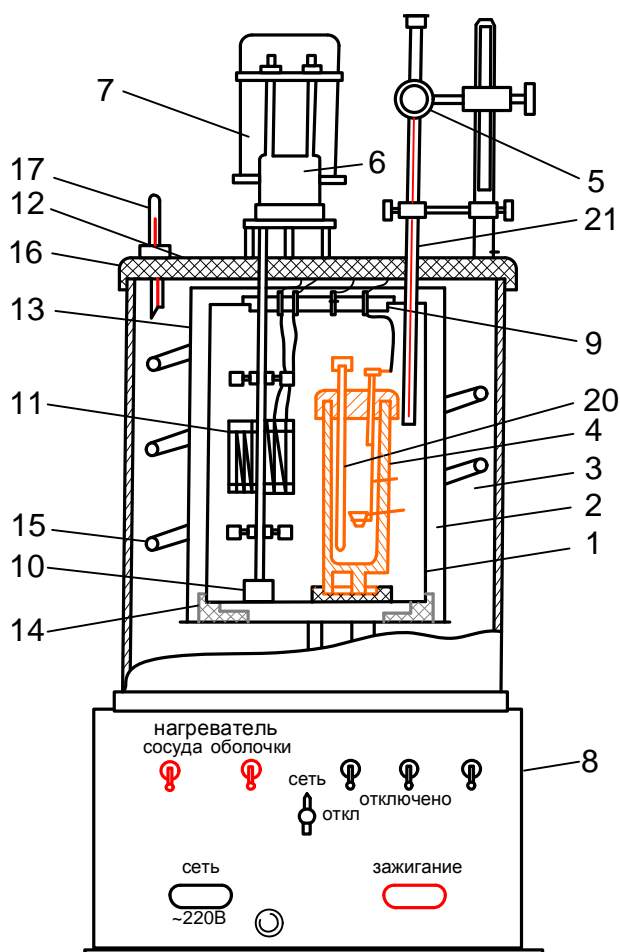


Рисунок 2.2 – Калориметр В-08-III

Оболочка калориметрического сосуда водяная 3 представляет из себя бак, внутри которого помещается змеевик для охлаждения воды 15. На крышке 16 оболочки закреплены нагреватель и мешалка. В крышке 16 оболочки имеются отверстия для термометра (ТЛ19) 17, привода 7 мешалки водяной оболочки, отверстие для проводов питания, а также большое фигурное отверстие для съемной крышки 12. На этой крышке закреплен привод 6 мешалки калориметрического сосуда (электродвигатель Д-32).

Калориметрическая бомба 4 представляет собой толстостенный цилиндрический стакан, изготовленный из нержавеющей стали, с герметически закрывающейся крышкой. В крышке бомбы имеются два сквозных канала для впуска кислорода и выпуска газов, оборудованных клапанами, и держатель 18 для тигля 19. Впускной клапан с внутренней стороны крышки переходит в трубку 20, не доходящую до дна бомбы. Назначение этой трубки заключается в уменьшении выдувания части навески порошкообразного топлива из тигля при заполнении бомбы кислородом. Навеска топлива, помещаемая в тигель 19, поджигается с помощью электрозапального устройства. Подвод тока к про-

волоке электрозапала производится по трубке 20 и держателю 18, которые изолированы от корпуса бомбы и имеют зажимные устройства для запала.

Оптическое устройство 5 представляет собой цилиндр, в который вмонтированы лупа и осветитель. Измерение температуры воды в сосуде в процессе опыта производится термометром переменного наполнения (ТЛ-1) 21, вставляемым в отверстие между лупой и осветителем и имеющим наряду с основным резервуаром ртути запасной. Это позволяет производить измерения в широком интервале температур (от -30 до $+200$ °С) при рабочей части шкалы в $6-8$ °С. При измерениях в зоне высоких температур часть ртути из основного резервуара переливают в запасной; при измерениях в зоне низких температур наоборот – из запасного в основной.

Основание 8 является опорной частью калориметра и служит для размещения шасси. Элементы электрического оборудования, расположенные на шасси и крышке, обеспечивают работу всех узлов калориметра.

4. Содержание отчета

1. Запись результатов опыта в виде таблицы.
2. Результаты вычисления удельной теплоты сгорания в бомбе аналитической пробы топлива.
3. Результаты пересчетов удельной теплоты сгорания в бомбе аналитической пробы топлива на высшую теплоту сгорания аналитической пробы, на высшую теплоту сгорания рабочей пробы, на низшую теплоту сгорания рабочей пробы.
4. Графическая зависимость температуры воды в калориметрическом сосуде от времени (следует выделить на графике начальный, главный, конечный периоды опыта).

5. Контрольные вопросы

1. Что такое теплота сгорания топлива?
2. Что такое рабочая, сухая и горючая массы топлива?
3. Что такое условное топливо, как определяется его расход?
4. Что такое топливный эквивалент?
5. Что называется высшей и низшей теплотой сгорания топлива?
6. Способы определения теплоты сгорания топлива, их преимущества и недостатки.
7. Сущность определения теплоты сгорания топлива в калориметрической установке.
8. Устройство калориметрической установки.
9. Что следует понимать под балластом топлива?
10. Чем отличается теплота сгорания аналитической пробы топлива по бомбе от высшей теплоты сгорания аналитической пробы топлива?

11. Что такое углефикация?

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВНОЙ ВЯЗКОСТИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

1. Введение

Продукты, получаемые из нефти, составляют основную массу жидких топлив.

В качестве нефтяных жидких топлив используют дистилляты прямой перегонки нефти (бензин, лигроин, керосин, газойль и соляр), крекинг-бензин и крекинг-керосин.

Жидкие котельные топлива представляют собой тяжелые остатки прямой перегонки нефти и крекинг-остатки (мазуты), а также продукты термической переработки каменных углей и горючих сланцев, (смолы и масла). Иногда в качестве котельного топлива применяются сырые тяжелые нефти, в которых отсутствуют легкие фракции.

Значительное количество получаемых котельных жидких топлив составляют мазуты, используемые в топках парогенераторов многих тепловых электростанций.

Одним из важнейших показателей качества мазута является вязкость, характеризующая текучесть жидкого топлива. В зависимости от исходной вязкости мазут подогревается для обеспечения нормального слива, транспортирования по трубопроводам и распыливания.

При увеличении вязкости затрудняется перекачка по трубам, ухудшается процесс распыливания и уменьшается полнота сгорания топлива.

Жидкое топливо к хранилищам, как правило, доставляют в железнодорожных цистернах и танкерах. Высоковязкий парафинистый мазут застывает, поэтому для снижения вязкости и придания ему текучести его подогревают в цистернах. Подогретый мазут подают в резервуары по специальным обогреваемым паром лоткам и трубопроводам.

Для получения хорошей текучести мазута необходимо, чтобы условная вязкость $VU_{50} = 5-10$ °С. С этой целью его подогревают до 80–120 °С.

Знание условной вязкости жидких топлив необходимо для расчета расхода энергии на перекачку топлива, для определения времени слива их из емкости и температуры подогрева, обеспечивающей оптимальные условия его распыливания в топке.

Вязкость является важнейшей характеристикой масла, обуславливающей экономичность работы узлов трения. Применение масла с большой вязкостью вызывает увеличение потери мощности на трение, затрудняет запуск

двигателей и ухудшает прокачивание масла по каналам масляной системы. Недостаточная вязкость масла может привести к нарушению жидкостного трения, увеличению износа деталей и потере масла вследствие обильного вытекания его через зазоры трущихся пар. Таким образом, масло должно обладать оптимальной вязкостью, достаточной для обеспечения жидкостного трения на основных режимах работы механизма при минимальном расходе.

2. Цель работы

Освоение методики и экспериментальное определение условной вязкости нефтепродукта.

3. Оборудование, измерительные приборы, образцы

Определение условной вязкости жидкого топлива и других нефтепродуктов проводится в вискозиметре типа ВУ (конструкции Энглера) (рис. 2.3).

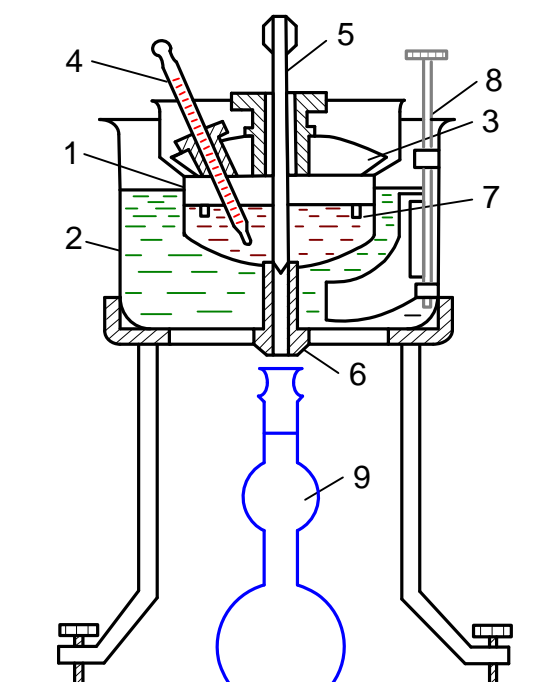


Рисунок 2.3 – Вискозиметр ВУ (Энглера): 1 – сосуд для испытуемого топлива; 2 – сосуд для термостатирующей жидкости; 3 – крышка; 4 – термометр; 5 – стержень; 6 – сливная трубка; 7 – штиф; 8 – мешалка; 9 – колба

Вискозиметр состоит из внутреннего отполированного и посеребренного сосуда 1 для испытуемого продукта и внешнего сосуда 2, заполняемого водой или маслом. Сосуд 2 предназначен для термостатирования сосуда 1 и оборудован электрообогревом, регулируемым с помощью реостата или автотрансформатора. Внутренний сосуд закрывается крышкой 3 с двумя отверстиями для термометра 4, используемого для измерения температуры испы-

туемого, нефтепродукта, и деревянного стержня 5, свободно проходящего через крышку и служащего для закрывания сливного отверстия калиброванной трубки 6. К стенкам внутреннего сосуда 1 прикреплены три заостренных штифтика 7, изогнутых вверх под прямым углом. Эти штифтики служат указателями высоты уровня наливаемой жидкости, и в то же время по ним устанавливают горизонтальность ее положения в приборе. Во внешнем сосуде 2 имеется мешалка 8 и термометр для измерения температуры термостатирующей жидкости.

4. Содержание отчета

1. Результаты определения водного числа вискозиметра.
2. Результаты определения условной вязкости нефтепродукта.
3. Графические зависимости условной и кинематической вязкости нефтепродукта от температуры.

5. Контрольные вопросы

1. Для чего необходимо знать вязкость нефтепродукта?
2. Что такое динамическая, кинематическая, удельная и условная вязкость?
3. Что такое водное число вискозиметра?
4. Какая зависимость существует между вязкостью нефтепродукта и его температурой?

Лабораторная работа № 7

ГАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

1. Введение

Основное влияние на экономичность работы котельного агрегата оказывают потери тепла из-за химической неполноты сгорания и потери с уходящими газами. Величина этих потерь зависит от количества воздуха, подаваемого в топку котла. Для поддержания нормального режима работы топни котла, оценки полноты выгорания топлива, определению плотности газового тракта осуществляют постоянный и периодический контроль за составом продуктов сгорания, особенно за содержанием двуокиси углерода, окиси углерода и водорода, характеризующих достигнутое соотношение между количествами топлива и воздуха.

Определение состава продуктов горения позволяет оценить:

степень совершенства процесса сгорания топлива (потери 1 тепла от химической неполноты сгорания);
условия сгорания топлива (коэффициент избытка воздуха);
характер сгорания топлива в отдельных зонах топочной камеры (динамика процесса горения);
размер присосов воздуха по газоходам котельного агрегата.

2. Цель работы

Освоение методики газового анализа продуктов сгорания топлива на газоанализаторе типа ОРС и экспериментальное определение состава дымовых газов.

3. Оборудование, измерительные приборы, образцы

Для проведения испытания применяются:

раствор едкого калия;
щелочной раствор пирогаллола;
газоанализатор РХП-3.

Газоанализатор ГХП-3 (рис. 2.4) состоит из деревянного футляра 15, гребенки 5, поглотительных сосудов 12, 13, сосуда – бюретки 14, сосуда – фильтра 2, уравнивательной склянки 17, тройника 4 с баллоном-мешочком.

Отбор пробы газов для анализа осуществляется через трубку 1. В гребенке 5 имеются краны 6, 7, 9, 10, а на ответвлениях гребенки к поглотительным сосудам нанесены контрольные метки 8, 11. Гребенка 5 соединена с грушей 16 для продувки газохода.

4. Содержание отчёта

В отчете следует привести результаты обработки экспериментальных данных по определению состава дымовых газов, их объемов и коэффициента избытка воздуха.

5. Контрольные, вопросы

1. Что такое коэффициент избытка воздуха и от чего он зависит?
2. На каком принципе основана работа газоанализатора?
3. Порядок выполнений работы.
4. Что такое топливный коэффициент?
5. Что такое химический недожог и от чего он зависит?
6. Как влияет коэффициент избытка воздуха на работу котельного агрегата?
7. Для чего необходим газовый анализ продуктов сгорания топлива?
8. Состав дымовых газов при полном и неполном сгорании топлива?

9. Что такое действительно необходимое и теоретически необходимое количество воздуха?

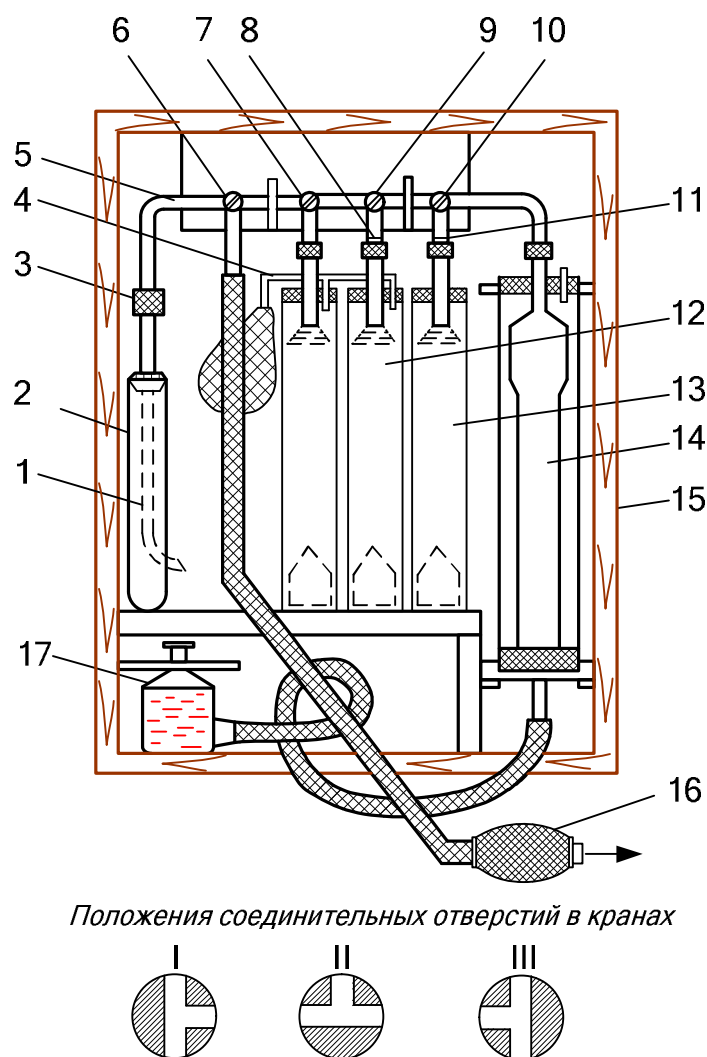


Рисунок 2.4 – Схема газоанализатора типа GXII-3

Лабораторная работа №8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

1. Общие сведения

Гранулометрический состав топлива – характеристика крупности его кусков (или частиц). От этой характеристики зависит выбор технических параметров многих устройств системы топливоподачи (решеток на разгрузочных лотках, дробилок). Гранулометрический состав топливной пыли, пода-

ваемой к горелкам, существенно влияет на процесс горения топлива. При сжигании топлива от размеров частиц пыли зависят их траектория и продолжительность пребывания в топке, интенсивность тепло- и массообменных процессов на поверхности частиц, а следовательно, устойчивость воспламенения, скорость и время сгорания. От тонкости топливной пыли зависит величина механического недожога, т.е. экономичность сжиганий топлива. Размеры частиц влияют также на интенсивность шлакования поверхностей нагрева котла.

При термической переработке топлива в схемах его комплексного энерготехнологического использования от размеров частиц зависит скорость их прогрева, степень вторичных преобразований, которым подвергается выделяющаяся парогазовая смесь продуктов термической переработки. Оба этих фактора оказывают существенное влияние на выход и состав получаемых продуктов, на их ценность как сырья для производства химической продукции, искусственного жидкого и твердого топлива.

Таким образом, для оптимизации процессов топливо-использования требуется правильный выбор степени измельчения топлива, т.е. рациональное задание дисперсности топливной пыли. Это, в свою очередь, определяет режим работы систем пылеприготовления, а, следовательно, расход электроэнергии на собственные нужды.

Количественным показателем дисперсности зернистых и порошкообразных материалов является гранулометрический состав.

2. Цель работы

Освоение методики экспериментального определения гранулометрического состава топливной пыли; определение гранулометрического состава топливной пыли; отыскание параметров n и b , характеризующих степень неоднородности частиц пыли и степень ее общей измельченности; построение интегральной и дифференциальной кривых распределения массы топлива по размерам частиц.

3. Оборудование, измерительные приборы, образцы

Для взвешивания исходной пробы топлива и остатков на ситах используются аналитические весы. Взвешивание производят с точностью до 0,01 г.

Просеивание пробы пыли производят механически на приборе модели 029 (рис. 2.5). Все основные узлы прибора смонтированы на крышке 2, которая крепится к станине 1. Комплект сит 3 с навеской топлива устанавливается на столик 4, который получает вращательное и возвратно-поступательное движение. Сита с навеской топлива накрываются сверху крышкой 5 с резиновой пробкой в центральном углублении, по которой во время работы ударяет

рычаг 6, осуществляя встряхивание комплекта сит. Подъем и опускание рычага 6 производится с помощью толкателя 7.

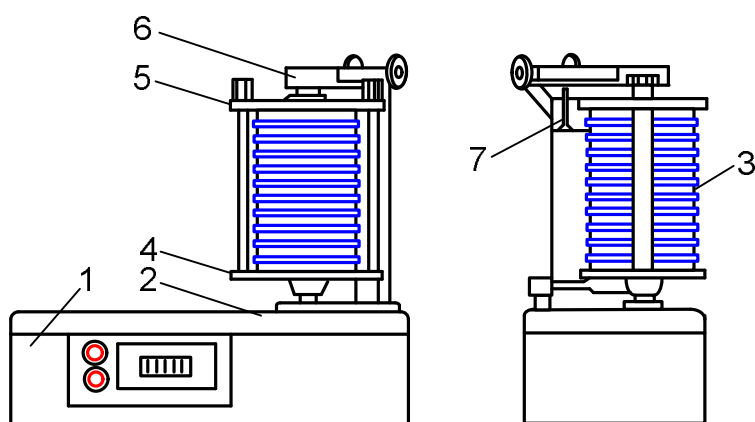


Рисунок 2.5 – Прибор модели 029: 1 – станина; 2 – крышка станины; 3 – комплект сит; 4 – столик; 5 – крышка; 6 – рычаг; 7 – толкатель

Привод прибора осуществляется от электродвигателя, включение в работу и экстренный останов – кнопками управления «Пуск» и «Стоп». Программное реле времени автоматически отключает прибор в заданное время.

3. Содержание отчета

1. Результаты определения гранулометрического состава топливной пыли в виде табл. 1.3.
2. Результаты определения параметров n и b .
3. Интегральная и дифференциальная кривые распределения массы топлива по размерам частиц топливной пыли.

4. Контрольные вопросы

1. Какое значение имеет гранулометрический состав топлива в практике его использования?
2. Что такое ситовой анализ топлива? Количественные показатели ситового анализа.
3. Что такое зерновые (ситовые) характеристики топлива?
4. Что характеризуют параметр n и b ?
5. Чем характеризуется степень измельчения топливной пыли на электростанциях?
6. Как выполнить работу и обработать полученные результаты?
7. По величине n определить в какой мельнице произведен размол топлива.

При подготовке к выполнению и защите лабораторной работы необходимо использовать специализированную литературу.

Список специализированной литературы для самостоятельной подготовки при выполнении и защите лабораторных работ:

1. Белосельский, Б. С. Энергетическое топливо: Учеб. для вузов / Б.С. Белосельский, В. К. Соляков. – М., 1960. – 168 с.
2. Авдеева, А. А. Контроль топлива на электростанциях: Учеб. для вузов / А. А. Авдеева, Б. С. Белосельский, М. Н. Краснов. – М., 1973. – 384 с.
3. Хзмалян, Д. М. Теория горения и топочные устройств: Учеб. для вузов / Д. М. Хзмалян, Я. А. Каган. – М., 1976. – 486 с.
4. Стырикович, М. А. Парогенераторы электростанций: Учеб. для вузов / М. А. Стырикович, К. Я. Катковская, Е. П. Серов. – М. – Л., 1966. – 384 с.
5. Резников, М. И. Паровые котлы тепловых электростанций: Учеб. для вузов / М. И. Резников, Ю. М. Липов. – М., 1981. – 240 с.
6. Белосельский, Б. С. Контроль твердого топлива на электростанциях: Учеб. для вузов / Б. С. Белосельский, В. С. Вдовченко. – М., 1987. – 176 с.
7. Киселев, Н. А. Котельные установки: Учеб. для вузов / Н. А. Киселев. – М., 1979. – 270 с.
8. Кумсков, В. Т. Топливо и масла электрических станций: Учеб. для вузов / В. Т. Кумсков, Л. И. Покалюк. – М., 1969. – 256 с.
9. Отс, А. А. Процессы в парогенераторах при сжигании сланцев и канско-ачинских углей: Учеб. для вузов / А. А. Отс. – М., 1977. – 312с.
10. Куликов, В. Т. Топливо и масла электрических станций: Учеб. для вузов / В. Т. Куликов, А. И. Покалюк. – М., 1969. – 256с.
11. Камнева, Л. И. Химия горючих ископаемых: Учеб. для вузов / Л. И. Камнева. – М, 1974. – 272 с.
12. Кумсков, В. Т. Топливо и масла электрических станций: Учеб. для вузов / В. Т. Кумсков, А. Л. Покалюк. – М., 1969. – 256 с.
13. Авдеева, А. А. Хроматография в энергетике: Учеб. для вузов / А. А. Авдеева. – М., 1980. – 272.
14. Авдеева, А. А. Контроль сжигания газообразного топлива: Учеб. для вузов / А. А. Авдеева. – М., 1971. – 256 с.

3. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

В соответствии с квалификационными характеристиками выпускники теплоэнергетических специальностей энергетических и технических вузов должны не только понимать физику процессов, происходящих при работе оборудования ТЭС и АЭС, но и уметь применять теоретические знания для решения практических задач, как при конструировании, так и при наладке теплотехнического оборудования.

Учебники и учебные пособия по котельным установкам слабо способствуют развитию практических навыков выполнения поверочных и проектных расчетов. При выполнении курсового проекта тоже, как правило, не ставится задача детально проанализировать влияние различных факторов на результат расчета в зависимости от особенностей режима работы котельного агрегата и характеристик сжигаемых топлив.

Известно, что наиболее глубокое понимание любого явления достигается изучением влияния на него различных факторов путем решения конкретных задач. Задачи подобраны таким образом, чтобы на конкретных расчетах проследить влияние различных факторов на рассматриваемый показатель.

Разбор задач происходит, как правило, на практических занятиях, а внеурочное время студент выполняет домашнее задание, связанное с решением новых задач с целью закрепления полученных на занятиях знаний.

Точность расчета величин при решении задач принята следующая: величины, имеющие большие численные значения (энтальпии, температуры газов и рабочей среды, объемы и поверхность стен топки и др.), ограничиваются одним знаком после запятой, величины, имеющие малые значения (удельные объемы, теплоемкости), – двумя, тремя значащими цифрами или согласно справочным материалам.

Задачи классифицированы по разделам учебного пособия. Пример задач, используемых для самостоятельной проработки приведен ниже.

1. Общие положения

Задача: Определить низшую теплоту сгорания на горючую массу кузнецкого угля марки СС в международной системе единиц, если низшая теплота сгорания на горючую массу в технической системе единиц составляет $Q_i^{daf} = 7332,6$ ккал/кг.

Решение: Переводим значение теплоты сгорания в систему СИ:

$$Q_i^{daf} = 7332,6 \cdot 4,1868 = 30700,1 \text{ кДж/кг} = 30,7 \text{ МДж/кг.}$$

2. Основные определения, классификация и типы паровых котлов

Задача: Определить паропроизводительность и давление перегретого пара котельного агрегата БКЗ-420-140ПТ-2 в международной системе единиц.

Решение: Переводим значение паропроизводительности в систему СИ:

$$D_{ne} = 420/3,6 = 116,7 \text{ кг/с.}$$

Переводим значение давление перегретого пара в систему СИ:

$$p_{ne} = 140,0 \cdot 98066,5 = 13729310,0 \text{ Па} = 13,7 \text{ МПа.}$$

3. Энергетическое топливо

Задача: При лабораторных исследованиях был получен элементный состав кузнецкого угля марки СС на горючую массу: $C^{daf} = 84,0 \%$; $H^{daf} = 4,5 \%$; $N^{daf} = 2,0 \%$; $O^{daf} = 9 \%$; $S^{daf} = 0,5 \%$. Определить состав рабочей массы топлива, если влажность и зольность топлива на рабочую массу при его анализе составила: $W^r = 12 \%$; $A^r = 11,4 \%$.

Решение: Определяем коэффициент пересчета с горючей массы на рабочую:

$$K_{z-p} = \frac{100 - W^r - A^r}{100} = \frac{100 - 12,0 - 11,4}{100} = 0,766.$$

Содержание углерода на рабочую массу находим по формуле:

$$C^r = C^{daf} \cdot K_{z-p} = 84,0 \cdot 0,766 = 64,34 \%$$

Аналогично по другим составляющим:

$$H^r = 3,45 \%; N^r = 1,53 \%; O^r = 6,9 \%; S^r = 0,38 \%$$

Проверим суммарный состав рабочей массы:

$$C^r + H^r + N^r + O^r + S^r + W^r + A^r = 64,34 + 3,45 + 6,9 + 1,53 + 0,38 + 11,4 + 12,0 = 100\%.$$

4. Материальные балансы процесса горения топлива

Задача: Определить на выходе из топки объем продуктов полного сгорания 1 кг угля состава: $C^r = 54,7 \%$; $H^r = 3,3 \%$; $N^r = 0,8 \%$; $O^r = 4,8 \%$; $S^r = 0,8 \%$; $A^r = 27,6 \%$; $W^r = 8,0 \%$, если коэффициент избытка воздуха в топочной камере $\alpha_m = 1,3$.

Решение: Теоретический объем воздуха, необходимый для полного сгорания 1 кг топлива, определяем по формуле:

$$V_e^0 = 0,0889(C^r + 0,375S^r) + 0,265H^r - 0,0333O^r = \\ = 0,0889(54,7 + 0,375 \cdot 0,8) + 0,265 \cdot 3,3 - 0,0333 \cdot 4,8 = 5,600 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Объем сухих газов при $\alpha_m = 1,3$ находим по формуле:

$$V_{cз} = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + (\alpha_m - 1)V_e^0 = 1,029 + 4,430 + (1,3 - 1) \cdot 5,6 = 7,139 \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$\text{где } V_{RO_2} = 1,866 \frac{C^r + 0,375 \cdot S^r}{100} = 1,866 \frac{54,7 + 0,375 \cdot 0,8}{100} = 1,029 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V_e^0 + 0,8 \frac{N^r}{100} = 0,79 \cdot 5,6 + 0,8 \frac{0,8}{100} = 4,430 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Объем водяных паров при $\alpha_m = 1,3$ определяем по формуле:

$$V_{H_2O}^0 = 0,111H^r + 0,0124W^r + 0,0161\alpha_m V_e^0 = 0,111 \cdot 3,3 + 0,0124 \cdot 8,0 + \\ + 0,0161 \cdot 1,3 \cdot 5,6 = 0,585 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Объем продуктов полного сгорания находим по формуле:

$$V_z = V_{cз} + V_{H_2O} = 7,139 + 0,585 = 7,73 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

5. Тепловой баланс и КПД котельного агрегата

Задача: Чему равен рассчитанный по низшей теплоте сгорания КПД (брутто) «идеального» (без теплопотерь) котельного агрегата, сжигающего мазут со следующими характеристиками: $Q_i^r = 40 \text{ МДж/кг}$, $H^r = 12 \%$, $W^r = 0 \%$, если продукты сгорания в нем удалось бы охладить до температуры наружного воздуха, равной $0 \text{ }^\circ\text{C}$?

Решение: Так как тепловых потерь нет, то полезно используются все 40 МДж теплоты, выделяющихся при сжигании 1 кг мазута. Кроме того, практически весь водяной пар, образующийся при горении, конденсируется при охлаждении газов до 0 °С и теплота конденсации тоже используется полезно. Таким образом, определяем КПД (брутто) по формуле:

$$\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} = \frac{100 \cdot (Q_i^r + 25 \cdot 9 H^r)}{Q_i^r} = \frac{100 \cdot (40000 + 25 \cdot 9 \cdot 12)}{40000} = 106,8 \%$$

6. Подготовка топлива к сжиганию

Задача: Определить максимально допустимый золовой износ стенки углеродистой трубы воздухоподогревателя котельного агрегата работающего на подмосковном угле марки 2Б состава: $C^r = 24,3 \%$; $H^r = 1,9 \%$; $S^r = 2,5 \%$; $O^r = 8,2 \%$; $A^r = 30,6 \%$, если остаток пыли на сите размером 90 мкм $R_{90} = 60$, коэффициент, учитывающий абразивные свойства золы, $a = 14 \cdot 10^{-9} \text{ м} \cdot \text{с}^3 / (\text{кг} \cdot \text{ч})$, коэффициент, учитывающий сопротивление металла износу, $m = 1$, коэффициент неравномерности концентрации золы $\beta_{\text{к}} = 1,2$, коэффициент неравномерности скорости газов $\beta_{\text{в}} = 1,25$, средняя скорость газа в узких промежутках между трубами $\omega_{\text{с}} = 9 \text{ м/с}$, поперечный шаг расположения труб $S_1 = 0,054 \text{ м}$, наружный диаметр трубы $d_{\text{н}} = 0,04 \text{ м}$, длительность работы поверхности нагрева $\tau = 8160 \text{ ч/год}$, доля золы топлива, уносимой продуктами сгорания из топки, $a_{\text{ун}} = 0,85$ и коэффициент избытка воздуха в воздухоподогревателе $\alpha_{\text{вн}} = 1,4$.

Решение: Теоретически необходимый объем воздуха – по формуле:

$$V_{\text{в}}^0 = 0,0889(C^r + 0,375S^r) + 0,265H^r - 0,0333O^r = \\ = 0,0889(24,3 + 0,375 \cdot 2,5) + 0,265 \cdot 1,9 - 0,0333 \cdot 8,2 = 2,47 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Массу дымовых газов определяем по формуле:

$$G_2 = 1 - 0,01A^r + 1,306\alpha_{\text{вн}}V_{\text{в}}^0 = 1 - 0,01 \cdot 30,6 + 1,306 \cdot 1,4 \cdot 2,47 = 5,21 \text{ кг/кг}.$$

Концентрацию золы в продуктах сгорания определяем по формуле:

$$\mu_{\text{зн}} = \frac{A^r \cdot a_{\text{ун}}}{100G_2} = \frac{30,6 \cdot 0,85}{100 \cdot 5,21} = 0,05 \text{ кг/кг}$$

Максимально допустимый золовый износ стенки – по формуле:

$$\begin{aligned}
 h_{\max} &= 0,028 \cdot a \cdot m \cdot \beta_{\kappa} \cdot \mu_{\text{зл}} (\beta_{\omega} \cdot \omega)^3 \left(\frac{S_1 - d_H}{S_1} \right)^{1,8} \tau \cdot R_{90}^{0,6} = \\
 &= 0,028 \cdot 14 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 0,05 (1,25 \cdot 9)^3 \left(\frac{0,054 - 0,04}{0,054} \right)^{1,8} \cdot 8160 \cdot 60^{0,6} = \\
 &= 0,28 \text{ мм/год.}
 \end{aligned}$$

7. Теоретические основы горения топлива и топочных процессов

Задача: Определить во сколько возрастет скорость горения коксовой частицы каменного угля по уравнению $C + O_2 = CO_2$ при увеличении температуры горения с $t_1 = 1230$ °С до $t_2 = 1730$ °С, если значение энергии активации реакции $E = 125$ МДж/моль. В первом приближении константы $k_0 = const$. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

Решение: Отношение скоростей реакций находим по формуле:

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{e^{-\frac{E}{RT_2}}}{e^{-\frac{E}{RT_1}}} = \frac{e^{-\frac{125000}{8,31 \cdot 2003}}}{e^{-\frac{125000}{8,31 \cdot 1503}}} = \frac{e^{-7,51}}{e^{-10,01}} = 12,18.$$

8. Способы сжигания органического топлива

Задача: Определить тепловое напряжение топочного объема котельного агрегата с шахтно-мельничной топкой работающего на донецком угле марки Г, если площадь колосниковой решетки $F_p = 11,5$ м², объем топочного пространства $V_m = 52,16$ м³, тепловое напряжение площади колосниковой решетки $Q/F_p = 1270,0$ кВт/м²

Решение: Мощность, выделяющаяся в топке котлоагрегата определяем по формуле:

$$Q_m = V \cdot Q_i^r \quad F_p \Rightarrow Q/F_p = 11,5 \cdot 1270,0 = 14605,0 \text{ кВт.}$$

Тепловое напряжение топочного объема определяем по формуле:

$$Q/V_m = \frac{B \cdot Q_i^r}{V_m} = \frac{Q_m}{V_m} = \frac{14605,0}{52,16} = 280,0 \text{ кВт/м}^3.$$

9. Гидродинамика и температурный режим поверхностей нагрева

Задача: Определить скорость пароводяной смеси в контуре естественной циркуляции фронтального экрана котельного агрегата Е-220-9,8-540 ДТ, работающего при давлении в барабане $p_b = 10,8$ МПа, если объемное паросодержание потока $\beta'' = 0,3$, массовый расход пара через систему труб $G_n = 11,0$ кг/с, экран выполнен из труб с внутренним диаметром $d_{вн} = 0,048$ м, число экранных труб фронтального экрана $n = 98$ шт.

Решение: Поперечное сечение системы труб фронтального экрана:

$$f_0 = n \cdot \frac{\pi \cdot d_{вн}^2}{4} = n \cdot \frac{\pi \cdot d_{вн}^2}{4} = 98 \cdot \frac{3,1416 \cdot 0,048^2}{4} = 0,177 \text{ м}^2.$$

Объемный расход пара находим по формуле:

$$V_n = G_n / \rho'' = 11,0 / 61,2 = 0,18 \text{ м}^3/\text{с}$$

где $\rho'' = f(p_b) = 61,2$ кг/м³ – плотность насыщенного пара по давлению в контуре.

Объемный расход пароводяной смеси через систему труб находим по формуле:

$$V_{см} = V_n / \beta'' = 0,18 / 0,3 = 0,6 \text{ м}^3/\text{с}$$

Скорости пароводяной смеси находим по формуле:

$$\bar{w}_{см} = V_{см} / f_0 = 0,6 / 0,177 = 3,39 \text{ м/с}.$$

10. Водный режим котельных агрегатов

Задача: Котлоагрегат Е-320-13,8-560 КТ набрал нагрузку с 60% до 100% от номинала при этом расход продувочной воды не был изменен $W_{пр1} = 1,5$ кг/с. Насколько необходимо увеличить расход продувочной воды после

набора нагрузки для поддержания солесодержания продувочной воды на том же уровне.

Решение: Расход продувочной воды при нагрузке 100% от номинала определяем по формуле:

$$W_{np2} = W_{np1} \frac{D_{ne2}}{D_{ne1}} = 1,5 \frac{100}{60} = 2,5 \text{ кг/с.}$$

Увеличение продувочной воды составит:

$$\Delta W_{np} = W_{np2} - W_{np1} = 2,5 - 1,5 = 1,0 \text{ кг/с.}$$

11. Испарительные поверхности нагрева паровых котлов

Задача: Определить плотность экранирования стен топочной камеры котельного агрегата ПК-10 Ш, если ширина топочной камеры $b_m = 9,77$ м, наружный диаметр труб $d_n = 0,076$ м, число труб фронтного экрана $n = 102$ шт.

Решение: Шаг труб фронтного экрана определяем по формуле:

$$S_1 = \frac{b_m}{n+1} = \frac{9,77}{102+1} = 0,095 \text{ м.}$$

Плотность экранирования стен топочной камеры находим по формуле:

$$\sigma_s = S_1 / d_n = 0,095 / 0,076 = 1,25.$$

12. Пароперегреватели. Регулирование температуры перегретого пара

Задача: Определить количество ширм по ширине топки и число параллельно включенных трубок в одной ширме пароперегревателя котельного агрегата Е-500-13,8-560 БТ, если ширина топочной камеры $b_m = 11,26$ м, ширина ширмы $b_{ш} = 1,67$ м, поперечный шаг расположения ширм $S_1 = 0,66$ м, продольный шаг расположения труб в ширме $S_2 = 0,042$ м, наружный диаметр труб $d_n = 0,038$ м.

Решение: Количество ширм по ширине топки определяем по формуле:

$$n_{ш} = \frac{b_m - S_1}{S_1} = \frac{11,26 - 0,66}{0,66} = 16 \text{ шт.}$$

Количество параллельно включенных трубок в одной ширме определяем по формуле:

$$n = \frac{b_{ш} - 2 \cdot d_n}{2 \cdot S_2} + 1 = \frac{1,67 - 2 \cdot 0,038}{2 \cdot 0,042} + 1 = 20 \text{ шт.}$$

13. Низкотемпературные поверхности нагрева

Задача: Минимально допустимая температура воды, поступающей в экономайзер, должна быть, по крайней мере, на 10 °С выше температуры точки росы водяных паров. Определить допускаемую температуру питательной воды из условия коррозии металла для котельных агрегатов, работающих на борозинском буром угле марки 2Б состава: $C^r = 42,6 \%$; $H^r = 3,0 \%$; $S^r = 0,2 \%$; $N^r = 0,6 \%$; $O^r = 13,2 \%$; $A^r = 7,4 \%$; $W^r = 33,0 \%$, если доля золы топлива, уносимой продуктами сгорания из топки, $a_{yn} = 0,95$, давление продуктов сгорания в газоходе экономайзера принять равным $p_2 = 0,1$ МПа. Расчет выполнить по теоретическим объемам продуктов сгорания.

Решение: Теоретически необходимый объем воздуха определяем по формуле:

$$V_g^0 = 0,0889(C^r + 0,375S^r) + 0,265H^r - 0,0333O^r = \\ = 0,0889(42,6 + 0,375 \cdot 0,2) + 0,265 \cdot 3,0 - 0,0333 \cdot 13,2 = 4,149 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

Теоретический объем продуктов полного сгорания – по формуле:

теоретический объем азота:

$$V_{N_2}^0 = 0,79V_g^0 + 0,8 \frac{N^r}{100} = 0,79 \cdot 4,149 + 0,8 \frac{0,6}{100} = 3,283 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

теоретический объем трехатомных газов:

$$V_{RO_2} = 1,866 \frac{C^r + 0,375S^r}{100} = 1,866 \frac{42,6 + 0,375 \cdot 0,2}{100} = 0,796 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

теоретический объем водяных паров:

$$V_{H_2O}^0 = 0,111H^r + 0,0124W^r + 0,0161V_g^0 = \\ = 0,111 \cdot 3,0 + 0,0124 \cdot 33,0 + 0,0161 \cdot 4,149 = 0,809 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

теоретический объем дымовых газов:

$$V_z^0 = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0 = 0,796 + 3,283 + 0,809 = 4,888 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Парциальное давление водяных паров определяем по формуле:

$$p_{H_2O} = (V_{H_2O}^0 / V_z^0) p_z = (0,809 / 4,888) \cdot 0,1 = 0,0166 \text{ МПа}.$$

Температуру конденсации водяных паров определяем, как температуру насыщения пара при его парциальном давлении:

$$t_k = f(p_{H_2O}) = 56,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Низшую теплоту сгорания рабочей массы топлива определяем по формуле:

$$Q_i^r = 339C^r + 1030H^r - 109(O^r - S^r) - 25W^r = 339 \cdot 42,6 + 1030 \cdot 3,0 - \\ - 109(13,2 - 0,2) - 25 \cdot 33,0 = 15289,4 \text{ кДж/кг}$$

Приведенную зольность топлива находим по формуле:

$$A^n = A^r / Q_i^r = 7,4 / 15,289 = 0,484 \% \cdot \text{кг/МДж}.$$

Приведенную сернистость топлива находим по формуле:

$$S^n = S^r / Q_i^r = 0,2 / 15,289 = 0,013 \% \cdot \text{кг/МДж}.$$

Температуру точки росы продуктов сгорания определяем по формуле:

$$t_p = \frac{202 \sqrt[3]{S^n}}{1,23^{a_{\text{гн}} \cdot A^n}} + t_k = \frac{202 \sqrt[3]{0,013}}{1,23^{0,95 \cdot 0,484}} + 56,1 = 99,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Допускаемую температуру питательной воды из условия конденсации водяных паров определяем по формуле:

$$t_{нс} = t_p + 10 = 99,3 + 10 = 109,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

14. Металлы и прочность элементов паровых котлов

Задача: Определить на сколько фактическая толщина стенки барабана больше её расчетного значения для котельного агрегата ПК-10 Ш2, если фактическая толщина стенки барабана $\delta_\phi = 87$ мм, наружный диаметр $d_n = 1474$ мм, давление в барабане котлоагрегата $p_\phi = 10,8$ МПа, номинальное допускаемое напряжение $\sigma_{дон}^* = 126$ МПа, коэффициент прочности барабана $\varphi_{np} = 0,85$, коэффициент, учитывающий конструктивные и эксплуатационные особенности барабана $\eta_{np} = 1$, прибавка к расчетной толщине стенки $C = 1$ мм. Предохранительный клапан настроен на превышение давления в барабане $\Delta p_\phi = 8 \%$.

Решение: Максимальное избыточное давление в барабане находим по формуле:

$$p_\phi = p_\phi \left(1 + \frac{\Delta p_\phi}{100} \right) = 10,8 \left(1 + \frac{8}{100} \right) = 11,664 \text{ МПа}.$$

Допускаемое напряжение определяем по формуле:

$$\sigma_{дон} = \eta_{np} \cdot \sigma_{дон}^* = 126 \cdot 1 = 126 \text{ МПа}.$$

Расчетную толщину стенки находим по формуле:

$$\delta = \frac{p \cdot d_n}{2 \cdot \varphi_{np} \cdot \sigma_{дон} + p} + C = \frac{11,664 \cdot 1474}{2 \cdot 0,85 \cdot 126 + 11,664} + 1 = 77,1 \text{ мм}.$$

Разность между фактической и расчетной толщиной стенки барабана находим по формуле:

$$\Delta \delta = \delta_\phi - \delta = 87,0 - 77,1 = 9,9 \text{ мм}.$$

15. Трубопроводы, арматура и гарнитура котла

Задача: Определить пропускную способность рабочего предохранительного клапана, установленного на барабане котельного агрегата ПК-10 Ш, если давление в барабане $p_{\sigma} = 10,8$ МПа, расчетная площадь сечения клапана $F_{нк} = 42,36$ см², коэффициент расхода пара $a_{нк} = 0,7$, коэффициент, учитывающий физико-химические свойства пара $B_{нк} = 0,535$. Клапан настроен на превышение давления в барабане $\Delta p_{\sigma} = 8$ %.

Решение: Переводим значения расчетной площади сечения клапана в мм²:

$$F_{нк} = 42,36 \cdot 100 = 4236 \text{ мм}^2.$$

Максимальное избыточное давление перед предохранительным клапаном находим по формуле:

$$p_{нк} = p_{\sigma} \left(1 + \frac{\Delta p_{\sigma}}{100} \right) = 10,8 \left(1 + \frac{8}{100} \right) = 11,664 \text{ МПа}.$$

Пропускную способность предохранительного клапана находим по формуле:

$$G_{нк} = 10 \cdot B_{нк} \cdot a_{нк} \cdot F_{нк} (p_{нк} + 0,1) = 10 \cdot 0,535 \cdot 0,7 \cdot 4236 (11,664 + 0,1) = 51,8 \text{ кг/с}.$$

16. Газовоздушный тракт и его оборудование

Задача: Определить расчетную подачу вентилятора котельного агрегата мощностью $Q_{\kappa} = 15$ МВт, работающего на галимовском антраците состава: $C^r = 63,7$ %; $H^r = 1,6$ %; $O^r = 2,6$ %; $S^r = 0,6$ %, если низшая теплота сгорания топлива на рабочую массу $Q_i^r = 22,48$ МДж/кг, коэффициент избытка воздуха $\alpha_{\sigma} = 1,25$, КПД (брутто) $\eta_{\kappa\alpha}^{\sigma p} = 90$ %, температура холодного воздуха $t_{xв} = 20$ °С. Барометрическое давление воздуха $h_{\sigma} = 98 \cdot 10^3$ Па.

Решение: Мощность, выделяющуюся в топке котлоагрегата, находим по формуле:

$$Q_m = Q_{\kappa} / \eta_{\kappa\alpha}^{\sigma p} = 15 / 0,9 = 16,67 \text{ МВт}.$$

Теоретический объем воздуха для сжигания 1 кг антрацита находим по формуле:

$$V_e^0 = 0,0889(C^r + 0,375S^r) + 0,265H^r - 0,0333O^r = \\ = 0,0889(63,7 + 0,375 \cdot 0,6) + 0,265 \cdot 1,6 - 0,0333 \cdot 2,6 = 6,02 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Расход топлива на котельный агрегат находим по формуле:

$$B = Q_m / Q_i^r = 16,67 / 22,48 = 0,74 \text{ кг/с}.$$

Производительность вентилятора определяем по формуле:

$$Q_e = BV_e^0 \alpha_e \frac{(t_{xв} + 273)}{273} \cdot \frac{1,01 \cdot 10^5}{h_B} = 0,74 \cdot 6,02 \cdot 1,25 \frac{(20 + 273)}{273} \cdot \frac{1,01 \cdot 10^5}{98 \cdot 10^3} = \\ = 6,2 \text{ м}^3/\text{с}.$$

17. Защита поверхностей нагрева от отложений

Задача: Определить расход золы и диоксида серы перед золоуловителем котлоагрегата Е-210-13,8-560 КБТ, работающего на райчихинском буром угле марки 2Б состава: $C^r = 34,9 \%$; $H^r = 2,1 \%$; $S^r = 0,3 \%$; $N^r = 0,5 \%$; $O^r = 11,3 \%$; $A^r = 13,9 \%$; $W^r = 37,0 \%$, если доля золы топлива, уносимой продуктами сгорания из топки, $a_{yn} = 0,95$, потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива $q_4 = 0,5 \%$, расход условного топлива $B_{усл} = 19,3 \text{ т/ч}$. Относительные молекулярные массы диоксида серы и серы соответственно равны: $M_{SO_2} = 64$, $M_S = 32$.

Решение: Переводим значение расхода условного топлива в систему СИ:

$$B_{усл} = B_{усл} / 3,6 = 19,3 / 3,6 = 5,36 \text{ кг/с}.$$

Низшую теплоту сгорания рабочей массы топлива определяем по формуле:

$$Q_i^r = 339C^r + 1030H^r - 109(O^r - S^r) - 25W^r = 339 \cdot 34,9 + 1030 \cdot 2,1 - \\ - 109(11,3 - 0,3) - 25 \cdot 37,0 = 11870,1 \text{ кДж/кг}$$

Расход натурального топлива определяем по формуле:

$$B = \frac{B_{\text{усл}} \cdot Q_{\text{усл}}}{Q_i^r} = \frac{5,36 \cdot 29310}{11870,1} = 13,24 \text{ кг/с.}$$

Расчетный расход натурального топлива находим по формуле:

$$B_p = B(1 - q_4/100) = 13,24(1 - 0,5/100) = 13,17 \text{ кг/с.}$$

Расход золы определяем по формуле:

$$B_z = 0,01n \cdot B_p \cdot a_{\text{зн}} \cdot A^r = 0,01 \cdot 1 \cdot 13,17 \cdot 0,95 \cdot 13,9 = 1,74 \text{ кг/с,}$$

где n – число котлоагрегатов.

Расход диоксида серы определяем по формуле:

$$B_{SO_2} = 0,01n \cdot B_p \cdot S^r (M_{SO_2} / M_S) = 0,01 \cdot 1 \cdot 13,17 \cdot 0,3(64/32) = 0,08 \text{ кг/с.}$$

Литература, используемая для решения задач соответствует списку литературы, рекомендованному для теоретического изучения дисциплины.

Сдача результатов самостоятельной работы осуществляется индивидуально посредством собеседования с преподавателем.

4. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В рамках освоения дисциплины «Котельные установки и парогенераторы» предусмотрено выполнение курсового проекта. Курсовой проект включает тепловой, аэродинамический и гидравлический расчеты котельного агрегата – 0,79 (28 часа). Курсовой проект выполняется в виде пояснительной записки и двух чертежей графической части. В пояснительной записке последовательно согласно требованиям стандарта СФУ излагается содержание выполненных тепловых, аэродинамических и гидравлических расчетов с разбивкой на самостоятельные разделы, эскизами и таблицами.

Индивидуальное для каждого студента задание на курсовой проект выдается преподавателем, проводящим практические занятия по данной дисциплине. К числу основных исходных данных относятся (см. табл. 4.1): заводские чертежи прототипа котельного агрегата, вид сжигаемого топлива и основные режимные параметры работы котельной установки.

При выполнении курсового проекта необходимо использовать основные и дополнительные литературные источники представленные в п. 4 соответствующей учебной программы.

Результаты расчетов сводятся в пояснительную записку, оформленную согласно стандарту СФУ. Графическая часть курсового проекта предусматривает выполнение на листах формата А1 продольного и поперечного разреза котельного агрегата с учетом найденных в расчете основных конструктивных размеров. Курсовой проект, пройдя нормоконтроль и технический контроль, представляется для публичной защиты на комиссии. Защита проекта предусматривает доклад по результату выполненной работы с последующим ответами на вопросы членов комиссии.

Таблица 4.1

Исходные данные для курсового проекта

№ вар.	Прототип кот-ла	Топливо	Паропроизводительность $D_{пе}$, т/ч	Давление острого пара, $P_{пе}$, МПа	Температура острого пара, $t_{пе}$, °С	Температура питательной воды, $t_{пв}$, °С	Температура уходящих газов, $t_{ух}$, °С	Температура холодного воздуха, $t_{хв}$, °С
1	БКЗ-220-100	Челябинский БЗ	230	10	550	200	160	20
2	БКЗ-220-100	Экибастузский СС	220	9	540	210	150	30
3	БКЗ-220-100	Кизеловский Г	210	11	530	220	140	40
4	БКЗ-220-100	Азейский БЗ	200	12	540	190	170	50
5	БКЗ-220-100	Черногорское Д	220	11	550	180	160	10
6	БКЗ-320-140	Назаровский БЗ	320	14	550	220	150	30
7	БКЗ-320-140	Липовецкий Д	330	15	560	210	160	20
8	БКЗ-320-140	Каа-хемский Г	340	16	570	200	170	10
9	БКЗ-320-140	Междуреченский ГЖ	310	13	540	190	160	20
10	БКЗ-320-140	Сулуктинский БЗ	300	12	530	180	180	30
11	БКЗ-320-140	Татауровский Б2	320	14	560	200	140	40
12	БКЗ-420-140	Волынский Г	420	14	540	190	140	10
13	БКЗ-420-140	Шаргуньский Г	430	13	550	200	150	20
14	БКЗ-420-140	Ирша-Бородинский Б2	410	14	560	210	160	50
15	БКЗ-420-140	Ирша-Бородинский Б2	400	12	570	220	130	40
16	БКЗ-420-140	Сангарский Д	440	15	550	180	140	30
17	БКЗ-420-140	Интинский Д	410	13	560	190	150	20
18	БКЗ-500-140	Артемовский БЗ	500	14	560	180	140	0
19	БКЗ-500-140	Анадырский БЗ	510	15	570	190	160	10
20	БКЗ-500-140	Бикинский Б1	520	15	550	200	150	20
21	БКЗ-500-140	Харанорский Б1	490	13	540	210	170	30
22	БКЗ-500-140	Кузнецкий Д	510	14	550	220	140	40
23	БКЗ-500-140	Боготольский Б1	480	12	530	200	150	10

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В методических указаниях представлен дидактический материал, позволяющий реализовать самостоятельную работу студента при изучении дисциплины «Котельные установки и парогенераторы». Материал связан с учебной программой дисциплины с разбивкой на компоненты: изучение теоретического курса, подготовка к выполнению и защите лабораторных работ и практических занятий, выполнение курсового проекта.

Сведения адаптированы применительно к условиям высшего технического учебного заведения. При составлении указаний использованы действующие в настоящее время Нормативные методики, ГОСТы и РД.

Методические указания ориентированы на изучение основных положений дисциплины «Котельные установки и парогенераторы» и на самостоятельную подготовку студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 140100 – теплоэнергетика и теплотехника.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Резников, М. И. Паровые котлы тепловых электростанций / М. И. Резников, Ю. М. Липов. М.: Энергоиздат, 1987
2. Ковалев, А. П. Парогенераторы / А. П. Ковалев, Н. С. Лелеев, Т. В. Виленский. М.: Энергоиздат, 1985
3. Липов, Ю. М. Котельные установки и парогенераторы / Ю. М. Липов, Ю. М. Третьяков. Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003. 592 с.
4. Мочан, С. И. Аэродинамический расчет котельных установок. Нормативный метод / С. И. Мочан. Л.: Энергия, 1977.
5. Болдина, С. М. Гидравлический расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / С. М. Болдина. М.: Энергия, 1978.
6. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. Изд. 3-е, перераб. и доп. С.-Петербург: НПО ЦКТИ-ВТИ. 1998. 257 с.
7. Липов, Ю. М. Тепловой расчет парового котла: Учебное пособие для вузов / Ю. М. Липов. Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика: 2001. 208 с.
8. Бойко, Е. А. Котельные установки и парогенераторы (конструкционные характеристики энергетических котельных агрегатов) / Е. А. Бойко, Т. И. Охорзина. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. 228 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Теоретический материал для самостоятельного изучения	4
2. Самостоятельная подготовка к выполнению и защите лабораторных работ	16
3. Самостоятельная подготовка к практическим занятиям	37
4. Самостоятельная подготовка к выполнению курсового проекта	50
Заключение	52
Список использованных источников	53