

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсового проекта

по дисциплине

«Прочностные расчеты элементов основного оборудования»

для студентов направления подготовки

08.04.01 «Строительство»

направленность (профиль) «Теплогазоснабжение населенных мест и предприятий»

Содержание

- 1 ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАНИЯ И ЕГО ОБЪЕМ
- 2 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К НАПИСАНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА
- 3 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА И ПРИМЕРНЫЙ КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН ЕГО ВЫПОЛНЕНИЯ
- 4 Определение необходимости уКПепления входного и выходного патрубков нагреваемой воды и методика их расчета
- 5 Характеристика технических требований к механической обработке сварных элементов котлоагрегата
- 6 Виды сварных соединений и конструкции разделок под сварку
- 7 Расчет усилия пружин взрывного клапана
- 8 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ
- 9 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ НАД КП, ПРИМЕРНЫЙ КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН ЕГО ВЫПОЛНЕНИЯ
- 10 ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ СТУДЕНТА ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ ПО КП
- 11 ПРИЛОЖЕНИЯ
- 12 СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Введение

Целью изучения дисциплины «Прочностные расчеты элементов основного оборудования» является формирование набора компетенций ПК-1.

Задачей дисциплины является формирование у магистрантов знаний и навыков прочностных расчетов основного теплоэнергетического оборудования в промышленности и коммунально-бытовом хозяйстве.

В методических указаниях для студентов направления подготовки 08.04.01 «Строительство» даны рекомендации по выполнению курсового проекта по дисциплине «Прочностные расчеты элементов основного оборудования». Указания содержат задание и исходные данные на проектирование, где указан также объем, содержание и последовательность выполнения расчетно-пояснительной записки и графической части курсового проекта.

В разделах работы приводятся методики и рекомендации по расчету на прочность основных элементов котельного агрегата, уКПеплению отверстий под штуцеры, расчету защитного взрывного клапана.

В целях реализации выполненных расчетов на практике студент должен охарактеризовать технические требования к механической обработке и сварке деталей и элементов котельного агрегата.

Приведенный в приложениях справочный материал представляет интерес, как для студентов, так и для инженерно-технических работников, занятых в сфере производства и передачи тепловой энергии в производственной сфере и системе жилищно-коммунального хозяйства.

Методические указания выполнены в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Прочностные расчеты элементов основного оборудования» для студентов

направления подготовки 08.04.01 «Строительство» и определяют единый подход к подготовке студентами курсовых проектов, обязательные требования к их содержанию и оформлению. Указания не исключают, а ориентируют на разработку частных методик по выполнению курсовых проектов, нацеливают на стимулирование самостоятельной работы студентов с целью повышения уровня накопленных знаний и получения навыков научных исследований.

По своей структуре методические указания включают в себя положения, имеющие обязательный и рекомендательный характер.

1 ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАНИЯ И ЕГО ОБЪЕМ

1.1 Задание на курсовой проект

Курсовой проект на тему: «Расчет жаротрубно-дымогарного водогрейного котельного агрегата».

В курсовом проекте выполняются прочностные расчеты элементов конструкции жаротрубно-дымогарного котельного агрегата, показанного на рисунке 1. Рабочий объем котлоагрегата находится под избыточным давлением нагреваемой воды P МПа, температура которой на входе равна 70°C , а на выходе $t^{\circ}\text{C}$. Параметры теплоносителя приведены в таблице 1. Давление в топке и в газовых трубах принимается равным атмосферному. Соединение элементов выполняется при помощи сварки ручной электродуговой по ГОСТ 5264-80 и фланцевых соединений по ГОСТ 1255-87. Материал элементов котлоагрегата – сталь по ГОСТ 380-94 и ГОСТ 1050-94, марки которых указаны в таблице 1. Основные геометрические размеры элементов котельного агрегата приводятся в таблице 2.

На основании исходных данных выполнить следующее:

1.1.1 Определить следующие размеры элементов котельного агрегата:

- толщину стенки жаровой трубы h_1 , находящейся под наружным давлением;
- толщину стенки обечайки h_2 , находящейся под внутренним давлением;
- толщину стенки дымогарной трубы h_3 , находящейся под наружным давлением;
- толщину задней стенки жаровой трубы h_4 и трубной доски h_5 и рассчитать их у КПеппление (анкерные связи);
- определить необходимость уКПеппления отверстий под штуцеры d_1 и d_2 и при необходимости рассчитать их.

1.1.2 Охарактеризовать технические требования к механической обработке деталей котельного агрегата.

1.1.3 Охарактеризовать технические требования к сварке элементов котельного агрегата.

1.1.4 Указать требования к контролю качества сварных соединений.

1.1.5 Выполнить расчет пружины взрывного клапана, предохраняющего топку от механического разрушения, если число пружин, нагружающих клапан, n , а площадь проходного сечения клапана F . Допускаемое давление в топке котельного агрегата $[P] = 6$ кПа.

1.2 Объем курсового проекта

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки (15 – 20 с.) и графической части (1 лист формата А – 2).

Содержание расчетно-пояснительной записки:

1.2.1 Введение.

1.2.2 Задание на проектирование и выбор исходных данных.

1.2.3 Определение толщины стенок: жаровой трубы (топки); наружной обечайки (корпуса); задней стенки жаровой трубы; трубной доски.

1.2.4 Расчет анкерных связей, обеспечивающих жесткость задней стенки жаровой трубы и трубной доски.

1.2.5 Проверка необходимости уКПепления и реальный расчет (если требуется) уКПепления отверстий под входной и выходной патрубки нагреваемой воды.

1.2.6 Характеристика технических требований к сварке элементов котельного агрегата.

1.2.7 Характеристика технических требований к сварке элементов котельного агрегата.

1.2.8 Характеристика требований к контролю качества сварных соединений.

1.2.9 Расчет пружины взрывного клапана, предохраняющего топку от механического разрушения.

1.3 Индивидуальное задание и выбор исходных данных

1.3.1 Исходные данные принимаются в соответствии с индивидуальным шифром задания, который выдается каждому студенту. Шифр задания состоит из двух цифр, каждая из которых обозначает номер строки в соответствующей таблице: данные из таблицы 1 принимают по предпоследней цифре шифра; данные из таблицы 2 – по последней цифре шифра.

Для всех вариантов принять:

1. Температуру воды на входе в котельный агрегат: 70 °С

2. Длину хвостовой поверхности нагрева: $l = L/3$.
 3. Шаг труб дымогарного пучка: $S = 2d_H$.
 4. Анкерные связи расположить в центре и равномерно по диаметру анкерных связей принять в $D_A = D_1/2$.
 5. Диаметр собственно анкерных связей принять равным диаметру дымогарных труб d_H .
 6. Допускаемое давление в топке котельного агрегата – 6 кПа.
- 1.3.2 Таблицы индивидуальных исходных данных.
- 1.3.3 Материалы, линейные размеры и параметры сетевого теплоносителя.

Таблица 1 – Материалы элементов котельного агрегата и его размеры

Предпоследняя цифра шифра	Материал жаровой трубы и обечайки	l , мм	L , м	P , МПа	t , °С	Материал задней стенки и трубных досок
1	Сталь 10	50	2,0	0,6	95	Сталь 10
2	Сталь 25	100	2,5	1,0	115	Сталь 20
3	Сталь 10	100	3,0	1,6	150	Сталь Ст. 3 сп
4	Сталь 20	150	3,0	0,6	95	Сталь 10
5	Сталь 25	150	3,5	1,0	115	Сталь 20
6	Сталь 15 ГС	50	4,0	1,6	150	Сталь Ст.2 сп
7	Сталь 10 Г2С1	100	3,0	0,6	95	Сталь 10
8	Сталь 15 ГС	150	4,0	1,0	115	Сталь 20
9	Сталь 16 ГС	100	2,0	1,6	150	Сталь Ст. 3 сп
0	Сталь 16 ГС	50	5,0	2,5	150	Сталь 25

Таблица 2 – Характерные диаметры элементов котельного агрегата

и параметры взрывного клапана

Последняя цифра шифра	D_1 , мм	D_2 , мм	D_3 , мм	d_H , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	F , м ²	n , шт .
1	400	600	800	48	57	159	0,05	4
2	450	650	850	48	76	219	0,05	4
3	500	700	900	51	89	325	0,05	4
4	550	750	950	51	89	273	0,05	4
5	600	800	1000	57	108	325	0,075	6
6	650	850	1050	57	108	273	0,075	6
7	700	900	1100	48	159	379	0,075	6
8	400	650	900	51	51	219	0,05	6
9	450	700	950	57	57	235	0,05	6
0	500	750	1100	48	76	273	0,05	6

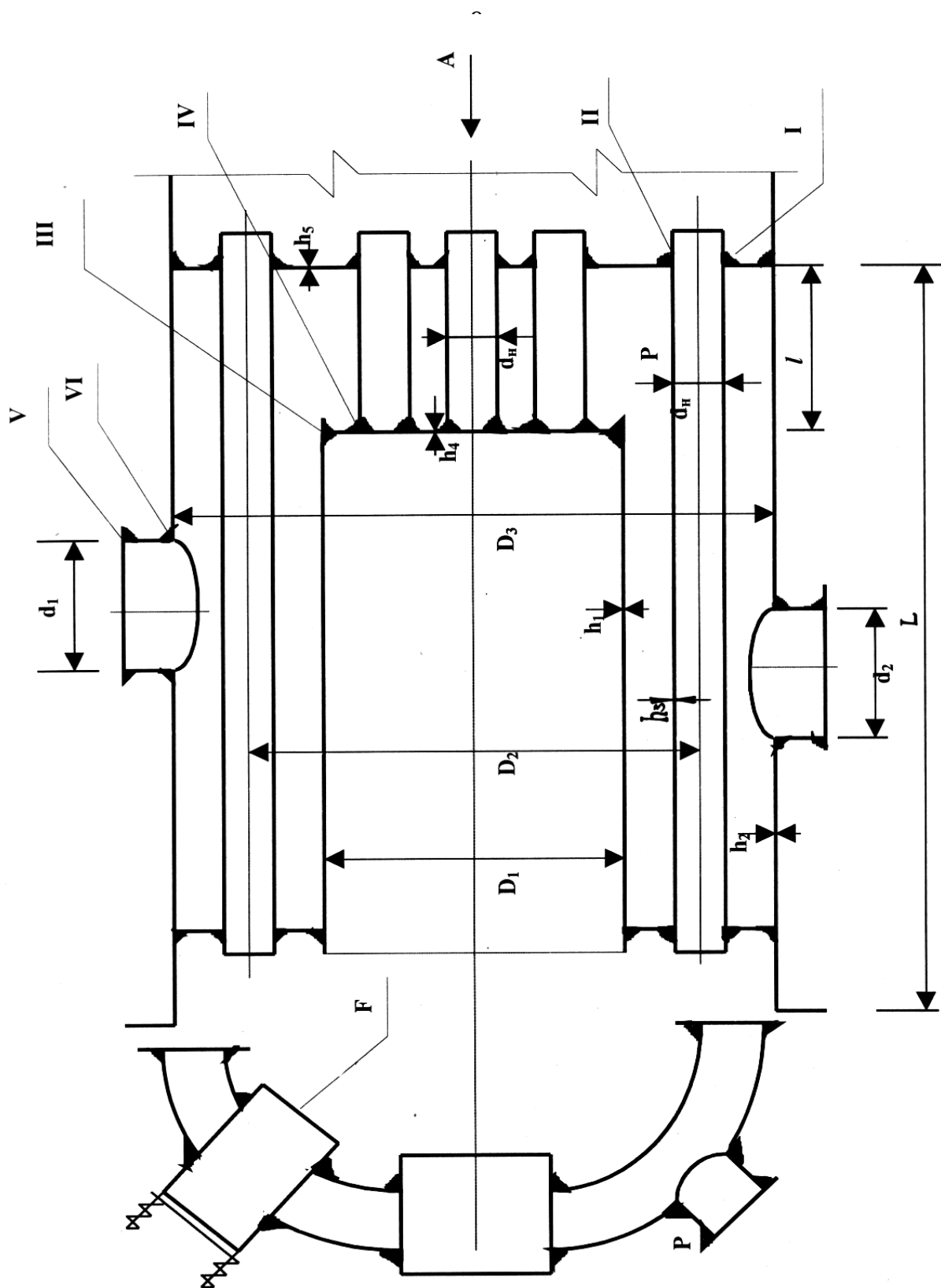


Рисунок 1 – Расчетная схема жаротрубно-дымогарного водогрейного котельного агрегата

2 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К НАПИСАНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В ходе выполнения курсового проекта необходимо выполнять следующие условия:

- задание оформляется в виде отдельного листа с подписью студента и преподавателя, выдавшего задание, с указанием шифра задания;
- Курсовой проект выполняется в тетради или на отдельных листах, в последнем случае она должна быть сКПеплена и иметь титульный лист;
- расчеты сопровождать КПатким пояснительным текстом, в котором указывать, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулы и откуда они взяты;
- вычисления производить в системе СИ.

3 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА И ПРИМЕРНЫЙ КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН ЕГО ВЫПОЛНЕНИЯ

3.1 Определение толщины стенок основных конструктивных элементов котельного агрегата

3.1.1 Расчет цилиндрических оболочек

Основные конструктивные элементы котельного агрегата (топка, наружная обечайка, дымогарные трубы) представляют собой цилиндрические конструкции, у которых два измерения (длина и диаметр) значительно больше третьего – толщины стенки. Расчет на прочность таких элементов осуществляется на основе мембранной теории оболочек: уравнения мембранной теории приводят к инженерному виду. Толщина стенки обечайки может быть определена по классической формуле:

$$h = \frac{P \cdot D_s}{2,31 \cdot [\sigma] - 2 \cdot P} + C, \text{ м}, \quad (4.1)$$

где P , МПа – разрушающее давление;

$[\sigma]$, Н/мм² – допускаемое напряжение материала конструкции;

D_b , м – определяющий геометрический размер (диаметр);

C , м – конструктивная прибавка на неучтенный допуск по толщине металла и на коррозию, равная:

$1,5 \div 2,0 \cdot 10^{-3}$ м – для жаровых труб;

$0,5 \div 1,05 \cdot 10^{-3}$ м – для остальных элементов конструкции.

В нормативных методах расчет элементов паровых котлов и жаровых труб применяют формулы, проверенные многолетним опытом эксплуатации: то есть в классическую формулу вводятся поправочные коэффициенты:

$$h = \frac{P \cdot D_b}{2,31 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 2 \cdot P} \cdot K + C, \text{ м}, \quad (4.2)$$

где K – коэффициент, учитывающий геометрические формы и условия теплообмена, определяемые по формуле:

$$K = 1 + \sqrt{1 + \frac{1}{100} \cdot \frac{a \cdot L \cdot [\sigma]}{P \cdot (D_b + L)}}, \quad (4.3)$$

где a – коэффициент неравномерности обогрева, принимаемый равным 6,25 – для горизонтальных труб и 3,75 – для вертикальных труб; L , м – длина жаровой трубы между соседними КПеплениями (кольца жесткости или КПепление с днищем).

Кольца жесткости устанавливаются, как правило, при $L > 6$ м в случае, если расчетный прогиб конструкции от собственного веса и веса жидкости превышает допустимый. Приварные кольца жесткости должны отвечать следующим требованиям:

- толщина, не менее $2h$;
- высота, не менее $5h$;
- расстояние между соседними кольцами, не более $2Dв$.

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma_{доп}^*, \text{ Н/мм}^2, \quad (4.4)$$

где η – коэффициент, учитывающий конструктивные и эксплуатационные особенности рассчитываемого элемента (принимается по приложению А);

$\sigma_{доп}^*$ – номинальные допускаемые напряжения материала, принимаемые по приложению Б, в соответствии с маркой стали и расчетной температурой стенки элемента.

Значения расчетной температуры принимаются по приложению В в зависимости от условий работы, наивысшей температуры вырабатываемого теплоносителя (t_H) и толщины стенки элемента (h). Толщиной стенки элемента можно задаться в пределах 10 мм.

φ – коэффициент ослабления конструкции продольным стыковым сварным швом, принимаемый в соответствии с правилами, нормами и техническими условиями по согласованию с Госгортехнадзором России (принимается по приложению Г).

По формуле (4.2) выполняются расчеты толщины стенок жаровой трубы (топки) h_1 , наружной обечайки (корпуса котла) h_2 агрегата и дымогарных труб h_3 . Полученные расчетные значения оКПугляются до ближайшего большего значения из стандартного ряда листового проката и сортамента труб [4].

3.2 Расчет плоских стенок

К таким типам конструкций относятся задняя стенка жаровой трубы (топки) и трубная доска. Последняя представляет собой торцевую поверхность котла, сквозь которую выведены дымогарные трубы и анкерные связи.

Расчетные поверхности находятся под воздействием внутреннего давления нагреваемой воды.

Задачей расчета является определение толщины стенки (h_4 и h_5) и количества анкерных связей (N_A) при равномерном их размещении на задней стенке топки.

Расчетная толщина определяется по формулам для плоских стенок [2] в зависимости от схемы расположения анкерных связей:

– при равномерном коридорном расположении:

$$h = K_1 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot (a^2 + b^2)}{[\sigma]}} + C, \text{ м}; \quad (4.5)$$

– при неравномерном шахматном расположении:

$$h = K_1 \cdot \frac{t_1 + t_2}{2} \cdot \sqrt{\frac{P}{[\sigma]}} + C, \text{ м}; \quad (4.6)$$

– при других способах расположения:

$$h = K_1 \cdot d_{расч} \cdot \sqrt{\frac{P}{[\sigma]}} + C, \text{ м}. \quad (4.7)$$

Схемы уКПепления плоской стенки анкерными связями представлены на рисунке 4.1. В расчетных формулах (4.5), (4.6), (4.7) и на рисунке 4.1 приняты следующие обозначения:

K_1 – безразмерный коэффициент, учитывающий способ КПепления анкерной связи (принимается по приложению Д).

a ; b , м – ширина и длина шага при равномерном коридорном расположении анкерных связей;

$t_1; t_2$; м – ширина и длина шага при неравномерном шахматном расположении анкерных связей;

$d_{расч}$, м – диаметр оКПужности, вписанной между тремя ближайшими центрами КПепления, включая сварной шов КПепления плоской стенки.

Расчетный диаметр может быть определен на основе графических построений с учетом принятого масштаба уменьшения или же аналитическим способом. Так, например, при равномерном КПуговом расположении анкерных связей в вершинах шестигранника можно воспользоваться следующими расчетными формулами:

$$d_{расч} = 2 \cdot \frac{L/2}{\cos\left(\frac{j}{2}\right)}; \quad (4.8)$$

$$\angle j = 180 - 2 \cdot \beta; \quad (4.9)$$

$$\sin \beta = \frac{h_{расч}}{L}; \quad (4.10)$$

$$L = \sqrt{(A/2)^2 + h_{расч}^2}; \quad (4.11)$$

$$h_{расч} = D_1 / 2 - h_1; \quad (4.12)$$

$$h_1 = A \cdot \sin 60^\circ, \quad (4.13)$$

где $A = D_A/2$; $D_A = D_1/2$.

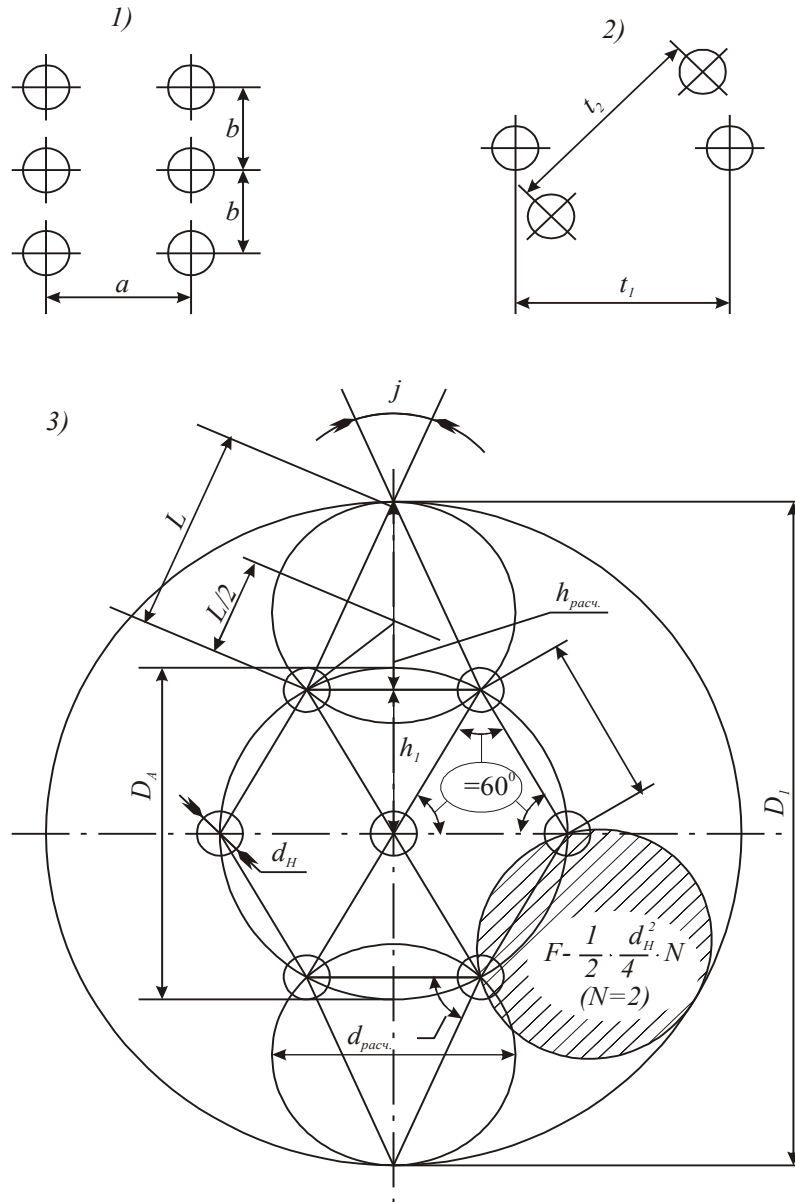


Рисунок 4.1 – Схемы укПепления плоской стенки анкерными связями

- 1 – равномерное коридорное расположение;
- 2 – неравномерное шахматное расположение;
- 3 – симметричное КПуговое расположение

Полученные расчетные значения толщины плоских стенок h_4 и h_5 сравнивают с минимально допустимыми:

$$h_{\min} \geq 0,125 \cdot d_H + 5 \cdot 10^{-3}, \text{ м.} \quad (4.14)$$

Работающая на прочность суммарная площадь сечения металла анкерных связей должна отвечать условию:

$$f \geq \frac{\left(F - \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi \cdot d_n^2}{4} \cdot N \right)}{[\sigma]}, \text{ м}^2, \quad (4.15)$$

где: N , шт. – число анкерных связей, уКПепляющих площадку F ;

$f = f' \cdot N$, м^2 – суммарная площадь сечения металла анкерных связей;

$f' = \frac{\pi}{4} (d_n^2 - d_{BH}^2)$ – площадь сечения металла одной анкерной связи;

$F = \frac{\pi \cdot d_{расч}^2}{4}$, м^2 – площадь плоской стенки, уКПепленной рассматриваемыми

анкерными связями.

Толщиной стенки трубы, можно задаться в пределах $0,002 \div 0,004$ м.

Если условие (4.15) не выполняется, то следует увеличить толщину стенки трубы анкерных связей или же схему установки анкерных связей, увеличив их количество.

При составлении расчетной схемы нагружения стенки трубной доски (h_5) число дымогарных труб принимается из условия, что шаг их размещения отвечает требованию $t \geq 2d_H$.

Схема уКПепления трубной доски представлена на рисунке 4.2.

Методом масштабных построений определяется $d_{расч}$ и проверяется выполнение условия (4.15).

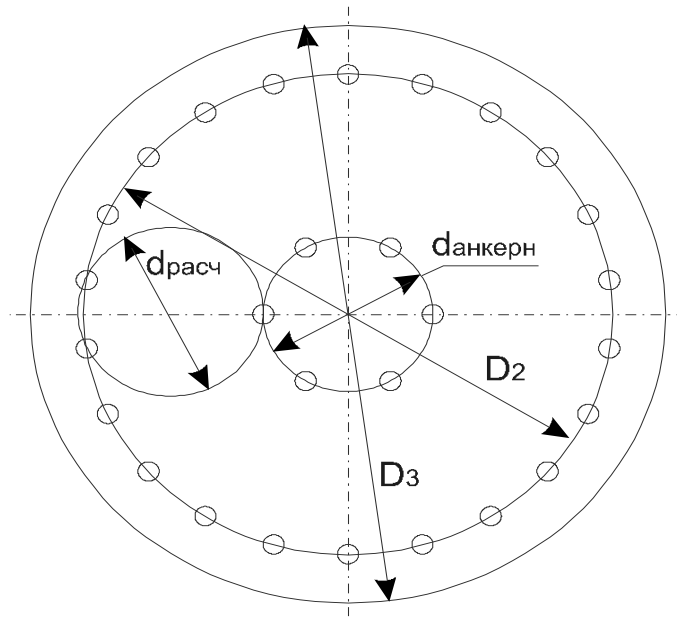


Рисунок 4.2 – Схема уКПепления трубной доски анкерными связями
и дымогарными трубами

4 Определение необходимости уКПепления входного и выходного патрубков нагреваемой воды и методика их расчета

В корпусе котла имеется два сверления заданных диаметров (d_1 ; d_2) под патрубки входа и выхода нагреваемой воды. Всякое сверление является концентратором напряжений, что приводит к снижению прочности конструкции. Для обеспечения надежности работы котла, патрубки уКПепляют путем приварки дополнительных накладок в виде стальных колец расчетного диаметра.

УКПепление отверстия выполняется, исходя из принципа компенсации площади металла, удаленного из рассматриваемого сечения при сверлении. Существует предельно минимальный диаметр сверления, который не требует уКПепления. Разница в площади сечения металла между фактическим сверлением и предельно минимальным диаметром должна быть скомпенсирована сечением металла патрубка, накладки и сварных швов, то есть площадь уКПепляющего сечения должна составлять:

$$\sum f = f_{\Pi} + f_H + f_{CB}, \quad (5.1)$$

где f_{Π} , м² – площадь уКПепляющего сечения патрубка;

$f_H, \text{м}^2$ – площадь уКПепляющего сечения накладки;

$f_{св}, \text{м}^2$ – площадь уКПепляющего сечения сварных швов.

Расчетная схема уКПепления патрубка представлена на рисунке 5.1.

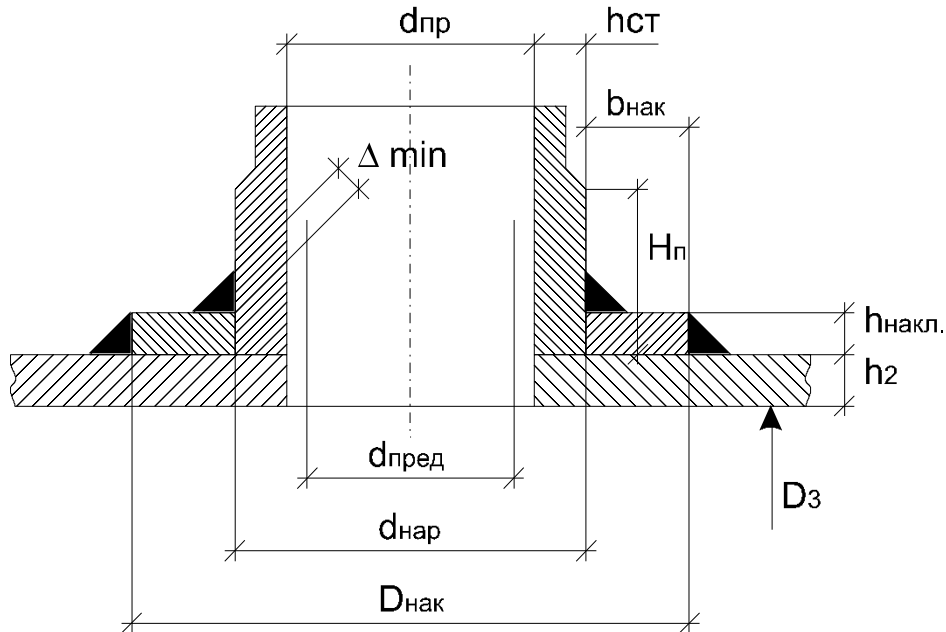


Рисунок 5.1 – Расчетная схема уКПепления патрубка

Площадь уКПепляющего сечения патрубка определяют по формуле:

$$f_{\Pi} = 2 \cdot H_{\Pi} \cdot (h_{CT} - h_{МИН}), \quad (5.2)$$

где $h_{CT} = (4 \div 6) \cdot 10^{-3}$, м – нормируемая толщина усиленной части патрубка;

$h_{МИН} = \frac{P \cdot d_{\Pi P}}{2([\sigma] + P)}$, м – минимальная расчетная толщина стенки патрубка;

$d_{\Pi P}$, м – проектный диаметр сверления отверстия, равный соответственно d_1 и d_2 .

H_{Π} , м – высота усиленной части патрубка, определяемая по формулам:

$$H_{II} \leq \sqrt{(d_{HAP} - h_{CT}) \cdot h_{CT}} \quad \text{при } \frac{h_{CT}}{d_{HAP}} \leq 0,14;$$

$$H_{II} = 2,28 \cdot h_{CT} \quad \text{при } \frac{h_{CT}}{d_{HAP}} \geq 0,14,$$

где $d_{HAP} = d_{II} + 2 \cdot h_{CT}$.

Площадь уКПепляющего сечения сварных швов определяется как сумма площадей сечений швов патрубка и накладки из формулы:

$$f_{CB} = C_{CB}^I + C_{CB}^H = (2 \cdot \Delta_{\min}^I \cdot \cos 45)^2 + (2 \cdot \Delta_{\min}^H \cdot \cos 45)^2, \text{ м}^2, \quad (5.3)$$

$$\text{где } \Delta_{\min}^I \geq 2,1 \cdot \frac{H_{II} \cdot h_{CT}}{d_{нар}}; \quad \Delta_{\min}^H \geq 2,1 \cdot \frac{b_{HAK} \cdot h_{HAKЛ}}{D_{HAKЛ}}.$$

При этом, минимальный размер углового сварного шва должен отвечать условию: $\Delta_{\min} \geq 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Требуемую площадь уКПепляющего сечения (Σf) определяем с помощью номограммы (приложение Е). Расчет выполняется в следующем порядке:

- вычисляется отношение $h_2 - C / d_{II}$, м;
- по номограмме определяется некоторое число (A), представляющее отношение $d_{ПРЕД} / d_{II}$;
- рассчитывается величина предельного диаметра, не нуждающегося в уКПеплении:

$$d_{ПРЕД} = d_{II} \cdot A, \text{ м};$$

$$\Sigma f = (d_{II} - d_{ПРЕД}) \cdot h_2, \text{ м}. \quad (5.4)$$

Используя балансовое уравнение (5.1) и расчетные значения площадей уКПепляющих сечений патрубка и сварных швов (формулы 5.2; 5.3), определяем требуемую площадь сечения накладки:

$$f_H = (d_{ПП} - d_{ПРЕД}) \cdot h_2 - f_{П} - f_{СВ}, \text{ м}^2. \quad (5.5)$$

Если расчетная величина (f_H) оказывается отрицательной, то накладка не требуется.

Задаваясь высотой накладки $h_{НАК} = (3 \div 6) \cdot 10^{-3}$ м, определяем ее ширину из формулы:

$$b_{НАК} = \frac{f_H}{2 \cdot h_{НАК}}, \text{ м}. \quad (5.6)$$

Из условия «снятия» КПаевого эффекта, полученная расчетная величина должна отвечать условию:

$$b_{НАК} = \sqrt{(D_3 + h_2) \cdot (h_2 - C)}, \text{ м}. \quad (5.7)$$

5 Характеристика технических требований к механической обработке сварных элементов котлоагрегата

При проектировании котлов, сосудов и трубопроводов необходимо стремиться к обеспечению надежности и долговечности.

Качество и работоспособность сварного соединения зависят от применяемых типов разделки КПонок стыкуемых элементов, метода и технологии сварки, качества основных и сварочных материалов, температуры и влажности оКПужающего воздуха.

При сборке элементов под сварку все геометрические размеры каждого стыка (углы скоса и параллельность стыкуемых КПонок, величина зазора между ними, величина перелома осей и смещения КПонок соединяемых элементов и др.) должны соответствовать требованиям инструкции по сварке и контролю сварных соединений. Свариваемые элементы должны находиться по возможности в таком положении, которое обеспечивает наиболее качественное выполнение шва. Свариваемые КПомки, а также прилегающие к ним поверхности основного металла шириной не менее 20 мм перед сваркой должны быть зачищены до блеска. Неровности, подрезы должны быть выровнены подружкой или наждачным КПугом.

Для уменьшения деформаций, напряжений, перемещений при сварке и повышения эксплуатационной надежности сварных конструкций следует соблюдать следующие условия:

- 1) Назначать минимальные расчетные сечения швов, что приведет к уменьшению количества наплавленного металла, напряжений и почти всех видов деформаций и перемещений при сварке.
- 2) Сварные стыки трубопроводов, кольцевые стыки барабанов паровых котлов и сварные швы доньшек к коллекторам выполнять в несколько слоев. Это обеспечивает равномерный подогрев и улучшает механические свойства металла (пластичность).
- 3) Преимущественно применять швы с глубоким проплавлением, а также автоматическую и полуавтоматическую сварку под слоем флюса и в среде защитных газов.
- 4) Выбирать оптимальные режимы сварки. Выполнять швы с наименьшим количеством наплавленного металла и располагать их симметрично относительно центра тяжести сечения элемента.
- 5) Использовать сварочные материалы с минимальным содержанием серы, фосфора, углерода и достаточным содержанием марганца.
- 6) С целью уменьшения коробления листов швы длиной более 600мм выполняют в обратноступенчатом порядке. Чем короче шов, тем меньше деформируется изделие.

Длинный шов делят на участки длиной $150 \div 200$ мм с таким расчетом, чтобы каждый участок был сварен одним электродом или целым числом электродов.

7) Применять проковку швов и околошовной зоны. Все сварные швы котлов, сосудов и трубопроводов подлежат клеймению, позволяющему установить сварщика, выполняющего эти швы. Клеймо должно ставиться на расстоянии $20 \div 50$ мм от КПомки сварного шва.

6 Виды сварных соединений и конструкции разделок под сварку

Самыми распространенными сварными соединениями являются стыковые. Они обеспечивают наименьшие остаточные напряжения и деформации при сварке. При стыковых соединениях нужна тщательная подготовка листов и точная их подгонка под сварку. Листы толщиной от 3 до 26 мм при ручной сварке соединяют встык с односторонним скосом одной или двух КПомок. Этот вид подготовки называют V-образным. Листы толщиной $12 \div 40$ мм и более соединяют с двухсторонним скосом – X-образным при скосе обеих КПомок, K-образным при скосе одной. Для предотвращения поджога шва КПомки притупляют. Между КПомками оставляют зазор для обеспечения провара корня шва.

При ручной дуговой сварке стали толщиной $20 \div 60$ мм применяют КПиволинейный И-образный скос одной или двух КПомок.

Угол расКПытия КПомок при V-образной разделке составляет 54 ± 6^0 ; при K-образной 50 ± 5^0 ; при X-образной 54 ± 6^0 ; при U-образной 10 ± 2^0 . Притупление КПомок при всех видах разделок $1 \div 2$ мм, а зазор в стыке 2 мм.

При автоматической и полуавтоматической сварке величина притупления увеличивается до $5 \div 10$ мм, а угол разделки остается примерно таким же.

Соединения внахлестку находят применение при ручной дуговой сварке воротников, люков и лазов. При таком соединении рекомендуется сваривать листы и детали с обеих сторон. Такие соединения приводят к увеличению расхода металла и к возник-

новению изгибающего момента в соединении. Применяются для слабонагруженных элементов.

Тавровые соединения используются при дуговой сварке и выполняются без скоса и со скосом КПомок с одной или двух сторон. При одностороннем и двустороннем скосе между вертикальным элементом и горизонтальной поверхностью оставляется зазор для лучшего вертикального элемента на всю толщину. Односторонний скос делают в том случае, если изделие не позволяет произвести сварку с двух сторон.

Угол разделки КПомок таврового соединения составляет $50 \pm 5^\circ$, притупление КПомок $1 \div 2$ мм, зазор между свариваемыми элементами до 3 мм в зависимости от толщины элементов.

7 Расчет усилия пружин взрывного клапана

Усилие на одной пружине определяется по формуле:

$$N = \frac{P \cdot 10^3 \cdot F}{n} \quad , \text{ Н} , \quad (8.1)$$

где P – допускаемое давление в топке котлоагрегата, кПа;

F – площадь проходного сечения клапана, м²;

n – число пружин взрывного клапана.

8 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

В ходе выполнения курсовой работы (КР) необходимо выполнять следующие условия:

– задание оформляется в виде отдельного листа с подписью студента и преподавателя, выдавшего задание, с указанием шифра задания;

- расчеты сопровождаются Кратким пояснительным текстом, в котором указывается, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулы и откуда они взяты;
- вычисления производятся в системе СИ;
- расчеты оформляются на машинописных листах формата А 4;
- графическая часть выполняется на листах формата А 4.

9 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ НАД КП, ПРИМЕРНЫЙ КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН ЕГО ВЫПОЛНЕНИЯ

Для выполнения КП необходимо познакомиться с современной отраслевой литературой и подобрать специальную научную литературу по выбранной теме. Подбор литературы производится студентом самостоятельно в соответствии с заданной темой проекта. При этом следует пользоваться предметным алфавитным каталогом в читальном зале библиотеки университета и других библиотеках. Отбирать следует литературу, которая освещает как общетеоретическую сторону проблемы, так и действующую практику. При этом студент может составить список, включая в него литературу, изданную за последние пять лет, отечественные стандарты и инструктивный материал. Особое внимание следует обратить на научные публикации в специальных журналах за последние два года. Перечень всех статей за год содержится в последнем номере журналов.

Сначала следует изучить основную литературу (учебники, пособия), а затем перейти к работам исследовательского характера. Особенно следует обратить внимание на дискуссионные статьи в журналах и позиции тех или иных авторов, что позволит сделать правильное сопоставление различных точек зрения по тематике КП.

Календарный план выполнения проекта:

- | | |
|---------------------------------|-----------------|
| – выдача задания на КП | 1 – 4 неделя; |
| – консультации по работе над КП | 1 – 15 неделя; |
| – защита КП | 16 – 17 неделя. |

10 ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ СТУДЕНТА ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ ПО КП

Выполненная КП проверяется руководителем, который дает допуск к защите или возвращает КП на доработку. При положительном заключении КП допускается к защите, при наличии замечаний возвращается на доработку. При подготовке к защите студент обязан повторить теоретический материал дисциплины и подготовить доклад. В докладе следует изложить сущность выполненной КП, методы решения задач, наиболее важные результаты и выводы по работе. После доклада студенту могут быть заданы вопросы как по содержанию КП, так и по курсу в целом.

Оценка уровня выполненной КП, а также степени усвоения теоретического материала производится преподавателем. Оценка за КП выставляется дифференцированно. Основными факторами, влияющими на оценку, являются:

- самостоятельность выполнения работы;
- уровень теоретической подготовки студента;
- грамотность и практическая ценность принятых решений;
- качество оформления всех материалов КП;
- подготовленность доклада и правильность ответов на вопросы при защите КП.

Таблица А. 1 – Значения коэффициента η , учитывающего конструктивные и эксплуатационные особенности рассчитываемого элемента

Наименование элемента	Величина коэф-а η
Барабаны или камеры бесшовные и сварные:	
- необогреваемые (вынесенные из газохода или надежно изолированные)	1,00
- обогреваемые	0,90
Трубы поверхностей нагрева и трубопроводов, находящихся под внутренним давлением	1,00
Трубы с наружным диаметром не более 200 мм, подверженные наружному давлению	0,70
Жаровые трубы, подверженные наружному давлению	0,50
Выпуклые днища:	
- находящиеся под внутренним давлением	1,05
- находящиеся под наружным давлением	0,75
- днища жаротрубных котлов	0,60
Прямоугольные камеры:	
- обогреваемые	0,90
- необогреваемые	1,00
Плоские днища (в зависимости от конструкции днища и расположения сварного шва)	0,60÷1,00
УКПепленные плоские стенки	0,85
Анкерные связи и трубы	0,40
Барабаны с заклепочными соединениями (в зависимости от конструкции заклепочного соединения)	0,60÷0,70

Таблица Б. 1 – Номинальные значения напряжения

$$\sigma_{\text{доп}}^* \cdot \frac{H}{\text{мм}^2}$$

(Углеродистые и марганцовые стали)

Расчетная температура стенок, °С	Марка стали							
	Ст 2	Ст 3	Сталь 10	Сталь 20	Сталь 25	Сталь 10Г2С 1	Сталь 15ГС	Сталь 16ГС
20	127,5	137,3	127,5	144,2	161,9	173,6	181,5	166,8
250	107,0	117,7	110,0	129,5	144,2	160,9	161,9	142,3
275	101,0	111,8	104,0	123,6	137,3	157,0	157,9	137,3
300	96,1	106,0	98,1	116,7	129,5	150,1	150,1	131,5
320	-	-	93,2	111,8	122,6	145,2	142,3	127,5
340	-	-	88,3	106,9	116,7	138,3	134,4	122,6
360	-	-	83,4	101,0	109,9	132,4	126,6	117,7
380	-	-	79,5	95,6	104,0	125,6	118,7	112,8
400	-	-	75,5	90,3	98,1	117,7	110,9	107,9
410	-	-	73,3	87,3	94,2	-	105,0	-
420	-	-	70,6	84,4	91,2	-	100,1	-
430	-	-	66,7	81,4	84,4	-	95,2	-
440	-	-	58,9	71,6	75,5	-	88,3	-
450	-	-	52,0	62,8	66,7	-	81,4	-
460	-	-	46,1	54,9	57,9	-	-	-
470	-	-	41,2	48,1	51,0	-	-	-
480	-	-	36,3	42,2	44,2	-	-	-
490	-	-	31,4	37,3	38,3	-	-	-
500	-	-	29,4	33,4	33,4	-	-	-

Таблица В. 1 – Значения расчетной температуры стенки

Наименование и условия работы элемента	Расчетная температура стенки, °С
1. Необогреваемые барабаны (вынесенные из газохода или надежно изолированные)	t_H
2. Неизолированный барабан установлен в конвективном газо- ходе при температуре газов не выше 600 °С	$t_H + 1,2h + 10$
3. То же при температуре газов: $600\text{ °С} < t_2 \leq 900\text{ °С}$	$t_H + 2,5h + 20$
4. Неизолированные барабаны, подверженные лучеиспусканию факела и слоя топлива	$t_H + 4h + 30$
5. Гладкая жаровая труба	$t_H + 4h + 60$
6. Волнистая жаровая труба	$t_H + 5h + 60$
7. Кипятильные трубы в котлах с естественной циркуляцией (независимо от рабочего давления) и многоКПатной принуди- тельной циркуляцией при рабочем давлении до 16 МПа	$t_H + 60$
8. Кипятильные трубы в котлах с многоКПатной циркуляцией при рабочем давлении более 16 МПа и прямоточных незави- симо от давления	Согласно тепловому расчету
9. Трубы конвективного пароперегревателя с рабочим давле- нием до 2,5 МПа и прямоточных независимо от давления	$t_{III} + 70$
10. Экономайзеры некипящих котлов с естественной или мно- гоКПатной принудительной циркуляцией	$t_H + 30$
11. Экономайзеры кипящих котлов с естественной или много- КПатной принудительной циркуляцией	$t_H + 60$

Таблица Г. 1 – Значения коэффициента ослабления конструкции продольным стыковым сварным швом (φ)

Значение коэффици- ци-ента φ	Материал, вид сварки и контроля сварного шва
1,00	Углеродистые, низкоуглеродистые, марганцовистые, аустенитные стали; все виды сварки; полный провар и 100% - й контроль
0,80	Хромомолибденовые и высокохромистые стали; все виды сварки; полный провар и 100% - й контроль
0,85	Углеродистые, низкоуглеродистые, марганцовистые, аустенитные стали; сварка автоматическая двухсторонняя, односторонняя, ручная, контактная, под флюсом, в среде углекислого газа; неполный контроль
0,70	Остальные виды

Таблица Д. 1 – Значения коэффициента способа КПепления анкерной связи

Значение коэффициента K_1	Виды анкерных связей и особенности их КПепления
0,34	Для анкерных болтов или труб, ввернутых в стену с двумя чайками и шайбой наружным диаметром не менее 3,5 диаметра болта и толщиной не менее 2/3 толщины уКПепляемой стенки, а также для анкерных болтов или труб, приваренных с двух сторон и уКПепленных приварной шайбой, указанных выше размеров
0,37	Для ввернутых анкерных болтов или труб с двумя чайками или приваренных с двух сторон
0,42	Для ввернутых анкерных болтов или труб с одной чайкой или приваренных с одной стороны, а также для приварных косынок или при уКПеплении только гладкой жаровой трубой
0,50	Для ввернутых анкерных болтов или труб (без обечаек), либо расКПепленных или развальцованных, а также при уКПеплении только волнистой жаровой трубой

Таблица Е. 1 – График определения допускаемого диамет-

Коэффициенты прочности

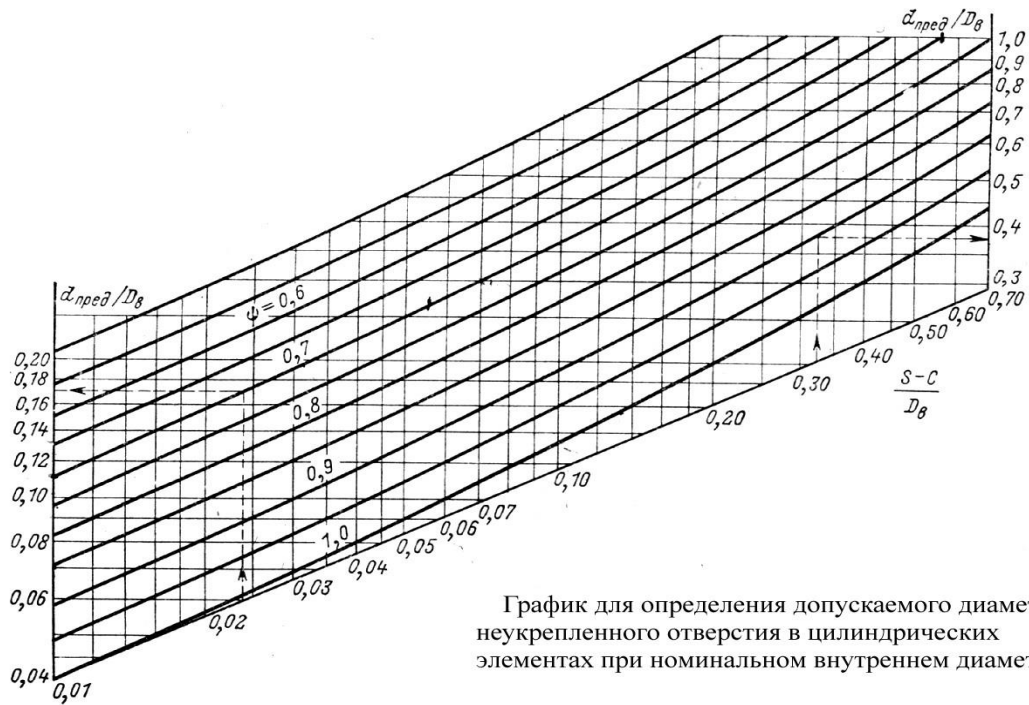


График для определения допускаемого диаметра неукрепленного отверстия в цилиндрических элементах при номинальном внутреннем диаметре.

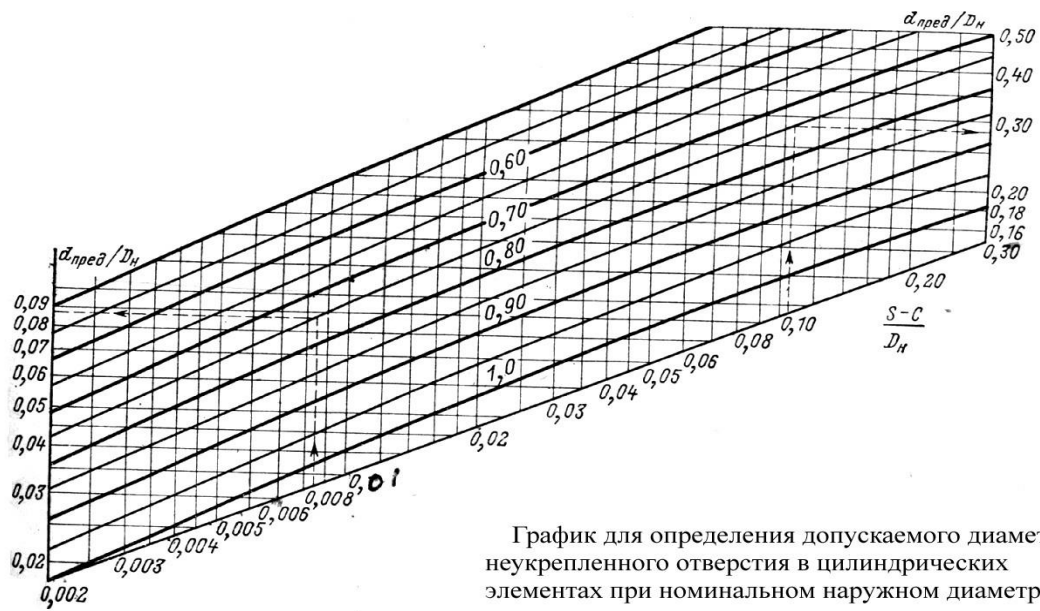


График для определения допускаемого диаметра неукрепленного отверстия в цилиндрических элементах при номинальном наружном диаметре.

Оценочные средства для КП

Тематика курсовых работ (проектов)¹

1. Расчет жаротрубно-дымогарного водогрейного котельного агрегата

В курсовой работе выполняются прочностные расчеты элементов конструкции жаротрубно-дымогарного котельного агрегата, представляющего собой водогрейный котел с высоконапряженной тупиковой топкой. Рабочий объем котлоагрегата находится под избыточным давлением нагреваемой воды. Давление в топке и в газовых трубах принимается равным атмосферному. Соединение элементов выполняется при помощи сварки ручной электродуговой по ГОСТ 5264-80 и фланцевых соединений по ГОСТ 1255-87. Материал элементов котлоагрегата – сталь по ГОСТ 380-94 и ГОСТ 1050-94.

2. На основании исходных данных требуется определить следующие размеры элементов котельного агрегата:

толщину стенки жаровой трубы h_1 , находящейся под наружным давлением;

– толщину стенки обечайки h_2 , находящейся под внутренним давлением; – толщину стенки дымогарной трубы h_3 , находящейся под наружным давлением;

– толщину задней стенки жаровой трубы h_4 и трубной доски h_5 и рассчитать их укрепление (анкерные связи);

– определить необходимость укрепления отверстий под штуцеры d_1 и d_2 и при необходимости рассчитать их.

Исходные данные для расчёта принять из таблиц № 1 и 2 по предпоследней и последней цифре шифра зачетной книжки студента.

Методические указания, теоретический и справочный материал, а также требования к выполнению курсовой работы приведены в методических указаниях /10.1.3.3./.

Таблица 1 – Материалы, линейные размеры и параметры сетевого теплоносителя

Предпоследняя цифра шифра	Материал жаровой трубы и обечайки	l, мм	L, м	P, МПа	t, °C	Материал задней стенки и трубных досок
1	Сталь 10	50	2,0	0,6	95	Сталь 10
2	Сталь 25	100	2,5	1,0	115	Сталь 20
3	Сталь 10	100	3,0	1,6	150	Сталь Ст.3 сп
4	Сталь 20	150	3,0	0,6	95	Сталь 10
5	Сталь 25	150	3,5	1,0	115	Сталь 20
6	Сталь 15 ГС	50	4,0	1,6	150	Сталь Ст.2 сп
7	Сталь 10 Г2С1	100	3,0	0,6	95	Сталь 10
8	Сталь 15 ГС	150	4,0	1,0	115	Сталь 20
9	Сталь 16 ГС	100	2,0	1,6	150	Сталь Ст.3 сп
0	Сталь 16 ГС	50	5,0	2,5	150	Сталь 25

Таблица 2– Характерные диаметры элементов котельного агрегата и параметры взрывного клапана

Последняя цифра шифра	Д ₁ , мм	Д ₂ , мм	Д ₃ , мм	d _н , мм	d ₁ , мм	d ₂ , мм	F, м ²	n, шт.
1	400	600	800	48	57	159	0,05	4
2	450	650	850	48	76	219	0,05	4
3	500	700	900	51	89	325	0,05	4
4	550	750	950	51	89	273	0,05	4
5	600	800	1000	57	108	325	0,075	6
6	650	850	1050	57	108	273	0,075	6
7	700	900	1100	48	159	379	0,075	6
8	400	650	900	51	51	219	0,05	6
9	450	700	950	57	57	235	0,05	6
0	500	750	1100	48	76	273	0,05	6

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он в срок, в полном объеме и на высоком уровне выполнил КП, проявив при этом самостоятельность, инициативность, творческий подход; результаты защиты курсового проекта положительные; обладает сформированными систематическими знаниями, сформированными целостными умениями, успешным и систематическим применением навыков

Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он выполнил КП в полном объеме с незначительным нарушением сроков, был менее самостоятелен, инициативен в деятельности; имеются отдельные замечания по выполнению проекта; результаты защиты КП положительные; обладает сформированными, но содержащими отдельные пробелы в знании основного материала, в целом успешным, но содержащим отдельные пробелы умением, в целом успешным, но содержащим отдельные пробелы применения навыков.

Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он выполнил КП не в полном объеме, нуждался в помощи при выполнении заданий, есть серьезные замечания по выполнению работы; в результате защиты КП высказаны замечания; обладает общими, но не структурированными знаниями, в целом успешным, но не систематическим умением, в целом успешным, но не систематическим применением навыков.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, обнаружившему большие пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему грубые и принципиальные ошибки в формулировках основных понятий и при выполнении КП; обладает фрагментарными знаниями, частично освоенным умением, фрагментарным применением навыков.

2. Описание шкалы оценивания

Рейтинговая система не предусмотрена

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить ПК-1 компетенции.

Для выполнения КП по дисциплине «Особенности современного проектирования систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха общественных, многоэтажных и высотных зданий» необходимо успешно освоить лекционный и практический курс данной дисциплины в течение учебного семестра. Также оптимальным способом подготовки к данному мероприятию является самообразование студентов на основании предоставленных университетом и кафедрой обучающихся и методических материалов согласно технологической карте самостоятельной работы студента.

При проверке задания, оцениваются:

- правильность выполнения заданий;

- последовательность и рациональность выполнения;
- точность расчетов.

При проверке КП оцениваются:

- последовательность изложения материала;
- правильность оформления курсового проекта;
- правильность выполнения графической части.

При защите КП оцениваются:

- четкое изложение материала;
- умение ориентироваться в тексте и расчетах проекта;
- правильность ответов на дополнительные вопросы по теме курсового проекта.

12 СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перечень основной литературы:

1. Молотников, В. Я. Сопротивление материалов : учебное пособие для вузов / В. Я. Молотников. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 312 с
2. Молотников, В. Я. Механика конструкций. Теоретическая механика. Сопротивление материалов : учебное пособие / В. Я. Молотников. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 608 с.

2. Перечень дополнительной литературы:

1. Сосуды и трубопроводы высокого давления: Справочник / Е.Р. Хисматулин и др. – М.: Машиностроение, 1998.– 384 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. М.: Машиностроение, 1999. – Т1 – 912 с.; Т2 – 880 с.; Т3 – 848 с.

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям

по дисциплине

«Прочностные расчеты элементов основного оборудования»

по направлению 08.04.01 «Строительство»

**направленность (профиль) «Теплогазоснабжение населенных мест и предприя-
тий»**

Содержание

ПЗ 1. РАСЧЕТ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

ПЗ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СТЕНОК ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕН-
ТОВ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

ПЗ 3. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ СТЕНОК ПРИ КОРИДОРНОМ И ШАХМАТНОМ
РАСПОЛОЖЕНИИ АНКЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

ПЗ 4. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ СТЕНОК ПРИ КПУГОВОМ РАСПОЛОЖЕНИИ
АНКЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

ПЗ 5. УКПЕПЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ В АППАРАТАХ, РАБОТАЮЩИХ ПОД
ИЗБЫТОЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

ПЗ 6. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ
СВАРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОТЛОАГРЕГАТА

ПЗ 7. ВИДЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ РАЗДЕЛОК
КПОМОК

ПЗ 8. РАСЧЕТ УСИЛИЯ ПРУЖИН ВЗРЫВНОГО КЛАПАНА

ПЗ 9. ВЫБОР ДОПУСКАЕМЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗА-
ПАСА ПРОЧНОСТИ

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Целью изучения дисциплины «Прочностные расчеты элементов основного оборудования» является формирование набора компетенций ПК-1.

Задачей дисциплины является формирование у магистрантов знаний и навыков прочностных расчетов основного теплоэнергетического оборудования в промышленности и коммунально-бытовом хозяйстве.

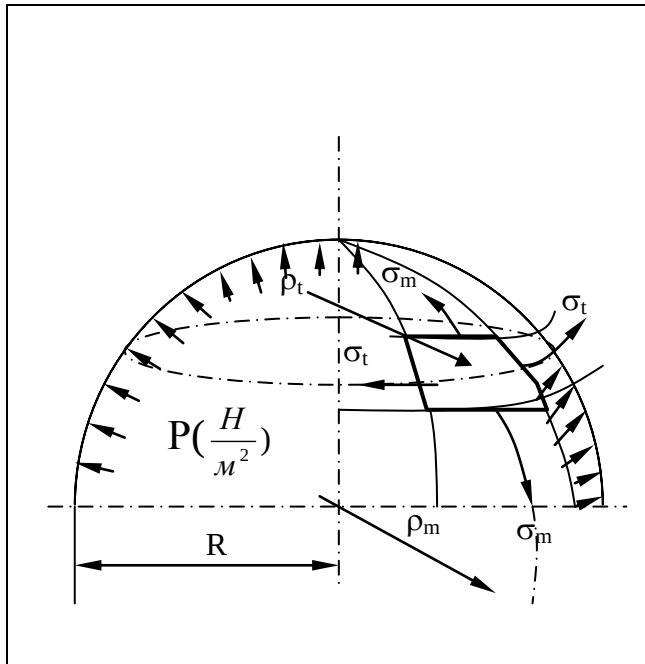
Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Прочностные расчеты элементов основного оборудования» содержат краткие теоретические сведения о прочностных расчетах элементов теплосилового оборудования, рекомендуемую литературу и задачи для закрепления теоретических знаний практическими примерами. Предназначены для студентов специальности 08.04.01 «Строительство».

ПЗ 1. РАСЧЕТ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

1.1 Теоретическая часть

Оболочкой называется тело, у которого одно измерение (толщина) значительно меньше двух других. В мембранной теории расчет сводится к этой схеме, в то время как в теории сопротивления материалов – к схеме нагруженного бруса.

Схема нагружения тонкостенной оболочки показана на рисунке 1.



σ_m – меридиональные напряжения;
 σ_t – тангенциальные напряжения;
 ρ_m – радиус меридиана;
 ρ_t – радиус окружности сечения $\perp$ к дуге меридиана.

Задача прочностного расчета решается наиболее просто, если предположить, что напряжение в элементах поверхности оболочки распределены равномерно.

Рисунок 1 – Схема нагружения тонкостенной оболочки

Теория, основанная на этом положении, называется мембранной или безмоментной. Это один из методов идеализации, широко применяемых в современной науке. Отклонения от фактической картины нагружения корректируются соответствующими коэффициентами. Схема распределения напряжений в оболочке представлена на рисунке 2.

Роль нейтрального слоя играет средняя поверхность.

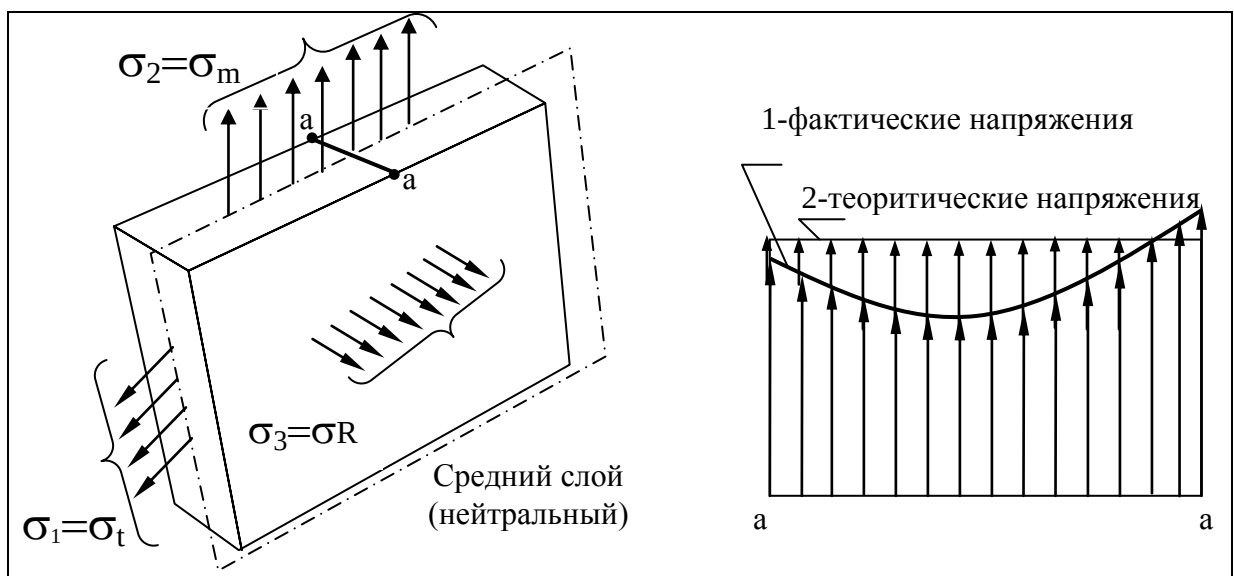


Рисунок 2 – Схема распределения напряжений в оболочке

Уравнение прочности оболочки, выведенное на основании принятых положений, имеет вид:

$$(\sigma_t/\rho_t) + (\sigma_m/\rho_m) = P/h, \quad (1.1)$$

где P – расчетное рабочее давление в аппарате, н/м²;

h – расчетная толщина стенки оболочки, м.

1.2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 1.1. Используя уравнение равенства сил (формула 1.2) на одну из координатных осей, например ось z , и обозначения на расчетной схеме (рисунок 3), вывести основное уравнение прочности тонкостенной оболочки.

$$\sum F_z = F_{(x)z} + F_{(y)z} + F_z = 0 \quad (1.2)$$

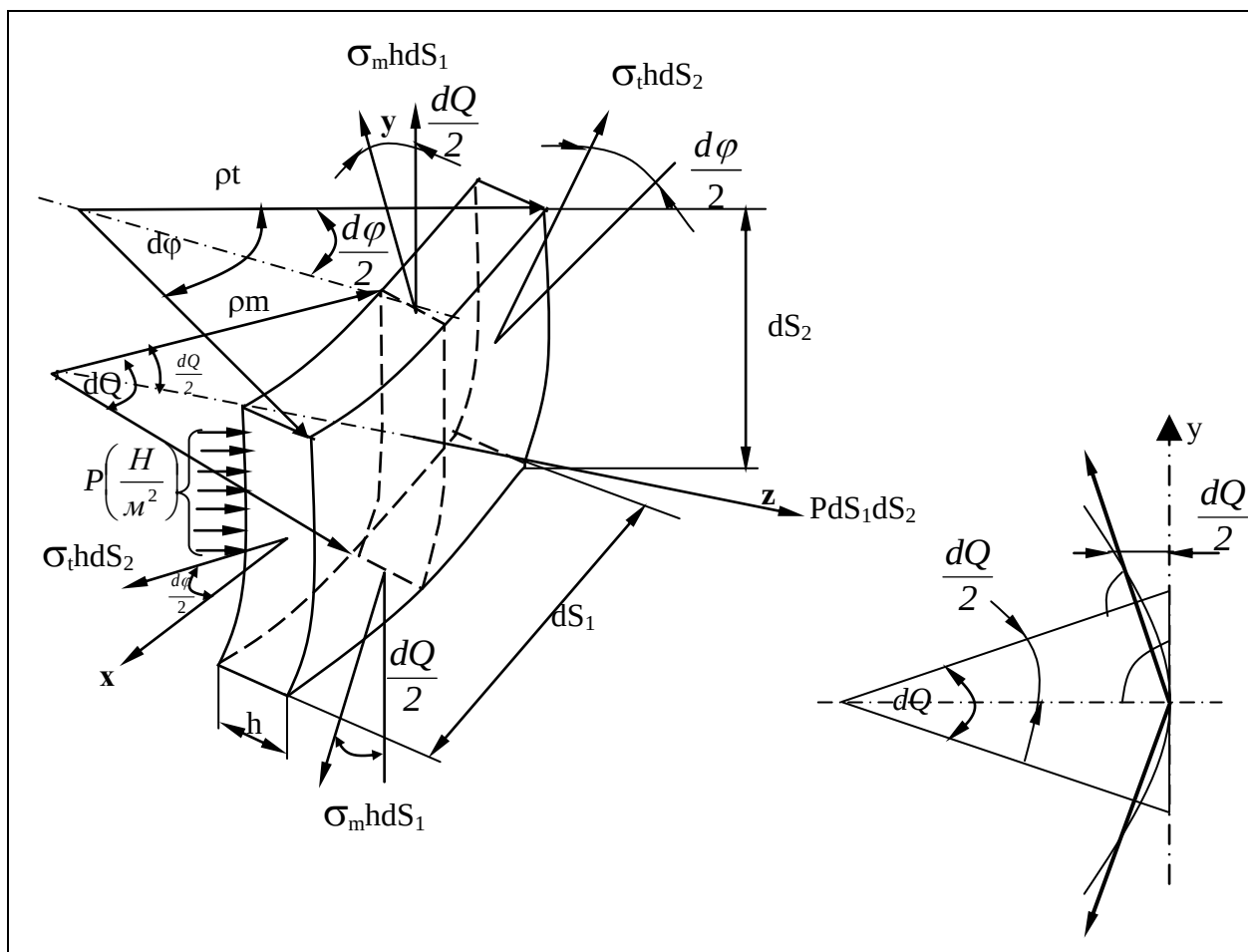


Рисунок 3 – Расчетная схема тонкостенной оболочки

1.3 Вопросы к практическому занятию

1. Дать определение тонкостенной оболочки.
2. Дать характеристику меридиональным и тангенциальным напряжениям.
3. В чем заключается сущность метода идеализации?
4. Как определить величину результирующей силы, действующей на выделенную элементарную поверхность $dS_1 \cdot dS_2$?
5. В чем заключается отличие реальной картины распределения напряжений по толщине слоя оболочки от принимаемой расчетной (идеальной) схемы?

ПЗ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СТЕНОК ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

2.1 Теоретическая часть

Основные конструктивные элементы котельного агрегата (топка, наружная обечайка, дымогарные трубы) представляют собой цилиндрические конструкции, у которых два измерения (длина и диаметр) значительно больше третьего – толщины стенки. Расчет на прочность таких элементов осуществляется на основе мембранной теории оболочек: уравнения мембранной теории приводят к инженерному виду. Толщина стенки обечайки может быть определена по классической формуле:

$$h = \frac{P \cdot D_в}{2,31 \cdot [\sigma] - 2P} + C, \text{ м}, \quad (2.1)$$

где P – разрушающее давление, МПа;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение материала конструкции, Н/мм²;

$D_в$ – определяющий геометрический размер (диаметр), м;

C – конструктивная прибавка на неучтенный допуск по толщине металла и на коррозию, равная:

$1,5 \div 2,0 \cdot 10^{-3}$ м – для жаровых труб;

$0,5 \div 1,05 \cdot 10^{-3}$ м – для остальных элементов конструкции.

В нормативных методах расчет элементов паровых котлов и жаровых труб применяют формулы, проверенные многолетним опытом эксплуатации: то есть, в классическую формулу вводятся поправочные коэффициенты:

$$h = \frac{P \cdot D_в}{2,31 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 2P} \cdot K + C, \text{ м}, \quad (2.2)$$

где K – коэффициент, учитывающий геометрические формы и условия теплообмена, определяемые по формуле:

$$K = 1 + \sqrt{1 + \frac{1}{100} \cdot \frac{a \cdot L \cdot [\sigma]}{P \cdot (D_{\text{в}} + L)}}, \quad (2.3)$$

где a – коэффициент неравномерности обогрева, принимаемый равным 6,25 – для горизонтальных труб и 3,75 – для вертикальных труб;

L , м – длина жаровой трубы, которая принимается равной расстоянию между соседними КПеплениями (кольца жесткости или КПепление с днищем).

Кольца жесткости устанавливаются, как правило, при $L > 6$ м в случае, если расчетный прогиб конструкции от собственного веса и веса жидкости превышает допустимый. Приварные кольца жесткости должны отвечать следующим требованиям:

- толщина, не менее $2h$;
- высота, не менее $5h$;
- расстояние между соседними кольцами, не более $2D_{\text{в}}$.

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma_{\text{дон}}^*, \text{ Н / мм}^2, \quad (2.4)$$

где η – коэффициент, учитывающий конструктивные и эксплуатационные особенности рассчитываемого элемента (принимается по приложению 1);

$\sigma_{\text{дон}}^*$ – номинальные допускаемые напряжения материала, принимаемые по приложению 2, в соответствии с маркой стали и расчетной температурой стенки элемента.

Значения расчетной температуры принимаются по приложению 3 в зависимости от условий работы, наивысшей температуры вырабатываемого теплоносителя (t_H) и толщины стенки элемента (h).

Толщиной стенки элемента можно задаться в пределах 10 мм.

φ – коэффициент ослабления конструкции продольным стыковым сварным швом, принимаемый в соответствии с правилами, нормами и техническими условиями по согласованию с Госгортехнадзором России (принимается по приложению 4).

По формуле (2.2) выполняются расчеты толщины стенок жаровой трубы (топки) h_1 , наружной обечайки (корпуса котла) h_2 агрегата и дымогарных труб h_3 . Полученные расчетные значения округляются до ближайшего большего значения из стандартного ряда листового проката и сортамента труб [3].

2.2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 2.1. Выполнить прочностные расчеты цилиндрических элементов конструкции жаротрубно-дымогарного котельного агрегата, показанного на рисунке 4. Рабочий объем котлоагрегата находится под избыточным давлением нагреваемой воды P МПа, температура которой на входе равна 70°C , а на выходе $t^\circ\text{C}$. Параметры теплоносителя приведены в таблице 1.

Давление в топке и в газовых трубах принимается равным атмосферному. Материал элементов котлоагрегата – сталь по ГОСТ 380 и ГОСТ 1050, марки которых указаны в таблице 1. Основные геометрические размеры элементов котельного агрегата приводятся в таблице 2. Индивидуальные данные для выполнения практических расчетов принять из таблиц 1 и 2 на основании шифра (двухзначного числа), выдаваемого преподавателем.

На основании исходных данных выполнить следующее:

- толщину стенки жаровой трубы h_1 , находящуюся под воздействием наружного давления;
- толщину стенки обечайки h_2 , находящуюся под воздействием внутреннего давления;
- толщину стенки дымогарной трубы h_3 , находящуюся под воздействием наружного давления;

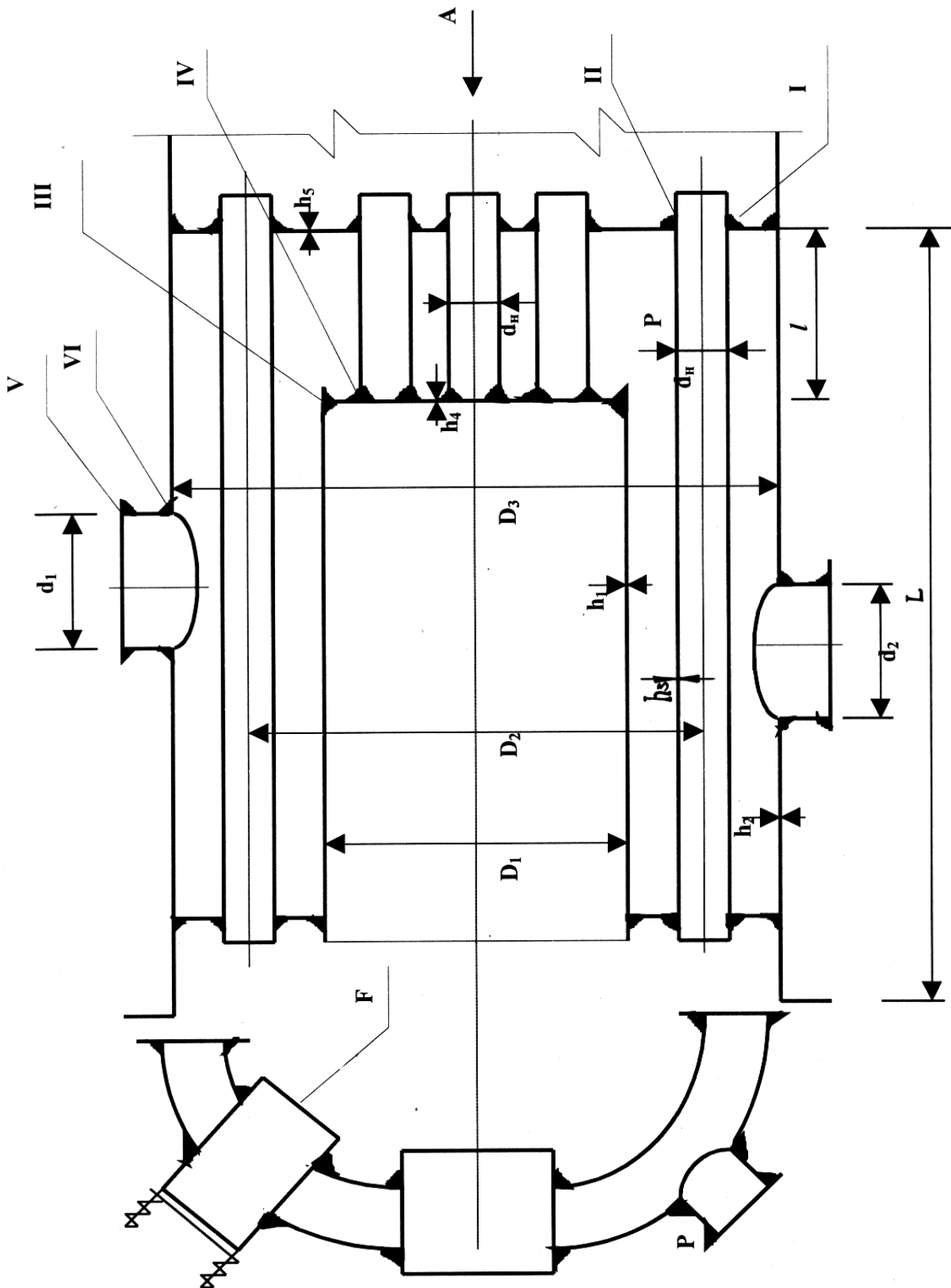


Рисунок 4 – Расчетная схема жаротрубно-дымогарного водогрейного котельного агрегата

котель-

Таблица 1 – Марки сталей и параметры теплоносителя котла

Предпоследняя цифра шифра	Материал жаровой трубы и обечайки	l, мм	L, м	P, МПа	t, °C	Материал задней стенки и трубных досок
1	Сталь 10	50	2,0	0,6	95	Сталь 10
2	Сталь 25	100	2,5	1,0	115	Сталь 20
3	Сталь 10	100	3,0	1,6	150	Сталь Ст.3 сп
4	Сталь 20	150	3,0	0,6	95	Сталь 10
5	Сталь 25	150	3,5	1,0	115	Сталь 20
6	Сталь 15 ГС	50	4,0	1,6	150	Сталь Ст.2 сп
7	Сталь 10 Г2С1	100	3,0	0,6	95	Сталь 10
8	Сталь 15 ГС	150	4,0	1,0	115	Сталь 20
9	Сталь 16 ГС	100	2,0	1,6	150	Сталь Ст.3 сп
0	Сталь 16 ГС	50	5,0	2,5	150	Сталь 25

Таблица 2 – Диаметры элементов котельного агрегата и параметры взрывного клапана

Последняя цифра шифра	D ₁ , мм	D ₂ , мм	D ₃ , мм	d _н , мм	d ₁ , мм	d ₂ , мм	F, м ²	n, шт.
1	400	600	800	48	57	159	0,05	4
2	450	650	850	48	76	219	0,05	4
3	500	700	900	51	89	325	0,05	4
4	550	750	950	51	89	273	0,05	4
5	600	800	1000	57	108	325	0,075	6
6	650	850	1050	57	108	273	0,075	6
7	700	900	1100	48	159	379	0,075	6
8	400	650	900	51	51	219	0,05	6
9	450	700	950	57	57	235	0,05	6
0	500	750	1100	48	76	273	0,05	6

2.3 Вопросы к практическому занятию

1. Как воздействует рабочее давление на стенки: жаровой трубы h_1 и дымогарных труб h_3 ?
2. Как воздействует рабочее давление на стенки обечайки h_2 ?
3. Какое давление (внутреннее или наружное) является для конструкции более опасным?
4. Чему равно расчетное давление в топке котла и в газовых дымогарных трубах?
5. Какая из расчетных цилиндрических оболочек (жаровая труба h_1 ; обечайка h_2 ; дымогарная труба h_3) находится более напряженных температурных условиях?

ПЗ 3. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ СТЕНОК ПРИ КОРИДОРНОМ И ШАХМАТНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ АНКЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

3.1 Теоретическая часть

К таким типам конструкций относятся задняя стенка жаровой трубы (топки) и трубная доска. Последняя представляет собой торцевую поверхность котла, сквозь которую выведены дымогарные трубы и анкерные связи.

Расчетные поверхности находятся под воздействием внутреннего давления нагреваемой воды.

Задачей расчета является определение толщины стенки (h_4 и h_5) и количества анкерных связей (N_A) при равномерном их размещении на задней стенке топки.

Расчетная толщина определяется по формулам для плоских стенок [2] в зависимости от схемы расположения анкерных связей:

- при равномерном коридорном расположении

$$h = K_1 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot (a^2 + b^2)}{[\sigma]}} + C, \text{ м}; \quad (3.1)$$

- при неравномерном шахматном расположении
- при других способах расположения

$$h = K_1 \cdot \frac{t_1 + t_2}{2} \cdot \sqrt{\frac{P}{[\sigma]}} + C, \text{ м}; \quad (3.2)$$

$$h = K_1 \cdot d_{расч} \cdot \sqrt{\frac{P}{[\sigma]}} + C, \text{ м}. \quad (3.3)$$

В расчетных формулах (3.1), (3.2), (3.3) и на рисунке 5 приняты следующие обозначения:

K_1 – безразмерный коэффициент, учитывающий способ КПепления анкерной связи (принимается по приложению 5);

a ; b , м – ширина и длина шага при равномерном коридорном, расположении анкерных связей;

t_1 ; t_2 , м – ширина и длина шага при неравномерном шахматном расположении анкерных связей;

$d_{расч}$, м – диаметр оКПужности, вписанной между тремя ближайшими центрами КПепления, включая сварной шов КПепления плоской стенки.

Схемы уКПепления плоской стенки анкерными связями представлены на рисунке 5.

3.2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 3.1. Для конструкции жаротрубно-дымогарного котельного агрегата, показанного на рисунке 4, используя исходные данные, представленные в таблицах 1 и 2, определить расчетную толщину торцевой стенки топки котла (h_4) при коридорном и шахматном расположении анкерных связей.

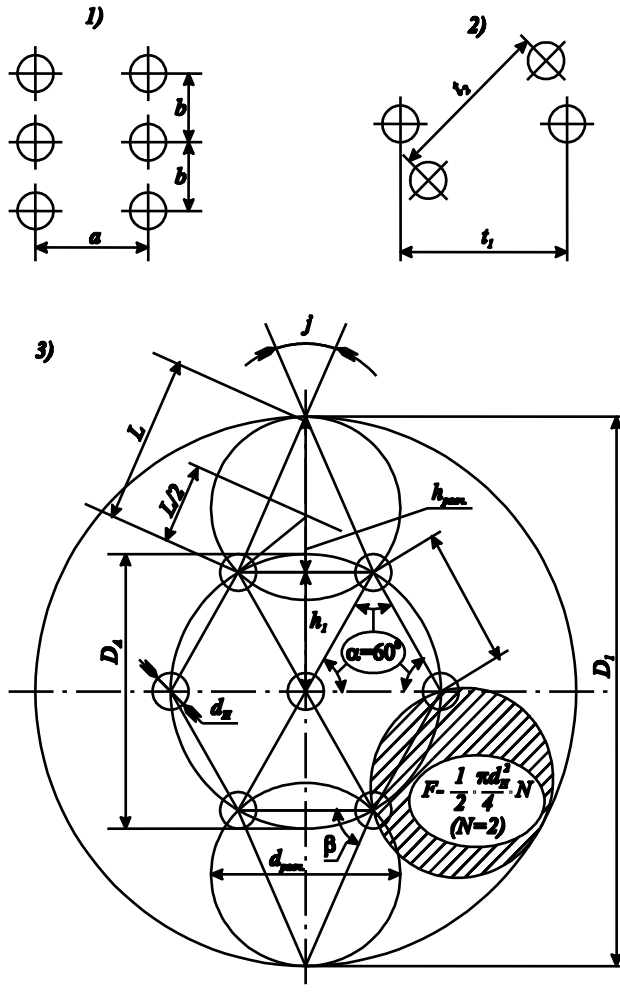


Рисунок 5 – Схемы уКПепления плоской стенки анкерными связями

- 1 – равномерное коридорное расположение;
- 2 – неравномерное шахматное расположение;
- 3 – симметричное КПуговое расположение.

3.3 Вопросы к практическому занятию

1. Какую конструктивную роль выполняют анкерные связи?
2. Является ли стенка трубы анкерной связи поверхностью теплообмена?

3. Какому виду напряжений (растяжение или сжатие) подвержены анкерные связи?
4. Какое конструктивное преимущество дает увеличение числа анкерных связей?
5. Как изменится расчетная толщина плоской стенки котла при условии устранения анкерных связей?

ПЗ 4. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ СТЕНОК ПРИ КПУГОВОМ РАСПОЛОЖЕНИИ АНКЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

4.1 Теоретическая часть

Схема симметричного КПугового расположения анкерных связей является наиболее распространенной для уКПепления плоских стенок водогрейных котлов с цилиндрической тупиковой топкой.

Расчетная толщина плоской стенки определяется по формуле (3.3).

Входящий в формулу (3.3) расчетный диаметр ($d_{расч}$) может быть определен на основе графических построений с учетом принятого масштаба уменьшения или же аналитическим способом. Так, например, для схемы симметричного КПугового расположения анкерных связей в вершинах шестигранника, представленной на рисунке 5, можно воспользоваться следующими расчетными формулами:

$$d_{расч} \sin \beta = \frac{h_{расч} L}{\cos \left(\frac{j}{2} \right)}; \quad (4.3)$$

$$L = \sqrt{\left(\frac{A}{2} \right)^2 + h_{расч}^2}; \quad (4.4)$$

$$\angle j = 180 - 2 \cdot \beta; \quad (4.2)$$

$$h_{расч} = \frac{D_1}{2} - h_1; \quad (4.5)$$

$$h_1 = A \cdot \sin 60^\circ, \quad (4.6)$$

где $A = D_A/2$; $D_A = D_1/2$.

Полученные расчетные значения толщины плоских стенок h_4 и h_5 сравнивают с нормативными, минимально допустимыми:

$$h_{\min} \geq 0,125 \cdot d_H + 5 \cdot 10^{-3} \text{ , м.} \quad (4.7)$$

Работающая на прочность суммарная площадь сечения металла анкерных связей должна отвечать условию:

$$f \geq \frac{\left(F - \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi \cdot d_H^2}{4} \cdot N \right) \cdot P}{[\sigma]}, \text{ м}^2, \quad (4.8)$$

где: N , шт. – число анкерных связей, уКПепляющих площадку F ;

$f = f' \cdot N$, м^2 – суммарная площадь сечения металла анкерных связей;

$f' = \frac{\pi}{4} \cdot (d_H^2 - d_{BH}^2)$, м^2 – площадь сечения металла одной анкерной связи;

$\frac{\pi \cdot d_{расч}^2}{4}$, м^2 – площадь плоской стенки, уКПепленной

рассматриваемыми анкерными связями.

Толщиной стенки трубы, можно задаться в пределах $0,002 \div 0,004$ м.

Если условие (4.8) не выполняется, то следует увеличить толщину стенки трубы анкерных связей или же схему установки анкерных связей, увеличив их количество.

4.2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 4.1. Для конструкции жаротрубно-дымогарного котельного агрегата, показанного на рисунке 4, используя исходные данные, представленные в таблицах 1 и 2, определить расчетную толщину торцевой стенки топки котла (h_4) при симметричном КПуговом расположении анкерных связей.

4.3 Вопросы к практическому занятию

1. Как определяется минимально допустимая толщина торцевой стенки топки котла?

2. Какие существуют способы определения расчетного диаметра ($d_{расч}$) уКПепленного сектора плоской стенки?
3. Какое число анкерных связей уКПепляет выделенную на рисунке 5 площадку F?
4. Почему уКПепление сектора площадью F дает основание утверждать, что это гарантирует прочность всей площади торцевой стенки топки котла?
5. Как определяется площадь сечения металла анкерных связей?
6. Как определяется площадь плоской стенки, уКПепленной рассматриваемыми анкерными связями?

ПЗ 5. УКРЕПЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ В АППАРАТАХ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ИЗБЫТОЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

5.1 Теоретическая часть

В корпусе котла, представленного на рисунке 4, имеется два сверления заданных диаметров ($d_1; d_2$) под патрубки входа и выхода нагреваемой воды. Всякое сверление является концентратором напряжений, что приводит к снижению прочности конструкции. Для обеспечения надежности работы котла, патрубки укрепляют путем приварки дополнительных накладок в виде стальных колец расчетного диаметра.

Укрепление отверстия выполняется, исходя из принципа компенсации площади металла, удаленного из рассматриваемого сечения при сверлении. Существует предельно минимальный диаметр сверления, который не требует укрепления. Разница в площади сечения металла между фактическим сверлением и предельно минимальным диаметром должна быть скомпенсирована сечением металла патрубка, накладки и сварных швов, то есть площадь укрепляющего сечения должна составлять:

$$\Sigma f = f_{\Pi} + f_H + f_{св} , \quad (5.1)$$

где f_{Π} , м^2 – площадь укрепляющего сечения патрубка;

f_H , м^2 – площадь укрепляющего сечения накладки;

$f_{св}$, м^2 – площадь укрепляющего сечения сварных швов.

Расчетная схема укрепления патрубка представлена на рисунке 6.

Площадь укрепляющего сечения патрубка определяют по формуле:

$$f_{\Pi} = 2H_{\Pi} \cdot (h_{СТ} - h_{МИН}), \text{ м}^2 , \quad (5.2)$$

где $h_{СТ} = (4 \div 6) \cdot 10^{-3}$, м – нормируемая толщина усиленной части патрубка;

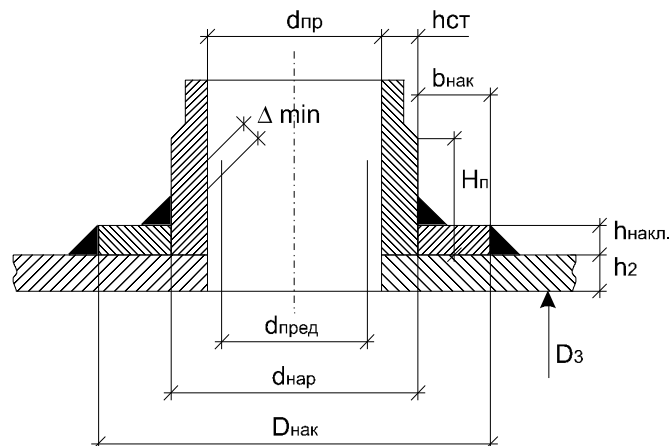


Рисунок 6 – Расчетная схема уКПепления патрубка

$h_{мин} = \frac{P \cdot d_{пп}}{2 \cdot ([\sigma] + P)}, м$ – минимальная расчетная толщина стенки патрубка;

$d_{пп}$, м – проектный диаметр сверления отверстия, равный соответственно d_1 и d_2 ;

$H_{п}$, м – высота усиленной части патрубка, определяемая по формулам:

$$H_{п} \leq \sqrt{(d_{НАР} - h_{СТ}) \cdot h_{СТ}} \quad \text{при} \quad \frac{h_{СТ}}{d_{НАР}} \leq 0,14;$$

$$H_{п} = 2,58 \cdot h_{СТ} \quad \text{при} \quad \frac{h_{СТ}}{d_{НАР}} > 0,14,$$

где $d_{НАР} = d_{пп} + 2 \cdot h_{СТ}$.

Площадь уКПепляющего сечения сварных швов определяется как сумма площадей сечений швов патрубка и накладки из формулы:

$$f_{CB} = C_{CB}^П + C_{CB}^H = (2 \cdot \Delta_{мин}^П \cdot \cos 45)^2 + (2 \cdot \Delta_{мин}^H \cdot \cos 45)^2, м^2, \quad (5.3)$$

$$\text{где} \quad \Delta_{мин}^П \geq 2,1 \cdot \frac{H_{п} \cdot h_{СТ}}{d_{нар}}; \quad \Delta_{мин}^H \geq 2,1 \cdot \frac{b_{НАК} \cdot h_{НАКЛ}}{D_{НАКЛ}}.$$

При этом минимальный размер углового сварного шва должен отвечать условию: $\Delta_{мин} \geq 3 \cdot 10^{-3}$ м.

Требуемую площадь уКПепляющего сечения (Σf) определяем с помощью номограммы (приложение 6). Расчет выполняется в следующем порядке:

– вычисляется отношение: $(h_2 - C)/d_{пп}$, м;

– по номограмме определяется некоторое число (A), представляющее отношение $d_{ПРЕД}/d_{ПР}$;

– рассчитывается величина предельного диаметра, не нуждающегося в уКПеплении:

$$d_{ПРЕД} = d_{ПР} \cdot A, \text{ м.}$$

Тогда, площадь уКПепляющего сечения можно определить из формулы:

$$\Sigma f = (d_{ПР} - d_{ПРЕД}) \cdot h_2, \text{ м}^2. \quad (5.4)$$

Используя балансовое уравнение (5.1) и расчетные значения площадей уКПепляющих сечений патрубка и сварных швов (формулы 5.2; 5.3), определяем требуемую площадь сечения накладки:

$$f_H = (d_{ПР} - d_{ПРЕД}) \cdot h_2 - f_{П} - f_{СВ}, \text{ м}^2. \quad (5.5)$$

Если расчетная величина (f_H) оказывается отрицательной, то установка накладки не требуется.

Задаваясь высотой накладки $h_{НАК} = (3 \div 6) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, определяем ее ширину из формулы:

$$b_{НАК} = \frac{f_H}{2 \cdot h_{НАК}}, \text{ м.} \quad (5.6)$$

Из условия "снятия" КПаевого эффекта, полученная расчетная величина должна отвечать условию:

$$b_{НАК} \leq \sqrt{(D_3 + h_2) \cdot (h_2 - C)}, \text{ м.} \quad (5.7)$$

5.2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 5.1. Для конструкции жаротрубно-дымогарного котельного агрегата, показанного на рисунке 4, используя исходные данные, представленные в таблицах 1 и 2, определить необходимость уКПепления двух сверлений заданных диаметров ($d_1; d_2$) под патрубки входа и выхода нагреваемой воды.

В случае, если уКПепление отверстий необходимо, то определить ширину накладки по формуле (5.6).

5.3 Вопросы к практическому занятию

1. В чем заключается опасность сверления отверстий в оболочке, нагруженной рабочим давлением?
2. Как изменяются напряжения в корпусе оболочки в направлении периметра сверления отверстия?
3. Исходя из какого принципа определяются размеры уКПепляющей накладки?
4. Какую дополнительную роль выполняют сварные швы при уКПеплении отверстий?
5. Какие конструктивные элементы работают на уКПепление отверстий в оболочке?

ПЗ 6. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СВАРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОТЛОАГРЕГАТА

6.1 Теоретическая часть

При проектировании котлов, сосудов и трубопроводов необходимо стремиться к обеспечению надежности и долговечности.

Качество и работоспособность сварного соединения зависят от применяемых типов разделки кромок стыкуемых элементов, метода и технологии сварки, качества основных и сварочных материалов, температуры и влажности окружающего воздуха.

При сборке элементов под сварку все геометрические размеры каждого стыка (углы скоса и параллельность стыкуемых кромок, величина зазора между ними, величина перелома осей и смещения кромок соединяемых элементов и др.) должны соответствовать требованиям инструкции по сварке и контролю сварных соединений.

Свариваемые элементы должны находиться по возможности в таком положении, которое обеспечивает наиболее качественное выполнение шва. Свариваемые КПомки, а также прилегающие к ним поверхности основного металла шириной не менее 20 мм перед сваркой должны быть зачищены до блеска. Неровности, подрезы должны быть выровнены подружкой или наждачным кругом. Для уменьшения деформаций, напряжений, перемещений при сварке и повышения эксплуатационной надежности сварных конструкций следует соблюдать следующие условия.

1. Назначать минимальные расчетные сечения швов, что приведет к уменьшению количества наплавленного металла, напряжений и почти всех видов деформаций и перемещений при сварке.

2. Сварные стыки трубопроводов, кольцевые стыки барабанов паровых котлов и сварные швы донышек к коллекторам выполнять в несколько слоев. Это обеспечивает равномерный подогрев и улучшает механические свойства металла (пластичность).

3. Преимущественно применять швы с глубоким проплавлением, а также автоматическую и полуавтоматическую сварку под слоем флюса и в среде защитных газов.

4. Выбирать оптимальные режимы сварки. Выполнять швы с наименьшим количеством наплавленного металла и располагать их симметрично относительно центра тяжести сечения элемента.

5. Использовать сварочные материалы с минимальным содержанием серы, фосфора, углерода и достаточным содержанием марганца.

6. С целью уменьшения коробления листов швы длиной более 600 мм выполняют в обратноступенчатом порядке. Чем короче шов, тем меньше деформируется изделие. Длинный шов делят на участки длиной $150 \div 200$ мм с таким расчетом, чтобы каждый участок был сварен одним электродом или целым числом электродов.

7. Применять проковку швов и околошовной зоны. Все сварные швы котлов, сосудов и трубопроводов подлежат клеймению, позволяющему установить сварщика, выполняющего эти швы. Клеймо должно ставиться на расстоянии $20 \div 50$ мм от кромки сварного шва.

6.2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 6.1. Для горизонтального стыкового шва обечайки водогрейного котла, представленного на рисунке 4, перечислить комплекс организационно-технологических мероприятий, которые обеспечат наиболее качественное выполнение шва.

6.3 Вопросы к практическому занятию

1. Чем объясняется снижение прочностных свойств металла в рабочей зоне сварного шва?

2. Какие технологические мероприятия способствуют уменьшению деформаций, напряжений и перемещений при выполнении сварного шва?

3. Почему все сварные швы котлов, сосудов и трубопроводов подлежат клеймению?
4. С какой целью следует назначать минимальные расчетные сечения сварных швов?
5. С какой целью следует сокращать протяженность сварного шва?

ПЗ 7. ВИДЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ РАЗДЕЛОК КПОМОК

7.1 Теоретическая часть

Самыми распространенными сварными соединениями являются стыковые швы. Они обеспечивают наименьшие остаточные напряжения и деформации при сварке. При стыковых соединениях нужна тщательная подготовка листов и точная их подгонка под сварку.

Листы толщиной от 3 до 26 мм при ручной сварке соединяют встык с односторонним скосом одной или двух кромок. Этот вид подготовки называют V-образным.

Листы толщиной $12 \div 40$ мм и более соединяют с двухсторонним скосом кромок. Двухсторонний скос обеих кромок называют X-образным. А двухсторонний скос одной кромки – K-образным.

Для предотвращения поджога шва кромки притупляют. Между кромками оставляют зазор для обеспечения провара корня шва.

При ручной дуговой сварке листов толщиной $20 \div 60$ мм применяют криволинейный U-образный скос одной или двух кромок.

Угол раскрытия кромок при V-образной разделке составляет $54 \pm 6^\circ$; при K-образной разделке – $50 \pm 5^\circ$; при X-образной разделке – $54 \pm 6^\circ$; при U-образной – $10 \pm 2^\circ$. Притупление кромок при всех видах разделок составляет $1 \div 2$ мм, а зазор в стыке принимают равным 2 мм.

При автоматической и полуавтоматической сварке величина притупления увеличивается до $5 \div 10$ мм, а угол разделки остается примерно таким же.

Соединения внахлестку находят применение при ручной дуговой сварке воротников, люков и лазов. При таком соединении рекомендуется сваривать листы и детали с обеих сторон. Такие соединения приводят к увеличению расхода металла и к возникновению изгибающего момента в соединении. Они применяются для слабонагруженных элементов.

Тавровые соединения используются при дуговой сварке и выполняются без скоса и со скосом кромок с одной или двух сторон. При одностороннем и двустороннем скосе между вертикальным элементом и горизонтальной поверхностью оставляется зазор на всю толщину для лучшего провара корня шва вертикального элемента.

Односторонний скос делают в том случае, если изделие не позволяет произвести сварку с двух сторон.

Угол разделки кромок таврового соединения составляет $50 \pm 5^\circ$, притупление кромок $1 \div 2$ мм, зазор между свариваемыми элементами принимают до 3 мм в зависимости от толщины элементов.

7.2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 7.1. Для горизонтальных стыковых сварных швов обечайки и жаровой трубы водогрейного котла, представленного на рисунке 4, выбрать и обосновать способы раздела кромок. Выбор произвести с учетом расчетных значений толщины стенок обечаек (h_1 ; h_2), полученных в ходе практического занятия № 2.

7.3 Вопросы к практическому занятию

1. С какой целью между кромками свариваемых торцов обечайки оставляют технологический зазор до 3 мм?
2. Какой тип сварного шва применяется при сварке листов толщиной $20 \div 60$ мм?
3. Какой тип сварного шва применяется при сварке листов толщиной $12 \div 40$ мм?
4. С какой целью осуществляется притупление кромок при всех видах разделок?
5. Чему равна величина притупления кромок при автоматической и полуавтоматической сварке?

ПЗ 8. РАСЧЕТ УСИЛИЯ ПРУЖИН ВЗРЫВНОГО КЛАПАНА

8.1 Теоретическая часть

Взрывными клапанами оборудуются топки котлов для защиты от скачков давления в газовом тракте. Подобные аварийные ситуации могут возникать в случаях неправильного розжига котла, когда в результате сбоя в автоматических системах контроля процессов горения, неполадок с электрическим запалом или ошибок обслуживающего персонала в топке скапливается большое количество газо-воздушной смеси. Воспламенение этой смеси приобретает взрывной характер, что может привести к разрушению элементов конструкции котла и газоходов.

Для установки взрывных клапанов в корпусе котла предусмотрены проемы квадратного или круглого сечения. Клапаны размещаются на корпусе котла или газоходах в местах, исключающих травмы обслуживающего персонала. При невозможности установки клапана в безопасном месте «его» оборудуют отводным коробом или ограждают отбойным щитом со стороны возможного нахождения людей.

Существует два типа взрывных клапанов: одно- и многоразового действия. Одноразовые клапана оборудуются асбестовой листовой заглушкой и, в случае «срабатывания» требуется их переустановка. Многоразовые клапана оборудуются откидной подпружиненной крышкой, которая после «срабатывания» возвращается в исходное положение. Для повышения надежности работы число пружин, нагружающих клапан, принимают равным от 4-х до 6-ти.

Каждый котел с камерным сжиганием жидкого, газообразного или твердого топлива должен быть оборудован взрывными клапанами.

Усилие на одной пружине определяется по формуле:

$$N = \frac{P \cdot 10^3 \cdot F}{n}, \text{ Н} \quad (8.1)$$

где P – допускаемое избыточное давление в топке котлоагрегата, кПа;

F – площадь проходного сечения клапана, м²;

n – число пружин взрывного клапана.

Современные водогрейные и паровые котлы оборудуются преимущественно взрывными клапанами многоразового действия.

8.2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 8.1. Для конструкции жаротрубно-дымогарного котельного агрегата, показанного на рисунке 4, используя исходные данные по конструкции взрывного клапана, представленные в таблице 2, определить расчетное усилие на одной пружине.

Допускаемое избыточное давление в топке котельного агрегата принять равным 6 кПа.

8.3 Вопросы к практическому занятию

1. С какой целью на корпусе топки котла устанавливаются взрывные клапана?
2. Установка какого типа взрывных клапанов (одноразовых или многоразовых) является на сегодня более предпочтительной?
3. От каких параметрических характеристик зависит величина рабочего усилия на одной пружине взрывного клапана?
4. В чем заключается принципиальное отличие взрывного клапана от предохранительного клапана?
5. Может ли котел с камерным сжиганием топлива не иметь взрывного клапана?

ПЗ 9. ВЫБОР ДОПУСКАЕМЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ

9.1 Теоретическая часть

Выполнение расчетов на прочность любой детали обязательно связано с выбором допускаемого напряжения, обеспечивающего ее прочность.

Допускаемые напряжения выбирают в зависимости от предельных физических напряжений, которые являются паспортными характеристиками стандартизованных марок сталей:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{пред}}{[n]}; \quad [\tau] = \frac{\tau_{пред}}{[n]}, \quad (9.1)$$

где $\sigma_{пред}$; $\tau_{пред}$, Н/мм² – предельные нормальные и тангенциальные напряжения по сортаменту металла;

$[n]$ – требуемый коэффициент запаса прочности.

За предельные напряжения при постоянных нагрузках принимается одна из характеристик:

σ_T или τ_T – предел текучести (для вязких металлов – сталь);

σ_B – временной предел прочности (для хрупких металлов – чугун).

При переменных нагрузках за предельные напряжения принимаются характеристики усталости металла:

σ_{-1} ; τ_{-1} – предел усталости.

При выборе предельных напряжений с учетом марок сталей и видов нагружения можно воспользоваться рекомендациями:

$\sigma_{Тизгиб} = 1,1 \cdot \sigma_T$ – для легированных сталей;

$\sigma_{Тизгиб} = 1,2 \cdot \sigma_T$ – для углеродистых сталей;

$\tau_T = 0,6 \cdot \sigma_T$ – для любых сталей;

$\sigma_{-1 расч} = 0,35 \cdot \sigma_B$;

$$\sigma_{-I \text{ изгиб}} = (0,40 \div 0,45) \cdot \sigma_B;$$

$$\tau_{-1} = 0,25 \cdot \sigma_B - \text{кручение.}$$

Требуемый коэффициент запаса прочности принято определять как произведение трех частных допускаемых коэффициентов запаса:

$$[n] = [n_1] \cdot [n_2] \cdot [n_3], \quad (9.2)$$

где $[n_1] = 1,3 \div 3,0$ – коэффициент, отражающий влияние точности определения действующих на деталь нагрузок, достаточность или недостаточность данных по учету концентрации напряжений. Если необходимо повысить жесткость детали, то $[n_1]$ может принимать большие значения;

$[n_2] = 1,2 \div 2,5$ – коэффициент, учитывающий однородность материала, его пластичность, чувствительность к недостаткам механической обработки, нарушения технологии изготовления;

$[n_3] = 1 \div 2$ – коэффициент, который вводится для обеспечения дополнительного запаса прочности, обусловленного ответственностью детали или влиянием большей усталостной долговечности.

Для коэффициента способа получения изделия $[n_2]$ можно принять следующие рекомендации:

а) $= 1,2 \div 1,5$ – проковка;

б) $= 1,5 \div 1,8$ – стальное литье;

в) $= 1,5 \div 2,5$ – чугунное литье.

9.2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 9.1. Для элементов конструкции жаротрубно-дымогарного котельного агрегата, показанного на рисунке 4, используя исходные данные о марках сталей жаровой трубы, обечайки и задней стенки топки, представленные в таблице 1, определить допускаемые напряжения.

9.3 Вопросы к практическому занятию

1. С какой целью в расчет допускаемых напряжений вводятся коэффициенты запаса прочности?
2. От чего зависит величина предельных: нормальных и тангенциальных напряжений?
3. Какой из коэффициентов запаса прочности учитывает влияние точности определения действующих на деталь нагрузок?
4. Какой из коэффициентов запаса прочности учитывает влияние однородности материала и его пластичности?
5. Какой из коэффициентов запаса прочности учитывает влияние требований повышенной ответственности детали?
6. Почему в расчеты при переменных нагрузках закладываются предельные напряжения, которые по абсолютной величине меньше аналогичных напряжений при расчетах на постоянные нагрузки?

Значения коэффициента η , учитывающего конструктивные и эксплуатационные особенности рассчитываемого элемента

Наименование элемента	Величина коэффициента η
Барабаны или камеры бесшовные и сварные:	
– необогреваемые (вынесенные из газохода или надежно изолированные)	1,00
– обогреваемые	0,90
Трубы поверхностей нагрева и трубопроводов, находящихся под внутренним давлением	1,00
Трубы с наружным диаметром не более 200 мм, подверженные наружному давлению	0,70
Жаровые трубы, подверженные наружному давлению	0,50
Выпуклые днища:	
– находящиеся под внутренним давлением;	1,05
– находящиеся под наружным давлением;	0,75
– днища жаротрубных котлов.	0,60
Прямоугольные камеры:	
– обогреваемые;	0,90
– необогреваемые.	1,00
Плоские днища (в зависимости от конструкции днища и расположения сварного шва)	0,60÷1,00
УКПепленные плоские стенки	0,85
Анкерные связи и трубы	0,40
Барабаны с заклепочными соединениями (в зависимости от конструкции заклепочного соединения).	0,60÷0,70

Номинальные значения напряжения $\sigma_{\text{доп}}^* \cdot \frac{H}{\text{мм}^2}$

(Углеродистые и марганцовые стали)

Расчетная температура стенок, °С	Марка стали							
	Ст 2	Ст 3	Сталь 10	Сталь 20	Сталь 25	Сталь 10Г2С1	Сталь 15ГС	Сталь 16ГС
20	127,5	137,3	127,5	144,2	161,9	173,6	181,5	166,8
250	107,0	117,7	110,0	129,5	144,2	160,9	161,9	142,3
275	101,0	111,8	104,0	123,6	137,3	157,0	157,9	137,3
300	96,1	106,0	98,1	116,7	129,5	150,1	150,1	131,5
320	-	-	93,2	111,8	122,6	145,2	142,3	127,5
340	-	-	88,3	106,9	116,7	138,3	134,4	122,6
360	-	-	83,4	101,0	109,9	132,4	126,6	117,7
380	-	-	79,5	95,6	104,0	125,6	118,7	112,8
400	-	-	75,5	90,3	98,1	117,7	110,9	107,9
410	-	-	73,3	87,3	94,2	-	105,0	-
420	-	-	70,6	84,4	91,2	-	100,1	-
430	-	-	66,7	81,4	84,4	-	95,2	-
440	-	-	58,9	71,6	75,5	-	88,3	-
450	-	-	52,0	62,8	66,7	-	81,4	-
460	-	-	46,1	54,9	57,9	-	-	-
470	-	-	41,2	48,1	51,0	-	-	-
480	-	-	36,3	42,2	44,2	-	-	-
490	-	-	31,4	37,3	38,3	-	-	-
500	-	-	29,4	33,4	33,4	-	-	-

Значения расчетной температуры стенки

Наименование и условия работы элемента	Расчетная температура стенки, °С
1. Необогреваемые барабаны (вынесенные из газохода или надежно изолированные)	t_H
2. Неизолированный барабан установлен в конвективном газоходе при температуре газов не выше 600°C	$t_H + 1.2h + 10$
3. То же при температуре газов: $600^\circ\text{C} < t_2 \leq 900^\circ\text{C}$	$t_H + 2.5h + 20$
4. Неизолированные барабаны, подверженные лучеиспусканию факела и слоя топлива	$t_H + 4h + 30$
5. Гладкая жаровая труба	$t_H + 4h + 60$
6. Волнистая жаровая труба	$t_H + 5h + 60$
7. Кипятильные трубы в котлах с естественной циркуляцией (независимо от рабочего давления) и многоКПатной принудительной циркуляцией при рабочем давлении до 16 МПа	$t_H + 60$
8. Кипятильные трубы в котлах с многоКПатной циркуляцией при рабочем давлении более 16 МПа и прямоточных независимо от давления	Согласно тепловому расчету. $t_{ПП} + 70$
9. Трубы конвективного пароперегревателя с рабочим давлением до 2,5 МПа и прямоточных независимо от давления	$t_H + 30$
10. Экономайзеры некипящих котлов с естественной или многоКПатной принудительной циркуляцией	$t_H + 60$
11. Экономайзеры кипящих котлов с естественной или многоКПатной принудительной циркуляцией	

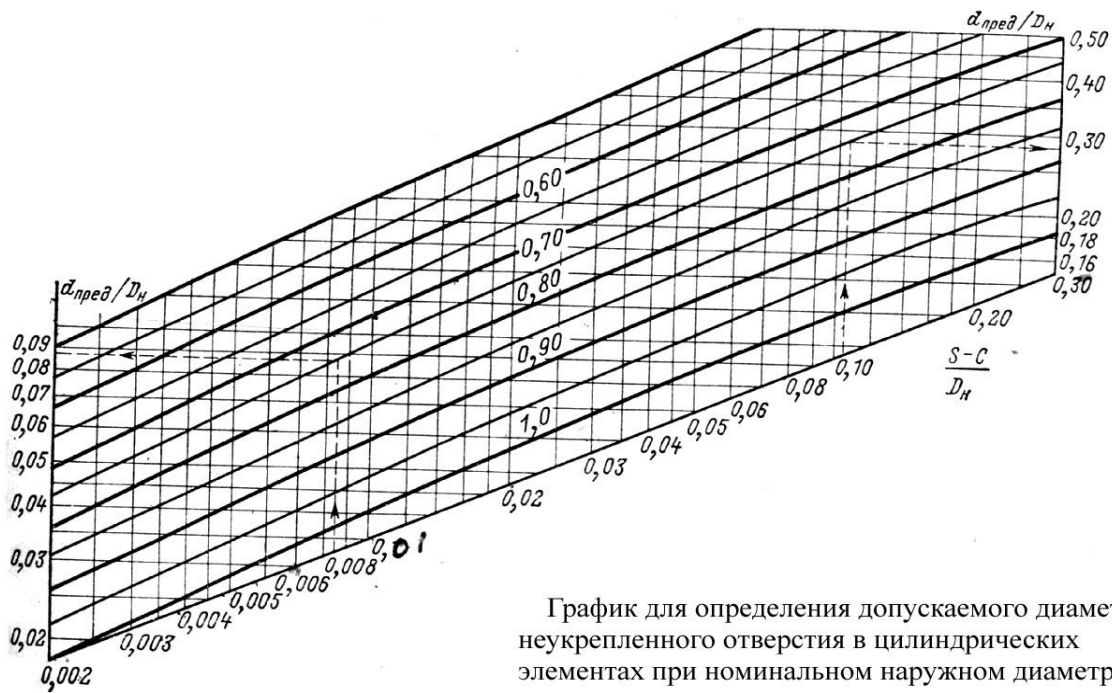
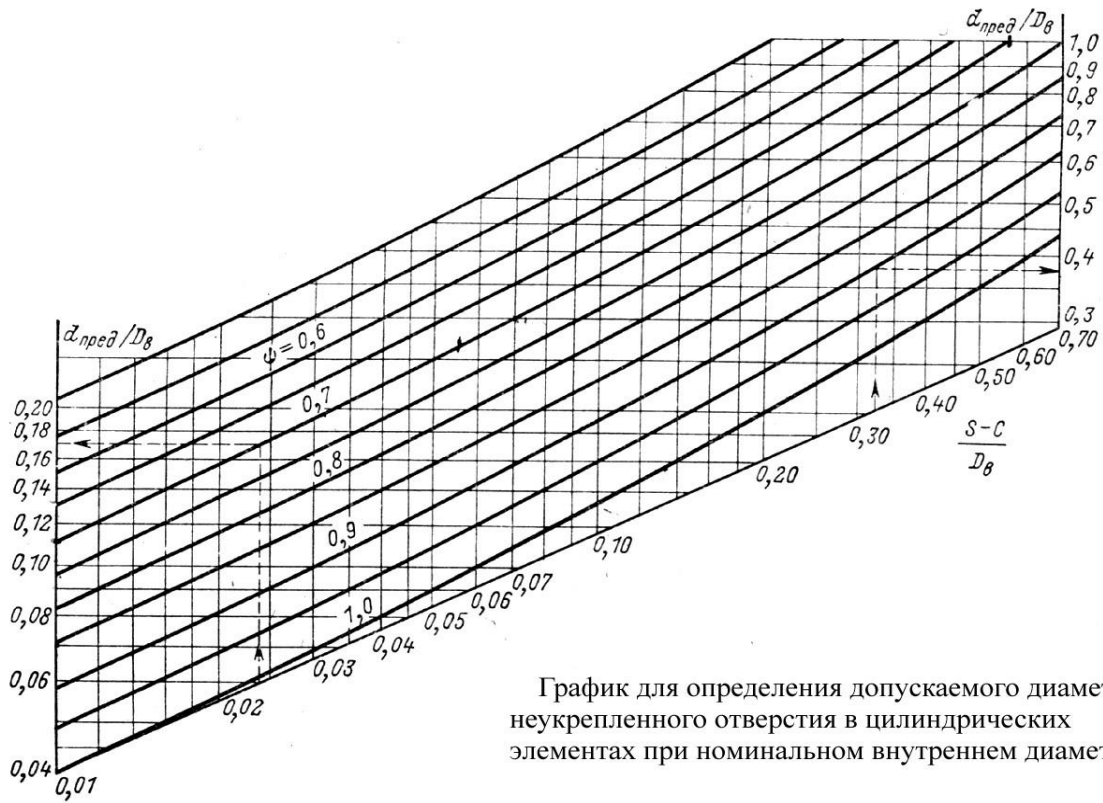
Значения коэффициента ослабления конструкции продольным
стыковым сварным швом (φ)

Значение коэффициента φ	Материал, вид сварки и контроля сварного шва
1,00	Углеродистые, низкоуглеродистые, марганцовистые, аустенитные стали; все виды сварки; полный провар и 100% контроль
0,80	Хромомолибденовые и высокохромистые стали; все виды сварки; полный провар и 100% контроль
0,85	Углеродистые, низкоуглеродистые, марганцовистые, аустенитные стали. Сварка автоматическая двухсторонняя, односторонняя, ручная, контактная, под флюсом, в среде углекислого газа; неполный контроль
0,70	Остальные виды

Значения коэффициента способа Крепления анкерной связи

Значение коэффициента K_1	Виды анкерных связей и особенности их крепления
0,34	Для анкерных болтов или труб, ввернутых в стену с двумя чайками и шайбой наружным диаметром не менее 3,5 диаметра болта и толщиной не менее 2/3 толщины укрепляемой стенки, а также для анкерных болтов или труб, приваренных с двух сторон и укрепленных приварной шайбой, указанных выше размеров
0,37	Для ввернутых анкерных болтов или труб с двумя чайками или приваренных с двух сторон
0,42	Для ввернутых анкерных болтов или труб с одной чайкой или приваренных с одной стороны, а также для приварных косынок или при укреплении только гладкой жаровой трубой
0,50	Для ввернутых анкерных болтов или труб (без обечаек), либо раскрепленных или развальцованных, а также при укреплении только волнистой жаровой трубой

Коэффициенты прочности



1. Перечень основной литературы:

1. Молотников, В. Я. Сопротивление материалов : учебное пособие для вузов / В. Я. Молотников. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 312 с
2. Молотников, В. Я. Механика конструкций. Теоретическая механика. Сопротивление материалов : учебное пособие / В. Я. Молотников. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 608 с.

2. Перечень дополнительной литературы:

1. Сосуды и трубопроводы высокого давления: Справочник / Е.Р. Хисматулин и др. – М.: Машиностроение, 1998.– 384 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. М.: Машиностроение, 1999. – Т1 – 912 с.; Т2 – 880 с.; Т3 – 848 с.

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к самостоятельной работе студентов

по дисциплине

«Прочностные расчеты элементов основного оборудования»

по направлению 08.04.01 «Строительство»

направленность (профиль)

«Теплогазоснабжение населенных мест и предприятий»

В современный период востребованы высокий уровень знаний, академическая и социальная мобильность, профессионализм специалистов, готовность к самообразованию и самосовершенствованию. В связи с этим должны измениться подходы к планированию, организации учебно-воспитательной работы, в том числе и самостоятельной работы аспирантов. Прежде всего, это касается изменения характера и содержания учебного процесса, переноса акцента на самостоятельный вид деятельности, который является не просто самоцелью, а средством достижения глубоких и прочных знаний, инструментом формирования у аспирантов активности и самостоятельности.

Целью методических рекомендаций является повышение эффективности учебного процесса, в том числе благодаря самостоятельной работе, в которой студент становится активным субъектом обучения, что означает:

- способность занимать в обучении активную позицию;
- готовность мобилизовать интеллектуальные и волевые усилия для достижения учебных целей;
- умение проектировать, планировать и прогнозировать учебную деятельность;
- привычку инициировать свою познавательную деятельность на основе внутренней положительной мотивации;
- осознание своих потенциальных учебных возможностей и психологическую готовность составить программу действий по саморазвитию.

Код реализуемых компетенций	Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки
ПК – 1	Самостоятельное изучение тем дисциплины № 1-9, согласно рекомендуемым источникам информации.	Конспект лекций	Собеседование
ПК – 1	Подготовка к лекциям	Конспект лекций	Собеседование
ПК – 1	Подготовка к практическим занятиям по темам № 1-9	Отчет по практическим занятиям	Собеседование
ПК – 1	Выполнение курсовой работы на тему: «Расчет жаротрубно-дымогарного водогрейного котельного агрегата»	Курсовая работа	Защита курсовой работы
ПК – 1	Подготовка к экзамену	Конспект лекций	Экзамен

Виды самостоятельной работы студентов

Репродуктивная самостоятельная работа

Самостоятельное прочтение, просмотр, конспектирование учебной литературы, прослушивание лекций, магнитофонных записей, заучивание, пересказ, запоминание, Интернет-ресурсы, повторение учебного материала и др.

Познавательная-поисковая самостоятельная работа

Подготовка сообщений, докладов, выступлений на семинарских и практических занятиях, подбор литературы по дисциплинарным проблемам, написание рефератов, контрольных, курсовых работ и др.

Творческая самостоятельная работа

Написание рефератов, научных статей, участие в научно-исследовательской работе, подготовка дипломной работы (проекта). Выполнение специальных заданий и др., участие в научной конференции.

Организация и контроль самостоятельной работы

Для успешного выполнения самостоятельной работы студентов необходимо планирование и контроль со стороны преподавателей. Аудиторная самостоятельная работа выполняется студентами на лекциях, семинарских занятиях, и, следовательно, преподаватель должен заранее выстро-

ить систему самостоятельной работы, учитывая все ее формы, цели, отбирая учебную и научную информацию и средства (методических) коммуникаций, продумывая роль студента в этом процессе и свое участие в нем.

Вопросы для самостоятельной работы студентов, указанные в рабочей программе дисциплины, предлагаются преподавателями в начале изучения дисциплины. Студенты имеют право выбирать дополнительно интересующие их темы для самостоятельной работы.

Не умаляя значения аудиторной самостоятельной работы, в данных методических рекомендациях акцентируется внимание на проблемах, связанных с внеаудиторной самостоятельной работой и ее организацией. Внеаудиторная самостоятельная работа студентов (далее самостоятельная работа) – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская деятельность студентов, осуществляемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Она включает в себя:

- подготовку к аудиторным занятиям (лекциям, практическим, семинарским, лабораторным работам и др.) и выполнение соответствующих заданий;
- самостоятельную работу над отдельными темами учебных дисциплин в соответствии с учебно-тематическими планами;
- написание рефератов, докладов, эссе;
- подготовку ко всем видам практики и выполнение предусмотренных ими заданий;
- выполнение письменных контрольных и курсовых работ;
- подготовку ко всем видам контрольных испытаний, в том числе к комплексным экзаменам и зачетам;
- подготовку к итоговой государственной аттестации, в том числе выполнение выпускной квалификационной (дипломной) работы (проекта);
- работу в студенческих научных обществах, кружках, семинарах и др.;
- участие в работе факультативов, спецсеминаров и т.п.;
- участие в научной и научно-методической работе кафедры;
- участие в научных и научно-практических конференциях, семинарах, конгрессах и т.п.;
- другие виды деятельности, организуемой и осуществляемой вузом, или кафедрой.

Выполнение любого вида самостоятельной работы предполагает прохождение студентами следующих этапов:

- определение цели самостоятельной работы;
- конкретизация познавательной (проблемной или практической) задачи;
- самооценка готовности к самостоятельной работе по решению поставленной или выбранной задачи;
- выбор адекватного способа действий, ведущего к решению задачи (выбор путей и средств для ее решения);
- планирование (самостоятельно или с помощью преподавателя) самостоятельной работы по решению задачи;
- реализация программы выполнения самостоятельной работы.

Методические советы и рекомендации к заданиям

Все типы заданий, выполняемых студентами, в том числе в процессе самостоятельной работы, так или иначе содержат установку на приобретение и закрепление определенного Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования объема знаний и уровня компетенций, а также на формирование в рамках этих знаний некоторых навыков мыслительных операций - умения оценивать, анализировать, сравнивать, комментировать и т.д. Некоторые задания требуют пояснения:

1. Прокомментировать высказывание - объяснить, какая идея заключена в отрывке, о какой позиции ее автора она свидетельствует.

2. Сравнить – выявить сходство и различие позиций по определенным признакам.

3. Обосновать один из нескольких предложенных вариантов ответа – привести аргументы в пользу правильности выбранного варианта ответа и указать, в чем ошибочность других вариантов.

4. Аргументировать (обосновать, доказать, объяснить) ответ – значит: а) оправдать (опровергнуть) некоторую точку зрения; б) обосновать свою точку зрения, опираясь на теоретические или практические обобщения, данные и т.д.

5. Провести анализ – разложить изучаемые явления на составные части, сопоставить их с целью выявления в них существенного, необходимого и определяющего.

6. Тезисно изложить идею, концепцию, теорию – используя материал учебных пособий и другой литературы, кратко, но не в ущерб содержанию сформулировать основные положения учения.

7. Дать характеристику, охарактеризовать явления – значит назвать существенные, необходимые признаки какого-либо явления (положения какой-либо теории) и выявить особенности.

8. Изобразить схематически – значит раскрыть содержание ответа в виде таблицы, рисунка, диаграммы и других графических форм.

Работа с литературой

Важной составляющей самостоятельной внеаудиторной подготовки является работа с литературой ко всем видам занятий: семинарским, практическим, при подготовке к зачетам, экзаменам, тестированию, участию в научных конференциях.

Умение работать с литературой означает научиться осмысленно пользоваться источниками. Прежде чем приступить к освоению научной литературы, рекомендуется чтение учебников и учебных пособий.

Существует несколько методов работы с литературой.

Один из них – самый известный – метод повторения: прочитанный текст можно заучить наизусть. Простое повторение воздействует на память механически и поверхностно. Полученные таким путем сведения легко забываются.

Наиболее эффективный метод – метод кодирования: прочитанный текст нужно подвергнуть большей, чем простое заучивание, обработке. Чтобы основательно обработать информацию и закодировать ее для хранения, важно произвести целый ряд мыслительных операций: прокомментировать новые данные; оценить их значение; поставить вопросы; сопоставить полученные сведения с ранее известными.

Для улучшения обработки информации очень важно устанавливать осмысленные связи, структурировать новые сведения.

Изучение научной, учебной и иной литературы требует ведения рабочих записей.

Форма записей может быть весьма разнообразной: простой или развернутый план, тезисы, цитаты, конспект.

План – первооснова, каркас какой-либо письменной работы, определяющие последовательность изложения материала.

План является наиболее КПаткой и потому самой доступной и распространенной формой записей содержания исходного источника информации. По существу, это перечень основных вопросов, рассматриваемых в источнике. План может быть простым и развернутым. Их отличие состоит в степени детализации содержания и, соответственно, в объеме.

Преимущество плана состоит в следующем.

Во-первых, план позволяет наилучшим образом уяснить логику мысли автора, упрощает понимание главных моментов произведения.

Во-вторых, план позволяет быстро и глубоко проникнуть в сущность построения произведения и, следовательно, гораздо легче ориентироваться в его содержании.

В-третьих, план позволяет – при последующем возвращении к нему – быстрее обычного вспомнить прочитанное.

В-четвертых, с помощью плана гораздо удобнее отыскивать в источнике нужные места, факты, цитаты и т. д.

Выписки – небольшие фрагменты текста (неполные и полные предложения, отдельные абзацы, а также дословные и близкие к дословным записи об излагаемых в нем фактах), содержащие в себе квинтэссенцию содержания прочитанного.

Выписки представляют собой более сложную форму записей содержания исходного источника информации. По сути, выписки – не что иное, как цитаты, заимствованные из текста. Выписки позволяют в концентрированной форме и с максимальной точностью воспроизвести в произвольном (чаще последовательном) порядке наиболее важные мысли автора, статистические и дата-логические сведения. В отдельных случаях — когда это оправданно с точки зрения продолжения работы над текстом – вполне допустимо заменять цитирование изложением, близким к дословному. Тезисы – сжатое изложение содержания изученного материала в утвердительной (реже опровергающей) форме. Отличие тезисов от обычных выписок состоит в следующем. Во-первых, тезисам присуща значительно более высокая степень концентрации материала. Во-вторых, в тезисах отмечается преобладание выводов над общими рассуждениями. В-третьих, чаще всего тезисы записываются близко к оригинальному тексту, т. е. без использования прямого цитирования. Исходя из сказанного, нетрудно выявить основное преимущество тезисов: они незаменимы для подготовки глубокой и всесторонней аргументации письменной работы любой сложности, а также для подготовки выступлений на защите, докладов и пр. Аннотация – краткое изложение основного содержания исходного источника информации, дающее о нем обобщенное представление. К написанию аннотаций прибегают в тех случаях, когда подлинная ценность и пригодность исходного источника информации исполнителю письменной работы окончательно неясна, но в то же время о нем необходимо оставить краткую запись с обобщающей характеристикой. Для указанной цели и используется аннотация. Характерной особенностью аннотации наряду с краткостью и обобщенностью ее содержания является и то, что пишется аннотация всегда после того, как (хотя бы в предварительном порядке) завершено ознакомление с содержанием исходного источника информации. Кроме того, пишется аннотация почти исключительно своими словами и лишь в крайне редких случаях содержит в себе небольшие выдержки оригинального текста. Резюме – краткая оценка изученного содержания исходного источника информации, полученная, прежде всего, на основе содержащихся в нем выводов. Резюме весьма сходно по своей сути с аннотацией. Однако, в отличие от последней, текст резюме концентрирует в себе данные не из основного содержания исходного источника информации, а из его заключительной части, прежде всего выводов. Но, как и в случае с аннотацией, резюме излагается своими словами – выдержки из оригинального текста в нем практически не встречаются. Конспект – сложная запись содержания исходного текста, включающая в себя заимствования (цитаты) наиболее примечательных мест в сочетании с планом источника, а также сжатый анализ записанного материала и выводы по нему. Для работы над конспектом следует: определить структуру конспектируемого материала, чему в значительной мере способствует письменное ведение плана по ходу изучения оригинального текста; в соответствии со структурой конспекта произвести отбор и последующую запись наиболее существенного содержания оригинального текста — в форме цитат или в изложении, близком к оригиналу; выполнить анализ записей и на его основе – дополнение записей собственными замечаниями, соображениями, "фактурой", заимствованной из других источников и т. п. (располагать все это следует на полях тетради для записей или на отдельных листах-вкладках); завершить формулирование и запись выводов по каждой из частей оригинального текста, а также общих выводов.

Систематизация изученных источников позволяет повысить эффективность их анализа и обобщения. Итогом этой работы должна стать логически выстроенная система сведений по существу исследуемого вопроса.

Необходимо из всего материала выделить существующие точки зрения на проблему, проанализировать их, сравнить, дать им оценку.

Кстати, этой процедуре должны подвергаться и материалы из Интернета во избежание механического скачивания готовых текстов. В записях и конспектах студенту очень важно указывать названия источников, авторов, год издания. Это организует его, а главное, пригодится в последу-

ющем обучении. Безусловно, студент должен взять за правило активно работать с литературой в библиотеке не только СКФУ, но и в других, библиотеках, используя, в том числе, их компьютерные возможности (электронная библиотека в сети Интернет).

Методические рекомендации по подготовке к семинарским занятиям, зачетам, экзаменам.

Приступая к изучению новой учебной дисциплины, студенты должны ознакомиться с учебной программой, учебной, научной и методической литературой, имеющейся в библиотеке СКФУ, получить в библиотеке рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, завести новую тетрадь для конспектирования лекций и работы с первоисточниками.

Помимо учебной, научной литературы студентами должны активно использоваться хрестоматии – сборники текстов, иллюстрирующих содержание учебника, а также словари, справочники. В хрестоматиях собраны материалы, которые позволяют расширить кругозор. При подготовке к семинарским занятиям, зачетам, экзаменам следует в полной мере использовать академический курс учебника, рекомендованного преподавателем. Они дают более углубленное представление о проблемах, получивших систематическое изложение в учебнике. Работа с хрестоматией позволит студенту самостоятельно изучить документы, фрагменты источников, другие произведения, разъясняющие сущность изучаемого вопроса.

Основными функциями экзамена, зачета являются: обучающая, оценочная и воспитательная. Экзамены и зачеты позволяют выработать ответственность, трудолюбие, принципиальность. При подготовке к экзамену студент повторяет, как правило, ранее изученный материал. В этот период сыграют большую роль правильно подготовленные заранее записи и конспекты.

Вопросы к экзамену

Вопросы (задача, задание) для проверки уровня обученности

1. Расчет плоских днищ с учетом конструктивных особенностей.
2. Расчет конических днищ: опоры расположены выше конической части.
3. Расчет конических днищ: нагрузка только от гидростатического давления.
4. Расчет конических днищ: над слоем жидкости действует давление, а опоры находятся выше сопряжения.
5. Определение распорной силы в точке сопряжения конической и цилиндрической оболочек и расчет распорных колец.
6. Особенности расчета конических днищ с отбортовкой.
7. Выпуклые днища: расчет полушаровых и коробовых днищ.
8. Выпуклые днища: расчет эллиптических и сферических днищ.
9. Расчет сопряжений оболочек: схемы нагружения и система уравнений совместности деформаций.
10. Методика расчета сопряжения оболочек с использованием дифференциального уравнения изгиба бруса.
11. Вывод итоговых уравнений угловых и линейных деформаций на границе сопряжения оболочек.
12. Общие положения методики расчета оболочек, нагруженных внешним давлением.
13. Методика расчета на устойчивость длинных цилиндрических оболочек.
14. Методика расчета на устойчивость коротких цилиндрических оболочек.
15. Расчет на устойчивость цилиндрических оболочек, сжатых осевыми силами.
16. Применение колец жесткости для повышения устойчивости оболочек.
17. Укрепление отверстий в стенках аппаратов.
18. Опоры вертикальных аппаратов: классификация и методика расчёта.
19. Разъёмные соединения: классификация.
20. Разъёмные соединения: методика расчёта.
21. Быстровращающиеся детали: основные положения теории (закон Гука).
22. Быстровращающиеся детали: методика расчёта.
23. Расчет цилиндрической оболочки, нагруженной внутренним давлением.

24. Назначение и методика расчета на прочность деталей котлоагрегата (общие положения).
25. Расчет барабана котла на основе энергетической теории прочности.
26. Особенности поверочного расчета барабана котла: выбор расчетного давления и учет скорости ползучести.
27. Выбор геометрических размеров цилиндрической оболочки из условия минимального расхода материала.