

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Соловьев Дмитрий Александрович
Должность: ректор ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ
Дата подписания: 26.04.2021 16:15:53
Уникальный программный ключ:
5b8335c1f3d6e7bd91a51b28834cdf2b81866538

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»

Методические указания по выполнению курсовых проектов
по дисциплине «Теплоэнергетическое и теплотехническое
оборудование»

Направление подготовки:
13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Направленность (профиль)
Энергообеспечение предприятий

Методические указания по выполнению курсовых проектов по дисциплине «Теплоэнергетическое и теплотехническое оборудование» для направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника / Сост.: И.Н. Попов // ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ» – Саратов, 2019. – 43 с.

Курсовой проект направлен на формирование у обучающихся навыков по расчету современного теплоэнергетического оборудования систем теплоэнергетики и овладения методиками его проектирования.

Методические указания содержат методики и рекомендации по тепловому, гидравлическому и прочностному расчетам кожухотрубных теплообменных аппаратов, правила компоновки аппаратов и составления принципиальных гидравлических схем тепловых пунктов систем теплоснабжения.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Требования к курсовому проекту.....	5
2 Методика расчета кожухотрубного теплообменного аппарата	8
2.1 Тепловой конструкторский расчет теплообменного аппарата	8
2.2 Гидравлический расчет теплообменного аппарата	14
2.3 Прочностной расчет теплообменного аппарата	17
3 Компоновка кожухотрубного теплообменного аппарата	23
4 Выбор схемы присоединения теплообменного аппарата	26
Список литературы	28
Приложения	29

ВЕДЕНИЕ

В объеме курсового проекта обучающихся выполняют тепловой конструкторский, гидравлический и прочностной расчеты теплообменных аппаратов, по результатам которых производят компоновку теплообменного аппарата и разрабатывают схему подключения в соответствии с его назначением. Каждый обучающийся по заданию производит расчеты теплообменника при заданных значениях массового расхода нагреваемой воды и принятой скорости движения теплоносителя.

Методические указания содержат методики и рекомендации по тепловому, гидравлическому и прочностному расчетам теплообменных аппаратов, правила компоновки аппарата и составления принципиальных гидравлических схем. Приводятся правила оформления расчетно-пояснительной записки и графической курсового проекта.

1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект состоит из текстовой и графической частей. Текстовая часть включает в себя пояснительную записку и спецификации к графической части работы.

Пояснительная записка курсового проекта содержит:

- Титульный лист
- Задание
- Содержание
- Введение
- Расчетная часть
 - Тепловой конструкторский расчет теплообменного аппарата
 - Гидравлический расчет теплообменного аппарата
 - Прочностной расчет теплообменного аппарата
 - Расчет вариантов теплообменного аппарата на ЭВМ
- Заключение
- Список литературы
- Приложения

Титульный лист является первым листом пояснительной записки и включает наименование министерства, университета, факультета и кафедры, наименование курсовой работы, подписи преподавателя и обучающегося, и оформляется по образцу, приведенному в приложении А.

Задание на выполнение курсового проекта выдается каждому обучающемуся по форме в соответствии с приложением Б. Форма задания заполняется в соответствии с индивидуальным номером варианта по данным приложения В.

Текстовый материал пояснительной записки выполняется машинописным или ручным способом в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-2001 ЕСКД «Общие требования к текстовым документам» на одной стороне листа формата А4 (210 × 297 мм) с рамкой и основной надписью в соответствии с ГОСТ 2.104-2006 по форме 2 (40 × 185 мм) для заглавного листа и по форме 2а (15 × 185 мм) – для последующих листов. Шрифт машинописи или высота букв и цифр в

рукописи должны быть не менее 2,5 мм с двойным интервалом (в компьютерном наборе шрифт «Times New Roman», начертание «обычный», размер «14», междустрочный интервал «полуторный»).

При оформлении текста пояснительной записки от рамки формы текстового документа до границ текста следует оставлять: в начале строк не менее 5 мм, в конце строк не менее 3 мм. Расстояние от верхней или нижней строки текста до рамки формы должно быть не менее 10 мм. Каждый абзац начинают, отступая 12,5 мм от левой границы текста.

Каждый раздел работы должен начинаться с новой страницы. Подразделы следуют друг за другом без вынесения последующего на новую страницу, за исключением случая, когда подраздел начинается внизу страницы, а после заголовка на странице остается менее двух-четырёх строк основного текста. В структуру пояснительной записки могут быть введены пункты и подпункты. Каждый подраздел должен отступать от предыдущего текста на 15 мм. Расстояния между заголовком раздела и последующим заголовком подраздела должно составлять 10 мм.

Разделы должны иметь сквозную нумерацию в пределах всей записки и обозначаться арабскими цифрами без точки. Исключение составляют разделы «Содержание», «Введение», «Заключение», «Список литературы» и «Приложения», которые не нумеруются. Если документ имеет подразделы, то нумерация подразделов должна быть в пределах раздела, а нумерация пункта должна состоять из номеров раздела, подраздела и пункта, разделенных точками. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Все листы записки должны быть последовательно пронумерованы проставлением номера в соответствующую графу основной надписи каждого листа. Нумерация листов должна быть сквозной от титульного листа до последнего.

Спецификацию составляют на отдельных листах на каждую сборочную единицу и оформляют согласно ГОСТ 2.106-96 на листах формата А4 с основной надписью по форме 2 и 2а.

При брошюровании пояснительной записки спецификации вкладываются как приложения.

Графическая часть курсового проекта состоит из 2 листов формата А1, на которых представляются сборочный чертеж теплообменного аппарата (на листе с основной надписью по форме 1 (55×185 мм)) и гидравлическая схема теплового пункта составленная в соответствии с назначением разработанного теплообменного аппарата (на листе с основной надписью по форме 2). Допускается выполнение схемы теплового пункта на листах формата А2.

2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

2.1 Тепловой конструкторский расчет теплообменного аппарата

Для выполнения теплового конструкторского расчета водо-водяного теплообменного аппарата давления греющего (вода) и нагреваемого (вода) теплоносителей принимаются в пределах от 0,5 до 1 МПа.

Рассчитаем средние температуры теплоносителей:

средняя температура греющей воды

$$t_{2,ср} = (t'_2 + t''_2)/2 \quad (1)$$

средняя температура нагревающей воды

$$t_{н,ср} = (t'_н + t''_н)/2 \quad (2)$$

По этим температурам по таблице 1 определим для каждого теплоносителя коэффициент теплопроводности λ_n и λ_2 , плотность ρ_n и ρ_2 , коэффициент кинематической вязкости ν_n и ν_2 , теплоемкость воды c_n и c_2 , число Прандтля Pr .

Таблица 1 – Теплофизические свойства воды на линии насыщения

t , °С	P , МПа	ρ , кг/м ³	c , кДж/(кг °С)	λ , Вт/(м °С)	ν , 10 ⁻⁶ м ² /с	Pr
0	0,101	999,9	4,212	0,551	1,789	13,67
10	0,101	999,7	4,191	0,574	1,306	9,52
20	0,101	998,2	4,183	0,699	1,0006	7,02
40	0,101	992,2	4,174	0,634	0,659	4,31
60	0,101	983,2	4,178	0,659	0,478	2,98
80	0,101	971,8	4,195	0,674	0,365	2,21
100	0,101	958,4	4,220	0,683	0,295	1,75
120	0,199	943,1	4,250	0,686	0,252	1,47
140	0,362	926,1	4,287	0,685	0,217	1,26
160	0,618	907,4	4,346	0,683	0,191	1,10
180	1,003	886,9	4,417	0,674	0,173	1,00
200	1,555	863,0	4,505	0,663	0,158	0,93

Из уравнения теплового баланса

$$Q = G_2 c_2 (t'_2 - t''_2) \eta_n = G_n c_n (t''_н - t'_н) \quad (3)$$

определим количество теплоты Q , воспринимаемое нагреваемой водой

$$Q = G_n c_n (t_n'' - t_n'), \quad (4)$$

где G_n - массовый расход нагреваемого теплоносителя, кг/с;

и массовый расход греющего теплоносителя G_2 , приняв коэффициент η_n , учитывающий потери теплоты в окружающую среду равным 0,95-0,99

$$G_2 = \frac{Q}{c_2 (t_2' - t_2'') \eta_n}. \quad (5)$$

Для определения количества трубок необходимо задаться скоростью движения воды в трубках $w_n = 0,5-3$ м/с и определить режим течения воды в трубках по числу Рейнольдса

$$Re = \frac{w_n \cdot d_{вн}}{\nu_n}, \quad (6)$$

где $d_{вн} = d - 2\delta$ - внутренний диаметр трубок, м; ν_n - коэффициент кинематической вязкости нагреваемой воды, м²/с; d и δ - наружный диаметр трубок и их толщина соответственно, м (принимаются по таблице Г.2 и Г.4 в зависимости от материала трубок применяемых для изготовления теплообменного аппарата, в соответствии с таблицей Г.1 и Г.3 (приложение Г)).

Желательно задаваться скоростью движения воды в трубках w_n так, что бы режим течения воды в трубках был турбулентным $Re > 10^4$.

Для заданной схемы движения теплоносителей (нагреваемый теплоноситель движется внутри трубок) и заданного наружного диаметра трубок определим общее число трубок одного хода подогревателя:

$$n = 4G_n / (w_n \cdot \rho_n \cdot \pi \cdot d_{вн}^2), \quad (7)$$

где ρ_n - плотность воды при температуре $t_{н.ср}$, кг/м³.

При заданном расположении трубок в трубной решетке определяем по таблице 2 действительное значение числа трубок n_m и относительный диаметр трубной решетки D'/S .

Определим диаметр расположения крайних трубок трубной решетки

$$D' = (D'/S)S. \quad (8)$$

Таблица 2 – Число труб в зависимости от расположения их в трубной решетке

Относительный диаметр трубной решетки, D'/S	Число труб, n		Относительный диаметр трубной решетки, D'/S	Число труб, n	
	Расположение по вершинам равностороннего треугольника	Расположение по концентрическим окружностям		Расположение по вершинам равностороннего треугольника	Расположение по концентрическим окружностям
2	7	7	22	439	410
4	19	19	24	517	485
6	37	37	26	613	566
8	61	62	28	721	653
10	91	93	30	823	747
12	127	130	32	931	847
14	187	173	34	1045	953
16	241	223	36	1165	1066
18	301	279	38	1306	1185
20	367	341	40	1459	1310

Определим внутренний диаметр корпуса или трубной решетки

$$D = D' + d + 2k, \quad (9)$$

где k - кольцевой зазор между крайними трубками и кожухом принимается из конструктивных соображений, но не менее 6 мм.

Рассчитанное значение внутреннего диаметра корпуса округляют до ближайшего стандартного размера D_y из следующего ряда: 50, 65, 80, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400, 3600, 3800, 4000 мм.

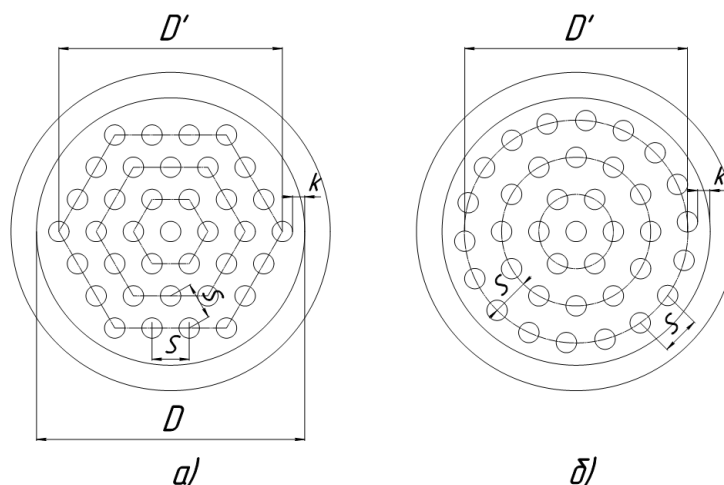


Рисунок 1 – Схемы размещения труб в решетках: а - по вершинам равносторонних треугольников; б - по концентрическим окружностям.

При расположении труб по вершинам равностороннего треугольника число шестиугольников для размещения труб равно

$$m = \frac{\sqrt{12 \cdot n_m - 3} - 3}{6} \quad (10)$$

Число труб по диагонали наибольшего шестиугольника составит

$$n_{uu} = 2m + 1 \quad (11)$$

Общее число труб в шестиугольниках

$$n = 1 + 3m + 3m^2 \quad (12)$$

Размещение труб по концентрическим окружностям производится так, чтобы был выдержан шаг между трубками. Радиусы окружностей определим как

$$R_i = i \cdot S, \quad (13)$$

где i – номер окружности, начиная от центра.

Длины окружностей

$$L_i = 2\pi \cdot i \cdot S. \quad (14)$$

Число труб на каждой окружности

$$n_i = 2\pi \cdot i. \quad (15)$$

Для определения коэффициента теплопередачи определим предварительно коэффициенты теплоотдачи с разных сторон трубки.

По ранее определенному режиму течения воды внутри трубок (турбулентный режим) найдем критерий Нуссельта по формуле

$$Nu_n = 0,023 \cdot Re^{0,8} Pr^{0,4} \varepsilon_l, \quad (16)$$

где Pr - число Прандтля для воды определяемое по таблице 1 в зависимости от температуры; ε_l - поправочный коэффициент ($\varepsilon_l = 1$, при соотношении длины трубок к их диаметру $l/d > 50$).

Из критериального уравнения Нуссельта определяем коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности стенки трубок к воде

$$\alpha_n = \frac{Nu_n \cdot \lambda_n}{d_{вн}}. \quad (17)$$

Находим скорость движения воды в межтрубном пространстве.

Для этого необходимо рассчитать площадь межтрубного пространства и площадь, занятую трубами.

Площадь поперечного сечения корпуса диаметром D_y

$$F_D = \frac{\pi \cdot D_y^2}{4}. \quad (18)$$

Площадь занятая трубами:

$$f_m = \frac{\pi \cdot d^2 n_m}{4}. \quad (19)$$

Площадь межтрубного пространства:

$$f_1 = F_D - f_m. \quad (20)$$

Скорость воды в межтрубном пространстве:

$$w_2 = \frac{G_2}{f_1 \cdot \rho_2}. \quad (21)$$

Для определения коэффициента теплоотдачи от греющей воды к трубкам находим число Рейнольдса по формуле

$$Re = \frac{w_2 \cdot d_3}{\nu_2}, \quad (22)$$

где d_3 - эквивалентный диаметр, м, рассчитываем по формуле

$$d_3 = \frac{4f_1}{U}, \quad (23)$$

где $U = \pi \cdot (D_y + n_m \cdot d)$ - смоченный периметр, м.

Желательно чтобы значение числа Рейнольдса соответствовало турбулентному режиму течения воды, тогда критерий Нуссельта Nu_2 определяется по формуле (16), а коэффициент теплоотдачи от греющего теплоносителя к стенке трубок

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d}. \quad (24)$$

Коэффициент теплопередачи через стенку трубки вычисляем по формуле

$$K = \frac{1}{d_{cp} \left(\frac{1}{\alpha_n d_{вн}} + \frac{1}{2\lambda_{mp}} \ln \frac{d}{d_{вн}} + \frac{1}{\alpha_2 d} \right) + R_{заг}}, \quad (25)$$

где $d_{cp} = (d_{вн} + d)/2$ - средний диаметр трубки трубной решетки, м;

λ_{mp} - теплопроводность материала трубок Вт/(м°C) в соответствии с приложением Г;

$R_{заг}$ - термическое сопротивление загрязнения трубок, определяемое по таблице 3.

Таблица 3 – Ориентировочные термические сопротивления различных загрязнений на стенках теплообменников

Загрязнения в виде твердых веществ при толщине слоя $\delta = 0,5$ мм:	$R_{заг}, (м^2 \cdot К)/Вт$
накипь	0,00033
ржавчина	0,00050

Поверхность нагрева теплообменного аппарата

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (26)$$

где Δt_{cp} - средняя логарифмическая разность температур (температурный напор).

Средняя логарифмическая разность температур для различных схем движения теплоносителей – прямоток или противоток определяется по формуле

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{m}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{m}}}, \quad (27)$$

где Δt_{δ} - температурный напор больших температур, Δt_{m} - температурный напор меньших температур.

Температурный напор определяется как разность температур греющего и нагреваемого теплоносителей на соответствующем конце поверхности теплообмена, с учетом схемы движения теплоносителей.

Если в противотоке значение температурного напора для обеих сторон поверхности теплообмена одинаковы, то $\Delta t_{\delta} = \Delta t_{m} = \Delta t_{cp}$.

Длина трубок вычисляется по формуле

$$l = \frac{F}{\pi \cdot d_{cp} \cdot n_m}. \quad (28)$$

Если величина длины трубок l окажется больше рекомендуемой длины прямого участка, устанавливаемой из условия расчета тонких сосудов находящихся под давлением (не более 6 м) [2], то устанавливается несколько теплообменников с расстоянием между трубными досками, не превышающем рекомендуемой длины прямого участка. Для U - образных трубок наличие закруглений не учитывается.

Для расчета диаметров присоединительных штуцеров аппарата, принимая скорость воды в штуцере греющего теплоносителя w_2^{um} и в штуцере нагреваемого теплоносителя w_H^{um} , определим площадь сечения штуцера

$$f_{um1} = \frac{G_2}{w_2^{um} \rho_2}, \quad (29)$$

$$f_{um2} = \frac{G_H}{w_H^{um} \rho_H}. \quad (30)$$

Диаметр штуцера определяют по формуле

$$d_{um} = \sqrt{\frac{4 \cdot f_{um}}{\pi}}. \quad (31)$$

Рассчитанное значение диаметра штуцера округляют до ближайшего стандартного диаметра условного прохода для стальных прямошовных труб по ГОСТ 10704-91 из ряда: 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000.

В случае если значения диаметра штуцера для контура греющего и нагреваемого теплоносителя являются смежными из указанного ряда, допускается принимать штуцеры одного размера, округлив в большую сторону.

2.2 Гидравлический расчет теплообменного аппарата

Гидравлический расчет выполняется для определения напора необходимого на перемещение теплоносителей через аппарат. Расчет выполняется отдельно для трубного и межтрубного пространства теплообменного аппарата.

Полный напор ΔP , необходимый для движения жидкости или газа через теплообменник, определяется по следующей формуле, Па

$$\Delta P = \sum \Delta P_{mp} + \sum \Delta P_m + \sum \Delta P_y + \sum \Delta P_z, \quad (32)$$

где $\sum \Delta P_{mp}$ – сумма гидравлических потерь на трение, Па; $\sum \Delta P_m$ – сумма потерь напора в местных сопротивлениях, Па; $\sum \Delta P_y$ – сумма потерь напора, обусловленных ускорением потока, Па; $\sum \Delta P_z$ – перепад давления для преодоления гидростатического столба жидкости, Па.

Гидравлические потери на трение в каналах при продольном омывании пучка труб теплообменного аппарата определяются по формуле, Па

$$\Delta P_{тр} = \lambda_{тр} \cdot \frac{\Sigma l}{d_э} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2}, \quad (33)$$

где $\lambda_{тр}$ – коэффициент сопротивления трения; Σl – суммарная длина трубок, м; $d_э$ – эквивалентный диаметр, равный внутреннему диаметру трубок, м; ρ – плотность воды, кг/м³; w – средняя скорость воды на данном участке, м/с.

Коэффициент сопротивления трения для чистых трубок можно рассчитать по формуле

$$\lambda_{тр} = \frac{1}{(1,8 \cdot \ln Re - 1,5)^2}. \quad (34)$$

Гидравлические потери давления, Па, в местных сопротивлениях определяются по формуле

$$\Delta P_{м} = \xi_{м} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2}, \quad (35)$$

где $\xi_{м}$ – коэффициент местного сопротивления, его находят как сумму сопротивлений каждого элемента подогревателя определяемых по таблице 4.

Таблица 4 – Коэффициенты местного сопротивления $\xi_{м}$ отдельных элементов теплообменного аппарата

Наименование детали	$\xi_{м}$
Входная или выходная камера (удар и поворот)	1,5
Поворот на 180 ⁰ из одной секции в другую через промежуточную камеру	2,5
тоже через колено в секционных подогревателях	2,0
Вход в промежуточное пространство под углом 90 ⁰ к рабочему потоку	1,5
Поворот на 180 ⁰ в U - образной трубке	0,5
Переход из одной секции в другую (межтрубный поток)	2,5
Поворот на 180 ⁰ через перегородку в межтрубном пространстве	1,5
Выход из межтрубного пространства под углом 90 ⁰	1,0

Для нахождения коэффициента сопротивления для пучка труб при поперечном омывании находят среднее число рядов трубок m_o , омываемых поперечным потоком теплоносителя, равное нечетному числу трубок, размещаемых на диаметре теплообменника.

$$m_o = \frac{D - 2k}{S}. \quad (36)$$

Полученное значение m_o округляется до ближайшего нечетного числа.

Коэффициент сопротивления для пучка труб при поперечном омывании:

$$1) \text{ при } S/d < S_2/d, \quad \xi = (4 - 6,6m_o)Re^{-0,28}; \quad (37)$$

$$2) \text{ при } S/d > S_2/d, \quad \xi = (5,4 + 3,4m_o)Re^{-0,29}; \quad (38)$$

где S – расстояние (шаг) между трубками, м; $S_2 = 0,866 \cdot S$ – расстояние между рядами трубок вдоль движения потока теплоносителя, м.

Потери давления, Па, обусловленные ускорением потока вследствие изменения объема теплоносителя при постоянном сечении канала, определяются по формуле

$$\Delta P_y = \rho_2 \cdot w_2 - \rho_1 \cdot w_1, \quad (39)$$

где w_1 и w_2 – скорости теплоносителя во входном и выходном сечениях потока соответственно, м/с; ρ_1 и ρ_2 – плотности теплоносителя во входном и выходном сечениях потока соответственно, кг/м³.

Перепад давления для преодоления гидростатического столба жидкости равен

$$\Delta P_z = (\rho - \rho_0) \cdot \Delta h, \quad (40)$$

где Δh – разница уровней входа и выхода теплоносителя в систему, м; ρ_0 – плотность атмосферного воздуха, кг/м³.

Далее по выражению (32) определяем полный напор ΔP , необходимый для движения теплоносителя через аппарат. Мощность N (кВт), необходимая для преодоления гидравлических сопротивлений, определяется отдельно для контура греющего и нагреваемого теплоносителя теплообменного аппарата, и может быть подсчитана по формуле

$$N = \frac{G \cdot \Delta P}{1000 \rho \cdot \eta}, \quad (41)$$

где G – расход теплоносителя (G_g – греющего и G_n – нагреваемого), кг/с; ΔP – полный напор воды для греющего и нагреваемого теплоносителей, определенный по формуле (32), Па; ρ – плотность теплоносителя (для греющего ρ_g и нагреваемого ρ_n), кг/м³; η – коэффициент полезного действия насосов и их приводов принимается в диапазоне 0,6 ... 0,8.

2.3 Прочностной расчет теплообменного аппарата

Механический расчёт предполагает расчёт основных узлов и деталей аппарата на прочность. Конструкция и элементы аппаратов должны рассчитываться на наибольшее допускаемое рабочее давление с учётом возможных температурных напряжений, особенностей технологии изготовления деталей, агрессивности действия рабочей среды и особенностей эксплуатации.

3.3.1 Расчёт толщины стенки кожуха

Толщина стенки кожуха рассчитывается по формуле:

$$\delta_k = \frac{P_n \cdot D_y}{2 \cdot \varphi_l \cdot \sigma_\delta - P_n} + C \quad (42)$$

где P_n – рабочее давление теплоносителя, МПа; φ_l – коэффициент прочности сварного шва, равный $\varphi_l = 0,9$; σ_δ – номинальное допустимое напряжение, МПа, принимается в зависимости от марки стали и температуры стенки, таблица Г.1 (приложение Г); C – поправка на коррозию, равна 1–5 мм в зависимости от скорости коррозии материала обечайки, м;

Рассчитанное значение толщины стенки кожуха округляют до ближайшего большего стандартного δ'_k для стальных труб диаметром D_y , принятым на основании выражения (9) по ГОСТ 10704-91 согласно таблице Г.5 (приложение Г), но принимают не менее 4 мм. По установленным размерам трубы определяют наружный D_n и внутренний диаметр $D_{вн}$ корпуса.

3.3.2 Расчет толщины эллиптического днища

Исходя из условия технологичности изготовления толщину стенки днища, имеющего отверстие, определяют по выражению, м:

$$\delta_\delta = \frac{P_n \cdot D_y}{4 \cdot z \cdot \sigma_\delta - P_n} \cdot \frac{D_y}{2 \cdot h_{вып}} + C, \quad (43)$$

где $z = 1 - d_o/D_y$ – коэффициент неукрепленного отверстия; d_o – наибольший диаметр неукрепленного отверстия, м; $h_{вып}$ – высота выпуклой части днища, м.

Условия применимости этой формулы:

$$\frac{h_{\text{выпн}}}{D_y} \geq 0,2; \quad \frac{d_o}{D_y} \leq 0,6; \quad \frac{\delta_\delta - C}{D_y} \leq 0,1.$$

Рассчитанное значение толщины эллиптического днища округляют до ближайшего большего стандартного δ'_δ , но принимают не менее 4 мм.

3.3.3 Расчет трубной решетки

Расчетное давление, МПа, при расчете трубной решетки выбирается по большему из трех следующих значений:

$$P_p = (0,6 + 0,4 \cdot \alpha) \cdot (P_m - P_{m'}) - \rho \cdot (P_m - 0,6 \cdot P_m) + \frac{\gamma \cdot k \cdot L}{2}, \quad (44)$$

$$P_p = (0,6 + 0,4 \cdot \alpha + 0,6 \cdot \rho) \cdot P_{m.n}, \quad (45)$$

$$P_p = (0,6 + 0,4 \cdot \alpha + \rho) \cdot P_{m.n}, \quad (46)$$

где $P_{m'}$, P_m – давления в межтрубном и трубном пространствах соответственно, МПа; $P_{m.n} = 1,5 \cdot P_m$, $P_{m.n} = 1,5 \cdot P_m$ – пробное давление при гидравлическом испытании в межтрубном пространстве и в трубах, МПа; ρ – отношение жесткости трубок к жесткости кожуха; γ – расчетный температурный коэффициент; k – модуль упругости системы трубок, МПа/м; L – расчетная длина корпуса, равная длине труб, м; α – коэффициент перфорации.

Коэффициент, выражающий отношение жесткости трубок к жесткости кожуха, находят по формуле

$$\rho = \frac{E_m \cdot F_m}{E_k \cdot F_k}, \quad (47)$$

где E_m , E_k – модули упругости материала трубок и кожуха (для латуни $E = 1,078 \cdot 10^5$ МПа; для стали $E = 2,058 \cdot 10^5$ МПа); F_m , F_k – площади сечения стенок трубок и кожуха, м².

Площадь сечения стенок трубок, м², рассчитывают

$$F_m = 0,25\pi \cdot n_m (d^2 - d_{\text{вн}}^2), \quad (48)$$

где n_m – количество трубок, шт.; d , $d_{\text{вн}}$ – наружный и внутренний диаметры трубок, м.

Площадь сечения стенок кожуха, м²

$$F_k = 0,25\pi \left[(D_{вн} + 2\delta'_k)^2 - D_{вн}^2 \right]. \quad (49)$$

Расчетный температурный коэффициент находят по формуле

$$\gamma = \alpha_m \cdot t_m - \alpha_k \cdot t_k, \quad (50)$$

где t_m , t_k – температуры трубок и кожуха, °С; α_m , α_k – коэффициенты линейного удлинения трубок и кожуха соответственно (для стали $\alpha = 11,8 \cdot 10^{-6}$ 1/°С, для латуни $\alpha = 19 \cdot 10^{-6}$ 1/°С).

Температуру кожуха принимают на 1-5 % ниже средней температуры греющего теплоносителя

$$t_k = (0,95 \div 0,99) t_{z.cp} \quad (51)$$

Температуру трубок определяют по формуле

$$t_m = t_{z.cp} - (\Delta t_{cp} + 2) \quad (52)$$

Модуль упругости системы трубок, МПа/м, рассчитывают по формуле

$$k = \frac{2 \cdot E_m \cdot F_m}{l \cdot \pi \cdot R_{вн}^2}, \quad (53)$$

где l – длина трубок, м; $R_{вн} = D_{вн} / 2$ – внутренний радиус корпуса, м.

Коэффициент перфорации определяют по формуле

$$\alpha = 1 - \frac{n_m}{4} \cdot \left(\frac{d_{вн}}{R_{вн}} \right)^2. \quad (54)$$

Расчет трубной решетки выполняют по большему из абсолютных значений расчетных давлений P_p , определенных по формулам (44, 45, 46).

Толщину трубной решетки рассчитывают по формуле

$$\delta_p = \left[17 \cdot \delta'_k \cdot l^{0,25} \cdot \frac{P_p}{\delta'_o} \right]^{0,8} \quad (55)$$

Рассчитанное значение толщины трубной решетки округляют до ближайшего большего стандартного δ'_p , но принимают не менее 20 мм.

3.3.4. Расчёт металлоемкости теплообменного аппарата

Определение массы металла в изделии осуществляется суммированием веса элементов аппарата согласно его спецификации.

Масса металла израсходованного на изготовление корпуса и трубной системы определяется исходя из показателей удельного веса применяемого сортамента

$$M_m = \sum(\rho_m \cdot l), \quad (56)$$

где ρ_m – теоретическая масса 1 метра трубы соответствующего сортамента, кг/м [4,5];

l – длина трубы израсходованной на изделие, м.

Масса металла израсходованного на изготовление штучных изделий аппарата (фланцы, трубные доски, метизы) определяется по фактическому весу изделия.

$$M_m = \sum(m_m \cdot n), \quad (57)$$

где m_m – масса одного изделия, кг;

n – кол-во одинаковых изделий, шт.

Масса металла израсходованного на изготовление нестандартных штучных изделий определяется по удельному весу металла и объему израсходованного на изделие металла

$$M_m = \sum(\gamma_m \cdot V), \quad (58)$$

где γ_m – удельный вес металла, кг/м³;

V – объем израсходованного металла, м³.

Удельная металлоемкость

$$M^{ym} = \frac{M^m}{Q \cdot T}, \quad (59)$$

где T – нормативный срок службы, лет (для теплообменных аппаратов составляет 8 лет).

Для определения металлоёмкости специфицируемого теплообменного аппарата составляется полный перечень деталей образующих сборочные единицы, входящие в состав аппарата, с учетом количества секций (в многосекционном аппарате).

Определяют мерное количество израсходованного металла на каждую деталь:

№	Деталь	Кол-во	Масса, кг
1	Кожух ($D_v=...$; $\delta_k=...$; $L_k=...$)	$n_k=$	
2	Трубная система ($d=...$; $\delta=...$; $l_m=L_k \cdot n_k$)	$n_t=$	
3	Штуцер ($d_v=...$; $\delta_{шт}=...$; $h_{шт}=...$)	$n_{шт}=$	
4	Колено ($D_v=...$; $\delta_k=...$; $L=...$) (в секционных аппаратах)	$n_c^{-1}=$	
5	Фланец корпуса ($D_v=...$)	$n_{фк}=$	
6	Фланец соединительный ($d_v=...$)	$n_{фе}=$	
7	Трубная решетка ($D_v=...$; $\delta_p=...$; $V=...$)	$n_p=$	
8	Днище ($D_v=...$; $\delta_d=...$; $V=...$)	$n_d=$	
9	Метизы для фланцев корпуса ($d_b=...$; $l_g=...$)	$n_m=$	
10	Метизы для соединительных фланцев ($d_b=...$; $l_g=...$)	$n_m=$	

Для каждого типа деталей вычисляется масса металла в изделии, масса технологических отходов и потерь металла при его изготовлении.

Суммированием вычисленных масс отдельных элементов определяют металлоемкость аппарата для каждого из расчетных вариантов.

Вычисляют удельную металлоемкость аппарата для наиболее оптимального варианта конструкции.

3 КОМПОНОВКА КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Кожухотрубный теплообменник (рисунок 2) состоит из пучков труб 1, укрепленных в трубных решетках 2, кожуха (корпуса) 3, крышек (камер) 4, патрубков 7 и опор 9. Трубное и межтрубное пространства в аппарате разобщены, причем каждое из них может быть разделено перегородками на несколько ходов. На рисунке 2 показана классическая схема кожухотрубного теплообменника.

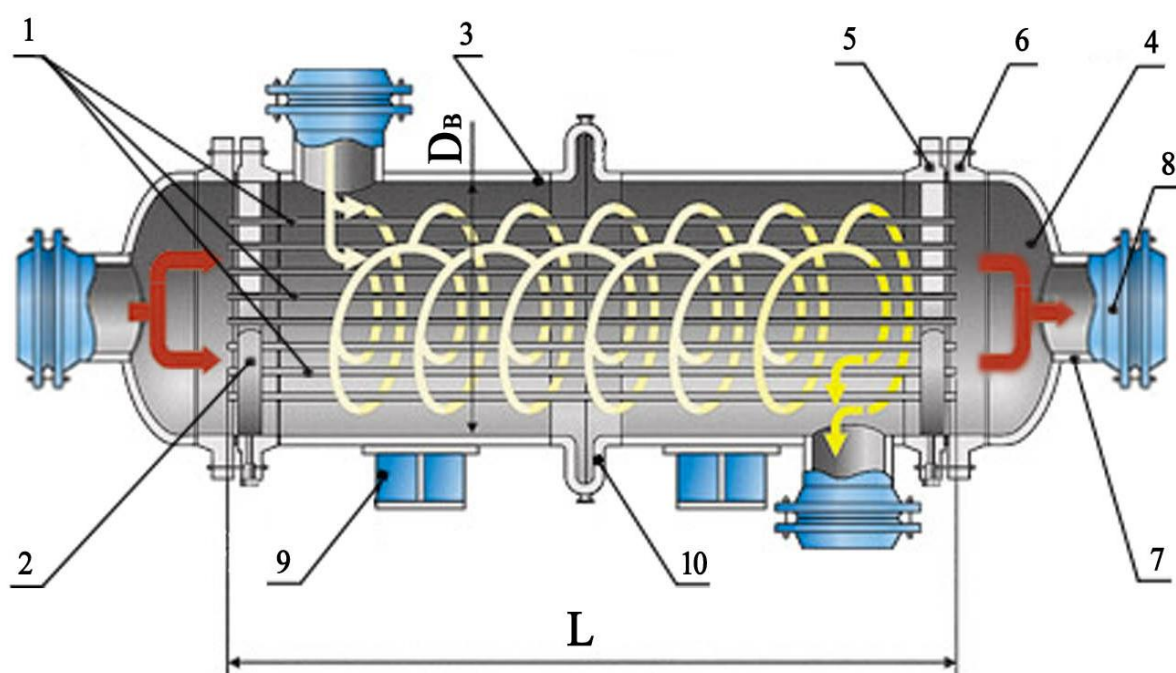


Рисунок 2 – Схема кожухотрубного теплообменника:

1 – трубки; 2 – трубная решетка; 3 – кожух; 4 – крышка; 5 – фланец кожуха; 6 – фланец крышки; 7 – патрубок; 8 – присоединительный фланец; 9 – опора; 10 – линзовый компенсатор.

Кожух (корпус) кожухотрубного теплообменника выполняют из стальной электросварной прямошовной трубы по ГОСТ 10704-91 диаметром D_y принятого на основании расчета по выражению (9). Толщина стенки кожуха δ'_k определяется давлением рабочей среды и диаметром кожуха, но принимается не менее 4 мм.

К цилиндрическим кромкам кожуха (рисунок 2) приваривают фланцы 5 для соединения с фланцами 6 крышек. Размеры фланца принимаются в соответствии с размерами стандартных фланцевых соединений для сосудов и аппаратов по ГОСТ 28759.2-90 для проектного диаметра D_y кожуха и рабочего давления теплоносителя по таблицам Д.1, Д.2.

Особенностью аппаратов с неподвижными трубными решетками (тип Н) является то, что трубы жестко соединены с трубными решетками, а решетки с кожухом. В связи с этим исключена возможность взаимных перемещений труб и кожуха.

Трубный пучок выполняют из прямых труб диаметром от 12 до 57 мм. Предпочтительны стальные бесшовные или латунные трубы (размеры принимаются по таблице Г.2 и Г.4 (приложение Г) в соответствии с разделом 2.1).

Трубные доски (решетки) служат для закрепления в них пучка труб при помощи развальцовки, разбортовки, сварки, пайки или сальниковых креплений. Материалом досок служит обычно листовая сталь толщиной не менее 20 мм.

Теплообменники типа Н рекомендованы для работы при небольшой разности температур (до 30 °С) кожуха и труб, при этом возможна так называемая самокомпенсация конструкции. Если расчетная разность температур кожуха и труб превышает указанную, применяют аппараты с температурным компенсатором. В аппаратах типа К для частичной компенсации температурных деформаций используют специальные гибкие элементы (расширители и компенсаторы), расположенные на кожухе. Наиболее распространены вваренные между двумя частями кожуха линзовые компенсаторы 10 (см. рисунок 2).

Для присоединения к теплообменному аппарату трубопроводов и арматуры на кожухе и крышках камер предусматриваются штуцера с фланцами. Исполнение плоского приварного фланца по ГОСТ 12820-80 (см. рисунок Е.1) выбирают по диаметру условного прохода штуцера $d_{шт}$

(см. раздел 2.1) и в соответствии с принятым давлением теплоносителей по таблицам Е.1 и Е.2 (приложение Е).

При монтаже плоский фланец насаживается на трубу (штуцер) и приваривается к ней двумя сварными швами вдоль окружности трубы (см. рисунок Е.2 (приложение Е)).

На наружной поверхности кожуха прикрепляют опоры аппарата.

Сборочный чертеж теплообменного аппарата, содержащий его изображение с необходимым числом видов, разрезов, сечений и выносных элементов и другие данные, необходимые для его сборки и контроля выполняют на листе формата А1.

Сборочный чертеж аппарата должен содержать:

а) изображения аппарата, дающие представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу, и обеспечивающие возможность сборки и контроля;

б) размеры, предельные отклонения и другие параметры и требования, которые выполняют и контролируют по данному чертежу,

- габаритные размеры;

- установочные, присоединительные и другие необходимые справочные размеры;

в) указания о характере сопряжения и методах его осуществления, указания о выполнении неразъемных соединений (сварных, паяных и д.р.);

г) номера позиций составных частей, входящих в теплообменный аппарат;

д) техническую характеристику.

Основные виды на чертеже выполняют в масштабе, используя масштабы уменьшения: 1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:50. Мелкие конструктивные элементы, выполняют в увеличенном масштабе, используя дополнительные виды, сечения или выносные элементы. На чертежах масштаб обозначают в основной надписи по типу 1:1; 1:2; 2:1 и т.д. на поле чертежа – по типу М 1:1; М 1:2; М 2:1 и т.д.

4 ВЫБОР СХЕМЫ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Гидравлическая схема теплового пункта, составленная в соответствии с назначением разработанного теплообменного аппарата изображается на листе формата А1.

На принципиальной схеме изображают все гидравлические элементы и устройства, необходимые для осуществления и контроля заданных гидравлических процессов, и все гидравлические связи между ними.

Элементы и устройства на схеме изображают в виде условных графических обозначений, основные из которых приведены в таблицах И.1 – И.4 (приложение И). Каждый элемент или устройство, входящее в тепловой пункт и изображенные на схеме, должны иметь позиционное обозначение, состоящее из буквенного обозначения и последующего порядкового номера. Позиционные обозначения проставляют справа или над условным графическим обозначением соответствующего элемента (устройства) схемы.

Буквенное обозначение должно представлять собой сокращенное наименование элемента, составленное из его начальных или характерных букв в соответствии с таблицей И.5 (приложение И).

Порядковые номера элементам (устройствам) следует вводить в пределах группы элементов (устройств), которым на схеме присвоено одинаковое буквенное позиционное обозначение. Номера должны быть присвоены в соответствии с последовательностью расположения элементов или устройств на схеме сверху вниз в направлении слева направо. При необходимости допускается изменять последовательность присвоения порядковых номеров в зависимости от размещения элементов в изделии или от направления потока рабочей среды.

Данные об элементах должны быть записаны в перечень элементов. Перечень элементов оформляют в виде таблицы (см. рисунок 5). Если перечень элементов помещают на листе схемы, то его располагают над основной надписью.

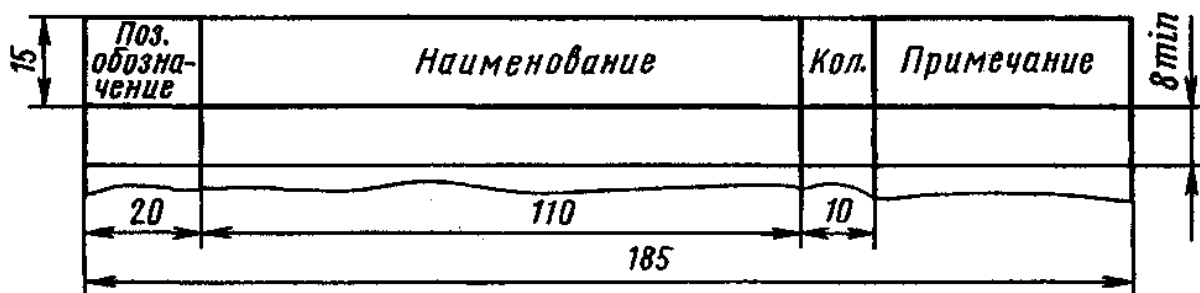


Рисунок 5 - Перечень элементов схем

Элементы записывают в перечень группами в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений. В пределах каждой группы элементы перечисляют в порядке возрастания номеров.

При составлении принципиальной гидравлической схемы теплового пункта за основу выбирается соответствующая схема присоединения теплообменного аппарата для горячего водоснабжения и отопления в соответствии с СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов». Вариант схемы присоединения приведен в приложении К.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование теплообменных аппаратов для систем теплоснабжения предприятий: учебное пособие для обучающихся направления подготовки 13.04.01 – Теплоэнергетика и теплотехника / И.Н. Попов, В.В. Володин, В.А. Глухарев // ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. – Саратов, 2016. – 60 с.
2. Тепломассообменное оборудование предприятий: методические указания к курсовому и дипломному проектированию для обучающихся специальности 140106 «Энергообеспечение предприятий»/ Сост. Н.М. Веселова, В.М. Фокин; ВолгГасу. – Волгоград, 2006. – 118 с.
3. Бакластов А.М. и др. Проектирование, монтаж и эксплуатация тепломассообменных установок: Учеб. пособие для вузов/ А.М. Бакластов, В.А. Горбенко, П.Г. Удыма; Под ред. А.М. Бакластова. - М.: Энергоиздат, 1981. – 336 с.
4. ГОСТ 9941-81. Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно-стойкой стали. Технические условия [Текст]. – Введ. 1983–01–01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 9 с.
5. ГОСТ 21646-2003. Трубы медные и латунные для теплообменных аппаратов. Технические условия [Текст]. – Введ. 2004–09–01. – М.: Издательство стандартов, 2004. – 16 с.
6. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент [Текст]. – Введ. 1993–01–01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 7 с.
7. ГОСТ 28759.2-90 Фланцы сосудов и аппаратов стальные плоские приварные. Конструкция и размеры [Текст]. – Введ. 1992–01–01. – М.: Стандартинформ, 2005. – 19 с.
8. ГОСТ 12820-80. Фланцы стальные плоские приварные на P_y от 0,1 до 2,5 МПа (от 1 до 25 кгс/см кв.). Конструкция и размеры [Текст]. – Введ. 1983–01–01. – М.: Стандартинформ, 2003. – 12 с.
9. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов [Текст]. – Введ. 1996–07–01. – М.: ЦПП, 1997. – 78 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А
(рекомендуемое)

Пример оформления титульного листа курсовой работы

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»

Факультет _____

кафедра _____

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине «Теплоэнергетическое и теплотехническое оборудование»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Обучающегося _____ курса
группы _____
специальности _____

Ф.И.О.

дата, подпись

Руководитель

Ф.И.О.

дата, подпись

Саратов – 20__

Приложение Б
(обязательное)

Форма задания на курсовой проект

**ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»**
Факультет Инженерии и природообустройства
Кафедра «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение»

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий кафедрой _____

Задание на курсовое проектирование
обучающемуся _____ курса
направления подготовки 13.04.01 – Теплоэнергетика и теплотехника
по дисциплине «Теплоэнергетическое и теплотехническое оборудование»
на тему: **Проектирование теплообменного аппарата**

Вариант № ____

1. Исходные данные к проекту:

$G_H,$ кг/с	$t'_H,$ $^{\circ}\text{C}$	$t''_H,$ $^{\circ}\text{C}$	$t'_2,$ $^{\circ}\text{C}$	$t''_2,$ $^{\circ}\text{C}$	Схема движения теплоносителей - _____ Трубки в трубной доске расположены по _____ Материал трубок _____

2. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

1. Тепловой конструкторский расчет теплообменного аппарата;
2. Гидравлический расчет теплообменного аппарата;
3. Прочностной расчет теплообменного аппарата.

3. Перечень графического материала с точным указанием обязательных чертежей:

1. Сборочный чертеж кожухотрубного теплообменного аппарата.
2. Схема присоединения теплообменного аппарата.

4. Список рекомендуемой литературы:

1. Попов И.Н. Проектирование теплообменных аппаратов для систем теплоснабжения предприятий [Текст]: Учеб. пособие для студ. напр. Подготовки 13.04.01 – Теплоэнергетика и теплотехника / И.Н. Попов, В.В. Володин, В.А. Глухарев – Саратов: Техно-Декор, 2016. - 60 с.
2. Быстрицкий Г.Ф. Энергосиловое оборудование промышленных предприятий [Текст]: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Г.Ф. Быстрицкий – М.: Академия, 2003. – 304 с.
3. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов [Текст]. – Введ. 1996–07–01. – М.: ЦПП, 1997. – 78 с.

Дата выдачи задания _____ Срок сдачи обучающемуся законченного проекта _____

Руководитель проекта _____ Задание принял к исполнению _____

Приложение В (обязательное)

Задания на выполнение курсового проекта

Для выполнения курсового проекта «Проектирование теплообменного аппарата» по дисциплине «Теплоэнергетическое, теплотехническое и теплотехнологическое оборудование» обучающегосям выдается номер варианта в котором заданы D_H – массовый расход нагреваемой воды, t'_H – температуры нагреваемой воды на входе в теплообменник, t''_H – температуры нагреваемой воды на выходе из теплообменника, t'_2 – температуры греющей воды на входе в теплообменник, t''_2 – температуры греющей воды на выходе из теплообменника, а также схема движения теплоносителей, конструкция трубной системы.

Таблица В.1 – Варианты заданий на выполнение курсового проекта

№ варианта	G_H , кг/с	t'_H , °С	t''_H , °С	t'_2 , °С	t''_2 , °С	Схема движения теплоносителей, трубная система
1	2	3	4	5	6	7
1	6,2	5	45	100	55	Схема движения - противоток. Трубки в трубной доске расположены по вершинам равностороннего треугольника. Трубки латунные.
2	6,2	10	55	110	65	
3	6,2	15	65	120	75	
4	6,2	20	60	95	70	
5	6,2	25	50	80	60	
6	10,8	5	45	100	55	Схема движения - противоток. Трубки в трубной доске расположены по концентрическим окружностям. Трубки латунные.
7	10,8	10	55	110	65	
8	10,8	15	65	120	75	
9	10,8	20	60	95	70	
10	10,8	25	50	80	60	
11	15,4	5	45	100	55	Схема движения - противоток. Трубки в трубной доске расположены по вершинам равностороннего треугольника. Трубки стальные.
12	15,4	10	55	110	65	
13	15,4	15	65	120	75	
14	15,4	20	60	95	70	
15	15,4	25	50	80	60	
16	29,3	5	45	100	55	Схема движения - противоток. Трубки в трубной доске расположены по концентрическим окружностям. Трубки стальные.
17	29,3	10	55	110	65	
18	29,3	15	65	120	75	
19	29,3	20	60	95	70	
20	29,3	25	50	80	60	
21	57,0	5	45	100	55	Схема движения - противоток. Трубки в трубной доске расположены по вершинам равностороннего треугольника. Трубки латунные.
22	57,0	10	55	110	65	
23	57,0	15	65	120	75	
24	57,0	20	60	95	70	
25	57,0	25	50	80	60	

Продолжение таблицы В.1

1	2	3	4	5	6	7
26	94,0	5	45	100	55	<p>Схема движения - противоток. Трубки в трубной доске расположены по концентрическим окружностям. Трубки стальные.</p>
27	94,0	10	55	110	65	
28	94,0	15	65	120	75	
29	94,0	20	60	95	70	
30	94,0	25	50	80	60	
31	168	5	45	100	55	<p>Схема движения - прямоток. Трубки в трубной доске расположены по вершинам равностороннего треугольника. Трубки латунные.</p>
32	168	10	55	110	65	
33	168	15	65	120	75	
34	168	20	60	95	70	
35	168	25	50	80	60	
36	40,0	5	45	100	55	<p>Схема движения - прямоток. Трубки в трубной доске расположены по концентрическим окружностям. Трубки латунные.</p>
37	40,0	10	55	110	65	
38	40,0	15	65	120	75	
39	40,0	20	60	95	70	
40	40,0	25	50	80	60	
41	108	5	45	100	55	<p>Схема движения - прямоток. Трубки в трубной доске расположены по вершинам равностороннего треугольника. Трубки стальные.</p>
42	108	10	55	110	65	
43	108	15	65	120	75	
44	108	20	60	95	70	
45	108	25	50	80	60	
46	154	5	45	100	55	<p>Схема движения - прямоток. Трубки в трубной доске расположены по концентрическим окружностям. Трубки стальные.</p>
47	154	10	55	110	65	
48	154	15	65	120	75	
49	154	20	60	95	70	
50	154	25	50	80	60	

Приложение Г
(справочное)

Материалы для теплообменных аппаратов

Таблица Г.1 – Виды сталей для изготовления тепломассообменных аппаратов
(допустимые напряжения сталей, коэффициенты теплопроводности)

Расчетная температура	Вст.3	20, 20К	09Г2С, 16ГС, 17ГС, 10Г2С1	10Г2	12ХМ	12МХ	15ХМ	15Х5М	15Х5М-У	08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т	03Х21Н21М4ГБ	03Х18Н11	03Х16Н15М3	06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ
	Допускаемое напряжение σ_0 , МПа													
20	140	147	183	180	147	147	155	146	240	240	80	160	153	147
100	134	142	160	160	146	146	154	141	235	207	73	133	140	138
150	131	139	154	154	146	146	153	138	230	200	71	125	130	130
200	126	136	148	148	145	145	152	134	225	193	71	120	120	124
Коэффициенты теплопроводности λ , Вт/(м·°С)														
	54	35	51	36	36	39	36	36	36	15	15	15,1	5	14

Для изготовления трубок трубной решетки применяют бесшовные холодно- и теплодеформированные трубы из коррозионно-стойкой стали общего назначения по ГОСТ 9941-81.

Таблица Г.2 – Размеры труб из коррозионно-стойкой стали по ГОСТ 9941-81
в миллиметрах

Наружный диаметр	Толщина стенки*	Наружный диаметр	Толщина стенки*
10-13	0,5-2,5	25; 27; 28	0,5-4,5
14-17	0,5-3,0	30; 32; 34-36	0,5-5,5
18-19	0,5-3,5	38; 40; 42; 45	0,5-6,0
20-24	0,5-4,0	48; 50	0,5-7,5

* В указанных пределах брать из ряда: 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,5; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5 мм.

Трубы изготавливают длиной не более 7 м.

Трубы тянутые и холоднокатаные из латуней, применяемые для теплообменных аппаратов изготавливают из латуни марок Л68, Л70, ЛО70-1, ЛОМш70-1, Л75мк, ЛА77-2, ЛАМш77-2 по ГОСТ 21646-2003.

Таблица Г.3 – Физические свойства латуней

Свойства материала	Л68	Л70	ЛО70-1	ЛОМш70-1	Л75мк	ЛА77-2	ЛАМш77-2
Модуль упругости, МПа	1,12	1,15	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02
Коэффициент температурного (линейного) расширения, 1/град	19	18,9	19,7	19	19,6	18,3	19,2
Коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·град)	113	121,4	117	117	117	113	134
Удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·град)	376,8	376,8	376,8	376,8	376,8	376,8	376,8

Диапазон температур 20° - 100 °С

Таблица Г.4 – Размеры труб из латуней

в миллиметрах

Наружный диаметр	Толщина стенки	Наружный диаметр	Толщина стенки
10; 11	0,8; 1,0	29	1,0; 1,5; 2,0
12-15	0,8; 1,0; 1,5	30; 32	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
16-23	0,8; 1,0; 1,5; 2,0	33	1,5
24; 25	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	35; 36; 38; 40	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
26; 28	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	45; 50	2,0; 2,5; 3,0

Трубы изготавливают мерной и кратной длиной от 1,5 до 12 м.

Для изготовления кожуха теплообменного аппарата применяют стальные электросварные прямошовные трубы по ГОСТ 10704-91

Таблица Г.5 – Размеры труб стальных электросварных прямошовных

в миллиметрах

№ п/п	D_V	S_{min}	S_{max}	D_H
1.	50	1,4	3,8	57/60
2.	65	1,4	5,5	76
3.	80	1,6	5,5	89
4.	100	1,8	5,5	108/114
5.	125	1,8	5,5	133/140
6.	150	1,8	8	159/168
7.	175	2	8	193,7
8.	200	2,5	9	219
9.	225	3	9	244,5
10.	250	3,5	9	273
11.	300	4	9	325
12.	350	4	10	377
13.	400	4	12	426
14.	450	5	12	478
15.	500	5	24	530
16.	600	7	20	630
17.	700	7	30	720
18.	800	7	30	820
19.	900	7	20	920
20.	1000	8	32	1020
21.	1200	9	20	1220
22.	1400	10	20	1420
23.	1600	10	20	1620

Стандартный ряд толщин стальных труб: 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 4,0; 4,5; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10; 11; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 28; 30; 32

Приложение Д
(справочное)

Фланцы сосудов и аппаратов по ГОСТ 28759.2-90

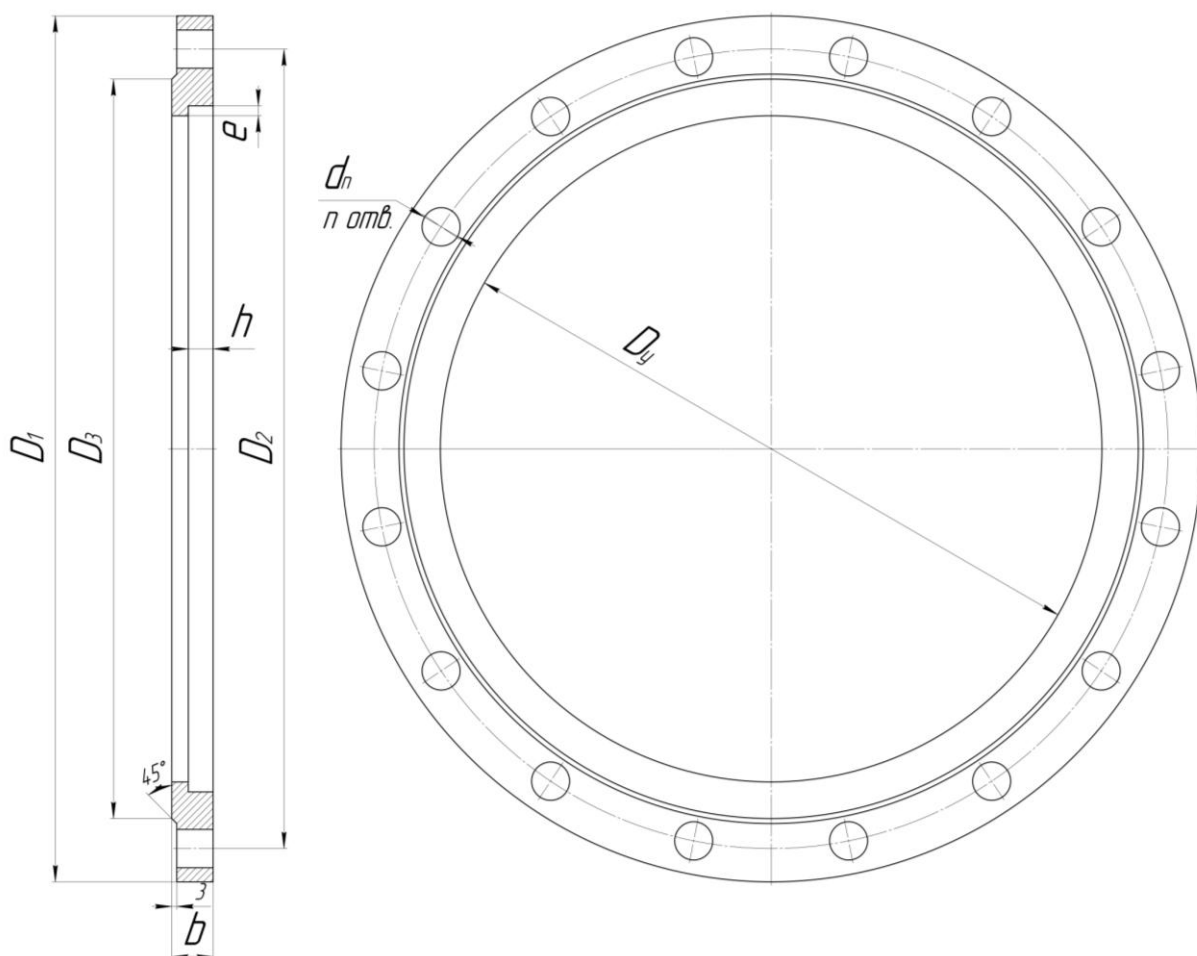


Рисунок Д.1 – Фланец сосудов и аппаратов, исполнение 1

Обозначение объекта спецификации: **Фланец 1-400-0,6-20 ГОСТ 28759.2-90**

вариант исполнения (1)

условный проход ($D_y = 400$ мм)

допустимое давление ($P = 0,6$ МПа)

материал – марка стали (сталь 20)

Фланец 1-400-1-16ГС ГОСТ 28759.2-90

вариант исполнения (1)

условный проход ($D_y = 400$ мм)

допустимое давление ($P = 1$ МПа)

материал – марка стали (сталь 16 ГС)

Таблица Д.1 – Размеры фланца на условное давление $P = 0,6$ МПа

в миллиметрах

№ П/П	D_y	D_1	D_2	D_3	b	h	e	d_n	d_b	n , шт
1.	400	520	480	444	25	15	6	23	M20	16
2.	450	570	530	494	25	15	8	23	M20	20
3.	500	620	580	544	25	15	8	23	M20	20
4.	550	670	630	594	25	15	8	23	M20	20
5.	600	720	680	644	30	15	8	23	M20	24
6.	650	770	730	694	30	15	8	23	M20	28
7.	700	820	780	744	35	15	8	23	M20	28
8.	800	920	880	842	35	15	8	23	M20	32
9.	900	1030	990	952	35	15	8	23	M20	36
10.	1000	1130	1090	1052	40	15	10	23	M20	36
11.	1100	1230	1190	1150	40	15	10	23	M20	40
12.	1200	1330	1290	1248	45	15	10	23	M20	44
13.	1300	1430	1390	1348	45	15	10	23	M20	48
14.	1400	1530	1490	1448	50	15	10	23	M20	52
15.	1500	1630	1590	1548	55	15	10	23	M20	56
16.	1600	1730	1690	1648	55	15	10	23	M20	60
17.	1700	1830	1790	1748	60	15	10	23	M20	64
18.	1800	1930	1890	1848	60	15	10	23	M20	68
19.	1900	2030	1990	1946	65	15	12	23	M20	68
20.	2000	2130	2090	2046	70	15	12	23	M20	72
21.	2200	2330	2290	2246	70	15	12	23	M20	80
22.	2400	2530	2490	2446	80	15	12	23	M20	88
23.	2600	2750	2705	2656	95	15	12	27	M24	88
24.	2800	2950	2905	2856	105	15	12	27	M24	92
25.	3000	3150	3105	3066	115	15	12	27	M24	100
26.	3200	3350	3305	3256	130	15	12	27	M24	108

Таблица Д.2 – Размеры фланца на условное давление $P = 1$ МПа

в миллиметрах

№ П/П	D_y	D_1	D_2	D_3	b	h	e	d_n	d_b	n , шт
1.	400	535	495	458	30	15	8	23	M20	20
2.	450	590	550	514	30	15	8	23	M20	24
3.	500	640	600	564	35	15	8	23	M20	24
4.	550	690	650	614	35	15	8	23	M20	28
5.	600	740	700	664	35	15	10	23	M20	28
6.	650	790	750	714	35	15	10	23	M20	32
7.	700	840	800	764	35	15	10	23	M20	32
8.	800	945	905	866	40	15	10	23	M20	40
9.	900	1045	1005	966	50	15	10	23	M20	40
10.	1000	1145	1105	1066	50	15	12	23	M20	44
11.	1100	1250	1210	1168	55	15	12	23	M20	52
12.	1200	1350	1310	1268	60	15	12	23	M20	56
13.	1300	1450	1410	1368	60	15	12	23	M20	60
14.	1400	1550	1510	1470	60	15	14	23	M20	68
15.	1500	1650	1610	1570	65	15	14	23	M20	68
16.	1600	1780	1730	1682	70	16	16	27	M24	68
17.	1700	1880	1830	1782	75	16	16	27	M24	80
18.	1800	1980	1930	1882	80	16	16	27	M24	84
19.	1900	2085	2035	1986	85	16	16	27	M24	84
20.	2000	2185	2135	2086	85	16	16	27	M24	84
21.	2200	2385	2335	2286	90	18	18	27	M24	88
22.	2400	2595	2540	2490	100	18	18	30	M27	92
23.	2600	2800	2745	2695	115	18	18	30	M27	96
24.	2800	3000	2945	2895	120	20	20	30	M27	108
25.	3000	3220	3160	3106	135	20	20	33	M30	96
26.	3200	3420	3360	3306	145	20	20	33	M30	104

Приложение Е
(справочное)

Фланцы соединительные по ГОСТ 12820-80

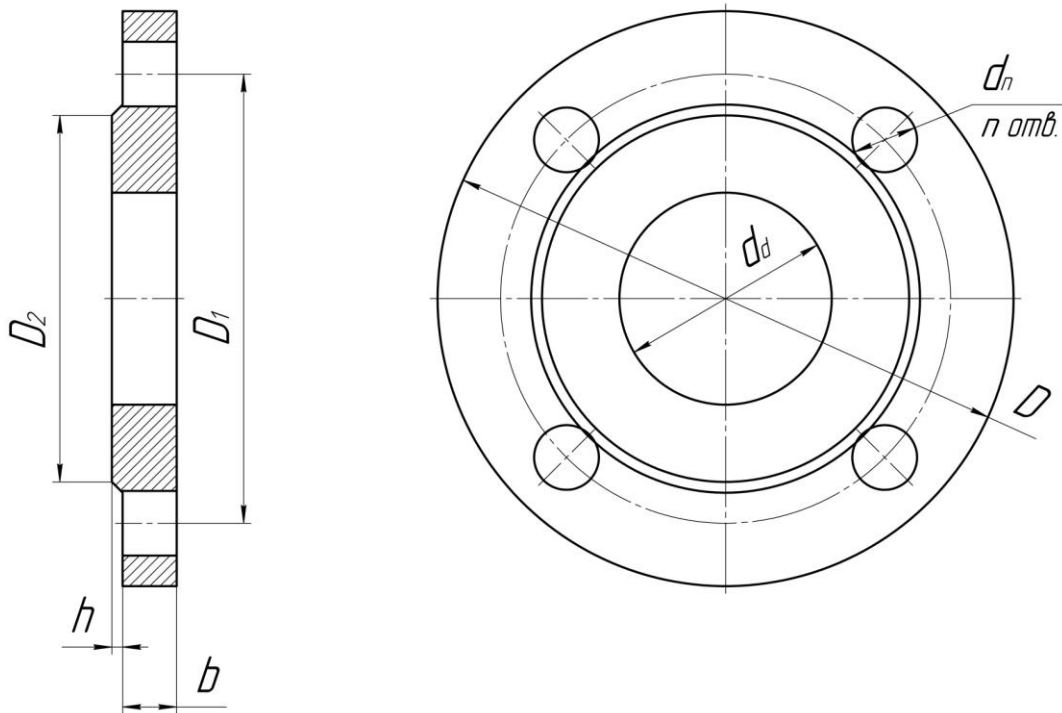


Рисунок Е.1 – Фланец плоский приварной, исполнение 1

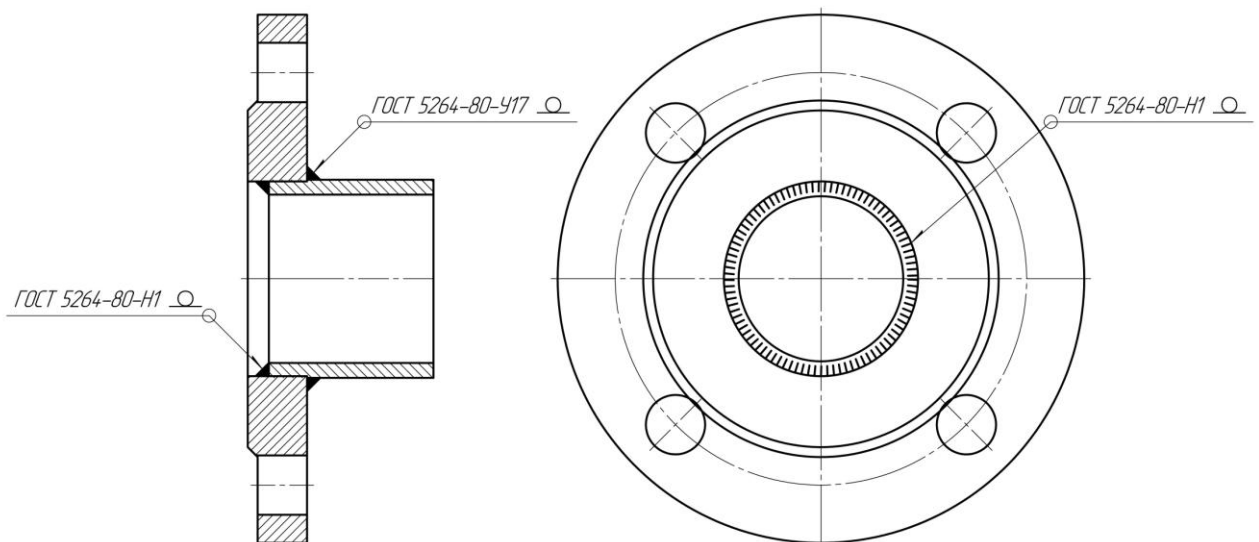


Рисунок Е.2 – Соединение фланца со штуцером

Обозначение объекта спецификации: **Фланец 1-50-6 ст. 25 ГОСТ 12820-80**

вариант исполнения (1)
 условный проход ($D_y = 50$ мм)
 допустимое давление ($P = 0,6$ МПа)
 материал – марка стали (сталь 25)

Фланец 1-50-10 ст. 25 ГОСТ 12820-80

вариант исполнения (1)
 условный проход ($D_y = 50$ мм)
 допустимое давление ($P = 1$ МПа)
 материал – марка стали (сталь 25)

Таблица Е.1 – Размеры фланца на условное давление $P = 0,6$ МПа

в миллиметрах

№ П/П	D_y	d_d	b	D	D_1	n , шт	d_n	D_2	h
1.	50	59	13	140	110	4	14	90	3
2.	65	78	13	160	130	4	14	110	3
3.	80	91	15	185	150	4	18	128	3
4.	100	116	15	205	170	4	18	148	3
5.	125	142	17	234	200	8	18	178	3
6.	150	170	17	260	225	8	18	202	3
7.	175	196	19	290	255	8	18	232	3
8.	200	222	19	315	280	8	18	258	3
9.	225	245	19	340	305	8	18	282	3
10.	250	273	20	370	335	12	18	312	3
11.	300	325	20	435	395	12	22	365	4
12.	350	377	22	485	445	12	22	415	4
13.	400	426	24	535	495	16	22	465	4
14.	450	480	24	590	550	16	22	520	4
15.	500	530	25	640	600	20	22	570	4
16.	600	630	25	755	705	20	26	670	5
17.	700	720	27	860	810	24	26	775	5
18.	800	820	27	975	920	24	30	880	5
19.	900	920	29	1075	1020	24	30	980	5
20.	1000	1020	31	1175	1120	28	30	1080	5
21.	1200	1220	34	1400	1340	32	33	1265	5
22.	1400	1420	43	1620	1560	36	36	1510	5
23.	1600	1620	48	1820	1760	40	36	1710	5

Таблица Е.2 – Размеры фланца на условное давление $P = 1$ МПа

в миллиметрах

№ П/П	D_y	d_d	b	D	D_1	n , шт	d_n	D_2	h
1.	50	59	15	160	125	4	18	102	3
2.	65	78	17	180	145	4	18	122	3
3.	80	91	17	195	160	8	18	133	3
4.	100	116	19	215	180	8	18	158	3
5.	125	142	21	245	210	8	18	184	3
6.	150	170	21	280	240	8	22	212	3
7.	175	196	21	310	270	8	22	242	3
8.	200	222	21	335	295	8	22	268	3
9.	225	245	21	365	325	8	22	295	3
10.	250	273	23	390	350	12	22	320	3
11.	300	325	24	440	400	12	22	370	4
12.	350	377	24	500	460	16	22	430	4
13.	400	426	26	565	515	16	26	482	4
14.	450	480	26	615	565	20	26	532	4
15.	500	530	28	670	620	20	26	585	4
16.	600	630	31	780	725	20	30	685	5
17.	700	720	34	895	840	24	30	800	5
18.	800	820	37	1010	950	24	33	905	5
19.	900	920	40	1110	1050	28	33	1005	5
20.	1000	1020	43	1220	1160	28	36	1110	5
21.	1200	1222	51	1455	1380	32	39	1330	5
22.	1400	1420	60	1675	1590	36	42	1530	5
23.	1600	1620	70	1915	1820	40	48	1750	5

Приложение К (справочное)

Схема присоединения теплообменного аппарата для горячего водоснабжения и отопления по СП 41–101–95.

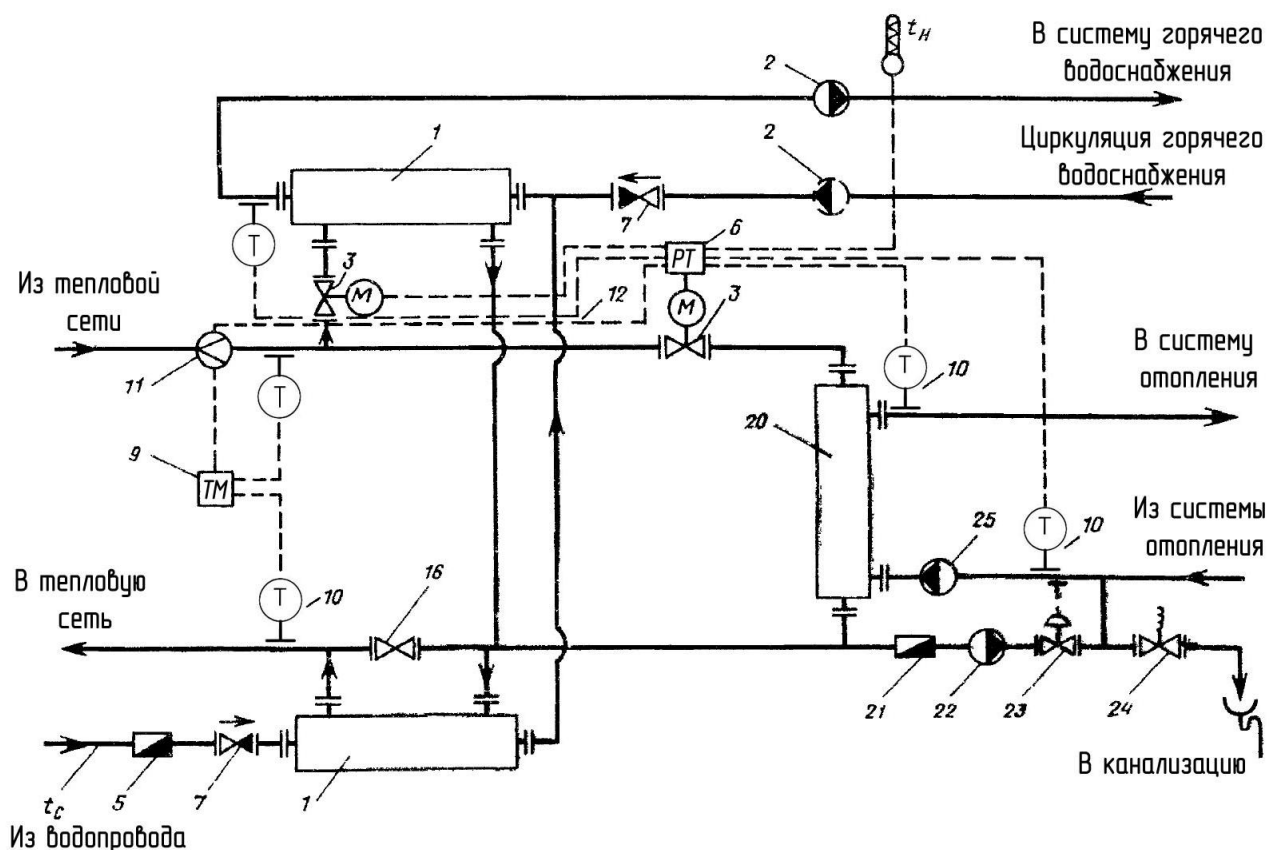


Рисунок К.1 – Двухступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения с независимым присоединением отопления в тепловом пункте:

1 - кожухотрубный теплообменный аппарат горячего водоснабжения; 2 – повысительно-циркуляционный насос горячего водоснабжения; 3 – регулирующий клапан с электроприводом; 4 – регулятор перепада давления; 5 – расходомер для холодной воды; 6 – регулятор подачи теплоты на отопление и горячее водоснабжение; 7 – обратный клапан; 8 – корректирующий подмешивающий насос; 9 – теплосчетчик; 10 – датчик температуры; 11 – датчик расхода воды; 12 – линия ограничения максимального расхода воды из тепловой сети на ввод; 16 – задвижка нормально закрытая; 20 - кожухотрубный теплообменный аппарат отопления; 21 – расходомер горячей воды; 22 – подпиточный насос отопления; 23 – регулятор подпитки; 24 – предохранительный клапан; 25 – циркуляционный насос отопления.