

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Северо-Западный государственный заочный технический университет

Кафедра теплотехники и теплоэнергетики

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Рабочая программа
Задание на курсовой проект
Практические работы и методические указания к их выполнению

Факультет энергетический
Направление и специальность подготовки дипломированного специалиста:
140100 – теплоэнергетика
140101 – тепловые электрические станции

Санкт-Петербург
2005

Утверждено редакционно-издательским советом университета
УДК 621.18.001.2/07

Проектирование и эксплуатация котельных установок: Рабочая программа, задание на курсовой проект, практические работы и методические указания к их выполнению. - СПб.: Изд-во СЗТУ, 2005. - 68 с.

Методический комплекс соответствует государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования по направлению подготовки дипломированного специалиста 140100 – «Теплоэнергетика» (специальность 140101 – «Тепловые электрические станции»).

Приводится перечень необходимых для изучения сведений по обоснованию выбора конструкции и расчету котельных установок и их тепловых схем, компоновке и расчету отдельных элементов котлов, а также по выбору материалов, применяемых в котлостроении; приведен перечень необходимых для изучения вопросов по эксплуатации котельных установок.

Указана литература, даны вопросы для самопроверки и задание на контрольную работу и курсовое проектирование. Приведены задачи для практических работ и методические указания к их выполнению.

Рассмотрено на заседании кафедры теплотехники и теплоэнергетики 19 октября 2005 г., одобрено методической комиссией энергетического факультета 20 октября 2005 г.

Рецензенты: кафедра теплотехники и теплоэнергетики Северо-Западного государственного заочного технического университета (зав. кафедрой **З.Ф. Каримов**, д-р техн. наук, проф.); **Н.Н.Гладышев**, канд. техн. наук, доц. кафедры теплосиловых установок и тепловых двигателей СПбГТУРП.

Составитель **Е.А. Блинов**, канд. техн. наук, проф.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель изучения дисциплины - приобретение знаний по проектированию котлов тепловых электрических станций и промышленных предприятий.

Задача изучения дисциплины - приобретение навыков по обоснованию конструкции котла, компоновке и расчету его отдельных элементов, а также по выбору материалов, применяемых при конструировании котлов. Важной частью изучения дисциплины является также приобретение навыков по оценке влияния эксплуатационных режимов на надежность котельной установки.

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- конструкции и характеристики современных котельных установок электростанций и промышленных предприятий и перспективы их развития;
- особенности расчетов тепловых схем различных котельных установок.

После изучения дисциплины студент должен уметь:

- обосновывать компоновочные схемы котельных установок;
- выбирать конструктивные материалы для изготовления котельных установок;
- производить конструктивные, поверочные тепловые, аэродинамические, гидравлические и прочностные расчеты котельных установок в целом и отдельных элементов;
- оценивать на стадии проектирования надежность отдельных элементов и в целом котельной установки;
- оценивать экономическую эффективность вариантов проектируемой котельной установки.

Дисциплина базируется на знании общетехнических и специальных дисциплин: «Топливо и теория горения», «Природоохранные технологии в теплоэнергетике», «Тепловые электростанции», «Режимы работы и эксплуатация ТЭС», «Котельные установки и парогенераторы».

Знание этой дисциплины используется при изучении курсов «Автоматизация энергетических установок ТЭС и АЭС», «Технико-экономические основы проектирования ТЭС и АЭС», а также при дипломном проектировании.

Значение дисциплины в формировании инженера-теплоэнергетика – курс «Проектирование и эксплуатация котельных установок» является одним из основных при подготовке инженера-теплоэнергетика, специализирующегося в области тепловых электрических станций. Изучение и знание этой дисциплины позволяет приобрести методическую и научную направленность в проектировании, наладке и эксплуатации котельной техники.

На очных занятиях (чтение лекций, практические работы) преподаватель дает примерно 0,1 материала дисциплины, остальные 0,9 студент изучает самостоятельно, используя рекомендованную литературу и консультации (очные и заочные) преподавателя.

При изучении курса рекомендуется составлять конспект по всем рассматриваемым вопросам. Это вырабатывает навыки самостоятельного творческого подхода к изучению своей специальности и позволяет полнее и глубже усвоить материал дисциплины.

При возникновении вопросов или неясностей в ходе изучения материала рекомендуется обратиться за консультацией на кафедру.

После изучения теоретического курса студенту следует написать реферат, выполнить практические работы и курсовой проект.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА (объем дисциплины 130 часов)

ВВЕДЕНИЕ

[6], с. 292...307; [7], с. 5...11, 14

Основные тенденции в развитии современной теплоэнергетики. Характеристики энергетических котельных установок; котлостроительные заводы Российской Федерации. Экономические показатели проектирования, научных исследований, строительства, эксплуатации и ремонта котельных установок.

Вопросы для самопроверки

1. Современное состояние и перспективы развития топливно-энергетического комплекса РФ.
2. Существующие котлостроительные заводы РФ; типы котлов, выпускаемых ими.
3. Характеристики современных энергетических котлов.
4. Типы и характеристики котлов, установленных на ТЭС.
5. Структура капитальных вложений в проектируемый котел.
6. Структура себестоимости котла.
7. Лимитная и проектная цены проектируемого котла.

1.1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЕКТИРОВАНИИ КОТЛОВ

[1], с. 145...151; [6], с. 8...25

Государственные стандарты на конструкторскую документацию. Основные стадии разработки проекта. Содержание этапов работ при проектировании. Общие требования к проектируемому котлу: технические требования; показатели качества; показатели надежности и безотказности; стоимость. Общие принципы проектирования. Требования к оформлению чертежей. Системы автоматизации проектирования.

Вопросы для самопроверки

1. Какие работы производят при составлении технического предложения?
2. Приведите порядок составления технического задания на проектирование.

3. Перечень работ, выполняемых при разработке эскизного проекта.
4. Задачи технического проекта и рабочего проекта.
5. Основные стадии разработки проекта.
6. Проектные показатели качества котла.
7. Критерии совершенства организации рабочих процессов проектируемого котла.
8. Соотношение технических характеристик и показателей качества проектируемого котла.
9. Показатели надежности и безотказности.
10. Руководящий принцип проектирования котла.
11. Методика комплексной оптимизации параметров проектируемого котла.
12. Требования к чертежам общего вида при разработке технического предложения.
13. Требования к чертежам общего вида эскизного проекта.
14. Перечислите основные блоки программы автоматизированного теплового расчета парового котла.

1.1.2. КОМПОНОВКА ПАРОВЫХ КОТЛОВ

[6], с. 25...42; [7], с. 187...193; [10], с. 7...28

Структура парового котла и задачи компоновки, объем информации, определяющей компоновку котла. Компоновка топки. Структура газовоздушного тракта. Параметры поперечных сечений трактов парового котла. Общая компоновка газовоздушного тракта, сочетание элементов парового котла с положением газоходов в пространстве, завершающие этапы компоновочных работ.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое общая компоновочная структура парового котла?
2. Что определяется в результате компоновочных работ при проектировании парового котла?
3. Классификация топок паровых котлов.
4. Требования к топочным устройствам.
5. Достоинства и недостатки П- и Г-образной компоновки паровых котлов.
6. Достоинства и недостатки Т-образной компоновки парового котла.
7. Достоинства и недостатки башенной компоновки котла.
8. Привести характеристики котлов со следующими компоновками: сомкнутая; N-образная; U-образная; L-образная.
9. Влияющие условия и особенности компоновки парового котла с разделением топки и конвективной шахты на две части (схема «дубль-блок»).
10. Порядок оценки поперечных сечений газовоздушного и пароводяного трактов котла.
11. Назначение и порядок составления идеализированной линейной компоновки газового тракта парового котла.

12. Выбор пространственного расположения газохода котла и размещения в нем элементов пароводяного тракта и воздухоподогревателя.
13. Влияние на выбор элементов пароводяного тракта и воздухоподогревателя проектных параметров котла и вида топлива.
14. Пояснить связь между предварительной и окончательной компоновками и конструктивно-функциональной схемой котельной установки.

1.1.3. ТЕПЛОВАЯ СХЕМА ПАРОВОГО КОТЛА

[6], с. 44...69; [7], с. 193...194; [8], с. 184...190; [10], с. 23...65; 162...168

Объем информации, необходимой для составления тепловой схемы котельной установки. Цель разработки тепловой схемы котла. Влияние различных факторов на тепловую схему: параметры рабочего тела и способы циркуляции; свойства топлива; температура подогрева воздуха; промежуточный перегрев пара и способы регулирования температуры пара; характер нагрузки энергоблока. Результаты разработки тепловой схемы.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите величины, необходимые для построения тепловой схемы котла.
2. Какова цель разработки тепловой схемы котла?
3. Поясните связь между рассчитанными параметрами тепловой схемы и геометрическими и теплофизическими параметрами проектируемых элементов котла.
4. Перечислите величины, необходимые для разработки тепловой схемы котла; приведите диапазон их численных значений.
5. Поясните связь между размещением парогенерирующих поверхностей котла и давлением пара.
6. Поясните связь между размещением пароперегревательных поверхностей в тепловой схеме котла и характеристиками топлива и топки.
7. Особенности тепловой схемы прямоточных котлов.
8. Поясните зависимость тепловой схемы котла от свойств топлива и от коэффициента μ_p прямой отдачи теплоты топки.
9. Особенности тепловых схем котлов и их классификация в зависимости от свойств топлива.
10. Влияние температуры подогрева воздуха на компоновку поверхностей нагрева котла.
11. Влияние промежуточного перегрева пара на тепловую схему котла.
12. Влияние способов регулирования температуры пара на тепловую схему котла.
13. Влияние характера нагрузки энергоблока на конструкцию котла и его тепловую схему.
14. Построение графика тепловой схемы (t, ϑ - Q -диаграммы).

1.1.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОПОК

[1], с. 65...70; [6], с. 69...91; [7], с. 54...68; [8], с. 136...162; [10], С. 65...84

Требования к топкам. Надежность и экономичность топок. Особенности топок газоплотных котлов и котлов, работающих под разрежением. Выбор типа горелок и их расположения. Влияние органической и минеральной масс топлива на конструкцию топки. Влияние влажности топлива на конструкцию топки. Влияние выбора типа топки на тепловую схему котла. Исходные данные для проектирования топки. Расчет объема топки. Компоновка топки. Конструкторский расчет топки.

Вопросы для самопроверки

1. Сформулируйте основные требования к топочным устройствам.
2. Приведите условия выбора и опишите конструкции топок с твердым и жидким шлакоудалением.
3. Опишите зависимость типа горелок и размещения их на топке от органической и минеральной масс топлива.
4. Особенности конструкции топки для сжигания низкорреакционных углей.
5. Зависимость конструкции топки от влажности топлива.
6. Влияние типа топки на тепловую схему котельной установки при сжигании различных топлив.
7. Перечислите исходные данные, необходимые для проектирования топки.
8. Как производится выбор количества горелочных устройств проектируемой топки?
9. Приведите рекомендуемые численные значения теплового напряжения сечения топочной камеры при сжигании различных топлив.
10. Приведите численные значения температуры дымовых газов перед ширмами, перед фестоном; чем обоснованы эти значения?
11. Приведите рекомендуемые типы горелок для энергетических котлов в зависимости от способа шлакоудаления, от сжигаемого топлива.
12. Приведите рекомендуемое количество горелок для твердого топлива в зависимости от их расположения и типа для котлов различной паропроизводительности.
13. Как выбирается глубина топки, расстояния между горелками?
14. Приведите рекомендуемые численные значения скоростей пылевоздушной смеси ψ_1 и вторичного воздуха ψ_2 в зависимости от типа горелок и их тепловой мощности.
15. Расчет объема топки. Анализ влияющих величин, методы уменьшения объема топки при прочих равных условиях.
16. Расчет геометрических характеристик топки; выбор формы топки при факельном сжигании топлива.
17. Порядок конструкторского расчета топки.
18. Компоновка поверхностей нагрева в топке барабанного котла; прямооточного котла.

1.1.5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАРОГЕНЕРИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОТЛА

[6], с. 114...125; [7], с. 144...155; [8], с. 320...326; [10], с. 129...162

Тепловосприятие парообразующих поверхностей и их компоновка. Характеристика парообразующих поверхностей. Конструкции топочных экранов. Фестоны. Предельная температура металла парогенерирующих труб. Методы повышения надежности топочных экранов: повышение надежности циркуляций; увеличение кратности циркуляции; секционирование экранов. Надежность работы топочных экранов прямоточных котлов. Газоплотные экраны. Футерованные экраны. Проектирование внутрибарабанных устройств. Принципы расчета парогенерирующих элементов котла.

Вопросы для самопроверки

1. Приведите соотношение тепловосприятий поверхностей нагрева для энергетических котлов различных давлений и температур пара.
2. Как связано давление в котле с конструкцией и компоновкой парообразующих поверхностей?
3. Приведите и поясните гидродинамическую характеристику циркуляционного контура котла с естественной циркуляцией.
4. Опишите и поясните конструкцию циркуляционных контуров фронта барабанного котла при условии, что часть парогенерирующих труб закрыта пароперегревательными трубами.
5. Как зависит площадь сечения труб опускной системы циркуляционного контура от давления в котле, от наличия двухсветного экрана?
6. Приведите условия конструктивного оформления циркуляционных контуров для обеспечения надежности их работы.
7. Какие требования необходимо соблюдать при проектировании экранов прямоточных котлов докритического давления?
8. Выполнение каких условий необходимо соблюдать при проектировании экранов котла СКД?
9. Какими условиями следует руководствоваться при выборе высоты нижней радиационной части (НРЧ) котла СКД?
10. Чем определяется надежность работы экранов котла СКД?
11. Приведите порядок расчета минимально необходимой массовой скорости среды ρw_{\min} в экранах котла СКД.
12. Приведите порядок расчета тепловосприятия настенных экранов топки.
13. Особенности газоплотных экранов и методы повышения их надежности.
14. Конструкции футерованных экранов.
15. Внутрибарабанные устройства, их конструктивное размещение.
16. Приведите порядок расчета диаметра барабана парового котла.
17. Приведите порядок расчета дырчатого погружного листа.
18. Приведите порядок расчета питательной трубы.

1.1.6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ

[1], с. 56...58, 59, 71...76; [6], с. 125...156; [7], с. 155...166;

[9], с. 81...155; [10], с. 105...129

Классификация пароперегревателей. Конструкции участков пароперегревателей и их крепление. Условия работы пароперегревателей, методы повышения надежности. Компоновка пароперегревателей, схемы включения. Тепловой и конструктивный расчеты радиационных пароперегревателей, расположенных в топке котла, в районе ширм, в конвективных газоходах. Конструктивные расчеты ширмового пароперегревателя, конвективного пароперегревателя. Учет тепловой разверки в процессе проектирования. Регулирование температуры перегретого пара. Особенности проектирования промежуточных пароперегревателей.

Вопросы для самопроверки

1. Роль и значение пароперегревателя в конструкции и работе котла.
2. Приведите классификацию пароперегревателей по виду теплообмена и по конструкции.
3. Опишите конструкции крепления различных пароперегревателей.
4. Конструкции, достоинства и недостатки ширмового пароперегревателя.
5. Тепловые и гидравлические условия работы пароперегревателей энергетических котлов.
6. Методы повышения надежности пароперегревателей котлов.
7. Приведите компоновку радиационного пароперегревателя и порядок его конструктивного расчета.
8. Приведите компоновку ширмового пароперегревателя и порядок его конструктивного расчета.
9. Поясните компоновку конвективного пароперегревателя и порядок его конструктивного расчета.
10. Поясните зависимость конструкции и компоновки конвективного пароперегревателя от скорости дымовых газов.
11. Поясните зависимость конструктивных характеристик конвективного пароперегревателя от скорости движения пара в трубах.
12. Поясните зависимость между давлением пара и числом ступеней пароперегревателя.
13. Гидравлическая разверка в трубах конвективного пароперегревателя и методы уменьшения ее.
14. Неравномерность обогрева труб пароперегревателя: причины и способы уменьшения.
15. Влияние гидравлической разверки и неравномерности обогрева на конструкцию и компоновку конвективного пароперегревателя.
16. Зависимость конструкции и компоновки конвективного пароперегревателя от возможного загрязнения наружной поверхности труб.
17. Компоновка и порядок конструктивного расчета промежуточного паропере-

гревателя.

18. Поясните способы регулирования температуры перегретого пара.
19. Приведите сравнительную характеристику регулирования температуры перегретого пара впрыском питательной воды и впрыском собственного конденсата.
20. Опишите технологию газового регулирования температуры перегретого пара.
21. Порядок конструктивного расчета паропаровых и газопаровых теплообменников-пароохладителей.
22. Порядок конструктивного расчета конденсатора собственного конденсата.
23. Особенности конструктивного расчета промежуточного пароперегревателя.

1.1.7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКОНОМАЙЗЕРОВ

[1], с. 59; [6], с. 156...166; [7], с. 166...169; [9], с. 89...101

Классификация экономайзеров. Конструкции экономайзеров, интенсифицированные поверхности нагрева. Состояние среды на выходе из некипящего экономайзера. Особенности конструкции, тепловой схемы и работы кипящего экономайзера. Проектирование и компоновка некипящих и кипящих экономайзеров.

Вопросы для самопроверки

1. Приведите классификацию экономайзеров.
2. Опишите конструкции экономайзеров.
3. Приведите способы интенсификации теплообмена в экономайзере, обоснуйте пределы недогрева в экономайзере некипящего типа.
4. Компоновка элементов экономайзера в котлах под разрежением и под наддувом.
5. Обоснование однопоточной и двухпоточной конструкций экономайзера.
6. Способы крепления и дистанционирования труб экономайзера.
7. Требования к тепловым схемам кипящего и некипящего экономайзеров.
8. Приведите порядок конструктивного расчета экономайзера.
9. Особенности проектирования экономайзеров при сжигании различных топлив.
10. Особенности проектирования кипящих экономайзеров.

1.1.8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

[1], с. 59...61, 75, 76; [6], с. 166...195; [7], с. 169...176;
[9], с. 102...113; [10], с. 84...94

Условия работы и классификация воздухоподогревателей. Прямой нагрев воздуха продуктами сгорания и с применением промежуточного теплоносителя.

ля. Комбинированный нагрев воздуха. Коррозионная стойкость воздухоподогревателя. Компоновка воздухоподогревателей. Выбор типа воздухоподогревателя. Проектирование трубчатых воздухоподогревателей. Проектирование регенеративных воздухоподогревателей.

Вопросы для самопроверки

1. Приведите классификацию воздухоподогревателей энергетических котлов; поясните их выбор для различных условий работы котла.
2. Приведите конструкцию трубчатого воздухоподогревателя, технические характеристики и условия его работы.
3. Приведите конструкцию регенеративного вращающегося воздухоподогревателя, технические характеристики и условия его работы.
4. Проектные требования к воздухоподогревателю.
5. Необходимая температура воздуха на входе в воздухоподогреватель и конструкции устройств для обеспечения ее.
6. Приведите рекомендуемые скорости воздуха и дымовых газов в воздухоподогревателях.
7. Поясните условия выбора типа воздухоподогревателя (ТВП, РВП).
8. Приведите обоснование проектирования воздухоподогревателей с системой избыточного воздуха (СИВ).
9. Приведите условия, влияющие на предельно высокую температуру горячего воздуха.
10. Поясните влияния конструкций и технологии работы воздухоподогревателей на эффективность их работы.
11. Конструктивные и технологические мероприятия для защиты воздухоподогревателей от коррозии.
12. Поясните условия компоновки пакетов трубчатого воздухоподогревателя: последовательно, в рассечку, «с расщепленным хвостом».
13. Опишите принципиальные конструкции трубчатых воздухоподогревателей.
14. Опишите принципиальные конструкции регенеративных вращающихся воздухоподогревателей.
15. Опишите профили и геометрические характеристики листовой набивки регенеративных вращающихся воздухоподогревателей.
16. Конкретные и расчетные исходные данные для конструктивного расчета воздухоподогревателя.
17. Порядок конструктивного расчета трубчатого воздухоподогревателя.
18. Какие технологические условия следует соблюдать при проектировании трубчатых воздухоподогревателей и как это сказывается на конструкции?
19. Порядок конструктивного расчета регенеративного вращающегося воздухоподогревателя.

1.1.9. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

[6], с. 195...207; [7], с. 187...194, 196...207

Основная классификация элементов котла и котельной установки. Развитие конструкций энергетических котлов. Выбор прототипа. Расчет габаритных и массовых характеристик котла. Каркас котла. Обмуровка, тепловая изоляция. Элементы компенсации теплового расширения. Проектирование двухкожуховых стен котла. Очистка поверхностей нагрева. Оборудование золоулавливания, золо- и шлакоудаления. Трубопроводы, арматура, гарнитура котла. Коллекторы различного назначения. Проектирование лестниц, площадок, мостиков, лифтов.

Вопросы для самопроверки

1. Приведите классификацию элементов и систем котельной установки.
2. Приведите сравнительную массогабаритную характеристику котлов, работающих под разрежением, под наддувом и высоконапорных котлов.
3. Приведите общие положения проектирования котла с использованием прототипа.
4. Перечислите элементы каркаса котла, приведите порядок его проектирования.
5. Элементы обмуровки и тепловой изоляции котла; их крепление; тепловой и конструктивный расчеты.
6. Конструкции элементов котла для компенсации тепловых расширений.
7. Общий порядок выполнения расчета габаритов котла.
8. Порядок расчетов габаритных размеров элементов котла.
9. Определение габаритов котла в целом с учетом технологических и ремонтных разрывов.
10. Приведите порядок расчета сухой массы котла.
11. Приведите порядок расчета массы обмуровки и тепловой изоляции котла.
12. Приведите места изготовления, назначения, габариты временных (изолированных) и постоянных отверстий в стенах котла.
13. Поясните общий подход к проектированию двухкожуховых стен котла.
14. Приведите конструктивные характеристики и порядок проектирования двухкожуховых стен котла.
15. Приведите методы и средства очистки наружных поверхностей стен экранов топki.
16. Приведите конструктивные характеристики и места установки обдувочных аппаратов топki котла.
17. Приведите компоновочную схему дробьевой очистки поверхностей нагрева котла.
18. Приведите требования к конструктивным характеристикам очищаемых дробью поверхностей нагрева котла.
19. Приведите компоновочную схему импульсной очистки поверхностей нагре-

ва котла.

20. Опишите методы и средства очистки регенеративного вращающегося воздухоподогревателя.

21. Опишите методы и средства очистки дымовых газов от золы.

22. Опишите методы и средства очистки дымовых газов от вредных оксидов.

23. Опишите конструкцию и работу системы шлакозолоудаления.

24. Приведите описание (трассировку, крепление) технологических трубопроводов в пределах котла.

25. Приведите порядок конструктивного расчета взрывного клапана на газоходе котла.

26. Приведите описания конструкций предохранительных клапанов.

27. Опишите порядок расчета проходного сечения предохранительного клапана котла.

1.1.10. ТЕПЛОВЫЕ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОТЛА

[1], с. 22...24, 65...77; [2], с. 22...24, 57...121; [6], с. 219...255;
[7], с. 194...195; [9], с. 155...160; [10], с. 162...168

Место теплового расчета при проектировании котла. Тепловые расчеты при эскизном, техническом и рабочем проектировании. Конкретные и расчетные исходные данные для тепловых расчетов проектируемого котла. Тепловой баланс котла, уменьшение тепловых потерь. Алгоритмы тепловых расчетов топки, пароперегревателя, экономайзера, воздухоподогревателя. Уточнение конструкции котла по результатам теплового расчета.

Место аэродинамического расчета при проектировании котельной установки. Аэродинамическая неравномерность в сечениях газоходов, конструктивные методы ее уменьшения. Роль аэродинамического расчета в совершенствовании конструкции, повышении надежности и улучшении технико-экономических показателей работы котельной установки. Порядок аэродинамического расчета.

Вопросы для самопроверки

1. Задачи и методы теплового расчета котла.

2. Тепловые поверочный и конструктивный расчеты котла – общность и различия.

3. Задачи теплового расчета котла при выполнении эскизного, технического и рабочего проектов.

4. Перечислите, какие исходные данные необходимо иметь для выполнения теплового расчета проектируемого котла.

5. Перечислите реперные точки по газоздушному тракту котла и приведите их численные значения для различных видов топлива.

6. Порядок уточнения геометрических характеристик топки по результатам те-

плового расчета котла.

7. Приведите порядок позонного теплового расчета топки.
8. Приведите алгоритм теплового поверочного расчета пароперегревателя.
9. Поясните связь между тепловым поверочным и конструктивным расчетами пароперегревателя.
10. Приведите алгоритм теплового поверочного расчета экономайзера и воздухоподогревателя.
11. Как используется тепловой поверочный расчет экономайзера при уточнении геометрических характеристик его?
12. Как используется поверочный расчет воздухоподогревателя при уточнении геометрических характеристик трубчатого и регенеративного вращающегося воздухоподогревателя?
13. Приведите порядок расчета поверхностного пароохладителя.
14. Задачи аэродинамического расчета котельной установки.
15. Причины возникновения и методы уменьшения аэродинамических неравномерностей в газоздушном тракте котельной установки.
16. Порядок аэродинамического расчета котельной установки.
17. Оптимизация компоновки поверхностей нагрева котла по результатам аэродинамического расчета котельной установки.
18. Приведите рекомендации по выбору и компоновке газоздухопроводов котельной установки.
19. Порядок расчета экономической скорости горячего и холодного воздуха в воздухопроводах и дымовых газах во внешних газоходах.
20. Приведите и поясните конструктивные схемы воздухоподающих коробов, газоповоротных коробов, участков забора холодного воздуха к вентилятору.
21. Приведите требования к установке вентиляторов и дымососов.
22. Приведите порядок аэродинамического расчета многоствольной дымовой трубы.

1.1.11. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОТЛА

[3], с. 81...87; [6], с. 255...273; [7], с. 104...113; [8], с. 286...319, 376...398

Задачи гидравлических расчетов прямоточных котлов и котлов с многократной циркуляцией. Определение исходных данных для гидравлического расчета. Составление схем и конструктивных характеристик циркуляционных контуров. Распределение тепловых нагрузок по элементам циркуляционных контуров. Определение гидравлических сопротивлений. Расчет контуров естественной циркуляции. Проверка предварительно принятых технологических и конструктивных величин. Проверка надежности. Порядок гидравлических расчетов прямоточного котла и котла с многократной принудительной циркуляцией. Порядок гидравлических расчетов экономайзера, пароперегревателя, пароохладителей, трубопроводов. Рекомендации по проектированию гидравлических контуров паровых котлов.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите задачи гидравлических расчетов барабанных и прямооточных котлов.
2. Задачи гидравлических расчетов экономайзеров, пароперегревателей, парохладителей.
3. Какие конструктивные данные проектируемого котла необходимо иметь при гидравлическом расчете?
4. Опишите порядок определения тепловосприятости радиационных поверхностей нагрева циркуляционного контура; конвективного тепловосприятости пучков труб.
5. Определение высоты экономайзерного участка.
6. Определение недогрева воды в верхнем барабане для соленого и чистого отсеков.
7. Порядок «разбиения» подъемных труб циркуляционного контура на характерные участки.
8. Порядок расчета длины экономайзерного и первого паросодержащего участков.
9. Порядок расчета движущего и полезного напоров в участках подъемных труб.
10. Порядок определения сопротивления опускных и рециркуляционных труб контура.
11. Порядок расчета простого контура естественной циркуляции.
12. Особенности расчета сложного контура естественной циркуляции.
13. Особенности гидравлического расчета контуров циркуляции соленых отсеков.
14. Порядок проверки предварительно принятых исходных данных; изменение конструктивных характеристик циркуляционного контура.
15. Проверка надежности работы циркуляционного контура по свободному уровню, по застою и опрокидыванию циркуляции.
16. Определение тепловой и гидравлической разверок в трубных элементах; коэффициента конструктивной нетождественности.
17. Проверка надежности по допустимому температурному режиму обогреваемых труб.
18. Проверка надежности циркуляционного контура по режиму работы опускной системы.
19. Порядок расчета длины защитной рубашки впрыскивающего пароохладителя.
20. Требования к геометрическим характеристикам и компоновке обогреваемых труб циркуляционных контуров.
21. Требования к геометрическим характеристикам и компоновке необогреваемых труб циркуляционных контуров.
22. Секционирование испарительных экранов: задачи и компоновочные решения.
23. Требования к проектированию внутрибарабанных устройств.

24. Требования к проектированию выносных циклонов.
25. Исходные данные для гидравлического расчета паропроводов; расчет пропускной способности паропроводов.

1.1.12. МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КОТЛОСТРОЕНИИ. РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОТЛА

[1], с. 79...88; [3], с. 26...35; [4], с. 3...52; [6], с. 273...292;
[7], с. 77...87; [8], с. 284...319

Огнеупорные изделия. Материалы и изделия для тепловой изоляции. Прокладки и уплотнительные материалы. Набивки сальниковые. Стали, применяемые в котлостроении: углеродистые, низколегированные, высоколегированные, специальные. Расчетное давление, расчетная температура, допускаемое давление, прибавка к толщине стенки, коэффициент прочности. Работоспособность стали. Показатели прочности, пластичности; ударная вязкость, твердость; жаропрочность, жаростойкость, сопротивление усталости, коррозионная стойкость, ползучесть (крип). Определение расчетной температуры металла труб котла. Расчет номинального допускаемого напряжения. Рекомендации по выбору сталей для различных элементов проектируемого котла. Расчеты на прочность барабана котла, днищ, коллекторов, труб.

Вопросы для самопроверки

1. Приведите виды огнеупорных и теплоизоляционных материалов, их теплофизические характеристики и использование в котельной установке.
2. Какие материалы используются для изготовления прокладок и уплотнений в элементах энергетических котлов?
3. Приведите марки сальниковых набивок, места установок и предельные параметры условий использования.
4. Классификация сталей по составу, расшифровка марок сталей.
5. Приведите марки сталей, рекомендуемые для изготовления элементов котла, работающих под давлением, температурные условия их работы.
6. Приведите марки сталей, рекомендуемых для изготовления не нагруженных внутренним давлением элементов котла, их предельно допустимые температуры.
7. От чего зависит и как определяется расчетное внутреннее давление в элементах котла?
8. От чего зависит и как определяется допускаемое напряжение в стенках элементов котла?
9. Определение прибавки к толщине стенки элемента котла.
10. Определение наружной, внутренней и средней расчетных температур стенки обогреваемого элемента котла.
11. Что такое коэффициент растечки теплоты, как он определяется?
12. Порядок расчета температуры стенки труб радиационных поверхностей на-

грева котла.

13. Порядок расчета температуры стенок труб ширмовых и конвективных поверхностей нагрева котла.
14. Порядок расчета температуры стенок труб цельносварных панелей.
15. Что такое коэффициент прочности стенки, как он определяется?
16. Прочность стали: физический смысл, критерии прочности.
17. Пластичность стали: физический смысл, критерии пластичности.
18. Поясните физический смысл свойств стали: ударная вязкость, твердость, жаростойкость, жаропрочность, усталость, коррозионная стойкость.
19. Физический смысл (и использование в расчетах прочности) свойств стали: ползучесть, условный предел ползучести, предел длительной прочности.
20. Расчет толщины стенки камер и барабанов котла, ослабленных отверстиями.
21. Расчет толщины стенки цилиндрических камер, подверженных внутреннему давлению.
22. Порядок расчета толщины стенки испарительных и экономайзерных труб.
23. Порядок расчета толщины стенки труб пароперегревателя.
24. Порядок расчета толщины стенки паро- и водопроводов котла.
25. Расчет прочности выпуклых днищ, подверженных внутреннему давлению.
26. Расчет диаметра неукрепленного и укрепленного отверстий.

1.1.13. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОТЛА

[6], с. 292...307

Структура экономических расчетов. Лимитная и проектные цены. Себестоимость парового котла. Капитальные вложения. Эксплуатационные расходы. Техничко-экономическое сравнение вариантов проектируемого котла. Оптимизация параметров по приведенным затратам. Экономический эффект при разработке новых паровых котлов.

Вопросы для самопроверки

1. Структура затрат на проектные работы.
2. Структура экономических расчетов при проектировании котла.
3. Определение лимитной цены нового котла.
4. Порядок расчета проектной цены нового котла.
5. Структура и порядок расчета капитальных вложений в проектирование, изготовление и монтаж котла.
6. Структура и порядок расчета эксплуатационных расходов нового котла; то же в случае сравнения нового и базового вариантов котла.
7. Расчет себестоимости проектируемого котла.
8. Сравнение вариантов проектируемого котла и его элементов по приведенным затратам.
9. Оптимизация параметров проектируемого котла по приведенным затратам.

10. Экономический эффект при разработке нового котла.

1.1.14. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ В СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ

[7], с. 207...210; [8], с. 193...241

Показатели, характеризующие стационарные режимы работы котла. Режимная карта, обеспечение оптимальных показателей технологических процессов в стационарных режимах работы котла. Контроль технологических параметров. Очистка поверхностей нагрева. Работа тягодутьевых машин, распределение воздуха по горелкам. Поддержание температуры воздуха перед воздухоподогревателем. Экономичность работы котла в стационарных режимах, контроль плотности ограждающих поверхностей, контроль температуры уходящих газов. Работа систем автоматического регулирования, технологических защит. Надзор за остановленным котлом. Надзор за мазутным хозяйством. Действия персонала при частичных отказах отдельных элементов котельной установки, в аварийных ситуациях. Работа котла на частичных нагрузках.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите характеристики и показатели работы котла в стационарном режиме.
2. Приведите характеристику режимной карты котла; особенности режимной карты котла, работающего на пыли твердого топлива.
3. Какие параметры работы котла подвергаются обязательному непрерывному контролю?
4. Методы и средства очистки поверхностей нагрева котла с газовой стороны.
5. Требования к работе тягодутьевых машин при стационарных режимах работы котлов.
6. Особенности поддержания коэффициента избытка воздуха при работе котлов на жидком топливе.
7. Приведите и поясните рекомендуемые температуры воздуха на входе в воздухоподогреватель для различных топлив.
8. Обоснуйте необходимость специальной установки для отбора проб уноса; места отбора, периодичность отбора проб уноса.
9. Действия оперативного персонала по поддержанию экономичной работы котла в стационарных режимах.
10. Необходимость эксплуатационных испытаний котла и порядок их проведения.
11. Консервация котельной установки при выводе ее в резерв.
12. Порядок надзора оперативного персонала за остановленным котлом.
13. Требования к мазутному хозяйству, если мазут – резервное или растопочное топливо; действия оперативного персонала при разрыве топливопровода в пределах котельного цеха.

14. Перечислите условия, при которых котел должен быть немедленно остановлен оперативным персоналом.
15. Действия персонала при загорании в газоходах котла.
16. Перечислите предаварийные условия, при которых котел должен быть остановлен по распоряжению технического руководителя.

1.1.15. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ [7], с. 210...222; [8], с. 204...210

Общая характеристика нестационарных режимов работы котла. Режимы изменения нагрузки в барабанном и прямоточном котлах. Переходные процессы в котлах при изменении температуры питательной воды, при открытии регулирующих клапанов турбины. Общая характеристика процессов пуска и останова котла. Надежность работы котла в переменных режимах. Работа топки, парогенерирующих элементов, пароперегревателя, экономайзера и воздухоподогревателя при пуске котла. Пуск и останов барабанного котла, работающего на общую стационарную магистраль. Пуск и останов прямоточных котлов. Пуск и останов барабанных котлов блочных установок. Средства измерений и управления при пуске и останове котла. Пусковые потери, оптимизация пуска. Особенности режимов пуска и останова блоков с прямоточными котлами СКД.

Вопросы для самопроверки

1. Поясните понятия: маневренность котла (блока), приемистость котла.
2. Поясните понятия: регулировочный диапазон, диапазон допустимых нагрузок котла.
3. Дайте характеристики режимов работы котла в зависимости от диспетчерского графика нагрузки.
4. Приведите общую характеристику процессов, происходящих в барабанных и прямоточных котлах, во время переходных режимов.
5. Поясните переходные процессы, происходящие в барабанных и прямоточных котлах, при изменении температуры питательной воды.
6. Как изменяются в переходном режиме параметры работы котла при открытии регулирующих клапанов турбины?
7. Перечислите, какие работы необходимо выполнить на котле перед пуском после ремонта?
8. В каких случаях запрещается пуск котла?
9. От чего зависит продолжительность пуска котла?
10. Поясните работу одnobайпасной пусковой схемы барабанного котла с промежуточным пароперегревателем.
11. Поясните работу двухбайпасной пусковой схемы барабанного котла с промежуточным пароперегревателем.
12. Поясните работу комбинированной пусковой схемы барабанного котла с

промежуточным пароперегревателем.

13. Поясните работу пусковой схемы энергоблока на «скользящих» параметрах пара.
14. Поясните работу пусковой схемы прямоточного котла.
15. Приведите и поясните основные параметры, влияющие на работу котла в режиме пуска.
16. Пуск котла из неостывшего состояния и из горячего резерва.
17. Проверка теплового перемещения экранов, барабана и коллекторов котла.
18. Контроль за температурным режимом барабана при пуске котла из холодного состояния.
19. Сепараторный и прямоточный режимы растопки прямоточного котла.
20. Приведите условия воспламенения и горения топлива в период пуска котла.
21. Поясните, как влияет режим пуска барабанного котла на надежность металла парогенерирующих труб?
22. Особенности работы пароперегревателя при пуске котла.
23. Условия работы экономайзера и воздухоподогревателя при пуске котла.
24. Общие положения останова котла в горячий и холодный резервы, на ремонт.
25. Порядок останова барабанного котла, работающего на общую магистраль.
26. Порядок останова барабанного котла блочной установки.
27. Порядок останова прямоточного котла в резерв и с расхолаживанием котла.
28. Измерения и автоматизация пусковых режимов.
29. Техничко-экономические показатели работы котла в переходных режимах.
30. Пусковые потери; оптимизация пуска котла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

[7], с. 236...241; [12], с. 5...11; [13], с. 304...305

Проведение пусконаладочных работ. Приемные и приемосдаточные испытания котла. Экологическая обстановка и требования к котельным установкам. Обеспечение безопасности жизнедеятельности и промышленной эстетики при проектировании и эксплуатации котлов. Оценка качества проектных решений. Авторский надзор при монтаже и эксплуатации котла. Продление срока службы котлов.

Вопросы для самопроверки

1. Задачи проведения пусконаладочных работ, их содержание.
2. Цели и объем приемных и приемосдаточных испытаний котельной установки.
3. Экологические требования к проектируемому котлу.
4. Пути обеспечения охраны окружающей среды при эксплуатации котельных установок.
5. Обеспечение требований промышленной эстетики проектируемого котла.

6. Учет требований безопасности жизнедеятельности при проектировании котельной установки.
7. Общие требования охраны труда и техники безопасности при эксплуатации котельных установок.
8. Как производится оценка качества проектных решений?
9. Цели и порядок аттестации котельной установки.
10. Правовые и технические условия продления срока службы энергетических котлов.

1.2. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЛЕКЦИЙ

(для студентов очно - заочной формы обучения) (24 часа)

<i>Темы лекций</i>	<i>Объем, часы</i>
1. Введение. Общие сведения о проектировании котлов. Компонировка паровых котлов. Тепловая схема парового котла.....	4 часа
2. Проектирование топок, парогенерирующих элементов котла, пароперегревателей, экономайзеров, воздухоподогревателей. Проектирование вспомогательных элементов котельных установок.....	4 —"
3. Тепловые, аэродинамические и гидравлические расчеты при проектировании котла.....	4 —"
4. Материалы, используемые в котлостроении. Расчеты на прочность элементов котла. Экономические расчеты при проектировании котла.....	4 —"
5. Эксплуатация энергетических котлов в стационарных режимах.....	4 —"
6. Эксплуатация котельных установок в нестационарных режимах. Заключение.....	4 —"

1.3. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ (8 часов)

<i>Темы практических занятий</i>	<i>Объем, часы</i>
1. Расчет геометрических характеристик котла.....	4 часа
2. Расчет конструктивных характеристик элементов котла.....	4 —"

1.4. ТЕМЫ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

При курсовом проектировании студент должен выполнить гидравлический расчет парового котла. Выбор типа котла приведен в п. 4 настоящего методического сборника, порядок выполнения курсового проекта изложен в [5].

2. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основной:

1. Тепловой расчет котельных агрегатов: Нормативный метод. - М.: Энергия, 1973.
2. Аэродинамический расчет котельных установок: Нормативный метод. - Л.: Энергия, 1973.
3. Гидравлический расчет котельных агрегатов: Нормативный метод. - М.: Энергия, 1978.
4. Нормы расчета элементов паровых котлов на прочность. - М.: Энергия, 1966.
5. Проектирование и эксплуатация котельных установок: Методические указания к выполнению курсового проекта. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2005.

Дополнительный:

6. Проектирование судовых парогенераторов: Учебник/ Под ред. К.С.Дементьева, Романова В.А., Тулакова А.С., Волкова Д.И. – М.: Судостроение, 1986.
7. Резников М.И., Липов Ю.М. Паровые котлы тепловых электростанций. – М.: Энергоиздат, 1981.
8. Липов Ю.М., Третьяков М.Ю. Котельные установки и парогенераторы. - Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003.
9. Липов Ю.М., Самойлов Ю.Ф., Виленский Т.В. Компоновка и тепловой расчет парового котла. - М.: Энергоатомиздат, 1988.
10. Тепловые схемы котлов / А.А. Паршин, В.В. Митор, А.Н. Безгрешнов и др. - М.: Машиностроение, 1987.
11. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник / Под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. - М.: Энергоиздат, 1982.
12. Трёмбовля В.И., Фингер Е.Д., Авдеева А.А. Теплотехнические испытания. – М.: Энергия, 1977.
13. Гончаров С.П. Монтаж парогенераторных установок тепловых электростанций. – М.: Энергия, 1978.

3. ЗАДАНИЕ НА РЕФЕРАТ

Варианты для выполнения реферата соответствуют последней цифре шифра и указаны в таблице 1.

Темы рефератов, которые необходимо разработать студенту, приведены ниже.

Работая над темой реферата, студент должен получить навыки самостоятельной творческой работы над специальными вопросами. Каждая тема выполняется на основе обобщения ряда источников технической литературы по рассматриваемым вопросам (учебники, учебные пособия, монографии, журнальные статьи и др.). Некоторые вопросы темы реферата могут решаться на основе

собственных исследований и расчетов. Отчет по теме реферата должен показать умение студента выполнять анализ имеющихся данных и принимать на основе этого свои заключения и решения. В такой постановке тема реферата может быть научно-исследовательской работой студента.

Содержание реферата должно быть раскрыто полностью, с необходимой детализацией, теоретическими выкладками, рисунками, графиками. Обязательны ссылки на использованную литературу. Рекомендуется приводить расчетно-численные примеры. Объем реферата – не менее 15 страниц.

Таблица 1

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Номер реферата	15	14	13	10	8	7	6	5	3	2

ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ

1. Основные стадии разработки проекта. Содержание этапов работ при проектировании.
2. Составление тепловой схемы и компоновка поверхностей нагрева при проектировании энергетического котла с естественной циркуляцией и промежуточным пароперегревателем.
3. Эскизный и технический проекты топки барабанного котла.
4. Эскизный проект испарительных поверхностей барабанного энергетического котла.
5. Эскизный проект пароперегревателя энергетического котла.
6. Эскизный и технический проекты экономайзера энергетического котла с естественной циркуляцией.
7. Эскизный и технический проекты трубчатого воздухоподогревателя.
8. Эскизный и технический проекты регенеративного вращающегося воздухоподогревателя.
9. Эскизный, технический и рабочий проекты обмуровки и тепловой изоляции котла.
10. Эскизный и технический проекты каркаса котла П-образной компоновки.
11. Материалы, используемые в котлостроении.
12. Расчет на прочность элементов котла.
13. Эскизный проект поверхностного пароохладителя.
14. Эскизный и технический проекты впрыскивающего пароохладителя.
15. Эскизный проект системы подготовки собственного конденсата.

4. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Тема курсового проекта – гидравлический расчет парового котла, в связи с его реконструкцией, порядок выполнения курсового проекта изложен в [5].

В качестве прототипа принимается один из современных котлов, серийно выпускаемых котлостроительными заводами России. Типы котлов и конкретные исходные данные для проектирования студент выбирает из табл. 2 по предпоследней цифре своего шифра. Чертежи котла-прототипа и его описание студент может получить у преподавателя или выбирает в специальной литературе (в каталогах котлов, заводских описаниях, паспортах котлов, имеющихся на электростанциях).

Студент может также выбрать тему курсового проекта самостоятельно. В этом случае задание на курсовой проект необходимо согласовать с преподавателем индивидуально. Целевое направление такого проекта – решение актуальных задач по совершенствованию конструкций действующих котлов ТЭЦ и КЭС с целью повышения эффективности и надежности их работы в стационарных и переменных режимах работы.

Представляемый к проверке и защите курсовой проект должен состоять из пояснительной записки, расчетов, представляемых в табличной форме, и двух листов графических работ формата А1.

5. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

В соответствии с государственным образовательным стандартом выпускники теплоэнергетических специальностей вузов должны уметь использовать теоретические знания при решении практических задач как при конструировании и наладке, так и при эксплуатации теплоэнергетического оборудования, в частности, котельных установок.

Наиболее глубокое понимание любого процесса достигается посредством аналитического и экспериментального изучения влияния на него различных факторов. Практические занятия по дисциплине «Проектирование и эксплуатация котельных установок» позволяют студентам на конкретных примерах оценить влияние различных факторов (тепловое состояние обогреваемых элементов, гидродинамика при естественной и принудительной циркуляции, аэродинамика топки и газоходов) на конструкцию, компоновку и геометрические размеры элементов котла, прочность металла. При решении предлагаемых ниже задач студенты изучают методики, приобретают навыки практических расчетов, необходимых в дальнейшей инженерной деятельности.

При решении задач рекомендуется следующая точность расчетов: величины, имеющие большое численное значение (энтальпия, температура, объемы и др.), ограничиваются одним знаком после запятой; удельные объемы – двумя знаками после запятой; величины, имеющие малые численные значения (доли трехатомных газов, избытки воздуха и др.) – тремя знаками после запятой по указанию преподавателя.

ЗАДАЧА 1

Определить геометрические характеристики топочной камеры котла (рис. 1): площадь топки, объем топки, лучевоспринимающую поверхность топ-

Таблица 2

Конкретные исходные данные	Параметры и характеристики для вариантов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Тип котла (заводская маркировка)	ТГМП-114	ТГМП-326	БКЗ-320	ТГМ-84	ТП-101	ТГМЕ-464	ТГМЕ-206	ТГМЕ-428	ТГМ-96	БКЗ-420
Последняя цифра шифра										
Топливо	Мазут высокосернистый	Мазут высокосернистый	Уголь экибастузский	Газ природный Серпухов-Ленинград	Сланцы эстонские	Мазут высокосернистый	Газ природный Саратов-Москва	Мазут сернистый	Газ природный Серпухов-Ленинград	Уголь бурый «Назаровский»
Номинальная паропроизводительность, кг/с: - по первичному пару D - по пару промперегрева D_{BT}	132 105,5	264 222	89 -	116,7 -	172 74	139 -	186 163,9	139 -	127,8 -	116,7 -
Давление пара промперегрева на входе в котел p'_{BT} , МПа	3,9	3,8	-	-	2,2	-	2,75	-	-	-
Давление на выходе из котла, МПа: - первичного пара $p_{пп}$ - пара промперегрева p''_{BT}	25,5 3,7	2,55 3,62	13,8 -	14,0 -	14,0 2,0	14,0 -	13,8 2,55	14,0 -	14,0 -	13,8 -
Температура на входе в котел, °C: - питательной воды $t_{пв}$ - пара промперегрева t'_{BT}	260 310	260 307	230 -	230 -	230 310	230 -	230 328	230 -	230 -	230 -
Температура на выходе из котла, °C: - первичного пара $t_{пп}$ - пара промперегрева t''_{BT}	545 545	565 565	560 -	545 -	540 540	560 -	545 545	560 -	560 -	560 -
Давление в топке p, Па	-20	3000	-20	-20	-20	3000	3000	5000	-20	-20

ки, относительный уровень расположения горелок, эффективную толщину излучающего слоя.

Необходимые для расчетов размеры определяются по чертежам (эскизам) проектируемого котла. Дальнейшие расчеты, выполненные с учетом найденных геометрических характеристик, позволяют уточнить первоначально принятые размеры так, чтобы работа топki происходила при оптимальных тепловых характеристиках в широком диапазоне нагрузок котла.

В данной задаче: топка имеет газоплотные экраны; топливо – мазут; на задней стенке топki установлено 12 горелок с диаметром амбразуры $d_{ам} = 1,0$ м; в стенках топki имеется 6 лазов диаметром $d_{лаз} = 0,5$ м; ширмы на выходе из топki имеют поперечный шаг $S_1 = 720$ мм; ширина топki $a_T = 18000$ мм; глубина – $b_T = 7680$ мм; отметки по высоте, мм – $A = 25900$; $B = 17900$; $C = 4428$; $D = 2363$; $E = 6150$; $F = 8750$; $G = 17900$; остальные размеры, мм: $a = 2560$; $b = 1680$; $c = 300$; $d = 470$; $e = 637$; $f = 2280$; $g = 500$; $h = 2170$; $i = 370$; $k = 430$; $l = 0,700$; $m = 4054$; $n = 2065$; $p = 7953$.

Порядок решения

1. Определяем поверхности стен топki, m^2

$$F_{ст} = F_{пф} + F_{зф} + 2F_{б} + F_{под} + F_{пот} + F_{окн},$$

где площадь переднего фронта

$$F_{пф} = (A - C)a_T;$$

площадь заднего фронта

$$F_{зф} = [(G - D) + f + e + i]a_T;$$

площадь боковой стены

$$F_{б} = (A - B)a + (A - B)c + di + 0,5(2d + g)k + 0,5(2d + 2g + h)l + (B - C)b_T + 0,5(C - D)b_T;$$

площадь пода

$$F_{под} = pa_T;$$

площадь потолка

$$F_{\text{пот}} = (a + c)a_T;$$

площадь газового окна

$$F_{\text{окн}} = (A - B + b + c + d + i + k + l)a_T.$$

2. Определяем объем топки:

Объем топки без ширм (для определения эффективной толщины излучающего слоя), м^2

$$V_T = F_{\text{б}} \cdot a_T;$$

объем топки с учетом объема, занимаемого ширмами (для определения видимого теплонапряжения топочного объема q_v). Если при расчете боковой стенки топки $F_{\text{б}}$ не была учтена часть стены, ограниченная размерами $c[(A - B) - l - k - i]$, то в объем части топки, занимаемой ширмами, необходимо ввести объем $c[(A - B) - l - k - i]a_T$, так как по условию задачи шаг ширм $S_1 > 700$ мм. В нашем случае эта поверхность включена в $F_{\text{б}}$, поэтому

$$V_T^{\text{ш}} = F_{\text{б}} \cdot a_T + b(A - B)a_T.$$

3. Определяем лучевоспринимающую поверхность топки, м^2

$$F_{\text{лт}} = (F_{\text{ст}} - F_{\text{сво}})x,$$

где x – угловой коэффициент экранов (для газоплотных котлов угловой коэффициент экранов, пода и газового окна $x = 1$).

$F_{\text{сво}}$ – часть поверхности стен топки, не закрытая экранами

$$F_{\text{сво}} = n_{\text{гор}}0,785 d_{\text{ам}}^2 + n_{\text{лаз}}0,785 d_{\text{лаз}}^2.$$

4. Определяем относительный уровень расположения горелок

$$x_{\text{г}} = \frac{h_{\text{г}}}{H_T},$$

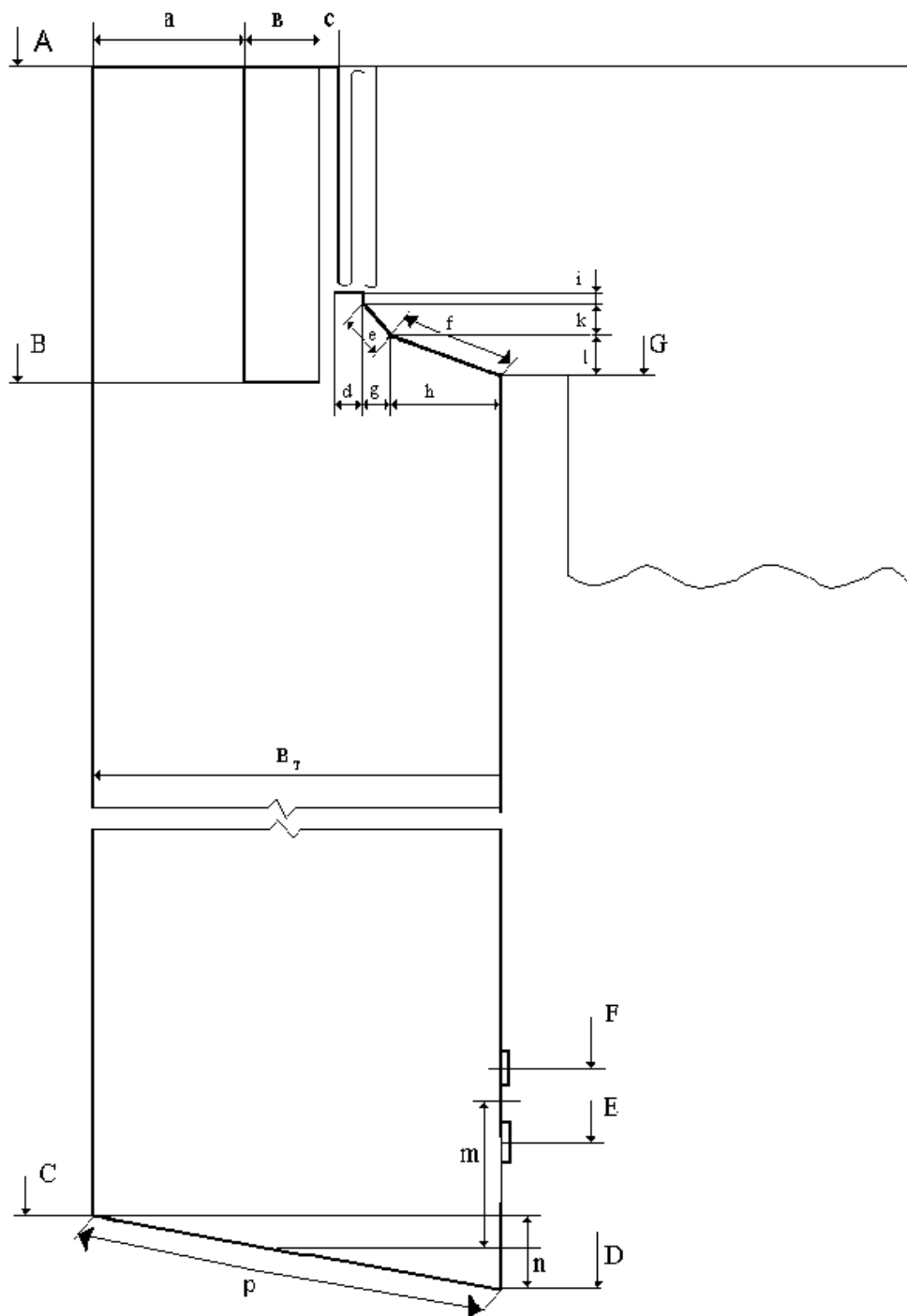


Рис. 1

где H_T – высота топки, м;

h_T – относительный уровень расположения горелок, м.

Высота топки при определении геометрических размеров и проведении позонных тепловых расчетов принимается от середины холодной воронки или пода до потолка топочной камеры. При определении относительной высоты положения максимума температуры в топке H_T принимается до середины выходного газового окна.

В нашем случае

$$H_T = G - D - \frac{n}{2} + (A - B)2.$$

Расположение горелок может быть в один или несколько ярусов. При расположении горелок в несколько ярусов h_r определяется как средневзвешенная величина:

$$h_r = \frac{h_{r1}B_1 + h_{r2}B_2 + \dots}{B_1 + B_2 + \dots},$$

где B_1, B_2 и т.д. – расходы топлива через каждый ярус горелок (по условию этой задачи они одинаковы);

h_{r1}, h_{r2} и т.д. – высоты каждого яруса, м, отсчитываются от середины холодной воронки или пода:

$$h_{r1} = F - D - \frac{n}{2}; \quad h_{r2} = E - D - \frac{n}{2}.$$

5. Определяем эффективную толщину излучающего слоя, м:

$$S = 3,6 \frac{V_T}{F_{ст}}.$$

ЗАДАЧА 2

В топке парового котла сжигается промпродукт угля марки Г кузнецкого бассейна в количестве $B_p = 19,677$ кг/с. Котел газоплотный, коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,2$. Геометрические характеристики топки: объем $V_T = 2550$ м³; глубина $v_T = 8,64$ м; ширина по фронту $a_T = 16,08$ м; площадь стен $F_{ст} = 1301,6$ м². Тепловые характеристики топки: адиабатная температура горения (при $t = 1,2$) $\vartheta \approx 1958$ °С; температура газов на выходе из топки $\vartheta_T'' = 1102$ °С; средняя теплоемкость продуктов сгорания $V_{ср} = 11,604$ кДж/(кг·К); коэффициент сохранения теплоты $\varphi = 0,9965$; средняя тепловая эффективность экранов $\Psi_{ср} = 0,444$; коэффициент излучения топки $\varepsilon_T = 0,960$; параметр распределения температур по высоте топки $M = 0,48$.

Задача проектировщика – уменьшить массогабаритные характеристики топки при сохранении заданной паропроизводительности котла (138,9 кг/с).

Порядок решения

1. Анализ возможных решений задачи.

В настоящее время в топках энергетических котлов видимое теплонепряжение топочного объема q_v , кВт/м³, значительно меньше по численному значению теплонепряжения топочного объема q_v^{rop} , рекомендуемого нормативным методом теплового расчета котлов [1]. Создать топочные устройства с q_v , близкими к q_v^{rop} , можно, если предусмотреть мероприятия по повышению интенсивности лучистого теплообмена в топке, что при сохранении заданной паропроизводительности и характеристик пара позволит уменьшить высоту топки и ее объем. Конструктивные методы решения поставленной задачи – снижение ширм в зону более высоких тепловых потоков или установка двухсветных экранов; технологический прием – рециркуляция части продуктов сгорания в верх топки. Последний метод требует значительно меньший объем реконструкции, его и используем при решении поставленной задачи. Он позволяет снизить до допустимых значений температуру продуктов сгорания на выходе из топки (\mathcal{G}_T'') при увеличении q_v , в то время как увеличение q_v обеспечивает полное выгорание топлива до места ввода газов рециркуляции.

2. Принимаем долю газов, рециркулируемую в верх топки, $r = 0,15$, температуру газов рециркуляции $\mathcal{G}_p = 380$ °С, коэффициент избытка воздуха в этих газах $\alpha = 1,2$ (так как котел газоплотный).

3. По справочной таблице [1] выписываем для заданного топлива стехиометрические энтальпии дымовых газов H_G^o , кДж/кг и воздуха H_B^o , кДж/кг, в диапазоне температур от 200 до 1000 °С: H_G^{o200} ; H_G^{o400} ; H_G^{o600} и т.д. H_B^{o200} ; H_B^{o400} ; H_B^{o600} и т.д.

4. По формуле $H_G = H_G^o + (\alpha - 1)H_B^o$ находим энтальпии дымовых газов H_G^t , кДж/кг, при тех же температурах, заданном $\alpha = 1,2$ и степени рециркуляции $r = 0$: H_G^{t200} ; H_G^{t400} ; H_G^{t600} и т.д.

5. По формуле $H_G^r = H_G^t(1 + r)$ определяем энтальпии дымовых газов H_G^r , кДж/кг, при степени рециркуляции $r = 0,15$ в диапазоне возможных температур продуктов сгорания на выходе из топки: H_G^{r1000} ; H_G^{r1200} ; H_G^{r1400} .

6. Определяем энтальпию продуктов сгорания на выходе из топки $H_{T,cm}$, кДж/кг, при $\alpha = 1,2$, $r = 0,15$ и сохранении заданной в исходном варианте температуре продуктов сгорания на выходе из топки $\mathcal{G}_T'' = 1102$ °С

$$H_{T,cm} = H_G^{r1000} + \frac{H_G^{r1200} - H_G^{r1000}}{1200 - 1000} (\mathcal{G}_T'' - 1000).$$

7. Определяем энтальпию газов рециркуляции, кДж/кг

$$H_{г.рц} = H_{г}^{o200} + \frac{H_{г}^{o400} - H_{г}^{o200}}{400 - 200} (\vartheta_{рц} - 200)$$

8. Определяем энтальпию продуктов сгорания в верху топки до смешения их с потоком рециркулируемых газов, кДж/кг

$$H''_T = H_{T.см} - rH_{г.рц}$$

9. Определяем температуру продуктов сгорания на выходе из топки (до смешения их с газами рециркуляции), °С, в новом варианте габаритов топки

$$\vartheta''_{T.н} = 1200 + \frac{H''_T - H_{г}^{1200}}{H_{г}^{1400} - H_{г}^{1200}} (1400 - 1200)$$

10. Определяем максимальное тепловыделение в топке, соответствующее адиабатной температуре горения ϑ_a при $\alpha = 1,2$, кДж/кг

$$Q_a = H_{г}^{1800} + \frac{H_{г}^{2000} - H_{г}^{1800}}{2000 - 1800} (\vartheta_a - 1800)$$

11. Определяем тепловосприятие топки, кДж/кг

$$Q_T = \varphi(Q_a - H''_T)$$

12. Определяем необходимую поверхность стен топки, м² для обеспечения температуры на выходе из топки $\vartheta''_{T.н}$

$$F_{ст.н} = \frac{B_p Q_T \left[\frac{\left(\frac{T_a}{T''_T} - 1 \right)^2}{M^2} \right]^{0,33}}{5,67 \cdot 10^{11} e_T \Psi_{cp} M T''_T T_a^3},$$

где $T_a = \vartheta_a + 273$; $T''_T = \vartheta''_{T.н} + 273$.

13. Производим проверку полученных результатов.

13.1. Определяем критерий Больцмана

$$B_o = \frac{\varphi B_p V c_{cp} \cdot 10^{11}}{5,67 \Psi_{cp} F_{ст.н} \cdot T_a^3};$$

$$T_T'' = \frac{T_a}{1 + M \left(\frac{\varepsilon_T}{B_o} \right)^{0,6}}.$$

Полученное значение T_T'' должно совпасть с найденным по п. 9 (см. также п. 12).

14. Определяем изменение высоты топки, м

$$\Delta h_T^B = \frac{\Delta F_{ст}}{2(a_T + B_T)},$$

где $\Delta F_{ст} = F_{ст} - F_{ст.н}$.

15. Определяем изменение объема топки, м³

$$\Delta V_T = a_T B_T \Delta h_T.$$

ЗАДАЧА 3

Топка парового котла с ширмами в выходном окне имеет размеры, указанные на рис. 2. Площадь сечения топки $f_T = a_T \cdot b_T = 111,3 \text{ м}^2$; объем топки $V_T = 2550 \text{ м}^3$; средний коэффициент тепловой эффективности $\Psi_{cp} = 0,444$; угловой коэффициент экранов $x = 0,96$.

А. Определить коэффициент формы топки для трех вариантов:

$$\frac{a_T^1}{b_T^1} = 4; \quad \frac{a_T^2}{b_T^2} = 2; \quad \frac{a_T^3}{b_T^3} = 1.$$

Принять для всех вариантов одинаковыми: объем топки V_T ; площадь поперечного сечения f_T ; угол ската холодной воронки; высота выходного окна h_o ; гео-

метрические характеристики аэродинамического выступа.

Б. Определить температуру газов на выходе из топки для каждого из этих вариантов при сжигании воркутинского жирного угля (отсев). При выполнении расчетов принять: $M = 0,48$; $\vartheta_a = 2013$ °C; $V_p = 19,677$ кг/с; $\varphi = 0,9965$.

Порядок решения

А

1. При заданном отношении сторон $\frac{a_T}{B_T} = z$; площадь сечения топки $f_T = zB_T^2$;

определяем глубину топки для первого варианта, м

$$B_T^1 = \sqrt{\frac{f_T}{z}}$$

и ширину топки, м

$$a_T^1 = zB_T^1.$$

2. Определяем высоту холодной воронки для первого варианта, м

$$h_{XB}^1 = h_{XB}^{\Pi} \frac{B_T^1}{B_T^{\Pi}},$$

где h_{XB}^{Π} и B_T^{Π} - соответственно высота холодной воронки и глубина топки прототипа (см. рис. 2).

3. Определяем ширину середины холодной воронки для первого варианта, м

$$B_{XB}^1 = B_T^1 \frac{B_{XB}^{\Pi}}{B_T^{\Pi}},$$

где B_{XB}^{Π} и B_T^{Π} - соответственно ширина середины холодной воронки и глубина топки прототипа (см. рис. 2).

4. Определяем площадь боковой стены холодной воронки, м²

$$F_{\text{бх}}^1 = 0,5(B_T^1 + B_{\text{хв}}^1)0,5h_{\text{хв}}^1.$$

5. Определяем объем холодной воронки, м³

$$V_{\text{хв}}^1 = F_{\text{бх}}^1 a_T^1.$$

6. Глубина газового объема от фронтальной стены до ширм станет в первом варианте, м

$$B_{\text{гш}}^1 = B_{\text{гш}}^{\text{п}} - (B_T^{\text{п}} - B_T^1),$$

где $B_{\text{гш}}^{\text{п}}$ - глубина газового объема от фронтальной стены до ширм у прототипа (см. рис. 2).

7. Определяем площадь боковой стены верхней части топки в районе ширм, м²

$$F_{\text{бвт}}^1 = h_{\text{ш}} B_{\text{гш}}^1,$$

где $h_{\text{ш}} = h_0$ (см. рис. 2).

8. Определяем объем топки в районе ширм, м³

$$V_{\text{вт}}^1 = F_{\text{бвт}}^1 a_T^1.$$

9. Для определения объема топки в районе аэродинамического выступа необходимо определить площадь боковой стены, которая представляет собой сумму площадей двух трапеций (см. рис. 2). Большее основание нижней трапеции равно глубине топки B_T^1 ; большее основание верхней трапеции равно глубине топки от переднего фронта до конца ширм в горизонтальной плоскости (на рис. 2 она равна $B_{\text{гкш}}^{\text{п}} = 7700$ мм), определяется эта глубина по аналогии с п. 6, м

$$B_{\text{гкш}}^1 = B_{\text{гкш}}^{\text{п}} - (B_T^{\text{п}} - B_T^1).$$

Меньшее основание одинаково для обеих трапеций и равно глубине газового объема от фронтальной стенки топки до острого конца («носа») аэродинамического выступа – $B_{\text{гн}}$; на рисунке прототипа эта глубина ($B_{\text{гн}}^{\text{п}}$) не указана, но ее легко определить, используя имеющиеся на чертеже прототипа размеры и углы наклона аэродинамического выступа.

Определив $v_{ГН}^{\Pi}$, вычисляем меньшее основание трапеций (как в п. 6), м

$$v_{ГН}^1 = v_{ГН}^{\Pi} - (v_T^{\Pi} - v_T^1),$$

площадь боковой стены топки в районе аэродинамического выступа, м²

$$F_{\text{ба}}^1 = 0,5(v_T^1 + v_{ГН}^1)h_{\text{HT}} + 0,5(v_{\text{ГКШ}}^1 + v_{ГН}^1)h_{\text{BT}},$$

где h_{HT} и h_{BT} – одинаковые для всех вариантов высоты нижнего и верхнего участков аэродинамического выступа (расчетных трапеций), м, и объем топки в районе аэродинамического выступа, м³

$$V_a^1 = F_{\text{ба}}^1 a_T^1.$$

10. Определяем объем призматической части топки, м³

$$V_{\text{пр}}^1 = V_T - V_{\text{XB}}^1 - V_{\text{BT}}^1 - V_a^1.$$

11. Определяем высоту призматической части топки, м

$$h_{\text{пр}}^1 = \frac{V_{\text{пр}}^1}{f_T}$$

и общую высоту топки для первого варианта, м

$$h_T^1 = 0,5h_{\text{XB}}^1 + h_{\text{пр}}^1 + h_{\text{HT}} + h_{\text{BT}} + h_{\text{ш}}.$$

12. Определяем площадь поверхности передней фронтальной стены топки, м²

$$F_{\text{фр}}^1 = h_{\text{фр}}^1 \cdot a_T^1 + l_{\text{СХВ}}^1 \cdot a_T^1,$$

где $h_{\text{фр}}^1 = h_T^1 - 0,5h_{\text{XB}}^1$, $l_{\text{СХВ}}^1$ – длина ската холодной воронки, вычисляется геометрически по известным v_T^1 , h_{XB}^1 и v_{XB}^1 или при помощи эскиза, вычерченного

в масштабе.

13. Определяем площадь поверхности задней стены топки, м^2

$$F_3^1 = (l_{\text{вча}} + l_{\text{нча}} + h_{\text{пр}}^1 + l_{\text{схв}}^1) a_T^1,$$

где $l_{\text{вча}} = 3,400 \text{ м}$; $l_{\text{нча}} = 3,002 \text{ м}$ (см. рис. 2).

14. Определяем площадь боковой стены, м^2

$$F_6^1 = F_{\text{бх}}^1 + F_{\text{ба}}^1 + F_{\text{бвт}}^1 + (v_T^1 - h_{\text{пр}}^1).$$

15. Определяем площадь выходного газового окна, м^2

$$F_{\text{окн}}^1 = F_{\text{вхш}}^1 + F_{\text{ггш}}^1,$$

где $F_{\text{вхш}}^1$ - площадь выходного газового окна, занятая вертикальными трубами ширм, $F_{\text{вхш}}^1 = h_{\text{ш}} a_T^1$;

$F_{\text{ггш}}^1$ - часть площади газового окна, занятая горизонтальными трубами ширм, $F_{\text{ггш}}^1 = v_{\text{ш}} a_T^1$, $v_{\text{ш}} = 2,1 \text{ м}$ – см. рис. 2.

16. Определяем расчетное горизонтальное сечение холодной воронки (по середине высоты холодной воронки), м^2

$$F_{\text{хв}}^1 = v_{\text{хв}}^1 a_T^1.$$

17. Определяем суммарную поверхность стен топки, м^2

$$F_{\text{ст}}^1 = F_{\text{фр}}^1 + F_3^1 + F_6^1 \cdot 2 + F_{\text{окн}}^1 + F_{\text{хв}}^1.$$

18. Определяем коэффициент формы топки, м^{-1}

$$K_{\text{фор}}^1 = \frac{F_{\text{лт}}^1}{V_T},$$

где $F_{\text{лт}}$ – лучевоспринимающая поверхность экранов, м^2 .

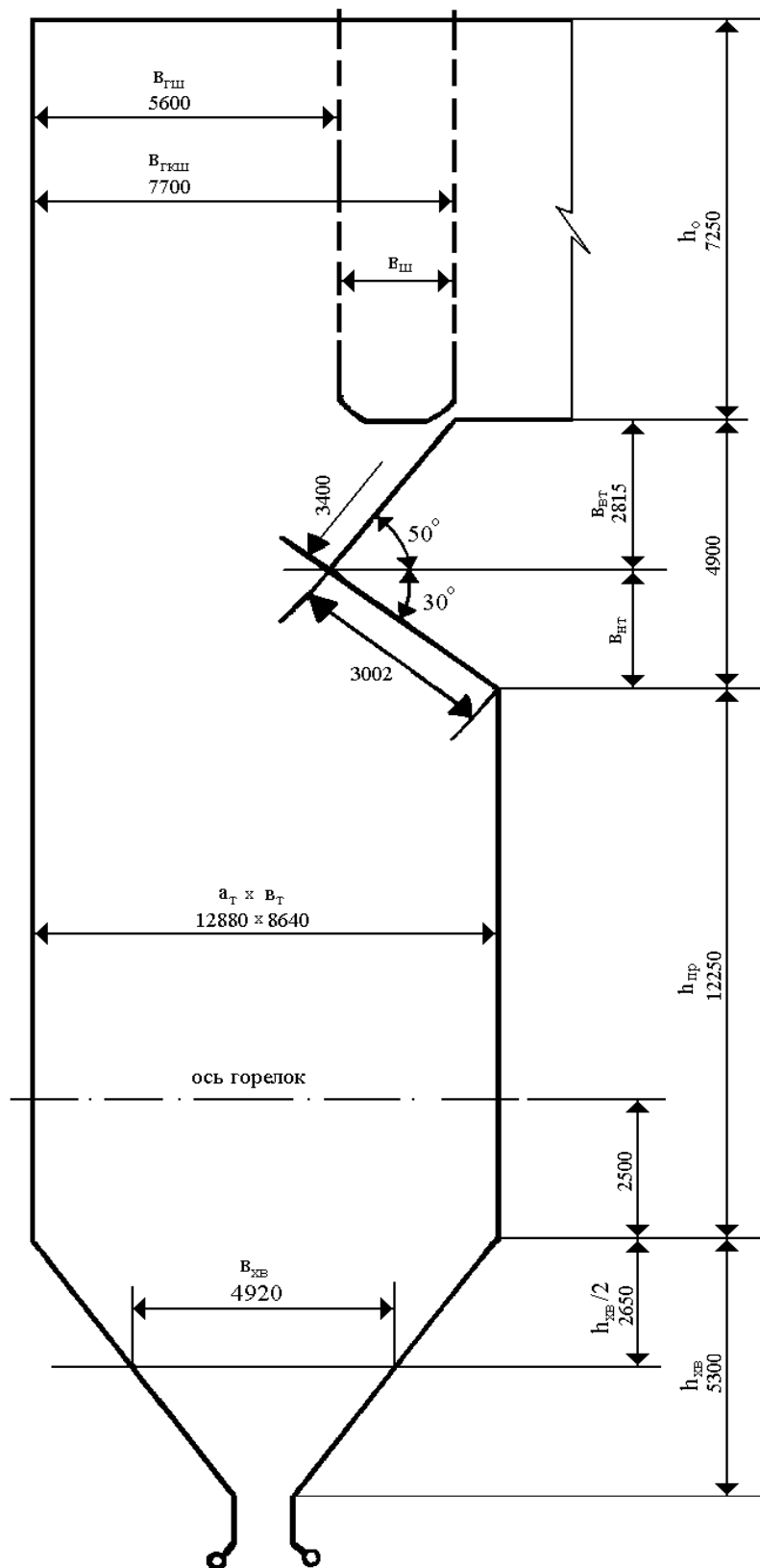


Рис. 2

$$F_{лт}^1 = F_{ст}^1 \cdot X.$$

19. Выполнить расчеты в соответствии с п. 1...п. 18 для вариантов 2 и 3, произвести сравнительный анализ результатов в зависимости от коэффициентов формы топки и сделать необходимые выводы.

Б

1. Задаемся диапазоном возможных температур на выходе из топки и адиабатной; для каждой из принятых температур выписываем из [1] для заданного топлива энтальпии дымовых газов и воздуха при $\alpha = 1$ и вычисляем энтальпии газов при $\alpha = 1,20$ по формуле, кДж/кг

$$H_{\Gamma} = H_{\Gamma}^0 + (\alpha - 1)H_{\text{B}}^0 + H_3,$$

результаты сводим в таблицу:

$\vartheta, ^\circ\text{C}$	800	1000	1200	1400	2000	2200
$H_{\Gamma}^0, \text{кДж/кг}$
$H_{\text{B}}^0, \text{кДж/кг}$
$H_{\Gamma}, \text{кДж/кг}$

2. Определяем энтальпию дымовых газов при заданной адиабатной температуре $\vartheta_a, \text{кДж/кг}$

$$H_{\text{го}} = H_{\Gamma}^{2000} + \frac{H_{\Gamma}^{2200} - H_{\Gamma}^{2000}}{2200 - 2000} (\vartheta_a - 2000).$$

3. Задаемся температурой газов на выходе из топки $\vartheta''_T, ^\circ\text{C}$ (с последующим уточнением); определяем среднюю теплоемкость продуктов сгорания, кДж/(кг·К)

$$Vc_{\text{cp}} = \frac{H_{\text{го}} - H_{\Gamma}^{\vartheta''_T}}{\vartheta_a - \vartheta''_T},$$

где $H_{\Gamma}^{\vartheta''_T}$ - энтальпия газов при температуре ϑ''_T , определяется в соответствии с п. 1.

4. Определяем число Больцмана для первого варианта коэффициента формы топки

$$B_0^1 = \frac{\varphi B_p V_{c_{cp}} \cdot 10^{11}}{5,67 \Psi_{cp} F_{ct}^1 T_a^3},$$

где $T_a = (\vartheta_a + 273)$, К.

5. Определяем температуру газов на выходе из топки, К

$$(T_T'')^1 = \frac{T_a}{1 + M \left(\frac{\varepsilon_T}{B_0^1} \right)^{0,6}};$$

$$(\vartheta_T'')^1 = (T_T'')^1 - 273.$$

Расчеты по пп. 3, 4, 5 повторять, задаваясь новыми значениями ϑ_T'' , до тех, пока разница $\vartheta_T'' - (\vartheta_T'')^1$ не станет меньше 50 °С.

6. Выполнить расчеты для других вариантов отношений $\frac{a_T}{v_T}$, сделать выводы.

ЗАДАЧА 4

При проектировании котельных установок необходимо предусмотреть мероприятия по снижению загрязняющих выбросов. Сравнить ожидаемый выход оксидов азота из котла при сжигании мазута с рециркуляцией дымовых газов в зону горения 5% и 15%: при вводе газов рециркуляции через шлицы под горелки и при подаче их в горелку. Для выполнения сравнительных расчетов принять: теплота сгорания мазута $Q_H^p = 39080$ кДж/кг; температура горячего воздуха $t_{гв} = 325$ °С; коэффициент избытка воздуха на выходе из топки $\alpha_T = 1,03$; присосы в топке $\Delta\alpha_T = 0,05$; температура газов на выходе из топки $\vartheta_T'' = 1180$ °С; тепловое напряжение сечения топки $q_F = 5120$ кВт/м²; ширина и глубина топочной камеры соответственно $a_T = 17,3$ м, $v_T = 8,77$ м; тепловое напряжение топочного объема $q_v = 194$ кВт/м³; $\Psi_{зг} = 0,447$; $\alpha_{rc} = 1,20$.

Порядок решения

1. Для заданного топлива из [1] выписываем V_G^0 ; V_B^0 ; H_B^0 при $t_b = 300$ °С и $t_b = 400$ °С, определяем теплоту горячего воздуха, кДж/кг

$$Q_{ГВ} = (\alpha_T - \Delta\alpha_T)H_{ГВ}^{325},$$

$$\text{где } H_{ГВ}^{325} = \frac{H_B^{400} - H_B^{300}}{400 - 300}(t_{ГВ} - 300) + H_B^{300},$$

располагаемое тепловыделение в топке, кДж/кг

$$Q_T^1 = Q_H^p + Q_{ГВ},$$

ожидаемую адиабатную температуру факела, °С

$$\vartheta_a = \frac{1950}{\alpha_{гор}} \left(1 + 0,36 \cdot 10^{-5} Q_T^1\right),$$

среднюю теплоемкость продуктов сгорания при сжигании мазута, кДж/(м³·к)

$$c_T = 1,58 + 0,122 \cdot \kappa_t,$$

где κ_t – температурный коэффициент изменения теплоемкости

$$\kappa_t = \frac{(\vartheta_a - 1200)}{10^3},$$

среднюю теплоемкость воздуха, кДж/(м³·К)

$$c_B = 1,46 + 0,092 \cdot \kappa_t.$$

2. Определяем расчетную адиабатную температуру, К

$$T_a^{\text{расч}} = \frac{Q_T}{V_T^0 c_T + 1,016(\alpha_{гор} - 1)V_B^0 c_B} + 273,$$

где $\alpha_{гор} = \alpha_T - 0,5\Delta\alpha_T$.

Допустимое расхождение между ожидаемой адиабатной температурой и расчетным ее значением $\vartheta_a^{\text{расч}} = T_a^{\text{расч}} - 273$ не должно превышать 50 °С, в против-

ном случае необходимо принять новое значение $T_a^{\text{расч}}$, К, и уточнить значения c_r и c_b .

3. Определяем максимальную температуру зоны горения с учетом рециркуляции газов, К

$$T_m = \beta_{\text{сг}} T_a^{\text{расч}} (1 - \Psi_{\text{зг}})^{0,25} (1 - r^{1+n_r}) m_r,$$

где $\beta_{\text{сг}}$ – доля сгоревшего топлива на участке от выхода из горелки до завершения интенсивного высокотемпературного горения, для природного газа и мазута $\beta_{\text{сг}} = 0,97 \dots 0,99$; n – коэффициент, учитывающий способ ввода рециркулируемых газов в топку, $n = 6,5$ – при вводе через сопла под горелками; $n = 5,0$ – при вводе через кольцевой канал вокруг горелки; $n = 3,0$ – при смешении газов с горячим воздухом до горелки или при вводе в горелку между центральным и периферийным каналами горелки m_r – коэффициент, учитывающий тип горелки, $m_r = 1$ – для вихревых настенных горелок; $m_r = 0,95 \left(\frac{25}{\omega_b} \right)^{0,2}$ – для прямо-

точных настенных горелок, где ω_b – скорость воздуха на выходе из горелки, м/с; $m_r = 0,985$ – для подовых горелок; r – доля рециркуляции газов в зону горения.

Расчеты T_m выполняются для четырех вариантов:

- T_{m1} – при $r = 0,05$ и вводе газов рециркуляции через шлицы;
- T_{m2} – при $r = 0,15$ и таком же вводе газов;
- T_{m3} – при $r = 0,05$ и вводе газов через горелку;
- T_{m4} – при $r = 0,15$ и вводе газов через горелку.

Сделать выводы о влиянии рециркуляции и места ввода газов рециркуляции на максимальную температуру в зоне горения.

4. Определяем температурный интервал активной реакции образования оксидов азота, К, для четырех вариантов

$$\Delta T_p = \frac{T_m^2 \cdot 10^{-5}}{0,614 + T_m \cdot 10^{-5}}.$$

5. Определяем среднюю температуру газов в топочном объеме, К, для четырех вариантов

$$\bar{T}_r = 0,84 \left[(T_m)^4 + (T_T'')^4 \right]^{0,25},$$

где $T_T'' = \vartheta_T'' + 273$.

6. Определяем время пребывания газов в топочной камере, с, для четырех режимов

$$\tau_{\text{преб}} = \frac{273\xi}{q_v \bar{T}_r \vartheta_r^{\text{II}} \alpha_r (1+r)},$$

где ξ – коэффициент заполнения сечения топки восходящим потоком газов: $\xi = 0,8$ – при встречно расположенных вихревых горелках; $\xi = 0,75$ – при однофронтально расположенных вихревых горелках; $\xi = 0,70$ – для тангенциального расположения прямооточных горелок; $\xi = 0,90$ – для подовых горелок;

ϑ_r^{II} – удельный приведенный объем газов при $\alpha = 1$, м³/кДж, в расчетах принимают: $\vartheta_r^{\text{II}} = 0,273$ – для антрацита и полуантрацита; $\vartheta_r^{\text{II}} = 0,278 + 0,001W^{\text{II}}$ – для остальных твердых топлив;

$\vartheta_r^{\text{II}} = 0,281$ – для мазута; $\vartheta_r^{\text{II}} = 0,3$ – для природного газа.

7. Расчетное время реакции образования оксидов азота в топке, с, определяем для четырех вариантов

$$\tau_p = \frac{\Delta T_p}{T_a^{\text{расч}} - T_T''} \left(\frac{q_F \Pi}{300} \right)^{0,5} \tau_{\text{преб}},$$

где Π – периметр топки, м

$$\Pi = 2(a_T + b_T).$$

8. Определяем теоретическое время достижения равновесной концентрации оксида азота NO при температуре T_m , с, для четырех вариантов

$$\tau_o = 0,024 \exp\left(\frac{54290}{T_m} - 23\right).$$

9. Определяем концентрацию остаточного (избыточного) кислорода в зоне горения, кг/м³ для четырех вариантов

$$C_{O_2} = \frac{0,21V_B^o [(\alpha_{\text{гор}} - 1) + r(\alpha_{\text{рц}} - \alpha_{\text{гор}})] p_{O_2}}{[V_r^o + (\alpha_{\text{гор}} - 1)V_B^o](1+r)},$$

где $\alpha_{\text{рц}}$ – коэффициент избытка воздуха в газах рециркуляции; $\rho_{\text{O}_2} = 1,428 \text{ кг/м}^3$ – плотность кислорода при нормальных условиях.

10. Определяем концентрацию термических оксидов азота, г/м^3 , для четырех вариантов

$$\text{NO}_2^{\text{T}} = 7,03 \cdot 10^3 c_{\text{O}_2}^{0,5} \exp\left(\frac{-10860}{T_{\text{M}}}\right) \frac{\tau_{\text{p}}}{\tau_{\text{o}}}.$$

11. Определяем концентрацию быстрых и топливных оксидов азота, г/м^3 , для четырех вариантов

$$\text{NO}_2^{\text{бт}} = (0,40 - 0,1N^{\text{p}}) N^{\text{p}} \left(\frac{\alpha_{\text{гор}} + \Gamma}{1 + \Gamma}\right)^2 \left(\frac{2100 - T_{\text{M}}}{125}\right)^{0,33}.$$

12. Определяем суммарный выход оксидов азота, г/м^3 , для четырех вариантов

$$\text{NO}_2 = \text{NO}_2^{\text{T}} + \text{NO}_2^{\text{бт}}.$$

По результатам выполненных расчетов необходимо сделать выводы и предложить рекомендации по проектированию котла с лучшими экологическими показателями.

ЗАДАЧА 5

Определить необходимую глубину конвективного газохода $\mathbf{в}$ для размещения экономайзера, если скорость продуктов сгорания w_{r} (по условиям золотого износа) не должна превышать 6 м/с. Ширина газохода $a = 17,28$ м. Принимаем: диаметр труб экономайзера $d = 32$ мм; поперечный шаг труб $s_1 = 85$ мм; расположение труб параллельно фронту; расстояние между крайней трубкой и стеной газохода $e = 67$ мм. По условиям надежности крепления труб экономайзера и теплогидравлической работы в газоходе размещаем две секции, каждая длиной $l = 8,54$ м. Расход топлива $B_{\text{p}} = 45,2$ кг/с, объем продуктов сгорания $V_{\text{r}} = 5,467 \text{ м}^3/\text{кг}$, температура продуктов сгорания на входе в экономайзер $\vartheta' = 650$ °С.

Порядок решения

1. Определяем живое сечение для прохода газов, м²

$$F_r = \frac{V_r B_p (\vartheta' + 273)}{w_r 273}.$$

2. Определяем глубину газохода, м

$$B = \frac{F_r - 2ld \left(\frac{2e}{s_1} - 1 \right)}{a - \frac{2ld}{s_1}}.$$

3. Определяем число труб в одной секции, шт

$$z = \frac{B - 2e}{s_1} + 1.$$

4. Проверяем полученное сечение для прохода дымовых газов, м²

$$F_r = av - 2zld.$$

5. Предлагаем вариант профиля котла (в его конвективной части).

ЗАДАЧА 6

Определить размер поверхности гладкотрубного экономайзера для котла, работающего на мазуте. Температура газов на входе в экономайзер $\vartheta' = 496$ °С, на выходе $\vartheta'' = 375$ °С; энтальпии газов на входе и выходе соответственно $H'_r = 9533$ кДж/кг, $H''_r = 7087$ кДж/кг; коэффициент сохранения теплоты $\varphi = 0,99$; тепловосприятие дополнительных поверхностей $Q_{доп} = 4,0$ кДж/кг; температура воды и ее энтальпия на входе в экономайзер $t' = 275$ °С и $h' = 1206$ кДж/кг; расход воды $D = 263,89$ кг/с; давление воды на входе в экономайзер и выходе из него $p' = 29,92$ МПа и $p'' = 29,63$ МПа; расход мазута $B_p = 19,278$ кг/с, объем дымовых газов $V_r = 13,25$ м³/кг; объемные доли водяных паров и трехатомных газов: $r_{H_2O} = 0,1168$, $r_{H_2O} = 0,2566$; коэффициент избытка воздуха на

выходе из топки $\alpha_T = 1,03$. Котел газоплотный, давление дымовых газов $p = 0,1$ МПа.

Предварительно принятые конструктивные данные: живое сечение для прохода газов $F_r = 63,7 \text{ м}^2$; живое сечение для прохода воды $f_b = 0,254 \text{ м}^2$; трубы диаметром 32x6 мм; число рядов $z_2 = 10$; расположение труб коридорное, поперечный шаг $s_1 = 80$ мм, продольный шаг $s_2 = 42,5$ мм; относительный размер предвключенного газового объема $\frac{l_o}{l_n} = 1,04$; ширина газохода $a = 16320$ мм, глубина газохода $b = 6360$ мм.

Порядок решения

1. Определяем тепловосприятие экономайзера, кДж/кг

$$Q_{\bar{6}} = \varphi(H' + H'') - Q_{\text{доп}}.$$

2. Определяем приращение энтальпии воды в экономайзере, кДж/кг

$$\Delta h = \frac{Q_{\bar{6}} B_p}{D}.$$

3. Определяем энтальпию воды на выходе из экономайзера, кДж/кг

$$h'' = h' + \Delta h$$

и температуру воды t'' при заданном давлении (по таблицам воды и водяного пара).

4. Определяем средние температуры продуктов сгорания $\bar{\vartheta}$, °С, и воды в экономайзере \bar{t} , °С

$$\bar{\vartheta} = 0,5(\vartheta' + \vartheta'');$$

$$\bar{t} = 0,5(t' + t'').$$

5. Определяем температурный напор, °С

$$\Delta t_{\bar{6}} = \vartheta' - t'';$$

$$\Delta t_M = \vartheta'' - t';$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_M}{\frac{l_{II} \Delta t_{\delta}}{\Delta t_M}}.$$

6. Определяем скорость воды в экономайзере, м/с

$$w_B = \frac{\vartheta_B D}{f_B}$$

и массовую скорость воды, кг/(м²·с)

$$\rho w_B = \frac{D}{f_B}.$$

Выполняем анализ найденных скоростей с точки зрения обеспечения бескоррозионного режима работы экономайзера и допустимой температуры металла.

7. Определяем среднюю скорость продуктов сгорания в трубном пакете экономайзера, м/с

$$w_{\Gamma} = \frac{V_{\Gamma} B_p (\bar{\vartheta} + 273)}{F_{\Gamma} \cdot 273}.$$

8. Определяем коэффициент теплоотдачи конвекцией от дымовых газов к стенке труб экономайзера, кВт/(м²·К)

$$\alpha_K = 0,2 C_s C_z \frac{\lambda_{\Gamma}}{\alpha} \left(\frac{w_{\Gamma} d}{v_{\Gamma}} \right)^{0.65} Pr_{\Gamma}^{0.33},$$

где C_s – поправочный коэффициент на геометрию трубного пакета

$$C_s = \left[1 + (2\sigma_1 - 3) \left(1 - \frac{\sigma_2}{2} \right)^3 \right]^{-2},$$

при $1,5 \geq \sigma_1$ и $2 \leq \sigma_2$ $C_s = 1$; при $\sigma_2 > 2$ и $\sigma_1 > 3$ принимается $\sigma_1 = 3$;
 C_z – поправка на число рядов труб по ходу продуктов сгорания

$$C_z = 0,91 + 0,0125(z_2 - 2);$$

λ_r, ν_r и Pr_r для дымовых газов определяются по справочным таблицам, приведенным в [1].

9. Определяем коэффициент теплоотдачи излучением в межтрубном пространстве экономайзера, кВт/(м²·К)

$$\alpha_{л} = \frac{5,13 \cdot 10^{-11} \varepsilon \bar{T}^3 \left[1 - \left(\frac{T_3}{\bar{T}} \right)^n \right]}{\left(1 - \frac{T_3}{\bar{T}} \right)},$$

где ε коэффициент излучения газа в межтрубном пространстве, т.е. $\varepsilon = \varepsilon_r$

$$\varepsilon_r = 1 - e^{-k_r r_n p s},$$

k_r – коэффициент ослабления лучей газовой средой, $\frac{1}{\text{МПа} \cdot \text{м}}$

$$k_r = \left(\frac{0,78 + 1,6r_{\text{H}_2\text{O}}}{0,316\sqrt{p_{\text{II}}s}} - 1 \right) \left(1 - 0,37 \frac{\bar{T}}{10^3} \right),$$

p_{II} – суммарное парциальное давление газов, МПа,

s – эффективная толщина излучающего газового слоя между трубами секции, м

$$s = 0,9d \left(\frac{4s_1s_2}{\pi d^2} - 1 \right);$$

$\bar{T} = \bar{\vartheta} + 273$; $T_3 = t_3 + 273$, где t_3 – температура загрязненной стенки трубы, °С.
 Для одноступенчатого экономайзера при $\vartheta' \leq 400$ °С

$$t_3 = \bar{t} + 25,$$

где \bar{t} - температура воды в экономайзере (средняя).

10. Определяем уточненный коэффициент теплоотдачи излучением с учетом излучения газового объема перед входом продуктов сгорания в экономайзер, кВт/(м²·К)

$$\alpha'_{\text{л}} = \alpha_{\text{л}} \left[1 + A \left(\frac{T'}{1000} \right)^{0,25} \left(\frac{l_0}{l_{\text{п}}} \right)^{0,07} \right],$$

где l_0 и $l_{\text{п}}$ – глубины газового объема и экономайзера, м;

T' – температура газов на входе в экономайзер, К;

коэффициент $A = 0,3$ при сжигании газа и мазута.

11. Определяем коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания к стенке, кВт/(м²·К)

$$\alpha_1 = \Psi(\alpha_{\text{к}} + \alpha'_{\text{л}}),$$

где Ψ – коэффициент тепловой эффективности экономайзера; при сжигании мазута с $\alpha \leq 1,03$, $\Psi = (0,65 \dots 0,7) + 0,05$.

12. Определяем коэффициент теплопередачи для экономайзера с коридорным расположением труб, кДж/(м²·К)

$$k = \Psi \alpha_1.$$

13. Определяем расчетную поверхность нагрева экономайзера, м²

$$F = \frac{Q_6 B_p}{k \Delta t}.$$

14. Принимаем рекомендуемое для газомазутного котла расположение коллекторов экономайзера вдоль фронта котла, соответственно расположение труб – перпендикулярно фронту. Определяем число параллельных трубных секций, шт

$$n'_c = 10^{-3} \frac{\alpha}{s_1} - 1.$$

Если число секций получилось нечетным, принимаем к исполнению четное их число с увеличением зазора между крайними секциями и боковыми стенами, т.е.

$$n_c = n'_c - 1.$$

15. Определяем число труб в одной секции, шт

$$n_{\text{тр}} = \frac{f_{\text{в}}}{0,785d_{\text{вн}}^2 n_c}.$$

16. Определяем поверхность нагрева одной петли змеевика, м²

$$F_{\text{пет}} = \pi d (2l_p + 2\pi R^2)$$

где l_p – рабочая длина прямого участка трубы, м

$$l_p = v - 2l_3,$$

l_3 – численное значение зазора между гибом трубы и стенкой газохода, м (можно принять $l_3 = s_1$).

R – радиусгиба трубы, м

$$R = (1,75 \dots 2,5)d \cdot 10^{-3}.$$

17. Определяем количество петель по ходу газов, шт

$$n_{\text{пет}} = \frac{F}{F_{\text{пет}} n_{\text{тр}} n_c}.$$

Если $n_{\text{пет}}$ получилось дробным, то его округляют в сторону увеличения до числа, кратного 0,5 или до целого числа.

18. Определяем полную глубину пакета экономайзера, м

$$l_{\text{п}} = (4n_{\text{пет}} - 2)R + 2n_{\text{пет}}(n_{\text{тр}} - 1)s_2.$$

Если глубина пакета $l_{п} > 1,4$ м, то конструктивно его следует разделить на два пакета с технологическим (ремонтным) разрывом между пакетами не менее 800 мм, а $l_{п} = l_{п1} + l_{п2}$ (или $n_{пет} = n_{пет1} + n_{пет2}$).

ЗАДАЧА 7

При проектировании паровых котлов или реконструкции может возникнуть необходимость разместить в жестко заданном объеме газохода большую площадь поверхности нагрева. Эта задача решается путем оребрения всей поверхности теплообменника или ее части. В данной задаче предлагается определить необходимую поверхность нагрева экономайзера, состоящего частью из гладких труб, а частью из оребренных (мембранных) и выполнить расчет геометрических характеристик экономайзера.

Исходные данные:

Топливо-мазут сернистый; расход топлива $B_p = 14,528$ кг/с; удельный объем продуктов сгорания $V_r = 11,84$ м³/кг; параметры дымовых газов: $\vartheta' = 609$ °С; $\vartheta'' = 312$ °С; $H' = 10743$ кДж/кг; $H'' = 5288$ кДж/кг; $Q_{доп} = 105$ кДж/кг; коэффициент сохранения теплоты $\phi = 0,9971$; параметры воды в экономайзере: $t' = 254$ °С; $h' = 1104$ кДж/кг; $D = 186,00$ кг/с; $p'' = 15,8$ МПа; взаимное движение сред-противоток; коэффициент теплопередачи от газов к воде $k = 63,22 \cdot 10^{-3}$ кВт/(м²·К); размеры газохода: ширина $a = 18,0$ м; глубина – $b = 3,32$ м; диаметр труб экономайзера 28x4 мм; поперечный шаг труб экономайзера $s_1 = 85$ мм; продольный шаг $s_2 = 45$ мм; отношение площади оребренной поверхности к общей площади экономайзера $\frac{F_M}{F} = 0,817$; отношение площади труб в оребрен-

ной части экономайзера к общей площади экономайзера $\frac{F_{ТР}}{F} = 0,398$.

Порядок решения

1. Определяем тепловосприятие экономайзера по балансу, кДж/кг

$$Q_6 = \phi(H' - H'') - Q_{доп}$$

2. Определяем приращение энтальпии воды в экономайзере, кДж/кг

$$\Delta h = \frac{Q_6 B_p}{D}$$

3. Определяем энтальпию и температуру воды на выходе из экономайзера

$$h'' = h' + \Delta h;$$

при заданном p'' и расчетном h'' определяем по таблицам воды и водяного пара t'' , °C.

4. Определяем средние температуры продуктов сгорания и воды в экономайзере, °C

$$\bar{\vartheta} = 0,5(\vartheta' + \vartheta''),$$

$$\bar{t} = 0,5(t' + t'').$$

5. Определяем температурный напор, °C

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}},$$

где $\Delta t_{\delta} = \vartheta' - t''$; $\Delta t_{\text{м}} = \vartheta' - t'$.

6. Расчетная поверхность нагрева мембранного экономайзера, м²

$$F = \frac{B_p Q_{\delta}}{k \Delta t}.$$

7. Определяем поверхность оребренной (мембранной) части экономайзера, м²

$$F_{\text{м}} = F \left(\frac{F_{\text{м}}}{F} \right).$$

8. Определяем поверхности труб, м².

8.1. В мембранной части

$$F_{\text{м}}^{\text{тп}} = F_{\text{м}} \left(\frac{F_{\text{м}}^{\text{тп}}}{F_{\text{м}}} \right).$$

8.2. В гладкотрубной части

$$F_{\text{гл}}^{\text{тр}} = F - F_{\text{м}}.$$

8.3. Суммарная поверхность труб в экономайзере

$$F_{\text{тр}} = F_{\text{м}}^{\text{тр}} + F_{\text{гл}}^{\text{тр}}.$$

9. По рекомендациям [1] принимаем массовую скорость воды в экономайзере $\rho w = 700 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, тогда живое сечение для прохода воды, м^2

$$f_{\text{в}} = \frac{D}{\rho w}.$$

10. Определяем общее число труб экономайзера, шт

$$n_{\text{о}} = \frac{f_{\text{в}}}{(0,785d_{\text{вн}}^2)}.$$

11. Определяем число секций (рядов) труб по ширине газохода, шт

$$n_{\text{с}} = 10^{-3} \frac{a}{s_1} - 1$$

и число труб в секции, шт

$$n_{\text{тр}} = \frac{n_{\text{о}}}{n_{\text{с}}}.$$

12. Определяем сечение для прохода газов, м^2

$$F_{\text{г}} = av - n_{\text{с}} l_1 d,$$

где l_1 – длина трубы, м, $l_1 = d - 2l_3$, $l_3 = s_1$ и скорость газов в пакете экономайзера, м/с

$$w_{\Gamma} = \frac{V_{\Gamma} B_p (\bar{\vartheta} + 273)}{F_{\Gamma} \cdot 273}.$$

ЗАДАЧА 8

Выполнить конструктивный расчет входной ступени трубчатого воздухоподогревателя (ТВП) для парового котла, работающего на нерюнгринском угле. Входная ступень ТВП должна обеспечить подогрев воздуха от 50 °С до 221 °С при температуре продуктов сгорания на входе 281 °С ($H'_{\Gamma} = 3511,4$ кДж/кг). Расход топлива на котел $B_p = 22,278$ кг/с; $V_B^0 = 6,47$ м³/кг; коэффициент избытка воздуха в воздушном тракте за ТВП – $\beta'' = 1,17$; коэффициент избытка воздуха в газовом тракте РВП – $\alpha'_{\Gamma} = 1,25$, $\alpha''_{\Gamma} = 1,28$; коэффициент сохранения теплоты $\varphi = 0,997$; доля водяных паров $r_{H_2O} = 0,069$; энтальпия дымовых газов при $\alpha''_{\Gamma} = 1,28$ и $\vartheta = 200$ °С – $H_{\Gamma} = 2516$ кДж/кг.

Порядок решения

1. По рекомендациям [1] принимаем: трубы РВП имеют наружный диаметр $d = 40$ мм при толщине стенки 1,6 мм; расположение труб шахматное, $s_1 = 60$ мм, $s_2 = 42$ мм; сечение для прохода газов $F_{\Gamma} = 45$ м², сечение для прохода воздуха $F_B = 44$ м², число рядов $z_2 > 10$; схема включения – двукратный перекрест с одной промежуточной доской.
2. Определяем тепловосприятие ступени по балансу, кДж/кг

$$Q_B^B = \beta_{ВП} (H_B^{o''} - H_B^{o'}),$$

где $\beta_{ВП} = \beta'' + \frac{\Delta\alpha_{ВП}}{2} + \beta_{рц}$,

$$\Delta\alpha_{ВП} = \alpha'' - \alpha',$$

$\beta_{рц}$ – доля рециркулирующего воздуха, в нашем случае $\beta_{рц} = 0$,

$H_B^{o'}$ и $H_B^{o''}$ – энтальпии воздуха при температурах соответственно 50 и 221 °С и $\alpha = 1$, кДж/кг.

3. Определяем энтальпию и температуру уходящих газов.

3.1. Средняя температура воздуха, °С

$$\bar{t}_B = 0,5(t'_B + t''_B),$$

где t'_B и t''_B известны из условий задачи; теоретическая энтальпия воздуха H_{cp}^0 при \bar{t}_B и $\alpha = 1$ определяется по справочным данным [1].

3.2. Энтальпия уходящих газов, кДж/кг

$$H_{yг} = H'_г - \frac{Q_{\delta}^B}{\phi} + \Delta\alpha_{вп} H_{cp}^0.$$

3.3. Определяем температуру уходящих газов $\vartheta_{yг}$, °С, по справочным данным [1] при известных $\alpha_{yг} = \alpha''$ и $H_{yг}$.

4. Определяем средний температурный напор в ТВП.

4.1. Определяем расчетные параметры потоков газа и воздуха

$$P = \frac{\tau_m}{(\vartheta' - t'_B)}; \quad R = \frac{\tau_{\delta}}{\tau_m},$$

где τ_m – перепад температур при прохождении поверхности нагрева той средой, у которой этот перепад меньше, чем у другой среды; τ_{δ} – перепад температур другой среды, °С.

4.2. Определяем поправочный коэффициент Ψ по найденным P и R , используя соответствующую номограмму в [1].

4.3. Определяем температурный напор при противоточном движении газа и воздуха, °С

$$\Delta t_{про} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}},$$

в нашем случае

$$\Delta t_{про} = \frac{(\vartheta_{yг} - t'_B) - (\vartheta' - t''_B)}{\ln \frac{\vartheta_{yг} - t'_B}{\vartheta' \cdot t''_B}}.$$

4.4. Определяем действительный температурный напор при перекрестном токе, °С

$$\Delta t = \Psi \Delta t_{про}.$$

5. Определяем коэффициент теплоотдачи от стенки труб ТВП к воздуху.

5.1. По справочным данным [1] находим для воздуха при температуре \bar{t}_B физические параметры ν_B , м²/с; λ_B , кВт/(м·К); Pr_B .

5.2. Определяем поправочные коэффициенты на геометрию пучка:

$$\text{диагональный шаг } s'_2 = \sqrt{\left(\frac{s_1}{2}\right)^2 + s_2^2}, \text{ мм};$$

$$\text{относительные шаги: } \sigma_1 = \frac{s_1}{d}; \quad \sigma'_2 = \frac{s'_2}{d};$$

$$\text{параметр } \varphi_\sigma = \frac{\sigma_1 - 1}{\sigma'_2 - 1};$$

поправочный коэффициент $C_s = 0,275\varphi^{0,5}$ (если $1,7 < \varphi \leq 4,5$ и $\sigma_1 < 3$); $C_s = 0,34\varphi^{0,1}$ (при $0,1 < \varphi \leq 1,7$); $C_s = 0,34\varphi^{0,1}$ (при $1,7 < \varphi \leq 4,5$ и $\sigma_1 \geq 3$); поправочный коэффициент $C_z = 1,0$, т.к. $z_2 > 10$.

5.3. Скорость воздуха в ТВП, м/с

$$w_B = \frac{B_p \beta_{вп} V_B^0 (\bar{t}_B + 273)}{273 F_B}.$$

5.4. Коэффициент теплоотдачи от стенки труб к воздуху, кВт/(м²·К)

$$\alpha_B = C_s C_z \frac{\lambda_B}{d} \left(\frac{w_B d}{\nu_B} \right)^{0,6} Pr_B^{0,33}.$$

6. Определяем коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания к стенкам труб РВП.

6.1. Средняя температура продуктов сгорания, °С

$$\bar{\vartheta} = 0,5(\vartheta' + \vartheta_{yг}).$$

6.2. По справочным данным [1] определяем для продуктов сгорания ν_r , м²/с; λ_r , кВт/(м·К); Pr_r .

6.3. Определяем среднюю скорость продуктов сгорания в трубах РВП, м/с

$$w_r = \frac{B_p V_r (\bar{\vartheta} + 273)}{(F_r 273)}.$$

6.4. Определяем коэффициент теплоотдачи, кВт/(м²·К)

$$\alpha_{\Gamma} = 0,023 \frac{\lambda_{\Gamma}}{\alpha_{\text{ВН}}} \left(\frac{w_{\Gamma} \alpha_{\text{ВН}}}{v_{\Gamma}} \right)^{0,8} \text{Pr}_{\Gamma}^{0,4}.$$

7. Определяем коэффициент использования ТВП. Для холодной части ТВП, выполненной в виде одного куба (без промежуточных трубных досок), при сжигании всех топлив, кроме мазута $\xi = 0,90$; при наличии одной трубной доски ξ уменьшается на 0,15, т.е.

$$\xi = 0,90 - 0,15 = 0,75.$$

8. Определяем коэффициент теплопередачи в ТВП, кВт/(м²·К)

$$k = \frac{\xi}{\frac{1}{\alpha_{\text{В}}} + \frac{1}{\alpha_{\Gamma}}}.$$

9. Определяем площадь поверхности РВП, необходимую для выполнения условий задачи, м²

$$F_{\text{ВП}} = \frac{Q_{\text{в}}^{\text{в}} B_{\text{р}}}{k \Delta t}.$$

10. Определяем количество труб в РВП, шт

$$n_{\text{тр}} = \frac{F_{\Gamma}}{0,785 d_{\text{ВН}}^2}.$$

11. Определяем высоту труб, м

$$h_{\text{тр}} = \frac{F_{\text{ВП}}}{\pi n_{\text{тр}} d};$$

высота одного хода воздуха $h_{\text{тр}}^{\text{пр}} = \frac{h_{\text{тр}}}{2}$.

12. Определяем количество труб в одном ряду по ходу воздуха, шт

$$n_1 = \frac{F_{\text{в}}}{h_{\text{тр}}^{\text{пр}}(s_1 - d)}$$

и количество рядов труб по глубине пакета, шт

$$z_2 = \frac{n}{n_1}$$

ЗАДАЧА 9

Определить поверхность нагрева регенеративного вращающегося воздухоподогревателя (РВП), размеры «холодной» и «горячей» частей, для парового котла паропроизводительностью 486,11 кг/с при сжигании сернистого мазута. Температура дымовых газов на входе в РВП $\vartheta' = 340$ °С; температура уходящих газов $\vartheta_{\text{уг}} = 155$ °С. Для предупреждения низкотемпературной коррозии температура воздуха на входе в «горячую» часть $t'_{\text{гч}} = 117$ °С.

При выполнении расчетов принять: расход топлива $B_{\text{р}} = 13,944$ кг/с; коэффициент избытка воздуха на входе дымовых газов в РВП $\alpha' = 1,03$, в уходящих газах $\alpha_{\text{уг}} = 1,19$; $\beta'' = \alpha' = 1,03$; при $\alpha = 1$ – количество воздуха, подаваемого на горение $V_{\text{в}}^0 = 10,31$, количество образовавшихся дымовых газов $V_{\text{г}}^0 = 11,08$ м³/кг; парциальный объем водяных паров $v_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 1,34$ м³/кг; доля теплообменной поверхности РВП, омываемая дымовыми газами, $x_{\text{г}} = 0,542$, воздухом – $x_{\text{в}} = 0,375$; живое сечение для прохода дымовых газов: в «горячей» части $F_{\text{г}}^{\text{гч}} = 28,4$ м², в «холодной» части $F_{\text{г}}^{\text{хч}} = 28,4$ м², живое сечение для прохода воздуха: в «горячей» части $F_{\text{в}}^{\text{гч}} = 21,4$ м²; в «холодной» части $F_{\text{в}}^{\text{хч}} = 19,34$ м²; эквивалентный диаметр интенсифицированной набивки «горячей» части $d_{\text{экв}}^{\text{гч}} = 9,6$ мм, в «холодной» части $d_{\text{экв}}^{\text{хч}} = 11,3$ мм; коэффициент сохранения теплоты дымовых газов $\varphi = 0,9971$; температура воздуха на входе в РВП $t'_{\text{в}} = 70$ °С; коэффициенты тепловой эффективности «холодной» и «горячей» частей РВП соответственно $\Psi_{\text{хч}} = 0,76$, $\Psi_{\text{гч}} = 0,80$.

Порядок решения

1. Из [1] и расчетом по известной формуле

$$H_{\Gamma} = H_{\Gamma}^{\circ} + (\alpha - 1)H_{\text{B}}^{\circ} + H_3$$

определяем энтальпии дымовых газов при температурах 200 и 400 °С

<i>Энтальпия, кДж/кг</i>	<i>Температура, °С</i>	
	<i>200</i>	<i>400</i>
H_{Γ}°		
H_{B}°		
H_{Γ} при $\alpha = 1,03$		
H_{Γ} при $\alpha = 1,11$		
H_{Γ} при $\alpha = 1,19$		

2. Определяем ожидаемую (с дальнейшим уточнением) температуру горячего воздуха, °С

$$(\vartheta' - \vartheta'')V_{\Gamma}^{\circ}\bar{\alpha}_{\Gamma} = (t_{\text{ГВ}} - t'_{\text{B}})V_{\text{B}}^{\circ}\bar{\beta},$$

где $\bar{\alpha}_{\Gamma} = 0,5(\alpha'_{\Gamma} + \alpha_{\text{yГ}})$; $\bar{\beta} = \beta'' + \frac{\Delta\alpha_{\text{ВП}}}{2}$;

тогда

$$t_{\text{ГВ}} = \frac{(\vartheta' - \vartheta'')V_{\Gamma}^{\circ}\bar{\alpha}_{\Gamma}}{V_{\text{B}}^{\circ}\bar{\beta}} + t'_{\text{B}}.$$

3. Определяем по [1] теоретические энтальпии горячего воздуха $H_{\text{ГВ}}^{\circ}$, кДж/кг и воздуха на входе в РВП (при t'_{B}) H_{B}° , кДж/кг.

4. Определяем энтальпию продуктов сгорания на входе в РВП (при $\alpha = 1,03$ и $\vartheta = 340$ °С) H'_{Γ} , кДж/кг

$$H'_{\Gamma} = H_{\Gamma}^{200} + \frac{H_{\Gamma}^{400} - H_{\Gamma}^{200}}{400 - 200}(\vartheta' - 200)$$

и уходящих газов (при $\alpha = 1,19$ и $\vartheta_{\text{уг}} = 115$ °С) $H_{\text{уг}}$, кДж/кг

$$H_{\text{уг}} = H_{\text{г}}^{200} \frac{\vartheta_{\text{уг}}}{200}.$$

5. Определяем тепловосприятие воздухоподогревателя по газовой стороне, кДж/кг

$$Q_{\text{б}}^{\text{г}} = \left[H'_{\text{г}} - H''_{\text{г}} - \frac{\Delta\alpha_{\text{ВП}}}{2} (H_{\text{ГВ}}^{\text{о}} - H_{\text{В}}^{\text{о}'}) \right] \varphi.$$

6. Проверяем ожидаемую температуру $t_{\text{ГВ}}$, °С; для этого определяем теоретическую энтальпию горячего воздуха, кДж/кг

$$H_{\text{ГВ}}^{\text{о}} = \frac{Q_{\text{б}}^{\text{г}}}{\beta} + H_{\text{В}}^{\text{о}'}$$

и по ней находим соответствующую температуру $t_{\text{ГВ}}$, °С

7. Определяем балансовое тепловосприятие «холодной» части РВП, кДж/кг

$$Q_{\text{б}}^{\text{хч}} = \bar{\beta} (H_{\text{хп}}^{\text{о}''} - H_{\text{В}}^{\text{о}'})$$

где $H_{\text{хч}}^{\text{о}''}$ - теоретическая энтальпия воздуха на выходе из «холодной» части РВП при заданной $t'_{\text{Гч}}$.

8. По энтальпии продуктов сгорания $H_{\text{пр}}$, кДж/кг, на входе в «холодную» часть РВП, используя [1], определяем температуру продуктов сгорания $\vartheta_{\text{пр}}$, °С

$$H_{\text{пр}} = H_{\text{уг}} + \frac{Q_{\text{б}}^{\text{хч}}}{\varphi} - \frac{\Delta\alpha_{\text{ВП}}}{2} H_{\text{В}}^{\text{о}'}$$

9. Определяем температурный напор в «холодной» части РВП,

$$\Delta t_{\text{пр}} = \frac{(\vartheta_{\text{пр}} - t'_{\text{Гч}}) - (\vartheta_{\text{уг}} - t'_{\text{В}})}{\ln \frac{\vartheta_{\text{пр}} - t'_{\text{Гч}}}{\vartheta_{\text{уг}} - t'_{\text{В}}}}.$$

10. Определяем скорость воздуха в «холодной» части РВП, м/с, при средней температуре воздуха $\bar{t}_B = 0,5(t'_B + t'_{гч})$, °С

$$w_B = \frac{B_p \bar{\beta} V_B^0 (t'_B + 273)}{(273 F_B^{хч})}$$

11. Определяем коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху в «холодной» части РВП

$$\alpha_2^{хч} = A \frac{\lambda_B}{d_{эКВ}^{хч}} \left(\frac{d_{эКВ}^{хч} w_B}{v_B} \right)^{0,8} Pr_B^{0,4} C_t,$$

где A – коэффициент, зависящий от типа набивки. При использовании для набивки стальных листов A принимают: для волнистых листов интенсифицированной набивки «горячей» части РВП при суммарной высоте изгиба двух соседних листов $a + b = 24$ мм – $A = 0,027$; при $a + b = 48$ мм – $A = 0,037$; для сочетания волнистых и гладких листов «горячей» части РВП – $A = 0,027$; для гладких и дистанционирующих (с выступами) утолщенных листов набивки «холодной» части РВП – $A = 0,021$. В случае эмалированных листов «холодной» части РВП коэффициент снижается на 5%. При этом, как правило, эмалированные набивки «холодной» части выполняются из гладких и волнистых листов, т.е. по типу набивки «горячей» части, т.е. $A = 0,027$;

физические параметры воздуха λ_B , кВт/(м·К), v_B , м²/с, Pr_B принимаются для средней температуры воздуха \bar{t}_B и определяются с использованием [1];

температурная поправка вводится только при нагревании воздуха

$$C_t = \left(\frac{\bar{T}}{T_{ст}} \right)^{0,5},$$

где $\bar{T} = t'_B + 273$; $T_{ст} = 0,5(\vartheta_{пр} + \vartheta_{уг}) + 273$.

12. Определяем коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания к стенке $\alpha_1^{хп}$.

12.1. Предварительно определяем объем газов V_g , м³/кг, парциальный объем водяных паров v_{H_2O} , м³/кг, и долю водяных паров в дымовых газах r_{H_2O} при среднем коэффициенте избытка воздуха $\bar{\alpha}_g$

$$V_{\Gamma} = V_{\Gamma}^0 + 1,0161(\bar{\alpha}_{\Gamma} - 1)V_{\text{B}}^0;$$

$$v_{\text{H}_2\text{O}} = v_{\text{H}_2\text{O}}^0 + 0,0161(\bar{\alpha}_{\Gamma} - 1)V_{\text{B}}^0;$$

$$\Gamma_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{v_{\text{H}_2\text{O}}^0}{V_{\Gamma}}.$$

12.2. Скорость продуктов сгорания в «холодной» части РВП, м/с

$$w_{\Gamma} = \frac{V_{\Gamma} B_p T_{\text{CT}}}{273 F_{\Gamma}^{\text{XЧ}}};$$

сравнить найденные скорости w_{B} и w_{Γ} с рекомендуемыми в [1].

12.3. Определяем физические характеристики продуктов сгорания при температуре $\bar{\Theta}_{\Gamma} = T_{\text{CT}} - 273$, °С, используя [1]: v_{Γ} , м²/с; λ_{Γ} , кВт/(м·К), Pr_{Γ} .

12.4. Коэффициент теплоотдачи, кВт/(м²·К)

$$\alpha_1^{\text{XЧ}} = A \frac{\lambda_{\Gamma}}{d_{\text{ЭКВ}}^{\text{XЧ}}} \left(\frac{w_{\Gamma} d_{\text{ЭКВ}}^{\text{XЧ}}}{v_{\Gamma}} \right)^{0,8} Pr_{\Gamma}^{0,4}.$$

13. Определяем коэффициент теплопередачи в «холодной» части РВП, кВт/(м²·К)

$$K_{\text{XЧ}} = \frac{\Psi_{\text{XЧ}} \Pi}{\frac{1}{X_{\Gamma} \alpha_1^{\text{XЧ}}} + \frac{1}{X_{\text{B}} \alpha_2^{\text{XЧ}}}},$$

где Π – поправочный коэффициент, учитывающий нестационарность процесса теплообмена; для РВП с пластинчатой набивкой и толщиной листов 0,6...1,2 мм, коэффициент Π зависит от скорости вращения ротора; при $n = 1$ об/мин $\Pi = 0,97$; при $n \geq 1,5$ об/мин $\Pi = 1,0$. Коэффициент тепловой эффективности Ψ (для теплообменников его называют коэффициент использования поверхности ξ) принимается для всех топлив: при $\Delta\alpha_{\text{РВП}} \geq 0,20$ – $\Psi = 0,80$; при $\Delta\alpha_{\text{РВП}} \leq 0,15$ – $\Psi = 0,9$; при значениях $\Delta\alpha_{\text{РВП}}$ в интервале 0,20...0,15 Ψ интерполируют.

14. Определяем площадь поверхности нагрева «холодной» части РВП, м²

$$F_{\text{хч}} = \frac{Q_{\bar{6}}^{\text{хч}} B_p}{\kappa_{\text{хч}} \Delta t_{\text{пр}}}.$$

15. Для снижения температуры продуктов сгорания с 340 до 155 °С при значительном их расходе (около 600000 м³/ч) необходимо задаться большим диаметром ротора РВП. Принимаем диаметр ротора 9,8 м. Используем в качестве прототипа РВП-98. Удельная поверхность набивки «холодной» части прототипа $f_{\text{хч}} = 9750 \text{ м}^2/\text{м}$. Определяем высоту «холодной» части РВП, м

$$h_{\text{хч}} = \frac{F_{\text{хч}}}{f_{\text{хч}}}.$$

Если найденная высота окажется больше 1,0 м, принимаются к установке два РВП, тогда

$$h'_{\text{хч}} = \frac{h_{\text{хч}}}{2}.$$

16. Определяем средние температуры газового и воздушного потоков и температурный напор в «горячей» части РВП, °С

$$\bar{t}_{\text{гч}} = 0,5(t_{\text{гв}} + t'_{\text{гч}}),$$

$$\bar{\vartheta}_{\text{гч}} = 0,5(\vartheta' + \vartheta_{\text{пр}}),$$

$$t_{\text{ст}} = 0,5(\bar{t}_{\text{гч}} + \bar{\vartheta}_{\text{гч}}),$$

$$\Delta t_{\text{гч}} = \frac{(\vartheta_{\text{пр}} - t'_{\text{гч}}) - (\vartheta' - t_{\text{гв}})}{\ln \frac{\vartheta_{\text{пр}} - t'_{\text{гч}}}{\vartheta' - t_{\text{гв}}}}.$$

17. Определяем коэффициент теплоотдачи от стенки «горячей» части к воздуху $\alpha_2^{\text{гч}}$, для этого:

17.1. Определяем скорость воздуха в «горячей» части РВП, м/с

$$w_B^{\Gamma\text{ч}} = \frac{B_p \bar{\beta} V_B^0 (\bar{t}_{\Gamma\text{ч}} + 273)}{273 F_B^{\Gamma\text{ч}}}.$$

17.2. Определяем физические характеристики воздуха при $\bar{t}_{\Gamma\text{ч}}$: $v_B^{\Gamma\text{ч}}$, м²/с; $\lambda_B^{\Gamma\text{ч}}$, кВт/(м·К); $Pr_B^{\Gamma\text{ч}}$ и температурную поправку

$$C_t^{\Gamma\text{ч}} = \left(\frac{\bar{t}_{\Gamma\text{ч}} + 273}{t_{\text{ст}} + 273} \right).$$

17.3. Коэффициент теплоотдачи, кВт/(м²·К)

$$\alpha_2^{\Gamma\text{ч}} = A \frac{\lambda_B^{\Gamma\text{ч}}}{d_{\text{ЭКВ}}^{\Gamma\text{ч}}} \left(\frac{d_{\text{ЭКВ}}^{\Gamma\text{ч}} w_B^{\Gamma\text{ч}}}{v_B^{\Gamma\text{ч}}} \right)^{0,8} (Pr_B^{\Gamma\text{ч}})^{0,4} C_t^{\Gamma\text{ч}}.$$

18. Определяем коэффициент теплоотдачи от газов к стенке в «горячей» части РВП $\alpha_2^{\Gamma\text{ч}}$, для этого:

18.1. Определяем скорость продуктов сгорания в «горячей» части, м/с

$$w_{\Gamma}^{\Gamma\text{ч}} = \frac{V_{\Gamma} B_p (\bar{\vartheta}_{\Gamma\text{ч}} + 273)}{273 F_{\Gamma}^{\Gamma\text{ч}}};$$

18.2. Определяем физические характеристики продуктов сгорания при $\bar{\vartheta}_{\Gamma\text{ч}}$ (используя справочные данные, приведенные в [1]): $v_{\Gamma}^{\Gamma\text{ч}}$, м²/с; $\lambda_{\Gamma}^{\Gamma\text{ч}}$, кВт/(м·К); $Pr_{\Gamma}^{\Gamma\text{ч}}$.

18.3. Коэффициент теплоотдачи, кВт/(м²·К)

$$\alpha_1^{\Gamma\text{ч}} = A \frac{\lambda_{\Gamma}^{\Gamma\text{ч}}}{d_{\text{ЭКВ}}^{\Gamma\text{ч}}} \left(\frac{w_{\Gamma}^{\Gamma\text{ч}} d_{\text{ЭКВ}}^{\Gamma\text{ч}}}{v_{\Gamma}^{\Gamma\text{ч}}} \right)^{0,8} (Pr_{\Gamma}^{\Gamma\text{ч}})^{0,4},$$

где А – см. п. 11.

19. Определяем тепловосприятие «горячей» части РВП, кДж/кг

$$Q_6^{\Gamma\text{ч}} = Q_6^{\Gamma} - Q_6^{\text{хч}}.$$

20. Определяем коэффициент теплопередачи в «горячей» части РВП, кВт/(м²·К)

$$k_{гч} = \frac{\Psi_{гч} \Pi}{\frac{1}{x_{г} \alpha_1^{гч}} + \frac{1}{x_{в} \alpha_2^{гч}}},$$

где Π – см. п. 13.

21. Определяем площадь поверхности «горячей» части РВП, м²

$$F_{гч} = \frac{Q_6^{гч} V_p}{k_{гч} \Delta t_{гч}}.$$

22. Для принятого прототипа (РВП-98) удельная поверхность набивки «горячей» части $f_{гч} = 12070$ м²/м; определяем высоту «горячей» части, м

$$h_{гч} = \frac{F_{гч}}{f_{гч}}$$

или (см. п. 15)

$$h'_{гч} = \frac{h_{гч}}{2}.$$

ЗАДАЧА 10

Определить толщину стенки бесшовного барабана, имеющего внутренний диаметр $d_{вн} = 1500$ мм и длину цилиндрической части 9430 мм. Рабочее давление в барабане котла $p_6 = 15,5$ МПа, материал барабана – сталь 15 ГС. Барабан вынесен из газохода и ослаблен отверстиями, как это показано на рис. 3.

Порядок решения

1. Определяем коэффициенты прочности по I группе ослаблений барабана отверстиями.

1.1. Коэффициент прочности барабана в продольном направлении

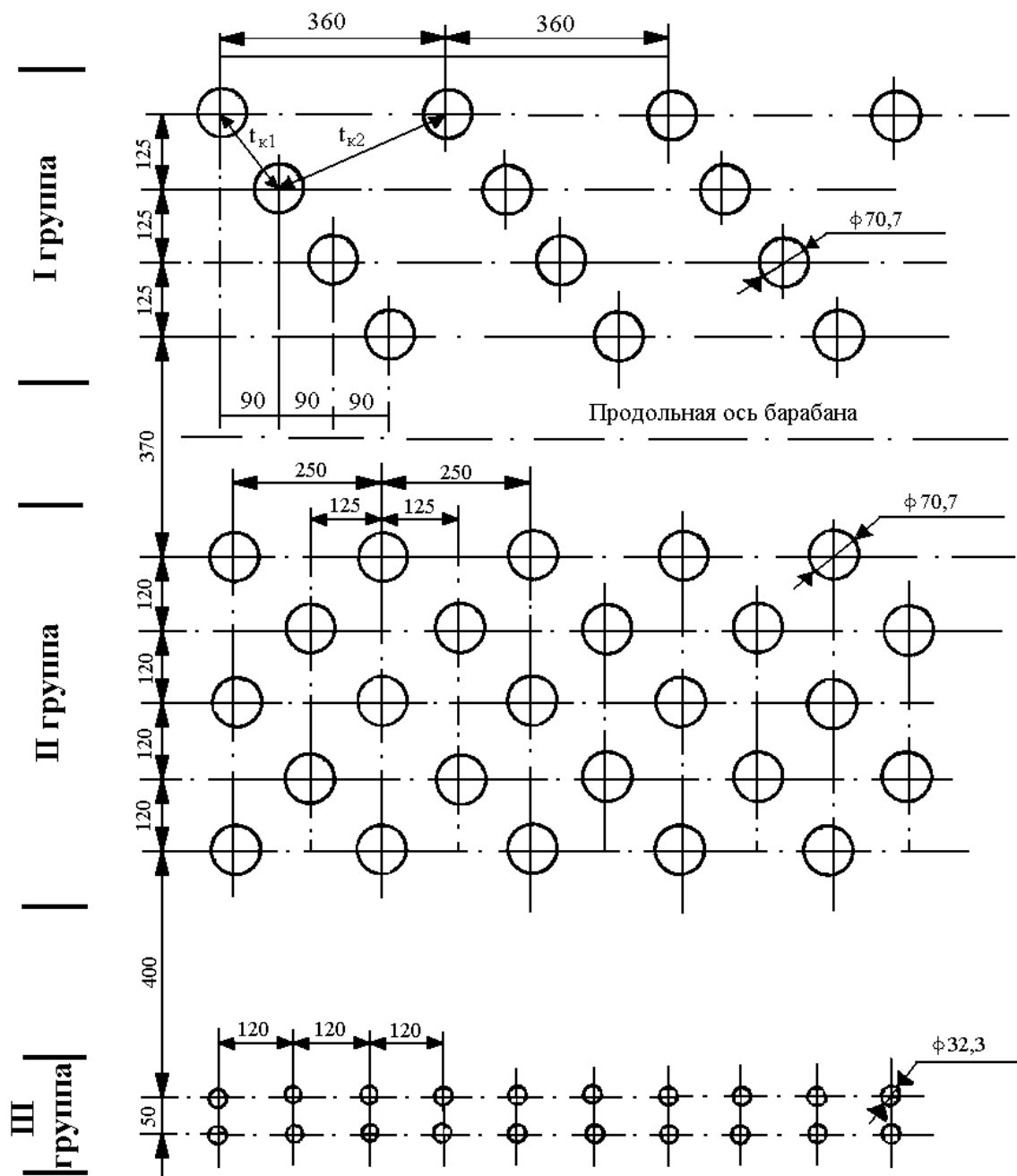


Рис. 3

$$\varphi = \frac{t - d}{t},$$

где (см. рис. 3) $t = 360$ мм, $d = 70,7$ мм.

1.2. Коэффициент прочности барабана в косом направлении по мостику $t_{к1}$

$$\varphi_{к1} = \frac{t_{к1} - d}{t_{к1}},$$

где $t_{к1} = \sqrt{a^2 + b^2}$, $a = 125$ мм, $b = 90$ мм (см. рис. 3).

1.3. Приведенный коэффициент прочности по мостику $t_{к1}$

$$\varphi_{пр} = K\varphi_{к1},$$

$$\text{где } K = \frac{1 + m^2}{\sqrt{\left(1 + \frac{m^2}{2}\right)^2 + m^2}},$$

$$m = \frac{a}{b}.$$

1.4. Определяем приведенный коэффициент прочности по мостику $t_{к2}$; расчеты производим аналогично п.п. 1.2; 1.3.

2. Определяем коэффициенты прочности по II группе ослаблений барабана отверстиями.

2.1. Коэффициент прочности барабана в продольном направлении

$$\varphi = \frac{t_{п} - d}{t},$$

где $t_{п} = 250$ мм (см. рис. 3).

2.2. Коэффициент прочности барабана в поперечном направлении

$$\varphi_1 = \frac{t_1 - d}{t_1},$$

где $t_1 = 240$ мм (см. рис. 3).

2.3. Коэффициент прочности барабана в косом направлении

$$\varphi_{к} = \frac{t_{к} - d}{t_{к}},$$

где $t_{к} = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}$, $a_1 = 120$ мм, $b_1 = 125$ мм (см. рис. 3).

2.4. Приведенный коэффициент прочности

$$\varphi_{\text{пр}} = K\varphi_k,$$

где K определяется как в п. 1.3., $m = \frac{a_1}{b_1}$.

3. Определяем коэффициенты прочности по III группе ослаблений.

3.1. Коэффициент прочности барабана в продольном направлении

$$\varphi = \frac{t - d}{t},$$

где (см. рис. 3) $t = 120$ мм, $d = 32,3$ мм.

3.2. Коэффициент прочности барабана в поперечном направлении

$$\varphi_1 = \frac{t_1 - d}{t_1},$$

где $t_1 = 60$ мм (рис. 3).

4. Из вычисленных коэффициентов прочности выбираем наименьший по численному значению и используем его в дальнейших расчетах.

5. Определяем температуру стенки барабана котла. Так как барабан не обогреваемый, принимаем $t_{\text{ст}} = t''$; температуру насыщенного пара t'' , °C, определяем по термодинамическим таблицам воды и водяного пара при заданном давлении.

6. Определяем номинальное допускаемое напряжение для заданной по условиям задачи стали и найденной температуре стенки $[\sigma]$, МПа, используя справочные данные [10].

7. Определяем допускаемое напряжение $\sigma_d = \eta [\sigma]$, где η – коэффициент, принимаемый для необогреваемых элементов единица, а для обогреваемых – 0,9.

8. Определяем номинальную толщину стенки барабана котла, мм.

8.1. При известном наружном диаметре барабана

$$s = \frac{PD_H}{2\varphi\sigma_d + p} + c,$$

где c , мм – прибавка к расчетной толщине стенки; при толщине стенки $s \leq 20$ мм $c = 1$ мм, при $s > 20$ мм $c = 0$.

8.2. При известном внутреннем диаметре барабана

$$s = \frac{PD_B}{2\varphi\sigma_d - p} + c.$$

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Содержание дисциплины	4
1.1. Рабочая программа	4
1.2. Тематический план лекций	21
1.3. Темы практических занятий	21
1.4. Темы курсового проекта	21
2. Библиографический список	22
3. Задание на реферат	22
4. Задание на курсовой проект	23
5. Практические работы и методические указания к их выполнению	24

Редактор М.Ю. Комарова

Сводный темплан 2005 г.

Лицензия ЛР № 020308 от 14.02.1997г.

Санитарно – эпидемиологическое заключение № 78.01.07.953.П.005641.11.03 от 21.11.2003 г.

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16

Б.кн.-журн. П.л.

Б.л

Изд-во СЗТУ

Тираж

Заказ

Северо-Западный государственный заочный технический университет

Издательство СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации
университетов России

191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, 5