**СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ

ЗАДАНИЕ

ЧАСТЬ I

Расчет на прочность барабана котла

Расчет на прочность днища барабана котла

ЧАСТЬ II

Расчет толщины стенки экранной трубы

Расчет толщины стенки трубы пароперегревателя

Расчет толщины стенки трубы экономайзера

Расчет на прочность коллектора экранных труб

Расчет на прочность днища коллектора экранных труб

Расчет на прочность коллектора труб пароперегревателя

Расчет днища коллектора труб пароперегревателя

Расчет на прочность коллектора труб экономайзера

Расчет днища коллектора труб экономайзера

Выводы

ЛИТЕРАТУРА

**ВВЕДЕНИЕ**

Уровень технологической эффективности энергетического оборудования, которое работает в условиях действия внутреннего давления, высоком рабочей температуры, вибрационных нагрузок, термоусталости, влияния коррозионных и эрозионных процессов в значительной мере определяется правильным выбором конструкционных материалов, качеством расчетов на прочность на этапе проектирования и поверочных расчетов в условиях продолжительной его эксплуатации.

Расчетно-графическая работа позволяет закрепить теоретические знания и приобрести навыки анализа факторов, которые определяют работоспособность элементов энергетического оборудования, а также умение выбрать конструкционный материал соответственно условиям эксплуатации и выполнить расчеты на прочность элементов котлов и трубопроводов, работающих под избыточным давлением.

Все расчеты основываются на действующей нормативно-методической документации, соответственно требованиям которой выполняется выбор конструкционных материалов, разрешенных к использованию, и расчеты на прочность.

**ЗАДАНИЕ**

*ЧАСТЬ I*

Выбрать конструкционный материал и рассчитать на прочность барабан парового котла по следующим исходным данным:

* Наружный диаметр барабана Da = 690 мм;
* Рабочее давление Р = 1,7 МПа;
* Диаметр отверстий обечайки барабана d = 76 мм;
* Шаг отверстий, расположенных в один ряд t = 95 мм

*ЧАСТЬ II*

По исходным данным курсового проекта «Тепловой расчет парового котла БКЗ-75-39» выполнить расчёт на прочность экранной трубы, коллектора экранных труб и днища коллектора; трубы пароперегревателя (ступень на выбор), коллектора труб пароперегревателя и днища коллектора; трубы экономайзера, коллектора труб экономайзера и днища коллектора; трубы рассчитать прямые.

**ЧАСТЬ I**

Выбор конструкционного материала проводим по Правилам устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов, потому что барабан является элементом парового котла.

Расчётное давление равно избыточному давлению в барабане(рабочему)

.

Расчётная температура стенки металла барабана равна температуре насыщения котловой воды и пара(т.к. барабан является необогреваемым элементом конструкции). Температуру насыщения находим по абсолютному давлению в барабане 

.

Барабан парового котла изготавливается из листовой стали; он состоит из цилиндрической части - обечайки и днищ выпуклой формы. Выбор материала производим по таблице «Материалы, которые используются для изготовления котлов, пароперегревателей, экономайзеров, работающих под давлением» приложения раздела «Материалы» Правил устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов.

По  и  выбираем марку стали и выписываем нормативную документацию на лист и на сталь.

Котельная сталь: 22*К.*

Нормативные документы:

* на сталь: ГОСТ 5520-79; ТУ 108.1025-81
* на лист: ГОСТ 5520-79; ТУ 108.1025-81

Предельные параметры:

* температура: ;
* давление: не ограничено.

**Расчет на прочность барабана котла**

Конструкционный расчет цилиндрической обечайки барабана котла выполняется по формуле (5,1) [4]:

Определим толщину стенки:

,

где  – расчетное давление, *МПа*;

 – наружный диаметр, *мм*;



– коэффициент прочности;

– номинальные допускаемые напряжение, *МПа*;

 – прибавка к расчетной толщине стенки.

Расчетная толщина стенки:

.



Коэффициент прочности  определяем по [5] по формуле:



.

Номинальные допускающие напряжения  выбираем по [3] для выбранной марки стали, расчетной температуры, и наработки  часов:



.

Прибавки определяем по [3]:

 – технологическая прибавка, выбираем по нормативной документации на лист как минусовый допуск на толщину листа(10% от S):



.

 – технологическая прибавка, учитывает утонение стенки при вальцовке листа:



.

 – эксплуатационная прибавка, которая учитывает коррозионный износ внутренней стенки обечайки в условиях эксплуатации:



.



 – эксплуатационная прибавка, учитывающая коррозионный износ наружной стенки обечайки; для необогреваемых деталей:





Сумма прибавок составит:

.

Определяем толщину стенки с учетом прибавок и выбираем из ряда толщин по ГОСТ толщину стенки как ближайшее большее от полученного значения:





Принимаем толщину стенки из стандартного типа ряда: .

**Расчет на прочность днища барабана котла**

В соответствии с правилами устройства и безопасной эксплуатации форма выпуклых днищ для вновь изготовленных котлов должна быть эллиптической или шаровой. Отношение высоты выпуклой части днища измеренной от внутренней поверхности к внутреннему диаметру должно быть не менее 0,2. Днища рекомендовано изготовлять из одного листа. В соответствии с правилами устройства и безопасной эксплуатации выбираем эллиптическую форму днища.

*Da*

*D*

*h*

*S*

Расчет на прочность глухого днища эллиптической формы проводим по формуле [4]:





Определяем внутренний диаметр:

.



Принимаем . Номинальные допускающие напряжения составят: .



, тогда .

Прибавки составят:

; ; ; .



Сумма прибавок составит:

.



Принимаем толщину стенки из стандартного типа ряда: .

В правилах устройства и безопасной эксплуатации указано, что форма отверстия должна быть эллиптической формы и его размер по большей оси эллипса должен быть не менее 450 *мм*.

.

В связи с тем, что полученное значение  превышает нормативное значение , рассчитываем новый внутренний диаметр обечайки барабана:

.

Новую толщину стенки по внутреннему диаметру определим по формуле [5.2]:



Принимаем толщину стенки из стандартного типа ряда: .

Для днища, ослабленного лазом,  находим по формуле [2.3]:



где  – средний диаметр.

.

Новая толщина днища, ослабленного отверстием для лаза

.

Прибавки составят:

; ; ; .



Сумма прибавок составит:

.



Принимаем толщину стенки из стандартного типа ряда: .

Расчёт глухого днища:



Прибавки составят:

; ; ; .



Сумма прибавок составит:

.



Принимаем толщину стенки из стандартного типа ряда: .

**ЧАСТЬ II**

**Расчет толщины стенки экранной трубы**

Исходные данные:

* давление в барабане котла: ;



* температура насыщения в барабане котла: ;
* наружный диаметр и толщина стенки трубы: .



Экранная труба является обогреваемым элементом парового котла. Расчет проводим по правилам устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов.

Гидростатический напор при расчете экранной трубы не учитываем.

Материал трубы выбирается по расчетному давлению и средней температуре стенки.

Средняя температура стенки:

.

Разность температур по нормативному методу (между  и ) .

По этим данным выбираем материал трубы: легированная сталь марки *15ГС*

Нормативная документация:

* на трубы: ТУ 14-3-460-75;
* на сталь: ТУ 14-3-460-75.

Предельные параметры:

* давление: не ограничено;
* температура: .

Номинальные допускающие напряжения  выбираем по [3] для выбранной марки стали, расчетной температуры, и наработки  часов:



.

Определяем расчетную толщину стенки:

,

где  – избыточное давление с учетом статического давления;

 – наружный диаметр трубы;

 – коэффициент прочности, принимаем ;

 – допускаемые номинальные напряжения.

Прибавки составят:

 – технологическая прибавка, выбираем по нормативной документации на лист как минусовый допуск на толщину листа(5% от S):



;

 – технологическая прибавка, учитывает утонение стенки от деформации в процессе производства



;

 – эксплуатационная прибавка, которая учитывает коррозионный износ внутренней стенки в условиях эксплуатации; для тубы с диаметром 60мм внутри которой пароводяная смесь :



;

 – эксплуатационная прибавка, учитывающая коррозионный износ наружной стенки; для обогреваемых деталей принимается в зависимости от соотношения между допустимой предельной температурой (в данном случае 450) и расчётной температурой внешней поверхности трубы(344)



.



Сумма прибавок составит:

.

Определяем толщину стенки:

.

Принимаем толщину стенки из стандартного типа ряда: .

**Расчет толщины стенки трубы пароперегревателя**

Исходные данные:

* давление на входе в пароперегреватель: ;



* температура перегретого пара: ;



* температура загрязненной стенки трубы: ;



* наружный диаметр и толщина стенки трубы: ;



Труба пароперегревателя является обогреваемым элементом парового котла. Расчет проводим по правилам устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов.

Материал трубы выбирается по расчетному давлению и средней температуре стенки.

Средняя температура стенки:

.

По этим данным выбираем материал трубы: марка стали *12Х1МФ*.

Нормативная документация:

* на трубы: ТУ 14-3-460-75;
* на сталь: ТУ 14-3-460-75.

Предельные параметры:

* давление: не ограничено;
* температура: .

Номинальные допускающие напряжения  выбираем по [3] для выбранной марки стали, расчетной температуры, и наработки  часов:



.

Определяем расчетную толщину стенки:

,

где  – избыточное давление с учетом статического давления;

 – наружный диаметр трубы;

 – коэффициент прочности, принимаем ;

 – допускаемые номинальные напряжения.

Прибавки составят:

; ; ; .



Сумма прибавок составит:

.

Определяем толщину стенки:

.

Принимаем толщину стенки из стандартного типа ряда: .

**Расчет толщины стенки трубы экономайзера**

Исходные данные:

* давление на входе в экономайзер: ;



* температура воды на выходе из экономайзера: ;



* наружный диаметр и толщина стенки трубы: .



Труба экономайзера является обогреваемым элементом парового котла. Расчет проводим по правилам устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов.

Материал трубы выбирается по расчетному давлению и средней температуре стенки.

Температура стенки:

.

По этим данным выбираем материал трубы: марка стали *20*.

Нормативная документация:

* на трубы: ТУ 14-3-460-75;
* на сталь: ТУ 14-3-460-75.

Предельные параметры:

* давление: не ограничено;
* температура: .

Номинальные допускающие напряжения  выбираем по [3] для выбранной марки стали, расчетной температуры, и наработки  часов:



.

Определяем расчетную толщину стенки:

,

где  – избыточное давление с учетом статического давления;

 – наружный диаметр трубы;

 – коэффициент прочности, принимаем ;

 – допускаемые номинальные напряжения.

Прибавки составят:

; ; ; .



Сумма прибавок составит:

.

Определяем толщину стенки:

.

Принимаем толщину стенки из стандартного типа ряда: .

**Расчет на прочность коллектора экранных труб**

Исходные данные.

* давление в барабане котла: ;



* температура насыщения в барабане котла: ;
* наружный диаметр и толщина стенки трубы: .



Коллектор ослаблен рядом труб установленных в шахматном порядке, трубы размером , установлены с шагом 



Коллектор экранных труб является необогреваемым элементом парового котла. Расчет проводим по Правилам устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов.

Т.к. деталь необогреваемая, то расчётная температура стенки равна температуре среды

.

Расчётное давление равно избыточному давлению в коллекторе ,

где

- статическое давление создаваемое столбом жидкости в опускных трубах - т.к. высота котла составляет  метров.



По этим данным выбираем материал трубы: марка стали *20*.

Нормативная документация:

* на трубы: ТУ 14-3-460-75;
* на сталь: ТУ 14-3-460-75.

Предельные параметры:

* давление: не ограничено;
* температура: .

Номинальные допускающие напряжения  выбираем по [3] для выбранной марки стали, расчетной температуры, и наработки  часов:



.

Определяем расчетную толщину стенки:

,

где  – избыточное давление с учетом статического давления;

 – наружный диаметр трубы;

 – допускаемые номинальные напряжения.

 – коэффициент прочности, рассчитываемый по следующему соотношению:

.

Прибавки составят:

; ; ; .



Сумма прибавок составит:

.

Определяем толщину стенки:

.

Принимаем толщину стенки из стандартного типа ряда: .

**Расчет днища коллектора экранных труб**

Толщина стенки плоского глухого днища рассчитывается по формуле:

,

где  – коэффициент, учитывающий способ соединения плоского днища к коллектору, принимаем, что ;

 – вспомогательный коэффициент, который определяется по номограмме . Тогда .

 – коэффициент прочности, , т.к. днище глухое;

 – внутренний диаметр коллектора;

.

 – вспомогательный коэффициент, , т.к. днище без отверстия;

Принимаем толщину стенки из стандартного типа ряда: .

**Расчет на прочность коллектора труб пароперегревателя**

Исходные данные:

* давление перегретого пара: ;



* температура перегретого пара котла: ;



* наружный диаметр и толщина стенки коллектора: .



Коллектор ослаблен рядом труб установленных коридорно, трубы размером , установлены с шагом .



Коллектор является необогреваемым элементом парового котла. Расчет проводим по Правилам устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов.

Т.к. деталь необогреваемая, то расчётная температура стенки равна температуре среды

.

Расчётное давление равно избыточному давлению в коллекторе



Материал коллектора выбираем по расчетному давлению и средней температуре стенки.

Выбираем материал трубы: марка стали *12Х1МФ*.

Нормативная документация:

* на трубы: ТУ 14-3-460-75;
* на сталь: ТУ 14-3-460-75.

Предельные параметры:

* давление: не ограничено;
* температура: .

Номинальные допускающие напряжения  выбираем по [3] для выбранной марки стали, расчетной температуры, и наработки  часов:



.

Определяем расчетную толщину стенки:

,

где  – избыточное давление с учетом статического давления;

 – наружный диаметр трубы;

 – допускаемые номинальные напряжения.

 – коэффициент прочности, рассчитываемый по следующему соотношению:



Прибавки составят:

; ; ; .



Сумма прибавок составит:

.

Определяем толщину стенки:

.

Принимаем толщину стенки из стандартного типа ряда: .

**Расчет днища коллектора труб пароперегревателя**

Толщина стенки плоского глухого днища рассчитывается по формуле:

,

где  – коэффициент, учитывающий способ соединения плоского днища к коллектору, принимаем, что ;

 – вспомогательный коэффициент, который определяется по номограмме . Тогда .

 – коэффициент прочности, , т.к. днище глухое;

 – внутренний диаметр коллектора;

.

 – вспомогательный коэффициент, , т.к. днище без отверстия;

Принимаем толщину стенки из стандартного типа ряда: .

**Расчет на прочность коллектора труб экономайзера**

Исходные данные:

* давление питательной воды: ;



* средняя температура питательной воды: ;



* наружный диаметр и толщина стенки коллектора: .



Коллектор ослаблен рядом труб установленных в шахматном порядке, трубы размером , установлены с поперечным шагом  и продольным .

Коллектор является необогреваемым элементом парового котла. Расчет проводим по Правилам устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов.

Т.к. деталь необогреваемая, то расчётная температура стенки равна температуре среды

.

Расчётное давление равно избыточному давлению в коллекторе



По этим данным выбираем материал трубы: марка стали *20*.

Нормативная документация:

* на трубы: ТУ 14-3-460-75;
* на сталь: ТУ 14-3-460-75.

Предельные параметры:

* давление: не ограничено;
* температура: .

Номинальные допускающие напряжения  выбираем по [3] для выбранной марки стали, расчетной температуры, и наработки  часов:



.

Определяем расчетную толщину стенки:

,

где  – избыточное давление с учетом статического давления;

 – наружный диаметр трубы;

 – допускаемые номинальные напряжения.

 – коэффициент прочности, рассчитываемый по следующему соотношению:

.

где  – поперечный шаг установки труб;

 – продольный шаг установки труб.

Прибавки составят:

; ; ; .



Сумма прибавок составит:

.

Определяем толщину стенки:

.

Принимаем толщину стенки из стандартного типа ряда: .

**Расчет днища коллектора труб экономайзера**

Толщина стенки плоского глухого днища рассчитывается по формуле:

,

где  – коэффициент, учитывающий способ соединения плоского днища к коллектору, принимаем, что ;

 – вспомогательный коэффициент, который определяется по номограмме . Тогда .

 – коэффициент прочности, , т.к. днище глухое;

 – внутренний диаметр коллектора;

.

 – вспомогательный коэффициент, , т.к. днище без отверстия;

Принимаем толщину стенки из стандартного типа ряда: .

**Выводы**

В данной работе я закрепила навыки по расчёту на прочность основных элементов котлов: барабана, труб поверхностей нагрева, коллекторов труб поверхностей нагрева и днищ коллекторов, работающих под избыточным давлением. Научилась выбирать конструкционный материал по Правилам устройства и безопасной эксплуатации, а также ознакомилась с факторами, которые определяют работоспособность элементов энергетического оборудования.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Правила будови та безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів / Держнаглядохоронпраці. – К.: ДКУ по нагляду за охороною праці., 1995. – 200 с..
2. Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды. Л.: Госпроматомнадзор СССР. 1991.
3. Котлы стационарные паровые и трубопроводы пара и горячей воды. Нормы расчета на прочность. Общие положения по обоснованию толщины стенки (ОСТ108.031.08-85).
4. Котлы стационарные паровые и трубопроводы пара и горячей воды. Нормы расчета на прочность. Методы определения толщины стенки (ОСТ108.031.09-85).
5. Котлы стационарные паровые и трубопроводы пара и горячей воды. Нормы расчета на прочность. Определение коэффициентов прочности (ОСТ108.031.10-85).
6. Антикайн П.А. Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов М.: Энергоатомиздат. 1990.
7. Методические указания для практических занятий по дисциплине «Материалы энергетического оборудования» / сост. Воинов А.П., Ткачев С.П. Одесса: ОНПУ, 2005.
8. Термодинамические свойства воды и водяного пара / Ривкин С.Л., Александров А.А. М., «Энергия», 1975.