

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

Н.И. Савельев, П.М. Лукин

**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ  
АППАРАТОВ**

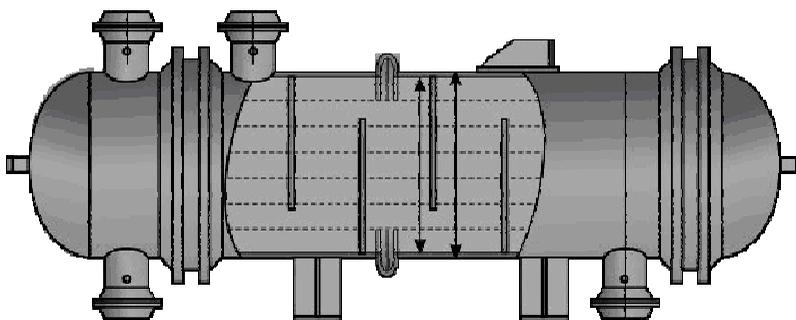
Учебное пособие

Чебоксары 2010

Н.И. Савельев П.М. Лукин

**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ  
АППАРАТОВ**

Учебное пособие



Чебоксары 2010

УДК 66.02  
С12

Рецензенты:

заместитель главного технолога ОАО «Химпром»,  
канд. техн. наук В. М. Филиппов;  
канд. хим. наук, доцент О. А. Колямшин

**Савельев Н.И.**

**С12** Расчет и проектирование кожухотрубчатых теплообменных аппаратов: учеб. пособие / Н.И. Савельев, П.М. Лукин. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та. 2010. – 80 с.

ISBN 5-7677-1432-2

Изложена методика выполнения тепловых, гидравлических и механических расчетов при проектировании кожухотрубчатых теплообменных аппаратов. Приведены конструктивные размеры стандартных теплообменных аппаратов и их основных элементов, необходимые для выполнения графической части курсовых и дипломных проектов. Даны примерные задания на курсовое проектирование по процессам химической технологии и защиты окружающей среды.

Для студентов III - V курсов химико-технологических и энергетических специальностей.

Отв. редактор канд. техн. наук, доцент Н.И. Савельев

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

ISBN 5-7677-1432-2

УДК 66.02  
© Савельев Н.И.,  
Лукин П.М., 2010

## Оглавление

|  |    |
|--|----|
| Предисловие.....   | 4  |
| 1. Общие сведения о кожухотрубчатых теплообменных аппаратах ...                              | 5  |
| 1.1. Классификация кожухотрубчатых теплообменных аппаратов                                   | 5  |
| 1.2. Основные параметры теплообменных аппаратов общего назначения .....                      | 10 |
| 1.3. Общая последовательность выполнения работы .....  | 10 |
| 2. Тепловые расчеты .....  | 13 |
| 2.1. Исходные данные .....   | 13 |
| 2.2. Типовые температурные схемы теплообменных процессов и средний температурный напор ..... | 14 |
| 2.3. Тепловой баланс теплообменных процессов .....   | 15 |
| 2.4. Предварительный расчет площади поверхности .....  | 17 |
| 2.5. Выбор стандартного теплообменного аппарата .....  | 18 |
| 2.6. Поверочный расчет выбранного теплообменника .....                                       | 22 |
| 3. Гидравлические расчеты .....  | 28 |
| 4. Механические расчеты .....  | 31 |
| 4.1. Расчет толщины стенок .....   | 31 |
| 4.2. Опоры .....   | 34 |
| 5. Конструкции и размеры аппаратов .....   | 39 |
| 5.1. Испарители по ГОСТ 15119-79 .....   | 39 |
| 5.2. Холодильники по ГОСТ 15120-79 .....   | 42 |
| 5.3. Конденсаторы многоходовые по ГОСТ 15121-79 .....  | 44 |
| 5.4. Теплообменники по ГОСТ 15122-79 .....   | 46 |
| 6. Конструкции и размеры фланцев .....   | 53 |
| 6.1. Фланцы соединительных частей трубопроводов .....  | 53 |
| 6.2. Фланцы соединительных частей аппаратов .....  | 58 |
| 7. Задания на проектирование .....   | 63 |
| 8. Рекомендации к оформлению проекта .....   | 73 |
| 8.1. Форма титульного листа .....  | 73 |
| 8.2. Структура пояснительной записки .....   | 74 |
| 8.3. Основные правила оформления записки .....   | 74 |
| 8.4. Состав графической части курсового проекта .....  | 75 |
| Список рекомендуемой литературы .....  | 79 |

## Предисловие

Для создания и поддержания температурного режима в химических, массообменных и других процессах химической технологии и защиты окружающей среды необходимо осуществлять подвод или отвод тепловой энергии от рабочей среды.

В промышленности для проведения таких процессов широко применяют кожухотрубчатые теплообменные аппараты, которые просты по конструкции, надежны в эксплуатации и могут иметь площадь поверхности теплообмена до  $1000 \text{ м}^2$ .

При разработке теплообменных аппаратов необходимо, как правило, решать следующие задачи:

1. Определение тепловой нагрузки на аппарат.
2. Обоснованный выбор теплоносителя, который будет двигаться по трубному пространству.
3. Предварительный проектный расчет необходимой поверхности теплообменника.
4. Выбор стандартного теплообменного аппарата и схемы движения теплоносителей через него.
5. Расчет кинетики теплопередачи в выбранном аппарате и проверка наличия необходимого запаса поверхности.
6. Гидравлический расчет теплообменника.
7. Конструирование теплообменного аппарата.

В учебном пособии приведены методики выполнения тепловых, гидравлических и основных механических расчетов. В ней представлены конструкции и таблицы базовых размеров стандартных испарителей, холодильников, конденсаторов, теплообменников, а также их опор, днищ и фланцев.

Общие требования к содержанию курсового проекта по процессам и аппаратам изложены в методических указаниях [1].

Расчетно-пояснительная записка к курсовому проекту является отчетом студента о выполненной работе, который необходимо оформлять в соответствии с требованиями межгосударственного стандарта [2].

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ

## 1.1. Классификация кожухотрубчатых теплообменных аппаратов

В кожухотрубчатых теплообменных аппаратах поверхность теплообмена создается трубками, которые закреплены в трубных досках и размещены в кожухе (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид горизонтального теплообменника

Один теплоноситель движется внутри трубок, а второй омывает их с внешней стороны (рис. 2).

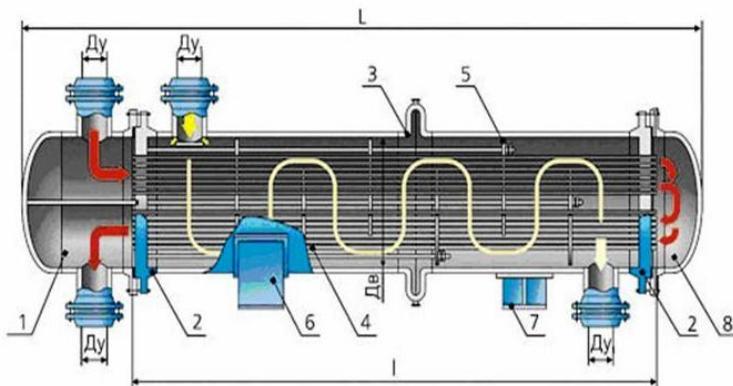


Рис. 2. Поперечный разрез двухходового теплообменника:

1 – крышка с перегородкой; 2 – трубная доска с фланцем; 3- компенсатор линзовый, 4 – трубы теплообменные; 5 – поперечные перегородки в межтрубном пространстве; 6 и 7 – опоры; 8 – крышка правая

В зависимости от назначения стандарты [3 – 6] предусматривают четыре вида кожухотрубчатых аппаратов, используемых с различными параметрами теплоносителей (табл. 1).

Вид аппарата обозначают первой буквой: И – испарители, К – конденсаторы, Х – холодильники, Т – теплообменники.

Конструктивное исполнение аппарата, обеспечивающее компенсацию температурных деформаций его элементов, указано второй буквой условного обозначения.

Примеры буквенных обозначений теплообменников.

ТН – теплообменник с неподвижными трубными решетками; ХК – холодильник с температурным компенсатором на кожухе; ТП – теплообменник с плавающей головкой; ИУ – испаритель с U-образными трубками.

Третья буква в условном обозначении показывает исполнение: Г – горизонтальное; В – вертикальное.

#### **Примеры условных обозначений теплообменных аппаратов**

Теплообменник с неподвижными трубными решетками горизонтальный:

$\frac{325 \text{ ТНГ} - \text{I} - 1,6 - \text{B9}}{20 \text{ Г6} - 4}$  по ГОСТ 15122-79.

Обозначения в числителе: 325 – диаметр кожуха, мм (диапазон от 159 до 1200 мм); ТНГ – теплообменник с неподвижными трубными решетками, горизонтальный; I – исполнение с неразъемными распределительными камерами (исполнение II – с распределительными камерами, имеющими съемные крышки); 1,6 – условное давление, МПа (ряд: 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0); B9 – материал кожуха и трубок по ГОСТ 15122-79.

Обозначения в знаменателе: 20 – наружный диаметр теплообменных труб в мм (ряд: 16, 20, 25, 38, 57); Г – гладкие трубки (Н – трубы с накаткой); 6 – длина труб, м (ряд: 1, 1,5, 2, 3, 4, 6, 9); 4 – число ходов по трубному пространству (ряд: 1, 2, 4, 6).

Теплообменник с плавающей головкой:

600 ТП-1,6-М1/20-6-2-У-И по ТУ 3612-023-00220302-01.

Здесь 600 – диаметр кожуха, мм; ТП – теплообменник с плавающей головкой, 1,6 – давление в кожухе, МПа; М1 – материал исполнения; 20 – диаметр теплообменных труб, мм; 6 – длина труб, м; 2 – двухходовой; У – климатическое исполнение; И – с деталями для крепления изоляции.

Схемы некоторых видов кожухотрубчатых аппаратов приведены на рис. 3-6 (перегородки в крышках многоходовых аппаратов не показаны).

Таблица 1

Область применения кожухотрубчатых теплообменных аппаратов со стальными трубами

| Тип аппарата              | Применение и нормы  |   |  |
|---------------------------|---|---|--|
|                           | в кожухе  | в трубах  |  |
| Испарители<br>ИНВ и ИКВ   | <b>Греющая среда</b><br>Температура греющей и испаряемой среды от $-30$ до $+350$ °С                                  | <b>Испаряемая среда</b><br>$P_y$ от 0,6 до 1 МПа  |  |
|                           | $P_y$ для ИН от 0,6 до 4 МПа<br>$P_y$ для ИК от 0,6 до 1,6 МПа  |   |  |
| Испарители<br>ИПГ и ИУГ   | <b>Испаряемая среда</b><br>Температура греющей и испаряемой среды от $-30$ до $+350$ °С                               | <b>Греющая среда</b><br>$P_y$ от 1,6 до 4 МПа   |  |
|                           | $P_y$ от 1 до 2,5 МПа   |   |  |
| Холодильники<br>ХН и ХК   | <b>Охлаждаемая среда</b><br>Температура от $-20$ до $+300$ °С   | <b>Охлаждающая среда</b><br>вода или другая нетоксичная<br>и невзрыво- и непожароопасная<br>среда |  |
|                           | $P_y$ для ХН от 0,6 до 4 МПа<br>$P_y$ для ХК от 0,6 до 1,6 МПа  |   |  |
| Конденсаторы<br>КН и КК   | <b>Конденсируемая среда</b><br>Температура от 0 до $+350$ °С  |   | Температура от $-20$ до $+60$ °С<br>$P_y$ до 0,6 МПа |
|                           | $P_y$ для КН от 0,6 до 2,5 МПа<br>$P_y$ для КК от 0,6 до 1,6 МПа  |   |  |
| Теплообменники<br>ТН и ТК | <b>Нагревание и охлаждение жидких и газообразных сред</b><br>Температура теплообмениваемых сред от $-70$ до $+350$ °С | $P_y$ от 0,6 до 1,6 МПа   |  |
|                           | $P_y$ для ТН от 0,6 до 2,5 МПа<br>$P_y$ для ТК от 0,6 до 1,6 МПа  |   |  |

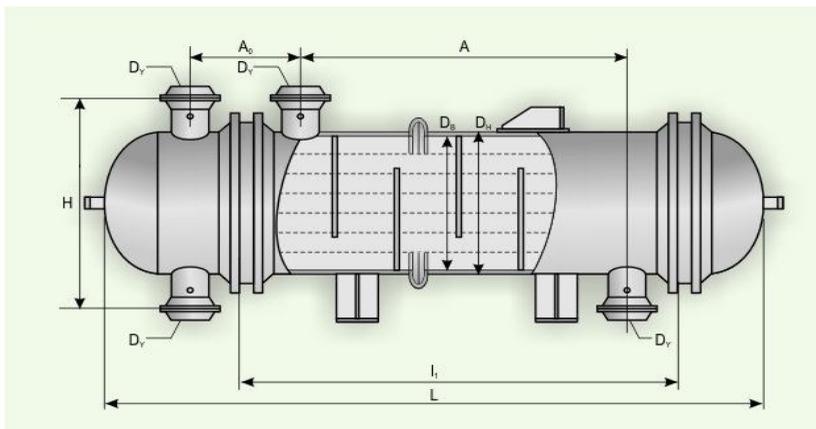


Рис. 3. Горизонтальный многоходовой теплообменник типа ТКГ с линзовым компенсатором на кожухе (ГОСТ 15122-79)

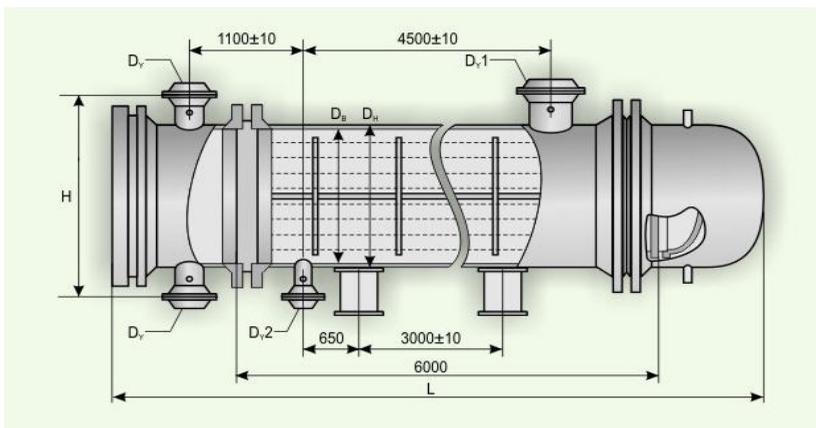


Рис. 4. Горизонтальный конденсатор типа КПГ с плавающей головкой и длиной труб 6000 мм (ГОСТ 14246-69, ТУ 3612-023-00220302-01)

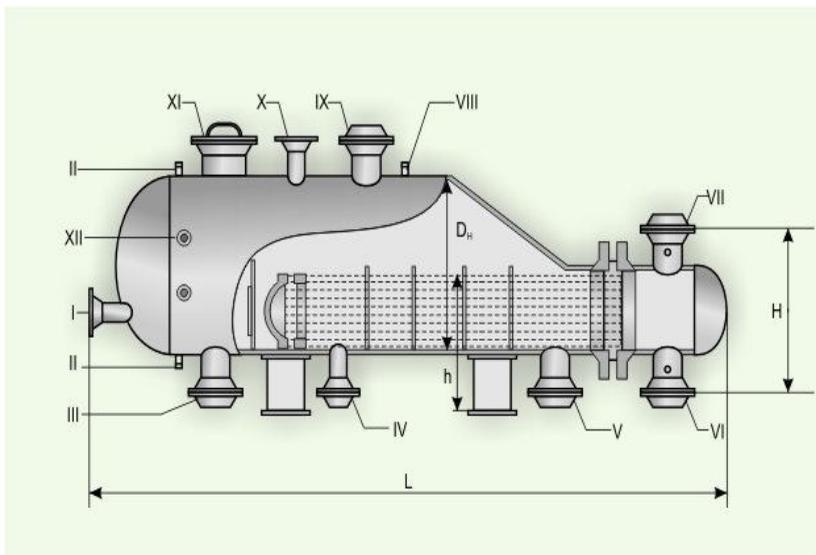


Рис. 5. Испаритель с паровым пространством с плавающей головкой типа ИПГ (ТУ 3612-013-00220302-99)

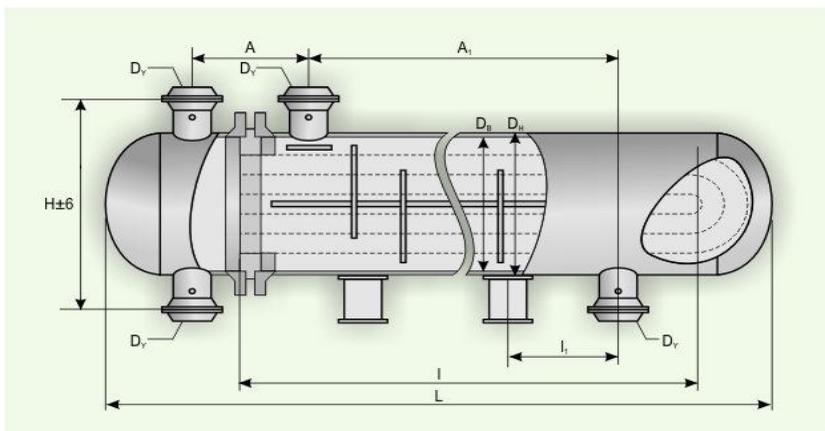


Рис. 6. Горизонтальный теплообменник с U-образным трубным пучком типа ТУГ (ГОСТ 14245-69)

## 1.2. Основные параметры теплообменных аппаратов общего назначения

Диаметр кожуха, мм:

наружный (из труб)

$D_n = 159, 273, 325, 426;$

внутренний (вальцованный)

$D_{вн} = 400, 600, 800, 1000, 1200.$

Длина теплообменной части труб, м:

$l_T = 1; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 6,0; 9,0.$

Площадь поверхности теплообмена,  $m^2$ :

$$F = \pi d_{cp} l_T n_{об}, \quad (1.1)$$

где  $d_{cp}$  – средний диаметр труб, м;  $l_T$  – длина теплообменных труб, м;  $n_{об}$  – общее число труб в теплообменнике.

## 1.3. Общая последовательность выполнения работы

**Этап 1.** Сбор данных о свойствах теплоносителей.

На первом этапе по справочной литературе находят сведения об основных свойствах теплоносителей:

- физические свойства (внешний вид, температура кристаллизации, кипения, вязкость, коэффициент поверхностного натяжения);
- теплофизические свойства (теплоемкость, удельная теплота парообразования, коэффициент теплопроводности);
- коррозионные свойства (скорость коррозии основных конструкционных материалов в среде теплоносителей при рабочих температурах);
- токсикологические свойства (предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны, в воде водоемов хозяйственного и рыбохозяйственного назначения);
- взрывопожароопасные свойства (температура вспышки, температура самовоспламенения, концентрационные пределы распространения пламени).

Все эти данные необходимы для последующего обоснованного выбора конструктивного исполнения аппарата, выполнения тепловых, гидравлических и механических расчетов, разработки мероприятий по охране труда и промышленной безопасности.

**Этап 2.** Выбор типа аппарата, разработка схемы соединения теплообменника трубопроводами с другим оборудованием.

На основании полученного задания выбирают тип аппарата (испаритель, конденсатор, холодильник или теплообменник) и

нормативный документ, в котором приводятся его технические показатели.

Принимают техническое решение о вертикальном или горизонтальном размещении теплообменника, о направлении движения теплоносителей по трубному и межтрубному пространствам. При этом следует выполнять следующие правила:

- теплоносители, которые только нагреваются или охлаждаются (нет испарения или конденсации), должны двигаться в теплообменнике в турбулентном режиме ( $Re_{тр} > 10^4$ ,  $Re_{м.т} > 10^3$ );

- если ни один из теплоносителей не испаряется или не конденсируется, они должны двигаться, как правило, противотоком;

- в трубное пространство, которое поддается механической чистке, следует подавать теплоноситель, дающий отложения на теплообменной поверхности;

- направление движения теплоносителей по возможности должно совпадать с направлением их естественной конвекции;

- при пуске и эксплуатации в теплообменнике не должны образовываться газовые «мешки», застойные зоны;

- при подготовке оборудования к ремонту из теплообменника теплоносители должны полностью удаляться.

Разрабатывают принципиальную технологическую схему соединения теплообменника трубопроводами с емкостями, насосами, реакторами, массообменными аппаратами с указанием контрольных точек технологического контроля теплообменного процесса.

**Этап 3.** Определение необходимых технологических и конструктивных параметров.

На этом этапе выполняют предварительный тепловой расчет, в ходе которого:

- определяют температурную схему теплообменного процесса;

- по уравнениям теплового баланса определяют расходы теплоносителей и их температуры на входе и выходе из теплообменника;

- вычисляют средний температурный напор, находят средние температуры теплоносителей;

- по приближенному значению коэффициента теплопередачи для данного вида теплообмена находят ориентировочный размер площади поверхности теплообмена;

– определяют, при необходимости, число труб в одном ходе для обеспечения турбулентного режима движения теплоносителя.

**Этап 4.** Подбор стандартного теплообменного аппарата.

По нормативному документу выбирают стандартный теплообменный аппарат, который соответствует найденным параметрам, и выписывают его конструктивные параметры. При необходимости используют группу одинаковых теплообменников, соединенных последовательно или параллельно.

**Этап 5.** Поверочный расчет выбранного аппарата.

Выполняют тепловые, гидравлические и механические расчеты. При выполнении тепловых расчетов:

– по справочной литературе находят теплофизические свойства теплоносителей при их средних температурах;

– рассчитывают коэффициент теплопередачи или удельный тепловой поток;

– определяют избыток фактической площади теплообменной поверхности по отношению к рассчитанному значению.

**Этап 6.** Оформление расчетно-пояснительной записки, проектирование теплообменного аппарата и аттестация курсового проекта. Правила оформления и аттестации курсового проекта представлены в методических указаниях [1].

### **Вопросы для самопроверки**

1. Назовите четыре вида кожухотрубчатых аппаратов по технологическому назначению.
2. Можно ли использовать теплообменник для конденсации паров воды или органических веществ?
3. Какая среда должна подаваться в трубное пространство холодильников и конденсаторов?
4. Назовите основные технические параметры кожухотрубчатых аппаратов общего назначения.
5. Данные о каких свойствах теплоносителей необходимо собрать на 1-м этапе проектирования?
6. Какой теплоноситель предпочтительно подавать в трубное пространство?
7. Какой результат считается положительным при выполнении поверочного теплового расчета выбранного теплообменного аппарата?

## 2. ТЕПЛОВЫЕ РАСЧЕТЫ

### 2.1. Исходные данные

Для расчета необходимой поверхности теплообмена между относительно «горячим» и «холодным» теплоносителями или длительности периодических процессов предварительно необходимо найти значения 10 базовых величин:

- начальные и конечные температуры теплоносителей (4 значения);
- средние температуры теплоносителей (2 значения);
- средний температурный напор (1 значение);
- массовые расходы горячего  $G_r$  и холодного  $G_x$  теплоносителей, а в периодических процессах – их массы  $M_i$  (2 значения);
- тепловой поток от горячего теплоносителя к холодному, тепловая нагрузка  $N$  (1 значение).

Некоторые из этих данных содержатся в задании на курсовое проектирование. Недостающие значения вычисляют по уравнениям теплового баланса (2.5) – (2.9) с учетом реальной температурной схемы процесса. Полученные результаты отображают на расчетной температурной схеме (рис. 7).

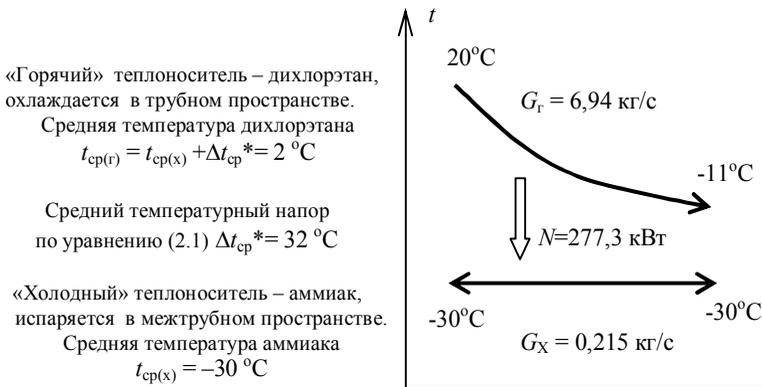
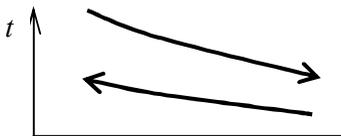
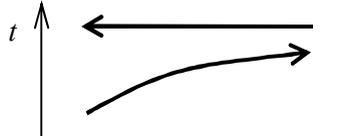
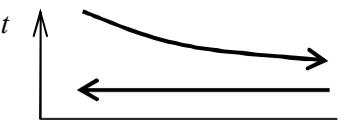
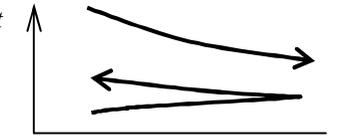
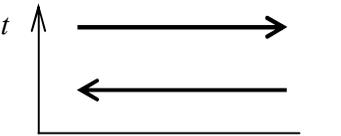


Рис. 7. Пример температурной схемы процесса охлаждения дихлорэтана испаряющимся аммиаком с цифровыми значениями 10 величин

## 2.2. Типовые температурные схемы теплообменных процессов и средний температурный напор

| Тип А. Температурные схемы без фазового превращения обоих теплоносителей  | Тип Б. Температурные схемы с фазовым превращением одного или обоих теплоносителей   |
|---|---|
| <p><b>А1.</b> Противоточное движение теплоносителей</p>                | <p><b>Б1.</b> Нагрев холодного потока конденсирующимся паром</p>   |
| <p><b>А2.</b> Прямоточное движение теплоносителей</p>                  | <p><b>Б2.</b> Испарение жидкости охлаждающимся теплоносителем</p>  |
| <p><b>А3.</b> Смешанное движение одного или обоих теплоносителей</p>  | <p><b>Б3.</b> Испарение жидкости конденсирующимся паром</p>       |

Средний температурный напор вычисляют по уравнениям

$$\Delta t_{\text{cp}}^* = \varepsilon_{\Delta t} \frac{\Delta t_a^* - \Delta t_b^*}{\ln(\Delta t_a^* / \Delta t_b^*)} = \varepsilon_{\Delta t} \frac{\Delta t_b^* - \Delta t_a^*}{\ln(\Delta t_b^* / \Delta t_a^*)} \quad \text{при} \quad \Delta t_a^* \neq \Delta t_b^*; \quad (2.1)$$

$$\Delta t_{\text{cp}}^* = \varepsilon_{\Delta t} \frac{\Delta t_a^* + \Delta t_b^*}{2} \quad \text{при} \quad 0,5 < \frac{\Delta t_a^*}{\Delta t_b^*} < 2,0,$$

где  $\Delta t_a^* = (t_{\text{ар}} - t_{\text{ах}})$ ,  $\Delta t_b^* = (t_{\text{бр}} - t_{\text{бх}})$  – температурные напоры на стороне «а» и на стороне «б» теплообменника;  $\varepsilon_{\Delta t}$  – коэффициент учета уменьшения температурного напора в многоходовых теплообменниках для схем типа А3.

Поправочный коэффициент  $\varepsilon_{\Delta t}$  для многоходовых теплообменников находят, как правило, по номограммам [7. С.560].

Вначале вычисляют безразмерные параметры:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad \text{и} \quad P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}, \quad (2.2)$$

где  $t_1$  и  $t_2$  – начальная и конечная температура теплоносителя в межтрубном пространстве;  $T_1$  и  $T_2$  – то же другого теплоносителя в трубном пространстве, °С.

Затем по номограмме (рис. 8) определяют значение  $\varepsilon_{\Delta t}$ .

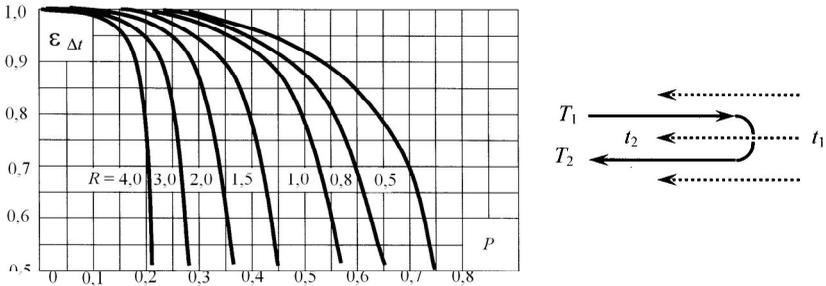


Рис. 8. Уменьшение среднего температурного напора в многоходовых по трубному пространству теплообменниках

Среднее значение температуры «горячего» (г) и «холодного» (х) теплоносителей вычисляют по соотношениям

$$t_{\text{cp}} = 0,5(t_a + t_6), \quad (2.3)$$

$$t_{\text{cp}(r)} - t_{\text{cp}(x)} = \Delta t_{\text{cp}}^*. \quad (2.4)$$

По формуле (2.3) находят значение средней температуры теплоносителя, у которого абсолютная разница значений температур на входе и выходе из теплообменника  $|t_a - t_6|$  имеет меньшее значение. По формуле (2.4) после необходимого преобразования вычисляют среднее значение температуры второго теплоносителя.

### 2.3. Тепловой баланс теплообменных процессов

Общее уравнение теплового баланса, кВт, в интегральной форме имеет вид

$$\Sigma N_{\text{п}} - \Sigma N_{\text{р}} = \frac{\Sigma M_i c_i \Delta t_i \pm \Delta M r x \pm \delta M \Delta H}{\Delta \tau}, \quad (2.5)$$

где  $N$  – непрерывные тепловые потоки, кВт;  $M_i$  – масса аппарата, реакционной массы, теплоносителя, кг;  $c_i$  – теплоемкость  $i$ -й части системы, кДж/(кг·К);  $\Delta t_i = (t_{\text{к}} - t_{\text{н}})_i$  – разница между конечным и начальным значениям температуры  $i$ -й части системы, град;  $\Delta M$  – масса вещества, которое испарилось (знак плюс) или сконденсировалось (знак минус), кг;  $r$  – удельная теплота парообразования, кДж/кг;  $x$  – степень сухости пара;  $\delta M$  – масса вещества, с которой произошли физико-химические процессы, кг;  $\Delta H$  – удельный тепловой эффект физико-химических процессов (теплота гидратации, кристаллизации и др.), кДж/кг;  $\Delta \tau$  – длительность основной части периодического процесса, с.

В непрерывных стационарных процессах правая часть уравнения (2.5) равна нулю.

Отдельные слагаемые левой части уравнения (2.5) вычисляют по уравнениям (2.6) – (2.9), кВт:

– нагревание или охлаждение теплоносителя

$$N_1 = G_1 c_1 |t_{\text{а}} - t_{\text{б}}|; \quad (2.6)$$

– испарение или конденсация теплоносителя

$$N_2 = G_2 r_2 x_2; \quad (2.7)$$

– физико-химические превращения

$$N_3 = \delta G_3 \Delta H_3; \quad (2.8)$$

– тепловые потери или потери холода

$$N_{\text{п}} = \alpha_{\text{п}} F_{\text{п}} \Delta t_{\text{п}}^*, \quad (2.9)$$

где  $G$  – массовый расход теплоносителя, кг/с;  $\alpha_{\text{п}}$  – коэффициент теплоотдачи от поверхности аппаратов в окружающий воздух, Вт/(м<sup>2</sup>·К),  $\alpha_{\text{п}} = 9,74 + 0,07 \Delta t_{\text{п}}^*$ ;  $\Delta t_{\text{п}}^*$  – разница между температурой внешней поверхности теплоизоляции и окружающей среды, град;  $F_{\text{п}}$  – площадь внешней поверхности аппарата, м<sup>2</sup>.

При проектировании толщину слоя теплоизоляции  $\delta_{\text{из}}$  выбирают так, чтобы температура внешней поверхности теплоизо-

ляции аппарата  $t_{и}$  не превышала, как правило,  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а удельный поток тепловых потерь находился на уровне  $q_{п} \leq 500\text{ Вт/м}^2$ .

$$\delta_{из} \geq \lambda_{из}(t_{к} - t_{и})/q_{п}, \quad (2.10)$$

где  $\lambda_{из}$  – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$ ;  $(t_{к} - t_{и})$  – разница между значениями температуры корпуса аппарата и внешней поверхности теплоизоляции, град.

На этапе выполнения предварительного расчета, когда габаритные размеры теплообменника и площадь внешней поверхности аппарата неизвестны, тепловые потери не учитывают.

#### 2.4. Предварительный расчет площади поверхности

Необходимую площадь поверхности,  $\text{м}^2$ , теплообменника вычисляют по основному уравнению теплообмена:

$$F = \frac{1000N}{K\Delta t_{cp}} \quad \text{или} \quad F = \frac{1000N}{q}, \quad (2.11)$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ;  $q$  – удельный тепловой поток,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

Коэффициент теплопередачи рассчитывают по уравнению аддитивности термических сопротивлений

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_{г}} + r_{г} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + r_{х} + \frac{1}{\alpha_{х}}. \quad (2.12)$$

В уравнении (2.12) коэффициенты теплоотдачи  $\alpha$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ , в первом приближении оценивают по соотношению

$$\alpha \approx \frac{\lambda}{\delta_l}, \quad (2.13)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности среды,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;  $\delta_l$  – условная толщина теплового пограничного слоя, м.

При конденсации паров значение  $\lambda$  берут для образующегося конденсата, жидкости.

Условная толщина теплового пограничного слоя  $\delta_l$  зависит от вида теплоотдачи, режима движения и других факторов (табл. 2).

Таблица 2

Условная толщина теплового пограничного слоя

| Вид теплоотдачи    | Условия процесса                  | $\delta_t \cdot 10^3, \text{ м}$ |
|--------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Нагрев, охлаждение | Движение потока внутри труб       | $\sim 0,3$                       |
|                    | Поперечное обтекание труб снаружи | $\sim 0,2$                       |
| Конденсация паров  | При отсутствии инертных газов     | $\sim 0,05$                      |
|                    | В присутствии инертных газов      | $\sim 0,2$                       |
| Кипение жидкостей  | Докритический режим               | $\sim 0,3$                       |

Значения термических сопротивлений слоев загрязнений на стенке  $r_i$  и самой стенки  $r_{ст} = \delta_{ст} / \lambda_{ст}$  в первом приближении приведены в табл. 3.

Таблица 3

Примерные значения термических сопротивлений

| Объект                 | Теплоноситель или материал стенки                          | $r \cdot 10^3, \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ |
|------------------------|--|--|
| Слой загрязнения       | Оборотная вода   | $\sim 0,50$  |
|                        | Рассол, органические жидкости, водяной пар                 | $\sim 0,17$  |
|                        | Пары органических веществ, хладонов, дистиллированная вода | $\sim 0,08$  |
|                        | Вода загрязненная, нефтепродукты сырые                     | $\sim 0,70$  |
|                        | Воздух   | $\sim 0,35$  |
| Теплопередающая стенка | Нержавеющая сталь  | $\sim 0,14$  |
|                        | Углеродистая сталь   | $\sim 0,06$  |
|                        | Латунь   | $\sim 0,02$  |

## 2.5. Выбор стандартного теплообменного аппарата

Для обеспечения интенсивного теплообмена и уменьшения скорости образования отложений режим движения жидких или газообразных теплоносителей должен быть турбулентным, т.е. должны выполняться условия:

- при продольном течении в трубках

$$\text{Re}_{\text{тр}} = \frac{W_{\text{тр}} d_{\text{вн}} \rho_{\text{тр}}}{\mu_{\text{тр}}} \geq 10\,000; \quad (2.14)$$

- при поперечном обтекании труб

$$\text{Re}_{\text{мт}} = \frac{W_{\text{м}} d_{\text{нар}} \rho_{\text{м}}}{\mu_{\text{м}}} \geq 1000. \quad (2.15)$$

Эти условия определяют необходимую площадь проходного сечения трубного  $S_{\text{тр}}$  и межтрубного  $S_{\text{мт}}$  пространств теплообменника,  $\text{м}^2$ :

$$S_{\text{тр}} \leq \frac{G_{\text{тр}}}{\rho_{\text{тр}} W_{\text{тр}}} = \frac{G_{\text{тр}}}{\mu_{\text{тр}}} \frac{d_{\text{вн}}}{10^4}, \quad (2.16)$$

$$S_{\text{мт}} \leq \frac{G_{\text{м}}}{\rho_{\text{м}} W_{\text{м}}} = \frac{G_{\text{м}}}{\mu_{\text{м}}} \frac{d_{\text{нар}}}{10^3}, \quad (2.17)$$

где  $d_{\text{вн}}$  и  $d_{\text{нар}}$  – внутренний и наружный диаметры теплообменных труб,  $\text{м}$ ;  $\mu$  – динамический коэффициент вязкости,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;  $W$  – скорость теплоносителя,  $\text{м}/\text{с}$ .

Необходимые площади проходных сечений в случае температурных схем типа А1 – А3 вычисляют для обоих теплоносителей, в случае температурных схем типа Б1 и Б2 – одного теплоносителя, который нагревается или охлаждается. При реализации температурной схемы типа Б3 такие расчеты не выполняют.

На основе полученных данных по табл. 4 или 5 выбирают стандартный аппарат или группу аппаратов, соединенных потоками теплоносителей последовательно или параллельно (рис. 9).

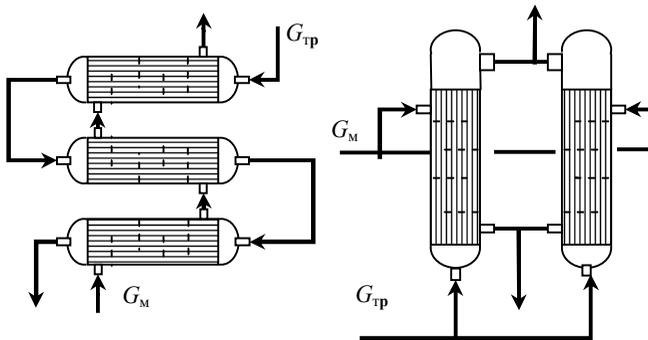


Рис. 9. Примеры схем последовательной и параллельной работы кожухотрубчатых теплообменных аппаратов

Таблица 4

Основные характеристики теплообменников ТН, ТК и холодильников ХН, ХК с трубами 25×2 мм  
(ГОСТ 15118-79, ГОСТ 15120-79, ГОСТ 12122-79).

| Диаметр кожуха<br>внутренний,<br>$D_{вн}$ , мм | Общее<br>число<br>труб | Площадь поверхности теплообмена $F$ , м <sup>2</sup> ,<br>при длине труб, м |     |      |      |      |     |     | Площадь проходного<br>сечения, м <sup>2</sup> |                  |                       | Число<br>рядов труб<br>в пучке, шт. | Расстояние<br>между перего-<br>родками, мм |
|--|------------------------|---|-----|------|------|------|-----|-----|---|------------------|-----------------------|-------------------------------------|--|
|  |                        | 1,0   | 1,5 | 2,0  | 3,0  | 4,0  | 6,0 | 9,0 | $S_T \cdot 10^2$                              | $S_M \cdot 10^3$ | $S_{в.п.} \cdot 10^3$ |                                     |  |
| <b>для одноходовых аппаратов</b>               |                        |   |     |      |      |      |     |     |   |                  |                       |                                     |  |
| 159*   | 13                     | 1,0   | 1,5 | 2,0  | 3,0  | -    | -   | -   | 0,5   | 0,8              | 0,4                   | 5                                   | 100  |
| 273*   | 37                     | 3,0   | 4,5 | 6,0  | 9,0  | -    | -   | -   | 1,3   | 1,1              | 0,9                   | 7                                   | 130  |
| 325*   | 62                     | -   | 7,5 | 10,0 | 14,5 | 19,5 | -   | -   | 2,1   | 2,9              | 1,3                   | 9                                   | 180  |
| 400  | 111                    | -   | -   | 17   | 26   | 35   | 52  | -   | 3,8   | 3,1              | 2,0                   | 11                                  | 250  |
| 600  | 257                    | -   | -   | 40   | 61   | 85   | 121 | -   | 8,9   | 5,3              | 4,0                   | 17                                  | 300  |
| 800  | 466                    | -   | -   | 73   | 109  | 146  | 219 | 329 | 16,1  | 7,9              | 6,9                   | 23                                  | 350  |
| 1000   | 747                    | -   | -   | -    | 176  | 235  | 352 | 528 | 25,9  | 14,3             | 10,6                  | 29                                  | 520  |
| 1200   | 1083                   | -   | -   | -    | -    | 340  | 510 | 765 | 37,5  | 17,9             | 16,4                  | 35                                  | 550  |
| <b>для двухходовых аппаратов</b>               |                        |   |     |      |      |      |     |     |   |                  |                       |                                     |  |
| 325*   | 56                     | -   | 6,5 | 9,0  | 13,0 | 17,5 | -   | -   | 1,0   | 1,5              | 1,3                   | 8                                   | 180  |
| 400  | 100                    | -   | -   | 16   | 24   | 31   | 47  | -   | 1,7   | 2,5              | 2,0                   | 10                                  | 250  |
| 600  | 240                    | -   | -   | 38   | 57   | 75   | 113 | -   | 4,2   | 4,5              | 4,0                   | 16                                  | 300  |
| 800  | 442                    | -   | -   | 69   | 104  | 139  | 208 | 312 | 7,7   | 7,0              | 6,5                   | 22                                  | 350  |
| 1000   | 718                    | -   | -   | -    | 169  | 226  | 338 | 507 | 12,4  | 13,0             | 10,6                  | 28                                  | 520  |
| 1200   | 1048                   | -   | -   | -    | -    | 329  | 494 | 740 | 17,9  | 16,5             | 16,4                  | 34                                  | 550  |
| <b>для четырехходовых аппаратов</b>            |                        |   |     |      |      |      |     |     |   |                  |                       |                                     |  |
| 600  | 240                    | -   | -   | 32   | 49   | 65   | 97  | -   | 1,8   | 4,5              | 4,0                   | 14                                  | 300  |
| 800  | 442                    | -   | -   | 63   | 95   | 127  | 190 | 285 | 3,0   | 7,0              | 6,5                   | 20                                  | 350  |
| 1000   | 718                    | -   | -   | -    | 157  | 209  | 314 | 471 | 5,5   | 13,0             | 10,6                  | 26                                  | 520  |
| 1200   | 1048                   | -   | -   | -    | -    | 310  | 464 | 697 | 8,4   | 16,5             | 16,4                  | 32                                  | 550  |
| <b>для шестиходовых аппаратов</b>              |                        |   |     |      |      |      |     |     |   |                  |                       |                                     |  |
| 600  | 240                    | -   | -   | 31   | 46   | 61   | 91  | -   | 1,1   | 4,5              | 3,7                   | 14                                  | 300  |
| 800  | 442                    | -   | -   | 60   | 90   | 121  | 181 | 271 | 2,2   | 7,0              | 7,0                   | 20                                  | 350  |
| 1000   | 718                    | -   | -   | -    | 151  | 202  | 302 | 454 | 3,6   | 13,0             | 10,2                  | 26                                  | 520  |
| 1200   | 1048                   | -   | -   | -    | -    | 301  | 451 | 677 | 5,2   | 16,5             | 14,2                  | 32                                  | 550  |

\* Диаметр кожуха наружный (изготовление из труб)

Таблица 5

Основные характеристики испарителей ИН, ИК и конденсаторов КН, КК с трубами 25×2 мм (ГОСТ 15119-79, ГОСТ 15121-79)

| Диаметр кожуха внутренних, $D_{вн}$ , мм | Число теплообменных труб |          | Площадь поверхности теплообмена $F$ , м <sup>2</sup> , при длине труб (по $d_{нар}$ ) |     |     |     | Типы аппаратов         | Площадь проходного сечения, м <sup>2</sup> |   | Расстояние по диагонали до хорды сегмента, мм | Допускаемое значение разности температур кожуха и труб для ТН, ХН, КН, ИН, °С |
|--|--------------------------|----------|---|-----|-----|-----|------------------------|--|---|---|---|
|  | общее                    | на 1 ход | 2   | 3   | 4   | 6   |                        | по трубам $S_T \cdot 10^2$                 | в вырезе перегородки $S_{в.п} \cdot 10^2$ |   |   |
| <b>одноходовых аппаратов</b>             |                          |          |   |     |     |     |                        |  |   |   |   |
| 600                                      | 261 (279)                | 261      | 40  | 61  | 81  | -   | Испарители<br>ИН, ИК   | 9  | 4,9                                       | 111   | 40  |
| 800                                      | 473 (507)                | 473      | 74  | 112 | 150 | -   |                        | 16,7                                       | 7,7                                       | 166   | 40  |
| 1000                                     | 783 (813)                | 783      | 121   | 182 | 244 | -   |                        | 27   | 12,1                                      | 194   | 50  |
| 1200                                     | 1125 (1175)              | 1125     | -   | 260 | 348 | -   |                        | 39   | 16,8                                      | 222   | 60  |
| <b>двухходовых аппаратов</b>             |                          |          |   |     |     |     |                        |  |   |   |   |
| 600                                      | 244 (262)                | 122      | -   | 57  | 76  | 114 | Конденсаторы<br>КН, КК | 4,2  | 4,9                                       | 111   | 40  |
| 800                                      | 450 (484)                | 225      | -   | 106 | 142 | 212 |                        | 7,8  | 7,7                                       | 166   | 40  |
| 1000                                     | 754 (784)                | 377      | -   | 175 | 234 | 353 |                        | 13,1                                       | 12,1                                      | 194   | 50  |
| 1200                                     | 1090                     | 545      | -   | -   | 338 | 509 |                        | 18,9                                       | 16,8                                      | 222   | 60  |
| <b>четырёхходовых аппаратов</b>          |                          |          |   |     |     |     |                        |  |   |   |   |
| 600                                      | 210 (228)                | 52,5     | -   | 49  | 65  | 98  | Конденсаторы<br>КН, КК | 1,8  | 4,9                                       | 111   | 40  |
| 800                                      | 408 (442)                | 102      | -   | 96  | 128 | 193 |                        | 3,1  | 7,7                                       | 166   | 40  |
| 1000                                     | 702 (732)                | 175,5    | -   | 163 | 218 | 329 |                        | 6,0  | 12,1                                      | 194   | 50  |
| 1200                                     | 1028                     | 257      | -   | -   | 318 | 479 |                        | 8,5  | 16,8                                      | 222   | 60  |
| <b>шестиходовых аппаратов</b>            |                          |          |   |     |     |     |                        |  |   |   |   |
| 600                                      | 198 (216)                | 33       | -   | 46  | 62  | 93  | Конденсаторы<br>КН, КК | 1,14                                       | 4,9                                       | 166   | 40  |
| 800                                      | 392 (426)                | 65,3     | -   | 93  | 123 | 185 |                        | 2,2  | 7,7                                       | 194   | 40  |
| 1000                                     | 678 (708)                | 113      | -   | 160 | 213 | 319 |                        | 3,8  | 12,1                                      | 250   | 50  |
| 1200                                     | 1000                     | 166,6    | -   | -   | 314 | 471 |                        | 5,7  | 16,8                                      | 305   | 60  |

Примечания:

1. В скобках указано общее количество труб для случая, когда нет отбойников и трубы добавлены с двух сторон (см. ГОСТ 15118-79).
2. Расстояние по диагонали до хорды сегмента приведены для теплообменников и холодильников.

## 2.6. Поверочный расчет выбранного теплообменника

На данном этапе вначале вычисляют точные значения коэффициентов теплоотдачи  $\alpha_t$ , с учетом конкретных гидродинамических условий процесса передачи теплоты и теплофизических свойств теплоносителей. Необходимые расчетные уравнения выбирают из перечня, который приведен в [7. С.157].

Затем рассчитывают значения коэффициента теплопередачи  $K_t$ , удельного теплового потока  $q_t$ , необходимую площадь поверхности теплообмена  $F_{расч}$ . Методика выполнения таких расчетов и многочисленные примеры приведены в книгах [7 – 11].

Приводим основные уравнения для расчета коэффициентов теплоотдачи, в которых используются критерии подобия Нуссельта, Рейнольдса, Прандтля:

$$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}; \quad Re = \frac{Wd\rho}{\mu}; \quad Pr = \frac{c\mu}{\lambda}. \quad (2.18)$$

*Нагревание или охлаждение в прямых трубах:*  
– при развитом турбулентном течении ( $Re > 10^3$ )

$$Nu = 0,021 \varepsilon_l Re^{0,8} Pr^{0,43} \left( \frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}; \quad (2.19)$$

– при ламинарном режиме движения ( $Re < 2300$ )

$$Nu = 1,55 \varepsilon_l \left( Re \frac{d}{l} \right)^{1/3} Pr^{0,43} \left( \frac{\mu}{\mu_{ст}} \right)^{0,14}, \quad (2.20)$$

где  $\varepsilon_l$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние входного участка, в кожухотрубчатых теплообменниках;  $\varepsilon_l \approx 1$ ;  $d$  – внутренний диаметр труб, м;  $l$  – длина труб, м.

*Теплоотдача при наружном обтекании труб:*

– при  $Re > 1000$  для шахматных пучков

$$Nu = 0,4 \varepsilon_\varphi Re^{0,6} Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}; \quad (2.21)$$

– при  $Re < 1000$  для коридорных и шахматных пучков

$$Nu = 0,56 \varepsilon_\varphi Re^{0,5} Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}, \quad (2.22)$$

где  $\varepsilon_\phi$  – поправочный коэффициент, который учитывает влияние угла между осью пучка труб и направлением потока теплоносителя; для кожухотрубчатых теплообменников с поперечными перегородками рекомендуют принимать  $\varepsilon_\phi \approx 0,6$ .

*Теплоотдача при конденсации паров:*

– вертикальный пучок из трубок диаметром  $d$  и высотой  $H$

$$\alpha_r = 3,78 \varepsilon_t \lambda \left( \frac{\rho^2 n d}{\mu G} \right)^{(1/3)} = 1,21 \varepsilon_t \lambda \left( \frac{\rho^2 r g}{\mu H} \right)^{(1/3)} q^{(-1/3)}; \quad (2.23)$$

– горизонтальный пучок с трубками по вертикали длиной  $l$

$$\alpha_r = 2,02 \varepsilon_n \varepsilon_t \lambda \left( \frac{\rho^2 n l}{\mu G_r} \right)^{(1/3)} = 0,645 \varepsilon_n \varepsilon_t \lambda \left( \frac{\rho^2 r g}{\mu d} \right)^{(1/3)} q^{(-1/3)}, \quad (2.24)$$

где  $\varepsilon_t$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние температуры стенки;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $\rho$  – плотность конденсата, кг/м<sup>3</sup>;  $n$  – общее число теплообменных труб;  $d$  – наружный диаметр труб, м;  $L$  – длина труб, м;  $\mu$  – динамический коэффициент вязкости конденсата, Па·с;  $r$  – удельная теплота парообразования, Дж/кг;  $\varepsilon_n$  – коэффициент учета влияния числа рядов труб по вертикали  $n_v$ .

$$\varepsilon_t = \left[ \left( \frac{\lambda_{ст}}{\lambda} \right)^3 \frac{\mu}{\mu_{ст}} \right]^{(1/8)}; \quad \varepsilon_n \approx 1 - 0,11 \sqrt{n_v - 1}. \quad (2.25)$$

*Теплоотдача при пузырьковом режиме кипения жидкости:*

$$\alpha_x = b \sqrt[3]{\frac{\lambda^2 q^2}{v \sigma T_{кип}}} = Z_x q^{(2/3)} \approx Z_x q^{0,67}, \quad (2.26)$$

$$b = 0,075 + 0,75 \left( \frac{\rho_{пар}}{\rho_{ж} - \rho_{пар}} \right)^{(2/3)},$$

где  $v$  – кинематический коэффициент вязкости жидкости, м<sup>2</sup>/с;  $\sigma$  – поверхностное натяжение, Н/м;  $T_{кип}$  – температура кипения жидкости, К.

### Основные рекомендации

1. Для теплоносителя, который только нагревается или охлаждается, коэффициент теплоотдачи вычисляют по критериальному уравнению вида  $Nu = f(Re, Pr, Gr, Pe)$ .

Вначале находят фактическую среднюю скорость теплоносителя  $W_{\phi} = G/(\rho S)$  и значение критерия Рейнольдса (2.14), (2.15).

Затем из перечня возможных уравнений [7. С.151] выбирают одно, которое соответствует по значению числа Рейнольдса. Вычисляют значение критерия Нуссельта, а затем находят значение соответствующего коэффициента конвективной теплоотдачи по уравнению

$$\alpha = Nu\lambda/d. \quad (2.27)$$

В критериальные уравнения конвективной теплоотдачи (2.19 – 2.22) входит множитель  $(Pr/Pr_{ст})^{0,25}$ , который учитывает направление теплового потока. Значение критерия Прандтля  $Pr = c\mu/\lambda$  вычисляют по теплофизическим свойствам теплоносителя при его средней температуре, а значение  $Pr_{ст}$  – при температуре стенки. Для газов  $Pr$  практически не зависит от температуры, поэтому принимают  $(Pr/Pr_{ст})^{0,25} \approx 1$ . Для нагреваемых жидкостей в первом приближении также принимают  $(Pr/Pr_{ст})^{0,25} \approx 1$ , а для охлаждающихся –  $(Pr/Pr_{ст})^{0,25} \approx 0,93$  с последующим уточнением.

2. Для условно «горячего» теплоносителя, который в теплообменнике конденсируется, коэффициент теплоотдачи вычисляют, как правило, по уравнениям вида

$$\alpha_{г} = Z_{г}q^{(-1/3)} \approx Z_{г}/q^{0,33}, \quad (2.28)$$

где  $Z_{г}$  – комплекс из теплофизических свойств образующегося конденсата и других показателей.

3. Для условно «холодного» теплоносителя, который в испарителе или теплообменнике испаряется, кипит, коэффициент теплоотдачи вычисляют, как правило, по уравнениям вида

$$\alpha_{х} = Z_{х}q^{(+2/3)} \approx Z_{х}q^{0,67}, \quad (2.29)$$

где  $Z_{х}$  – комплекс из свойств кипящей жидкости и конструктивных данных теплообменника.

Совместное рассмотрение выражений (2.12), (2.27) – (2.29) дает, в зависимости от вида температурной схемы, уравнения:

$$\text{– для схемы Б1} \quad \frac{q^{1,33}}{Z_{\Gamma}} + Rq + \frac{q}{\alpha_x} - \Delta t_{\text{cp}}^* = 0; \quad (2.30)$$

$$\text{– для схемы Б2} \quad \frac{q}{\alpha_{\Gamma}} + Rq + \frac{q^{0,33}}{Z_x} - \Delta t_{\text{cp}}^* = 0; \quad (2.31)$$

$$\text{– для схемы Б3:} \quad \frac{q^{1,33}}{Z_{\Gamma}} + Rq + \frac{q^{0,33}}{Z_x} - \Delta t_{\text{cp}}^* = 0, \quad (2.32)$$

где  $R$  – общее термическое сопротивление стенки с учетом загрязнений;  $R = r_{\Gamma} + \delta_{\text{ст}}/\lambda_{\text{ст}} + r_x$ .

Неизвестный удельный тепловой поток  $q$  по уравнениям (2.30) – (2.32) вычисляют методом последовательного приближения или в Excel по процедуре «Подбор параметра». Эта процедура находит такое значение удельного теплового потока  $q$ , которое является решением заданного уравнения.

Например, расчет из примера 4.25 [7. С.194] выполняют следующим образом.

1. Открывают Excel, в котором создают таблицу числовых данных. В ячейку **B3** записывают ориентировочное значение  $q=26000$  Вт/м<sup>2</sup> в первом приближении, в ячейки **C3, D3, E3, F3** числовые данные, а в ячейку **G3** вводят расчетную формулу

$$G3 := C3 * B3^{1,33} + D3 * B3 + E3 * B3^{0,33} - F3. \quad (2.33)$$

|   | A        | B     | C          | D       | E     | F    | G    |
|---|----------|-------|------------|---------|-------|------|------|
| 1 |          |       |            |         |       |      |      |
| 2 | Величина | $q$   | $1/\Gamma$ | $R$     | $1/X$ | $Dt$ | $y$  |
| 3 | Значение | 26000 | 4,61E-6    | 3,88E-4 | 0,412 | 21,7 | 3,62 |

Поскольку в ячейке **G3** вычисленная величина  $y=3,62 \neq 0$ , значение  $q=26000$  не является решением уравнения (2.32).

2. Выделяют ячейку **G3** с формулой (2.33), в меню «Данные» открывают панель «Работа с данными», выходят на команду «Подбор параметра», вводят данные, рис. 10 (в старых версиях MS Excel выполняют команды «Сервис»  $\Rightarrow$  «Подбор параметра»).

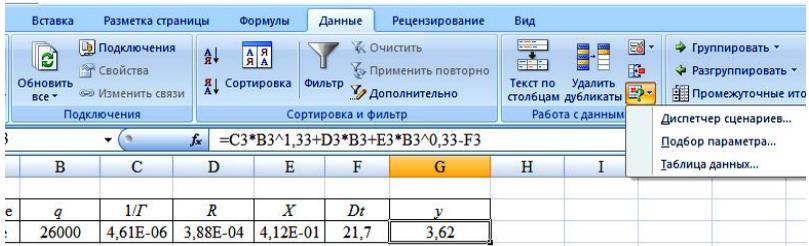


Рис. 10. Ввод числовых данных для расчета и выход на процедуру «Подбор параметра»

3. Вводят параметры расчета и выполняют расчет.

В ячейке **B3** считывают искомый результат  $q = 20962 \text{ Вт/м}^2$ .

В ячейке **G3** считывают дебаланс расчета  $y = 0,00005$ .

4. После вычисления удельного теплового потока  $q$  рассчитывают температуры стенки со стороны «горячего» и «холодного» теплоносителей (рис. 11) по уравнениям:

$$t_{\Gamma}^{(cr)} = t_{\Gamma} - \frac{q}{\alpha_{\Gamma}}; \quad t_{\text{X}}^{(cr)} = \frac{q}{\alpha_{\Gamma}} + t_{\text{X}}. \quad (2.34)$$

Полученные значения должны удовлетворять равенству

$$t_{\Gamma}^{(cr)} - t_{\text{X}}^{(cr)} = Rq. \quad (2.35)$$

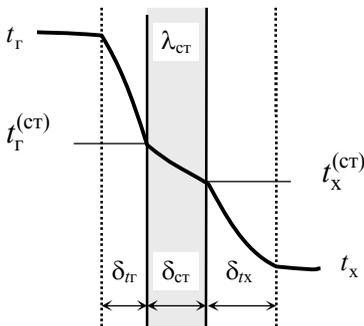


Рис. 11. Температурная схема у стенки с тепловыми пограничными слоями

По вычисленным значениям температур стенки рассчитывают фактические значения коэффициента  $(Pr/Pr_{ст})^{0,25}$  со стороны «горячего» и «горячего» теплоносителей. Подставляют их в расчетные критериальные уравнения вида (2.19) – (2.22), получают точные значения коэффициентов теплоотдачи, а затем коэффициента теплопередачи.

В завершение по уравнению (2.11) вычисляют площадь поверхности теплообмена  $F_{\text{расч}}$ . Фактическая площадь поверхность теплообмена выбранного аппарата или аппаратов  $F_{\text{факт}}$  должна соответствовать условию

$$F_{\text{факт}} \geq kF_{\text{расч}}, \quad (2.36)$$

где  $k$  – коэффициент запаса поверхности для ремонта;  $k \approx 1,15$ .

Таким образом, тепловой расчет теплообменника включает:

1) Приближенную оценку необходимой поверхности теплообмена с использованием значений коэффициентов теплоотдачи, вычисленных по соотношению (2.13).

2) Точный расчет с использованием уравнений вида (2.18) – (2.26) без учета поправки на температуру стенки  $(Pr/Pr_{\text{ст}})^{0,25}$ .

3) Уточненный расчет с учетом поправки на температуру стенки.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие параметры включает температурная схема теплообменного процесса?
2. Какой параметр называют средним температурным напором? Как рассчитывают средний температурный напор в многоходовых теплообменниках?
3. По каким уравнениям рассчитывают тепловую нагрузку непрерывного теплообменного процесса?
4. Какие слагаемые включает уравнение аддитивности термических сопротивлений процесса теплопередачи через плоскую стенку?
5. При каких значениях числа Рейнольдса обеспечивается турбулентный режим движения теплоносителей в трубном и межтрубном пространствах?
6. Какой параметр называют удельным тепловым потоком?
7. Что учитывает комплекс  $(Pr/Pr_{\text{ст}})^{0,25}$  в критериальных уравнениях?

### 3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Задачей гидравлических расчетов является расчет фактических скоростей движения теплоносителей в теплообменнике и его гидравлического сопротивления.

Увеличение скорости движения теплоносителей в трубопроводах позволяет уменьшить диаметр трубы, но это вызывает увеличение гидравлического сопротивления и расхода механической энергии на транспортировку.

Ориентировочные значения скоростей находят на основании опыта эксплуатации трубопроводов и технико-экономических расчетов (табл. 6).

Таблица 6  
Ориентировочные значения скоростей в трубопроводах

| Наименование потоков                                   | $W$ , м/с   |
|--|-------------|
| Жидкости при движении самотеком                        | 0,1 ... 0,5 |
| Жидкости во всасывающих трубопроводах насосов          | 0,5 ... 1,5 |
| Жидкости в нагнетательных трубопроводах насосов        | 1 ... 3     |
| Газы при естественной тяге                             | 2 ... 4     |
| Газы в газоходах вентиляторов                          | 4 ... 15    |
| Газы в нагнетательных трубопроводах компрессоров       | 10 ... 25   |
| Пары, насыщенные при абсолютном давлении 100...250 кПа | 20 ... 40   |
| Пары, насыщенные при абсолютном давлении 20...50 кПа   | 40 ... 60   |
| Пары, насыщенные при абсолютном давлении 5...20 кПа    | 60 ... 75   |
| Перегретые пары  | 30 ... 50   |

Среднюю линейную скорость потоков в штуцерах, в трубном и в межтрубном пространстве, м/с, вычисляют по уравнению объемного расхода:

$$W = \frac{G}{\rho S}, \quad (3.1)$$

где  $G$  – массовый расход теплоносителя, кг/с;  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $S$  – площадь проходного сечения, м<sup>2</sup>.

Значения площадей проходного сечения трубного и межтрубного пространств берут из табл. 4 или 5.

Площадь проходного сечения штуцера с внутренним диаметром  $d$  представляет собой площадь круга, м<sup>2</sup>:

$$S = \pi d^2 / 4 \approx 0,785d^2. \quad (3.2)$$

Плотность паров, газов, кг/м<sup>3</sup>, при умеренных давлениях вычисляют по уравнению состояния идеальных газов

$$\rho = \frac{\mu P}{R_{\mu} T} = \frac{\mu P T_0}{22,4 P_0 T}, \quad (3.3)$$

где  $\mu$  – молярная масса вещества, кг/кмоль;  $R_{\mu}$  – универсальная газовая постоянная, кДж/кмоль;  $R_{\mu} = 8,314$ ;  $P$  – абсолютное давление, кПа;  $P_0$  – нормальное давление, кПа;  $P_0 = 101,3$  (760 мм рт. ст.);  $T$  – абсолютная температура, К;  $T_0$  – нормальная температура, К;  $T_0 = 273$ ; 22,4 – объем 1 кмоль идеального газа в нормальных условиях, м<sup>3</sup>/кмоль. Молярную массу парогазовой смеси, кг/кмоль, вычисляют по уравнению Дальтона:

$$\mu_{\text{см}} = \sum \mu_i y_i, \quad \sum y_i \equiv 1, \quad (3.4)$$

где  $\mu_i$  – молярная масса  $i$ -го вещества, кг/кмоль;  $y_i$  – объемная (молярная) доля компонента в парогазовой смеси.

Для теплоносителей, которые нагреваются или охлаждаются, вычисляют гидравлическое сопротивление.

Гидравлическое сопротивление трубного пространства, Па, рассчитывают по уравнению

$$\Delta P_{\text{тр}} = \left[ \lambda \frac{n l_{\text{тр}}}{d_{\text{вн}}} + \sum \zeta_{\text{тр}} \right] \frac{\rho W_{\text{тр}}^2}{2} + \sum \zeta_{\text{шт}} \frac{\rho W_{\text{шт}}^2}{2}, \quad (3.5)$$

где  $l_{\text{тр}}$  – длина теплообменной трубы, м;  $n$  – число ходов по трубному пространству;  $\zeta_{\text{тр}}$  – коэффициент местного сопротивления;  $W_{\text{тр}}$  и  $W_{\text{шт}}$  – скорости потоков в трубах и штуцерах.

Гидравлическое сопротивление межтрубного пространства с поперечным обтеканием шахматного пучка труб, Па, рассчитывают по уравнениям:

$$\Delta P_{\text{мт}} = \left[ 2(1+k)Eu + \sum \zeta_{\text{мт}} \right] \frac{\rho W_{\text{мт}}^2}{2} + \sum \zeta_{\text{шт}} \frac{\rho W_{\text{шт}}^2}{2}; \quad (3.6)$$

$$Eu = b(2,7 + 1,7m)Re^{-0,28}, \quad (3.7)$$

где  $Eu$  – критерий Эйлера;  $b$  – поправочный коэффициент, учитывающий угол между осью трубы и направлением движения потока; для кожухотрубчатых теплообменников  $b = 0,83$ ;  $k$  – число поперечных перегородок;  $m$  – число рядов труб в пучке.

Число поперечных перегородок находят по известным данным длины труб и расстояния между перегородками (табл. 4).

Значения коэффициентов местных сопротивлений  $\zeta$  для кожухотрубчатых теплообменниках приведены в табл. 7.

Таблица 7

Значения коэффициентов местных сопротивлений

| Пространство | Местное сопротивление                            | $\zeta$ |
|--------------|--|---------|
| Трубное      | Вход в трубы или выход из них                    | 1,0     |
|              | Поворот на 180° между ходами или секциями        | 2,5     |
| Межтрубное   | Поворот на 180° через перегородку                | 1,5     |
|              | поворот на 90° в межтрубном пространстве         | 1,0     |
| Штуцера      | Входная или выходная камера                      | 1,5     |
|              | Вход в межтрубное пространство или выход из него | 1,5     |

*В процессе конденсации или испарения (кипения)* происходит многократное изменение плотности теплоносителя и его объемного расхода. Поэтому для таких теплоносителей при гидравлическом расчете вычисляют фактические значения скорости в парообразном и в жидком состояниях во входном и выходном штуцерах, а также внутри теплообменника на входе и на выходе. Гидравлическое сопротивление не рассчитывают.

#### Вопросы для самопроверки

1. По какой формуле рассчитывают скорости теплоносителей в штуцерах, в трубках, в межтрубном пространстве теплообменника?
2. С какой скоростью рекомендуется транспортировать жидкости по трубопроводам? На основании чего выбран этот диапазон скорости?
3. Какие параметры влияют на гидравлическое сопротивление трубного пространства?
4. Нарисуйте схему движения теплоносителя в межтрубном пространстве с поперечными перегородками. Как находят число перегородок?
5. Какие параметры влияют на гидравлическое сопротивление межтрубного пространства?
6. Почему не рассчитывают гидравлическое сопротивление для теплоносителя, который в теплообменнике конденсируется или испаряется?

## 4. МЕХАНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Задачей механических расчетов является обеспечение прочности аппарата в рабочих условиях. Механические расчеты выполняют по стандартам, нормам и утвержденным руководящим материалам [12].

Основным техническим параметром кожухотрубчатых теплообменных аппаратов является толщина стенок корпуса и крышки. На этом этапе подбирают также конструктивные параметры опор.

### 4.1. Расчет толщины стенок

Толщину цилиндрических обечаек, мм, рассчитывают по уравнению

$$s = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi - p} + C_1 + C_2 + C_3, \quad (4.1)$$

где  $p$  – расчетное давление, МПа;  $D$  – внутренний диаметр обечайки, мм;  $[\sigma]$  – допускаемое напряжение, МПа;  $\varphi$  – коэффициент прочности сварного шва;  $C_1$  – прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;  $C_2$  – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;  $C_3$  – технологическая прибавка для компенсации утонения стенки при технологических операциях, мм.

Если в теплообменнике один из теплоносителей относится к опасным (является взрыво- или пожароопасным, токсичным), теплообменник рассчитывают, как правило, на давление 1 МПа. При отсутствии ограничений в учебных проектах расчетное давление следует принять равным 1,0 или 1,6 МПа.

Коэффициент прочности сварного шва  $\varphi = 1,0$  при контроле шва на длине 100%-м и  $\varphi = 0,9$  при 50% -м контроле длины шва. Допускаемые напряжения для конструкционных материалов зависят от материала и рабочей температуры (табл. 8).

Исполнительную толщину стенки выбирают из стандартного ряда толщин труб или листового проката. Фактическая толщина должна быть больше расчетной и обеспечивать жесткость обечайки. Минимальная толщина цилиндрических обечаек без прибавки на коррозию и эрозию составляет 2 мм при диаметре до 400 мм, 3 мм при диаметре до 1000 мм и 4 мм при диаметре до 2000 мм.

Нормативные допускаемые напряжения  
для некоторых конструкционных материалов

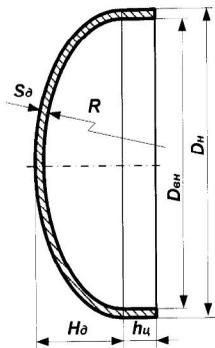
| Марка материала                    | Значение $[\sigma]$ , МПа,<br>в зависимости от температуры |       |       |
|------------------------------------|--|-------|-------|
|                                    | 20°C   | 100°C | 200°C |
| Сталь Ст.3                         | 140  | 134   | 126   |
| Сталь 20, 20К                      | 147  | 142   | 136   |
| Сталь 09Г2С, 16ГС, 17ГС            | 183  | 160   | 148   |
| Сталь нерж. 15Х5М                  | 146  | 141   | 134   |
| Сталь нерж. 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т | 160  | 152   | 140   |
| Сталь нерж. 08Х18Н10Т, 08Х17Н13М2Т | 140  | 130   | 110   |
| Сталь нерж. 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т   | 240  | 207   | 193   |
| Титан ВТ1-0                        | 133  | 118   | 93    |
| Медь отожженная                    | 44   | 44    | 40    |
| Алюминий                           | 15   | 10,5  | 4,5   |

В кожухотрубчатых теплообменных аппаратах применяют стандартные эллиптические и плоские днища.

Стандартное эллиптическое днище состоит из цилиндрической и выпуклой частей (рис. 12, табл. 9). Днища с наружными базовыми диаметрами  $D_n$  используют для корпусов из труб, а с внутренними базовыми диаметрами  $D_{вн}$  – для корпусов, свальцованных из листов.

Таблица 9

Размеры эллиптических отбортованных днищ, мм  
(ГОСТ 6533-78)



| $D_n$ | $h_{ц}$ | $H_d$ | $D_{вн}$ | $h_{ц}$ | $H_d$ |
|-------|---------|-------|----------|---------|-------|
| 159   | 25      | 40    | 400      | 25, 40  | 100   |
| 273   | 25      | 68    | 600      | 25, 40  | 150   |
| 325   | 25      | 81    | 800      | 25, 40  | 200   |
| 426   | 25      | 106   | 1000     | 25, 40  | 250   |
| 630   | 25      | 157   | 1200     | 25, 40  | 300   |
|       | 40      |       |          | 60, 80  |       |

Рис. 12. Днище эллиптическое

Высота цилиндрической части определяется толщиной стенки днища. При толщине менее 10 мм высота цилиндрической части составляет 25 мм.

Необходимую толщину эллиптических днищ, мм, вычисляют по уравнению

$$s = \frac{pR}{2[\sigma]_p - p/2} + C_1 + C_2 + C_3, \quad (4.2)$$

где  $R$  – максимальный радиус кривизны днища, мм;  $R = D^2/(4H)$ ;

После изготовления все сосуды подлежат гидравлическому испытанию. Значение пробного давления  $P_{пр}$  в сварном аппарате, МПа, принимают в зависимости от расчетного давления  $P_p$ :

$$P_{пр} = 1,25 \frac{[\sigma_{20}]}{[\sigma_t]} P_p, \quad (4.3)$$

где  $[\sigma_{20}]$  – допускаемое напряжение для материала сосуда и его элементов при температуре 20 °С, МПа;  $[\sigma_t]$  – то же при рабочей температуре, МПа;  $P_p$  – расчетное давление сосуда, МПа.

При значении рабочей температуры в аппарате не выше 200 °С отношение  $[\sigma_{20}]/[\sigma_t]$  принимают равным 1.

Толщину трубной решетки, м, исходя из условия закрепления труб развальцовкой с обваркой, определяют из условия

$$s_p = \frac{(0,435d_T + 0,0015)10^{-2}}{t_p - d_T} \geq 0,01, \quad (4.4)$$

где  $d_T$  – наружный диаметр труб, м;  $t_p$  – шаг отверстий в трубной решетке м.

В теплообменниках типа ТН и ТК трубы размещают по вершинам равносторонних треугольников. Значения шага (расстояния между осями труб) определяется наружным диаметром труб:

|            |    |    |    |    |    |
|------------|----|----|----|----|----|
| $d_T$ , мм | 16 | 20 | 25 | 38 | 57 |
| $t_p$ , мм | 21 | 26 | 32 | 48 | 70 |

Минимальная толщина поперечных перегородок в межтрубном пространстве зависит от диаметра кожуха:

|              |            |             |              |             |
|--------------|------------|-------------|--------------|-------------|
| $D$ , мм     | $\leq 400$ | 500 ... 600 | 800 ... 1000 | $\geq 1200$ |
| $s_{п}$ , мм | 6          | 10          | 12           | 14          |

Диаметр стяжек, которые фиксируют поперечные перегородки, принимают 12 мм при  $D \leq 600$  мм и 16 мм при  $D \geq 800$  мм.

Количество стяжек должно быть не менее 6 при  $D \leq 1000$  мм; 8 – при  $D = 1200$  мм и 10 – при  $D \geq 1400$  мм.

## 4.2. Опоры

*Опорные лапы* для вертикальных аппаратов состоят из двух вертикальных косынок и горизонтального основания (рис. 13).

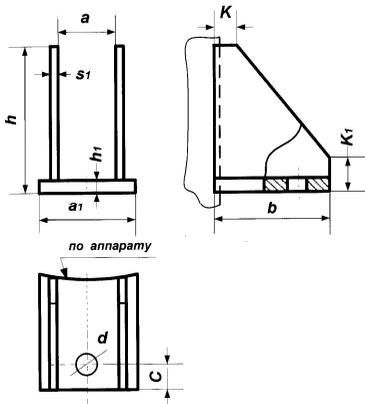


Рис. 13. Опорная лапа для вертикальных аппаратов (к табл. 10)

Опорные лапы изготавливают двух типов: тип 1 предназначен для аппаратов без теплоизоляции; тип 2 (с увеличенным вылетом) предназначен для аппаратов с теплоизоляцией.

Приваривают опоры непосредственно к корпусу теплообменника или к накладному листу прямоугольной формы для обеспечения жесткости корпуса в месте присоединения опоры.

Число опорных лап составляет:

- 2 штуки при  $D < 600$  мм, а также при диаметре кожуха 600 или 800 мм и длине трубок не более 2000 мм;
- 4 штуки при диаметре 600 или 800 мм и длине трубок более 2000 мм, а также при диаметре 1000 или 1200 мм и любой длине трубок.

*Размеры опорных лап* выбирают по табл. 10 в зависимости от максимальной нагрузки  $Q$  на одну опору.

Таблица 10

Конструктивные размеры опорных лап для вертикальных аппаратов, мм  
(ОСТ 26-665-79)

| $Q$ , кН | Тип | $a$ | $a_1$ | $b$ | $C$ | $h$ | $h_1$ | $K_1$ | $K$ | $d$ |
|----------|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-------|-------|-----|-----|
| 1,6      | 1   | 45  | 65    | 60  | 15  | 85  | 8     | 10    | 15  | 12  |
|          | 2   |     |       | 100 |     | 4   | 25    |       |     |     |
| 4        | 1   | 75  | 95    | 95  | 20  | 140 | 10    | 15    | 25  | 12  |
|          | 2   |     |       | 160 |     | 5   | 40    |       |     |     |
| 10       | 1   | 90  | 115   | 115 | 30  | 170 | 14    | 20    | 30  | 24  |
|          | 2   |     |       | 195 |     | 6   | 50    |       |     |     |
| 25       | 1   | 125 | 155   | 155 | 45  | 230 | 16    | 25    | 40  | 24  |
|          | 2   |     |       | 255 |     | 8   | 65    |       |     |     |
| 40       | 1   | 150 | 190   | 185 | 45  | 295 | 30    | 30    | 60  | 35  |
|          | 2   |     |       | 315 |     | 10  | 80    |       |     |     |

| $Q$ , кН | Тип | $a$ | $a_1$ | $b$ | $C$ | $h$ | $h_1$ | $K_1$ | $K$ | $d$ |
|----------|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-------|-------|-----|-----|
| 63       | I   | 185 | 230   | 230 | 60  | 360 | 24    | 35    | 70  | 35  |
|          | 2   |     |       | 380 |     | 470 | 12    |       | 100 |     |
| 100      | I   | 250 | 310   | 310 | 65  | 475 | 30    | 40    | 95  | 42  |
|          | 2   |     |       | 520 |     | 620 | 16    |       | 130 |     |
| 160      | I   | 300 | 380   | 390 | 65  | 585 | 35    | 60    | 115 | 42  |
|          | 2   |     |       | 650 |     | 780 | 20    |       | 180 |     |

Масса пустого аппарата складывается из масс, кг:

– всех труб  $n_{\text{общ}}$  толщиной стенки  $\delta_T$

$$m_T = \pi d_{\text{ср}} \delta_T l_T n_{\text{общ}} \rho_M ; \quad (4.5)$$

– обечайки корпуса длиной  $l_T$  и обечаек крышек длиной  $l_1$  и  $l_2$

$$m_K = \pi D_K s_K (l_T + l_1 + l_2) \rho_M ; \quad (4.6)$$

– всех перегородок  $k$ , 2 – трубных решеток, торцов крышек

$$m_P = 0,785 D_K^2 (k s_P + 2 s_{T,P} + s_1 + s_2) \rho_M ; \quad (4.7)$$

где  $s$  – толщина указанных элементов, м;  $L$  – их длина, м;  $\rho_M$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>; для стали  $\rho_M \approx 8000$ .

В рабочем состоянии трубное и межтрубные пространства теплообменника заполнены теплоносителями, а при гидравлическом испытании – водой.

Объем трубного пространства с крышками и объем межтрубного пространства составляют, м<sup>3</sup>:

$$V_T = 0,785 [d_{\text{вн}}^2 n_{\text{общ}} l_T + D_K^2 (l_1 + l_2)] , \quad (4.8)$$

$$V_{MT} = 0,785 (D_K^2 - d_{\text{нар}}^2 n_{\text{общ}}) l_T . \quad (4.9)$$

Общую нагрузку на опоры теплообменника, кН, при гидравлическом испытании водой находят по уравнению

$$Q_{\Sigma} = 0,001 [m_T + m_K + m_P + (V_T + V_{MT}) \rho_{H_2O}] g . \quad (4.10)$$

*Стандартные седловые опоры* предназначены для горизонтальных теплообменных аппаратов.

Тип I предназначен для аппаратов с наружным диаметром не более 630 мм и имеет два исполнения в зависимости от количества отверстий под фундаментные болты (рис. 14). Опора состоит из гну-

той стойки, двух ребер жесткости и опорного листа. Размеры опоры определяют по табл. 11 в зависимости от наружного диаметра кожуха с последующей проверкой по допустимой нагрузке.

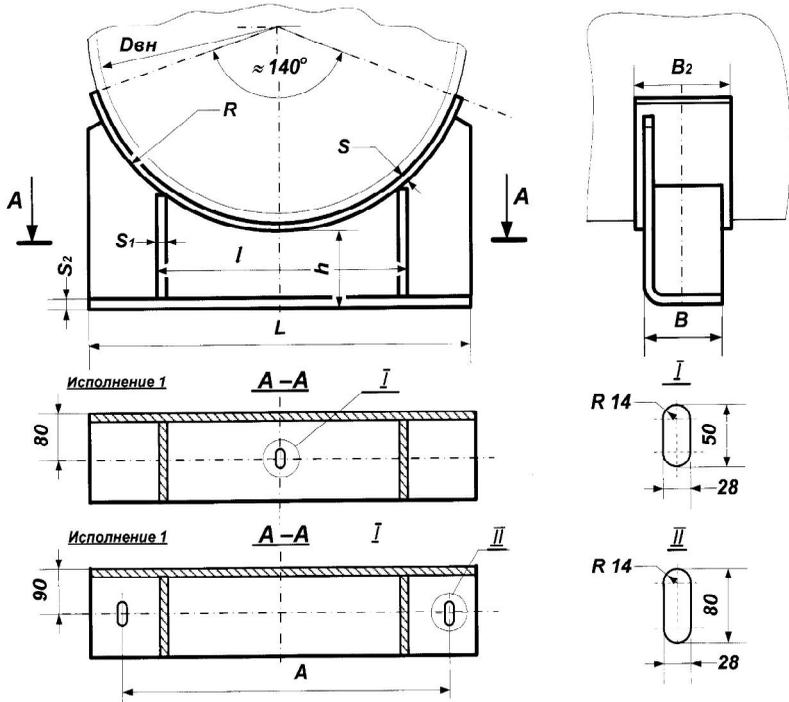


Рис. 14. Седловая опора для горизонтальных аппаратов с диаметром кожуха  $D_H = 159 \dots 630$  мм, тип 1 (к табл. 11)

Таблица 11  
Размеры седловых опор типа 1, мм (ОСТ 26-1265-75)

| $D_H/D_{вн}$ | $s_1$ | $s_2$ | $R$ | $L$ | $l$ | $h$ | $B$ | $B_2$ | $A$ | $Q$ , кН |
|--------------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|----------|
| 159/ -       | 6     | 10    | 84  | 180 | 90  | 75  | 120 | 140   | 140 | 16       |
| 273/ -       | 6     | 10    | 141 | 290 | 190 | 100 | 120 | 140   | 250 | 20       |
| 325/ -       | 6     | 10    | 167 | 400 | 240 | 125 | 180 | 230   | 330 | 20       |
| - /400       | 8     | 14    | 222 | 400 | 240 | 135 | 180 | 220   | 330 | 50       |
| - /600       | 10    | 16    | 322 | 600 | 340 | 200 | 160 | 230   | 450 | 80       |

Опоры типа 2 предназначены для аппаратов диаметром 800 мм и более. Они имеют два исполнения в зависимости от допускаемой нагрузки. Опора типа 2 (рис. 15) состоит из стойки, основания, трех ребер жесткости и опорного листа. Размеры опоры определяют по табл. 12.

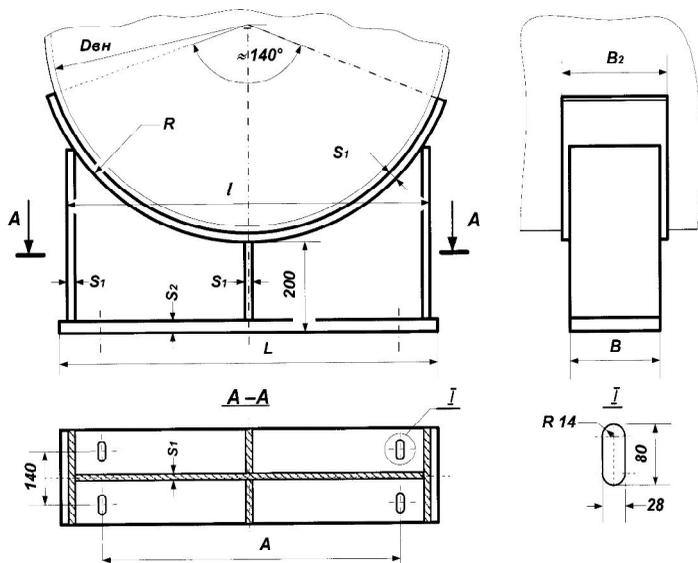


Рис. 15. Седловая опора для горизонтальных аппаратов с диаметром кожуха более 799 мм, тип 2 (к табл. 12).

Таблица 12

Размеры седловых опор типа 2, мм (ОСТ 26-1265-75)

| $D_{вн}$ | Исполнение | $s_1$ | $s_2$ | $R^*$ | $L$  | $l$  | $B$ | $B_2$ | $A$ | $Q$ , кН |
|----------|------------|-------|-------|-------|------|------|-----|-------|-----|----------|
| 800      | I          | 8     | 14    | 422   | 740  | 730  | 250 | 360   | 500 | 80       |
|          | 2          | 14    | 18    |       |      |      |     |       |     | 160      |
| 1000     | I          | 8     | 14    | 522   | 1000 | 980  | 250 | 360   | 650 | 125      |
|          | 2          | 14    | 18    |       |      |      |     |       |     | 200      |
| 1200     | I          | 8     | 14    | 622   | 1100 | 1080 | 250 | 360   | 800 | 125      |
|          | 2          | 12    | 18    |       |      |      |     |       |     | 200      |
| 1400     | I          | 8     | 14    | 722   | 1250 | 1230 | 250 | 400   | 950 | 160      |
|          | 2          | 12    | 20    |       |      |      |     |       |     | 250      |

\* Значение  $R$  дано для опорных листов толщиной 6 – 12 мм.

Аппараты устанавливают на двух седловых опорах: неподвижной и подвижной. Подвижная опора для температурной компенсации может скользить по фундаменту за счет овальной формы болтовых отверстий и зазора между гайкой и основанием шириной 1 – 2 мм.

Детали седловых опор сваривают между собой сплошными односторонними угловыми или тавровыми швами, а опорный лист приваривается к деталям опоры прерывистым угловым швом. К корпусу теплообменника опорный лист может привариваться внахлестку прерывистым швом.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие параметры влияют на необходимую толщину цилиндрической обечайки теплообменника?
2. Для чего проводят гидравлическое испытание теплообменника?
3. Из каких частей состоит эллиптическое днище?
4. Для каких вертикальных теплообменников следует использовать четыре опорные лапы?
5. Чем отличаются опорные лапы разного исполнения?
6. Как рассчитывают нагрузку на одну опору теплообменного аппарата?



Таблица 13

## Основные размеры испарителей исполнения 1, мм (ГОСТ 15119-79)

| Диаметр<br>кожу-<br>ха,<br>$D_{вн}$ | Давле-<br>ние в<br>кожухе<br>$P_y$ ,<br>МПа | $l$  | $L$  | $A$  | $A_0$ | $D_y$ | $D_{y1}$ | $D_{y2}$ | $\approx D_k$ | $H/2$ | $A_1$ | $l_1$ | $l_2$ | $\approx l_k$ | Размещение<br>перегородок |            |
|-------------------------------------|---|------|------|------|-------|-------|----------|----------|---------------|-------|-------|-------|-------|---------------|---------------------------|------------|
|                                     |   |      |      |      |       |       |          |          |               |       |       |       |       |               | $l_3$                     | чис-<br>ло |
| 600                                 | 1,0;<br>1,6                                 | 2000 | 3080 | 1500 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1200  | 700           |                           | 4          |
|                                     |   | 3000 | 4080 | 2500 | 540   | 200   | 100      | 300      | 780           | 530   | 866   | 400   | 1500  | 900           | 300                       | 8          |
|                                     |   | 4000 | 5080 | 3500 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1800  | 1000          |                           | 10         |
| 800                                 | 1,0;<br>1,6                                 | 2000 | 3350 | 1450 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1200  | 700           |                           | 4          |
|                                     |   | 3000 | 4350 | 2450 | 630   | 250   | 150      | 400      | 966           | 627   | 1200  | 500   | 1500  | 900           | 350                       | 6          |
|                                     |   | 4000 | 5350 | 3450 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1800  | 1000          |                           | 8          |
| 1000                                | 0,6;<br>1,0;<br>1,6                         | 2000 | 3480 | 1350 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1300  | 800           |                           | 2          |
|                                     |   | 3000 | 4430 | 2350 | 690   | 300   | 200      | 400      | 1166          | 729   | 1470  | 550   | 1500  | 900           | 520                       | 4          |
|                                     |   | 4000 | 3480 | 3350 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1800  | 1000          |                           | 6          |
| 1200                                | 0,6;<br>1,0;<br>1,6                         | 3000 | 4740 | 2200 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1500  | 900           |                           | 4          |
|                                     |   | 4000 | 5740 | 3200 | 830   | 350   | 250      | 500      | 1366          | 831   | 1740  | 670   | 1800  | 1000          | 550                       | 6          |
| 1400                                | 0,6;<br>1,0;<br>1,6                         | 3000 | 4850 | 2250 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1500  | 900           |                           | 4          |
|                                     |   | 4000 | 5850 | 3250 | 820   | 350   | 250      | 500      | 1566          | 990   | 1920  | 710   | 1800  | 1000          | 600                       | 6          |

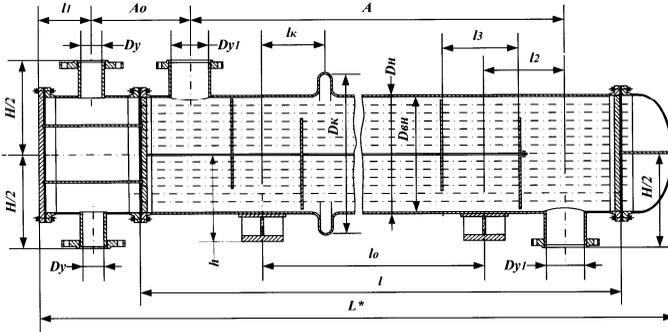
Таблица 14

## Основные размеры испарителей исполнения 2, мм (ГОСТ 15119-79)

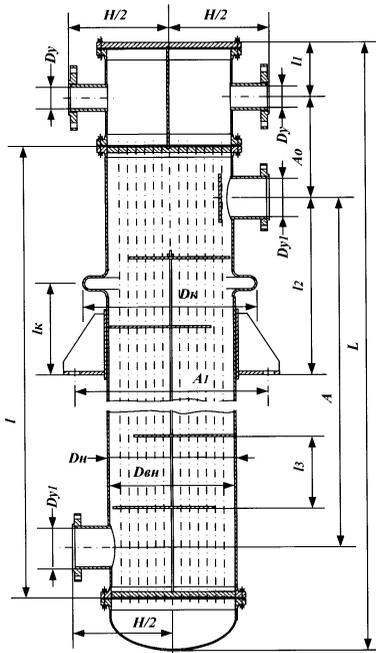
| Диаметр кожуха, $D_{вн}$ | Давление в кожухе $P_y$ , МПа | $l$  | $L$  | $A$  | $A_0$ | $D_y$ | $D_{y1}$ | $D_{y2}$ | $\approx D_k$ | $H/2$ | $A_1$ | $l_1$ | $l_2$ | $\approx l_k$ |
|--------------------------|-------------------------------|------|------|------|-------|-------|----------|----------|---------------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| 600                      | 1,0                           | 2000 | 3080 | 1550 | 570   | 300   | 100      | 300      | 780           | 530   | 866   | 400   | 1200  | 700           |
|                          |                               | 3000 | 4080 | 2550 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1500  | 900           |
|                          |                               | 4000 | 5080 | 3550 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1800  | 1000          |
| 600                      | 1,6                           | 2000 | 3080 | 1540 | 585   | 250   | 100      | 300      | 780           | 530   | 866   | 400   | 1200  | 700           |
|                          |                               | 3000 | 4030 | 2540 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1500  | 900           |
|                          |                               | 4000 | 5080 | 3540 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1800  | 1000          |
| 800                      | 1,0                           | 2000 | 3350 | 1450 | 700   | 400   | 150      | 400      | 966           | 627   | 1200  | 500   | 1200  | 700           |
|                          |                               | 3000 | 4350 | 2450 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1500  | 900           |
|                          |                               | 4000 | 5350 | 3450 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1800  | 1000          |
| 800                      | 1,6                           | 2000 | 3350 | 1440 | 710   | 300   | 150      | 400      | 966           | 627   | 1200  | 500   | 1200  | 700           |
|                          |                               | 4000 | 5350 | 3440 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1800  | 1000          |
|                          |                               |      |      |      |       |       |          |          |               |       |       |       |       |               |
| 1000                     | 0,6;<br>1,0                   | 2000 | 3480 | 1400 | 720   | 400   | 200      | 400      | 1166          | 729   | 1470  | 550   | 1300  | 800           |
|                          |                               | 3000 | 4480 | 2400 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1500  | 900           |
|                          |                               | 4000 | 5480 | 3400 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1800  | 1000          |
| 1000                     | 1,6                           | 2000 | 3480 | 1390 | 730   | 300   | 200      | 400      | 1166          | 729   | 1470  | 550   | 1300  | 800           |
|                          |                               | 4000 | 5480 | 3390 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1800  | 1000          |
|                          |                               |      |      |      |       |       |          |          |               |       |       |       |       |               |
| 1200                     | 0,6;<br>1,0                   | 3000 | 4740 | 2290 | 850   | 500   | 250      | 500      | 1366          | 831   | 1740  | 670   | 1500  | 900           |
|                          |                               | 4000 | 7540 | 3290 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1800  | 1000          |
|                          |                               |      |      |      |       |       |          |          |               |       |       |       |       |               |
| 1200                     | 1,6                           | 3000 | 4740 | 2240 | 860   | 400   | 250      | 500      | 1366          | 831   | 1740  | 670   | 1500  | 900           |
|                          |                               | 4000 | 5740 | 3240 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1800  | 1000          |
|                          |                               |      |      |      |       |       |          |          |               |       |       |       |       |               |
| 1400                     | 0,6;<br>1,0                   | 3000 | 4850 | 2260 | 880   | 500   | 250      | 500      | 1566          | 990   | 1920  | 710   | 1500  | 900           |
|                          |                               | 4000 | 5850 | 3260 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1800  | 1000          |
|                          |                               |      |      |      |       |       |          |          |               |       |       |       |       |               |
| 1400                     | 1,6                           | 3000 | 4650 | 2230 | 890   | 400   | 250      | 500      | 1566          | 990   | 1920  | 710   | 1500  | 900           |
|                          |                               | 4000 | 5830 | 3230 |       |       |          |          |               |       |       |       | 1800  | 1000          |
|                          |                               |      |      |      |       |       |          |          |               |       |       |       |       |               |

## 5.2. Холодильники по ГОСТ 15120-79

В трубное пространство холодильника подают воду или другую не опасную среду (табл. 1). Число ходов по трубному пространству может быть равно 2, 4 или 6 (рис. 18).



*a*



*б*

Рис. 18. Холодильник с диаметром кожуха от 325 до 1200 мм (к табл. 15): *a* – горизонтальный (пример четырехходового по трубному пространству); *б* – вертикальный (пример двухходового по трубному пространству)

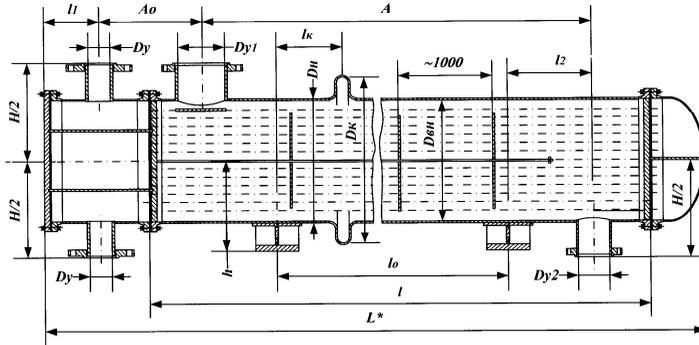
Таблица 15

## Основные размеры холодильников, мм (ГОСТ 15120-79), мм

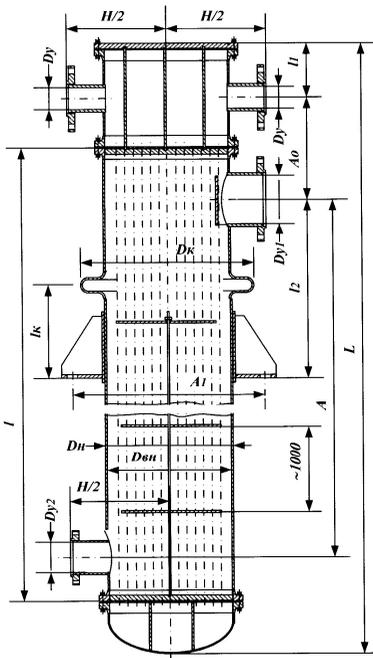
| Диаметр<br>кожу-<br>ха,<br>$\frac{D_{ц}}{D_{вн}}$ | Дав-<br>ле-<br>ние в<br>кожу-<br>хе<br>$P_y$<br>МПа | $l$  | $L$  | $l_0$ | $A$  | $D_y$ при<br>числе ходов<br>по трубам |     |     | $\frac{D_{в1}}{h}$ | $\frac{H/2}{h}$   | $\frac{A_0}{l_1}$ | $l_2$      |            | $\approx l_k$ |      | Размеще-<br>ние пере-<br>городок |            |
|---|---|------|------|-------|------|---------------------------------------|-----|-----|--------------------|-------------------|-------------------|------------|------------|---------------|------|----------------------------------|------------|
|   |   |      |      |       |      | 2                                     | 4   | 6   |                    |                   |                   | ХКГ<br>ХНГ | ХКВ<br>ХКВ | ХКГ           | ХКВ  | $l_3$                            | чис-<br>ло |
|   |   |      |      |       |      |                                       |     |     |                    |                   |                   |            |            |               |      |                                  |            |
| $\frac{325}{-}$                                   | 1,6;<br>2,5;<br>4,0                                 | 1500 | 2200 | 650   | 1050 | 100                                   | -   | -   | $\frac{100}{475}$  | $\frac{298}{292}$ | $\frac{460}{235}$ | 350        | 800        | 325           | 475  | 180                              | 6          |
|   |   | 2000 | 2700 | 800   | 1550 |                                       |     |     |                    |                   |                   | 500        | 1200       | 400           | 700  |                                  |            |
|   |   | 3000 | 3700 | 1500  | 2550 |                                       |     |     |                    |                   |                   | 650        | 1500       | 750           | 900  |                                  |            |
|   |   | 4000 | 4700 | 2000  | 3550 |                                       |     |     |                    |                   |                   | 800        | 1800       | 1000          | 1000 |                                  |            |
| $\frac{426}{400}$                                 | 1,0;<br>1,6;<br>2,5                                 | 2000 | 2690 | 800   | 1550 | 150                                   | -   | -   | $\frac{150}{576}$  | $\frac{363}{352}$ | $\frac{460}{250}$ | 500        | 1200       | 400           | 700  | 250                              | 6          |
|   |   | 3000 | 3690 | 1500  | 2550 |                                       |     |     |                    |                   |                   | 500        | 1500       | 750           | 900  |                                  |            |
|   |   | 4000 | 4690 | 2000  | 3550 |                                       |     |     |                    |                   |                   | 800        | 1800       | 1000          | 1000 |                                  |            |
|   |   | 6000 | 6690 | 3000  | 5550 |                                       |     |     |                    |                   |                   | 1200       | 1800       | 1500          | 1000 |                                  |            |
| $\frac{630}{600}$                                 | 1,0;<br>1,6   | 2000 | 2900 | 800   | 1550 | 200                                   | 150 | 100 | $\frac{200}{750}$  | $\frac{530}{525}$ | $\frac{585}{310}$ | 400        | 1200       | 400           | 700  | 300                              | 4          |
|   |   | 3000 | 3900 | 1500  | 2550 |                                       |     |     |                    |                   |                   | 500        | 1500       | 750           | 900  |                                  |            |
|   |   | 4000 | 4900 | 2000  | 3550 |                                       |     |     |                    |                   |                   | 800        | 1800       | 1000          | 1000 |                                  |            |
|   |   | 6000 | 6900 | 3000  | 5550 |                                       |     |     |                    |                   |                   | 1200       | 1800       | 1500          | 1000 |                                  |            |
| $\frac{-}{800}$                                   | 1,0;<br>1,6   | 2000 | 2990 | 800   | 1450 | 250                                   | 200 | 150 | $\frac{250}{966}$  | $\frac{627}{622}$ | $\frac{620}{315}$ | 400        | 1200       | 400           | 700  | 350                              | 4          |
|   |   | 3000 | 3990 | 1500  | 2450 |                                       |     |     |                    |                   |                   | 600        | 1500       | 750           | 900  |                                  |            |
|   |   | 4000 | 4990 | 2000  | 3350 |                                       |     |     |                    |                   |                   | 800        | 1800       | 1000          | 1000 |                                  |            |
|   |   | 6000 | 7200 | 3000  | 5250 |                                       |     |     |                    |                   |                   | 1200       | 1800       | 1500          | 1000 |                                  |            |
| $\frac{-}{1000}$                                  | 0,6;<br>1,0   | 3000 | 4200 | 1500  | 2350 | 300                                   | 200 | 150 | $\frac{300}{1166}$ | $\frac{729}{722}$ | $\frac{760}{380}$ | 400        | 1500       | -             | 900  | 520                              | 4          |
|   |   | 4000 | 5200 | 2000  | 3350 |                                       |     |     |                    |                   |                   | 600        | 1800       | -             | 1000 |                                  |            |
|   |   | 6000 | 7200 | 3000  | 5350 |                                       |     |     |                    |                   |                   | 1200       | 1800       | -             | 1000 |                                  |            |
|   |   |      |      |       |      |                                       |     |     |                    |                   |                   |            |            |               |      |                                  |            |
| $\frac{-}{1200}$                                  | 0,6;<br>1,0   | 4000 | 5330 | 2000  | 3200 | 350                                   | 250 | 200 | $\frac{350}{1366}$ | $\frac{831}{822}$ | $\frac{835}{450}$ | 700        | 1500       | -             | 900  | 550                              | 6          |
|   |   | 6000 | 7330 | 3000  | 5200 |                                       |     |     |                    |                   |                   | 1200       | 1800       | -             | 1000 |                                  |            |

### 5.3. Конденсаторы многоходовые по ГОСТ 15121-79

Конденсируемые пары подают в межтрубное пространство через штуцер с диаметром  $D_{y1}$ , конденсат выводят через штуцер с меньшим диаметром  $D_{y2}$  (рис. 19).



*a*



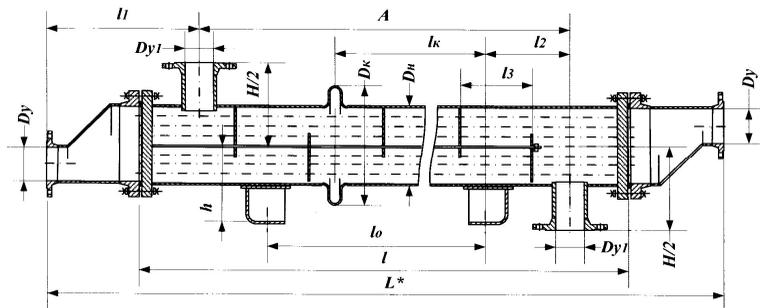
*б*

Рис. 19. Конденсатор многоходовой с диаметром кожуха от 600 до 1200 мм (к табл. 16):  
*a* – горизонтальный (пример четырехходового по трубному пространству);  
*б* – вертикальный (пример шестиходового по трубному пространству)

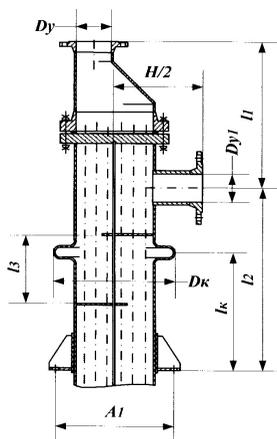
## 5.4. Теплообменники по ГОСТ 15122-79

Кожухотрубчатые теплообменники предназначены для нагрева и охлаждения жидких и газообразных сред с широким диапазоном рабочих параметров (табл. 1).

Одноходовые по трубному пространству теплообменники с наружным диаметром кожуха 159 и 273 мм оснащают коническими крышками (рис. 20), а с диаметром кожуха от 325 до 1200 мм - эллиптическими крышками (рис. 21).



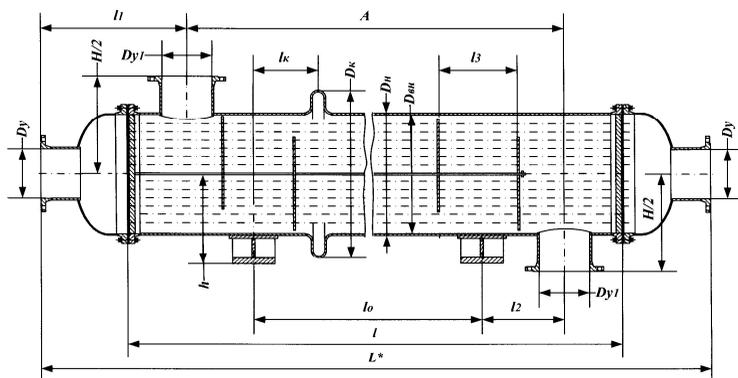
*a*



*б*

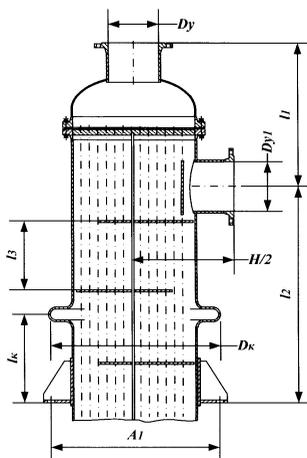
Рис. 20. Теплообменник одноходовой по трубам с диаметром кожуха 159 и 273 мм (к табл. 17): *a* – горизонтальный; *б* - вертикальный

Корпуса теплообменников с диаметром до 400 мм изготавливают из стандартных труб с заданным наружным диаметром  $D_{\text{н}}$ , а с диаметром 600 мм и более – изготавливают из листового материала вальцовкой и сваркой с заданным внутренним диаметром  $D_{\text{вн}}$  (табл. 17).



*a*

Рис. 21. Теплообменник одноходовой по трубам вертикальный с диаметром кожуха от 325 до 1200 мм (к табл. 17): *a* – горизонтальный; *б* – вертикальный



*б*

Таблица 17

Основные размеры одноходовых теплообменников, мм (ГОСТ 15122-79)

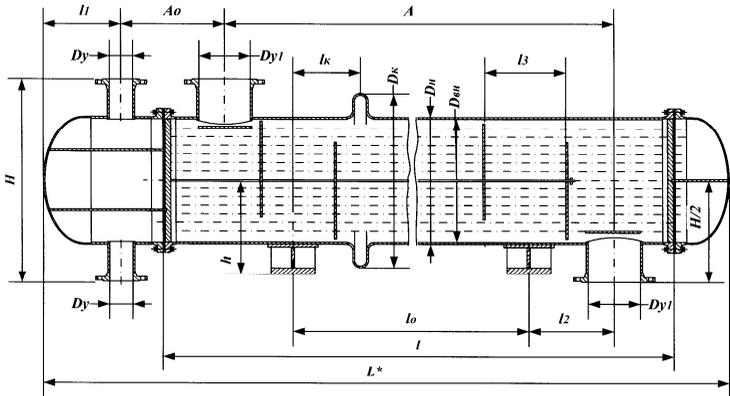
| Диаметр кожуха<br>$\frac{D_H}{D_{BH}}$ | Давление в кожухе<br>$P_{V2}$ , МПа | $l$  | $L$  | $l_0$ | $A$  | $\frac{D_y}{D_{y1}}$ | $\frac{\approx D_K}{H/2}$ | $\frac{h}{l_1}$   | $l_2$      |            | $\approx l_K$ |      | Размещение перегородок |           |
|--|-------------------------------------|------|------|-------|------|----------------------|---------------------------|-------------------|------------|------------|---------------|------|------------------------|-----------|
|  |                                     |      |      |       |      |                      |                           |                   | ТКГ<br>ТНГ | ТКВ<br>ТНВ | ТКВ           | ТКГ  | $l_3$                  | $n$ , шт. |
|  |                                     |      |      |       |      |                      |                           |                   |            |            |               |      |                        |           |
| <u>159</u><br>—                        | 1,6;<br>2,5;<br>4,0                 | 1000 | 1540 | 350   | 680  | <u>80</u><br>80      | <u>309</u><br>215         | <u>159</u><br>430 | 200        | 400        | -             | -    | 100                    | 6         |
|  |                                     | 1500 | 2040 | 650   | 1180 |                      |                           |                   | 400        | 800        | 325           | 325  |                        | 10        |
|  |                                     | 2000 | 2540 | 800   | 1680 |                      |                           |                   | 500        | 1200       | 400           | 400  |                        | 14        |
|  |                                     | 3000 | 3540 | 1500  | 2680 |                      |                           |                   | 650        | 1500       | 750           | 750  |                        | 26        |
| <u>273</u><br>—                        | 1,6;<br>2,5                         | 1000 | 1640 | 350   | 600  | <u>100</u><br>100    | <u>423</u><br>272         | <u>241</u><br>520 | 250        | 400        | -             | -    | 130                    | 4         |
|  |                                     | 1500 | 2140 | 650   | 1100 |                      |                           |                   | 350        | 800        | 325           | 450  |                        | 8         |
|  |                                     | 2000 | 2640 | 800   | 1600 |                      |                           |                   | 500        | 1200       | 400           | 700  |                        | 12        |
|  |                                     | 3000 | 3640 | 1500  | 2600 |                      |                           |                   | 650        | 1500       | 750           | 900  |                        | 20        |
| <u>325</u><br>—                        | 1,6;<br>2,5                         | 1500 | 2200 | 650   | 1050 | <u>150</u><br>100    | <u>475</u><br>298         | <u>292</u><br>575 | 350        | 800        | 325           | 475  | 180                    | 6         |
|  |                                     | 2000 | 2700 | 800   | 1550 |                      |                           |                   | 500        | 1200       | 400           | 700  |                        | 8         |
|  |                                     | 3000 | 3700 | 1500  | 2550 |                      |                           |                   | 650        | 1500       | 750           | 900  |                        | 14        |
|  |                                     | 4000 | 4700 | 2000  | 3550 |                      |                           |                   | 800        | 1800       | 1000          | 1000 |                        | 18        |
| <u>426</u><br>—                        | 1,6;<br>2,5                         | 2000 | 2930 | 800   | 1550 | <u>150</u><br>150    | <u>576</u><br>363         | <u>352</u><br>610 | 500        | 1200       | 400           | 700  | 250                    | 6         |
|  |                                     | 3000 | 3930 | 1500  | 2550 |                      |                           |                   | 500        | 1500       | 750           | 900  |                        | 10        |
|  |                                     | 4000 | 4930 | 2000  | 3550 |                      |                           |                   | 800        | 1800       | 1000          | 1000 |                        | 14        |
|  |                                     | 6000 | 6930 | 3000  | 5550 |                      |                           |                   | 1200       | 1800       | 1500          | 1000 |                        | 22        |
| <u>630</u><br>600                      | 1,6                                 | 2000 | 2960 | 800   | 1500 | <u>200</u><br>200    | <u>780</u><br>530         | <u>525</u><br>680 | 400        | 1200       | 400           | 700  | 300                    | 4         |
|  |                                     | 3000 | 3960 | 1500  | 2500 |                      |                           |                   | 500        | 1500       | 750           | 900  |                        | 8         |
|  |                                     | 4000 | 4960 | 2000  | 3500 |                      |                           |                   | 800        | 1800       | 1000          | 1000 |                        | 10        |
|  |                                     | 6000 | 6960 | 3000  | 5500 |                      |                           |                   | 1200       | 1800       | 1500          | 1000 |                        | 18        |

Основные размеры одноходовых теплообменников, мм (ГОСТ 15122-79)

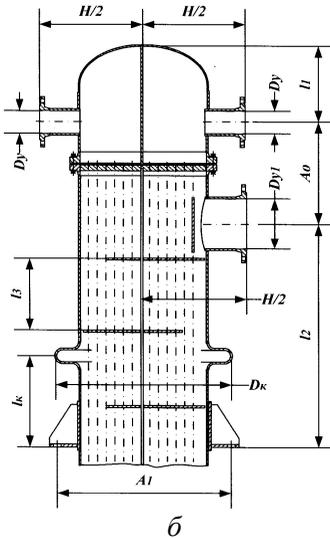
| Диаметр<br>кожуха<br>$\frac{D_{\text{н}}}{D_{\text{вн}}}$ | Давление<br>в кожухе<br>$P_{\text{у}}$ ,<br>МПа | $l$  | $L$  | $l_0$ | $A$  | $\frac{D_{\text{у}}}{D_{\text{у1}}}$ | $\frac{\approx D_{\text{к}}}{H/2}$ | $\frac{h}{l_1}$    | $l_2$      |            | $\approx l_{\text{к}}$ |      | Размещение перегородок |              |
|---|---|------|------|-------|------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------|------------|------------|------------------------|------|------------------------|--------------|
|   |   |      |      |       |      |                                      |                                    |                    | ТКГ<br>ТНГ | ТКВ<br>ТНВ | ТКВ                    | ТКГ  | $l_3$                  | $n$ ,<br>шт. |
|   |   |      |      |       |      |                                      |                                    |                    |            |            |                        |      |                        |              |
| $\frac{-}{800}$   | 1,0   | 2000 | 3070 | 800   | 1450 | $\frac{250}{250}$                    | $\frac{966}{627}$                  | $\frac{622}{775}$  | 400        | 1200       | 400                    | 700  | 350                    | 4            |
|   |   | 3000 | 4070 | 1500  | 2450 |                                      |                                    |                    | 600        | 1500       | 750                    | 900  |                        | 6            |
|   |   | 4000 | 5070 | 2000  | 3450 |                                      |                                    |                    | 800        | 1800       | 1000                   | 1000 |                        | 8            |
|   |   | 6000 | 7070 | 3000  | 5450 |                                      |                                    |                    | 1200       | 1800       | 1500                   | 1000 |                        | 14           |
| $\frac{-}{800}$   | 1,6   | 2000 | 3120 | 800   | 1450 | $\frac{250}{250}$                    | $\frac{966}{627}$                  | $\frac{622}{775}$  | 400        | 1200       | 400                    | 700  | 350                    | 4            |
|   |   | 3000 | 4120 | 1500  | 2450 |                                      |                                    |                    | 600        | 1500       | 750                    | 900  |                        | 6            |
|   |   | 4000 | 5120 | 2000  | 3450 |                                      |                                    |                    | 800        | 1800       | 1000                   | 1000 |                        | 8            |
|   |   | 6000 | 7120 | 3000  | 5450 |                                      |                                    |                    | 1200       | 1800       | 1500                   | 1000 |                        | 14           |
| $\frac{-}{1000}$  | 0,6;<br>1,0                                     | 3000 | 4170 | 1500  | 2350 | $\frac{300}{300}$                    | $\frac{1166}{429}$                 | $\frac{722}{910}$  | 400        | 1500       |                        | 900  | 520                    | 4            |
|   |   | 4000 | 5170 | 2000  | 3350 |                                      |                                    |                    | 600        | 1800       | -                      | 1000 |                        | 6            |
|   |   | 6000 | 7170 | 3000  | 5350 |                                      |                                    |                    | 1200       | 1800       |                        | 1000 |                        | 10           |
| $\frac{-}{1000}$  | 1,6   | 3000 | 4180 | 1500  | 2350 | $\frac{300}{300}$                    | $\frac{1166}{429}$                 | $\frac{722}{915}$  | 400        | 1500       |                        | 900  | 520                    | 4            |
|   |   | 4000 | 5180 | 2000  | 3350 |                                      |                                    |                    | 600        | 1800       | -                      | 1000 |                        | 6            |
|   |   | 6000 | 7180 | 3000  | 5350 |                                      |                                    |                    | 1200       | 1800       |                        | 1000 |                        | 10           |
| $\frac{-}{1200}$  | 0,6;<br>1,0                                     | 4000 | 5300 | 2000  | 3200 | $\frac{350}{350}$                    | $\frac{1366}{831}$                 | $\frac{822}{1050}$ | 700        | 1800       |                        | 1000 | 550                    | 6            |
|   |   | 6000 | 7300 | 3000  | 5200 |                                      |                                    |                    | 1200       |            | -                      |      |                        | 8            |
| $\frac{-}{1200}$  | 1,6   | 4000 | 5350 | 2000  | 3200 | $\frac{350}{350}$                    | $\frac{1366}{831}$                 | $\frac{822}{1080}$ | 700        | 1800       |                        | 1000 | 550                    | 6            |
|   |   | 6000 | 7350 | 3000  | 5200 |                                      |                                    |                    | 1200       |            | -                      |      |                        | 8            |

Для обеспечения турбулентного режима движения теплоносителя по трубному пространству используют многоходовые теплообменники (рис. 22).

Распределительная камера многоходовых теплообменников для удобства механической чистки труб может быть составной со съемной эллиптической крышкой.



*a*



*б*

Рис. 22. Теплообменник многоходовой по трубам с диаметром кожуха от 325 до 1200 мм (к табл. 18):

*a* – горизонтальный (пример четырехходового); *б* – вертикальный (пример двухходового)

Таблица 16

## Основные размеры конденсаторов, мм (ГОСТ 15121-79)

| Диаметр<br>кожуха<br>$\frac{D_{\text{н}}}{D_{\text{вн}}}$ | Давление<br>в кожухе $P_{\text{y}}$ ,<br>МПа | $l$                  | $L$                  | $l_0$                | $A$                  | $D_{\text{y}}$ при числе<br>ходов по трубам |     |                      | $\frac{D_{\text{y1}}}{D_{\text{y2}}}$ | $\approx \frac{D_{\text{к}}}{H/2}$ | $\frac{h}{A_0}$      | $l_1$ | $l_2$              |                      | $\approx l_{\text{к}}$ |                     |
|---|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---|-----|----------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------|-------|--------------------|----------------------|------------------------|---------------------|
|   |  |                      |                      |                      |                      | 2   | 4   | 6                    |                                       |                                    |                      |       | ККГ<br>КНГ         | ККВ<br>КНВ           | ККГ                    | ККВ                 |
|   |  |                      |                      |                      |                      | $\frac{630}{600}$                           | 1,0 | 3000<br>4000<br>6000 | 3890<br>4890<br>6890                  | 1500<br>2000<br>3000               | 2550<br>3550<br>5550 |       | 200                | 150                  | 100                    | $\frac{300}{100}$   |
| $\frac{630}{600}$   | 1,6  | 3000<br>4000<br>6000 | 3890<br>4890<br>6890 | 1500<br>2000<br>3000 | 2540<br>3540<br>5540 | 200   | 150 | 100                  | $\frac{250}{100}$                     | $\frac{780}{530}$                  | $\frac{525}{600}$    | 310   | 500<br>800<br>1200 | 1500<br>1800<br>1800 | 750<br>1000<br>1500    | 900<br>1000<br>1000 |
| $\frac{-}{800}$   | 1,0  | 3000<br>4000<br>6000 | 3870<br>4870<br>6870 | 1500<br>2000<br>3000 | 2440<br>3440<br>5440 | 250   | 200 | 150                  | $\frac{400}{150}$                     | $\frac{966}{627}$                  | $\frac{622}{690}$    | 315   | 600<br>800<br>1200 | 1500<br>1800<br>1800 | 750<br>1000<br>1500    | 900<br>1000<br>1000 |
| $\frac{-}{800}$   | 1,6  | 3000<br>4000<br>6000 | 3970<br>4970<br>6970 | 1500<br>2000<br>3000 | 2480<br>3480<br>5480 | 250   | 200 | 150                  | $\frac{300}{150}$                     | $\frac{966}{627}$                  | $\frac{622}{640}$    | 315   | 600<br>800<br>1200 | 1500<br>1800<br>1800 | 750<br>1000<br>1500    | 900<br>1000<br>1000 |
| $\frac{-}{1000}$  | 0,6;<br>1,0                                  | 3000<br>4000<br>6000 | 4200<br>5200<br>7200 | 1500<br>2000<br>3000 | 2400<br>3400<br>5400 | 300   | 200 | 150                  | $\frac{400}{150}$                     | $\frac{1166}{729}$                 | $\frac{722}{800}$    | 380   | 400<br>600<br>1200 | 1500<br>1800<br>1800 | -                      | 900<br>1000<br>1000 |
| $\frac{-}{1000}$  | 1,6  | 3000<br>6000         | 4200<br>7200         | 1500<br>3000         | 2430<br>5430         | 300   | 200 | 150                  | $\frac{300}{150}$                     | $\frac{1166}{729}$                 | $\frac{722}{800}$    | 380   | 400<br>1200        | 1500<br>1800         | -                      | 900<br>1000         |
| $\frac{-}{1200}$  | 0,6;<br>1,0                                  | 4000<br>6000         | 5380<br>7380         | 2000<br>3000         | 3300<br>5300         | 350   | 250 | 200                  | $\frac{500}{200}$                     | $\frac{1366}{831}$                 | $\frac{822}{860}$    | 450   | 700<br>1200        | 1800<br>1800         | -                      | 1000<br>1000        |
| $\frac{-}{1200}$  | 1,6  | 4000<br>6000         | 5380<br>7380         | 2000<br>3000         | 3300<br>5300         | 350   | 250 | 200                  | $\frac{400}{200}$                     | $\frac{1366}{831}$                 | $\frac{822}{860}$    | 450   | 700<br>1200        | 1800<br>1800         | -                      | 1000<br>1000        |
| $\frac{-}{1400}$  | 0,6;<br>1,0                                  | 6000                 | 7630                 | 3000                 | 5200                 | 350   | 250 | 200                  | $\frac{500}{250}$                     | $\frac{1566}{990}$                 | $\frac{922}{990}$    | 575   | 1200               | 1800                 | -                      | -                   |

Таблица 18

Основные размеры многоходовых теплообменников, мм (ГОСТ 15122-79)

| Диаметр<br>кожу-<br>ха<br>$\frac{D_{\text{н}}}{D_{\text{вн}}}$ | Давле-<br>ние<br>в ко-<br>жухе<br>$P_y$ ,<br>МПа | $l$  | $L$  | $l_0$ | $A$  | $D_y$ при<br>числе ходов<br>по трубам |     |     | $\frac{D_{y1}}{D_k}$ | $\frac{H/2}{h}$   | $\frac{A_0}{l_1}$ | $l_2$      |            | $\approx l_k$ |      | Размеще-<br>ние пере-<br>городок |                     |
|--|--|------|------|-------|------|---------------------------------------|-----|-----|----------------------|-------------------|-------------------|------------|------------|---------------|------|----------------------------------|---------------------|
|  |  |      |      |       |      | 2                                     | 4   | 6   |                      |                   |                   | ТКГ<br>ТНГ | ТКВ<br>ТНВ | ТКГ           | ТКВ  | $l_3$                            | $n$ ,<br>шт.        |
|  |  |      |      |       |      |                                       |     |     |                      |                   |                   |            |            |               |      |                                  |                     |
| $\frac{325}{-}$  | 1,6;<br>2,5                                      | 1500 | 2170 | 650   | 1050 | 100                                   | -   | -   | $\frac{100}{475}$    | $\frac{293}{292}$ | $\frac{440}{240}$ | 350        | 800        | 325           | 475  | 180                              | 6<br>8<br>14<br>18  |
|  |  | 2000 | 2670 | 800   | 1550 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 500        | 1200       | 400           | 700  |                                  |                     |
|  |  | 3000 | 3670 | 1500  | 2550 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 650        | 1500       | 750           | 900  |                                  |                     |
|  |  | 4000 | 4670 | 2000  | 3550 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 800        | 1800       | 1000          | 1000 |                                  |                     |
| $\frac{426}{400}$  | 1,6;<br>2,5                                      | 2000 | 2770 | 800   | 1550 | 150                                   | -   | -   | $\frac{150}{576}$    | $\frac{363}{352}$ | $\frac{445}{290}$ | 500        | 1200       | 400           | 700  | 250                              | 6<br>10<br>14<br>22 |
|  |  | 3000 | 3770 | 1500  | 2550 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 500        | 1500       | 750           | 900  |                                  |                     |
|  |  | 4000 | 4770 | 2000  | 3550 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 800        | 1800       | 1000          | 1000 |                                  |                     |
|  |  | 6000 | 6770 | 3000  | 5550 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 1200       | 1800       | 1500          | 1000 |                                  |                     |
| $\frac{630}{600}$  | 1,6  | 2000 | 2910 | 800   | 1500 | 200                                   | 150 | 100 | $\frac{200}{780}$    | $\frac{530}{525}$ | $\frac{520}{370}$ | 400        | 1200       | 400           | 700  | 300                              | 4<br>8<br>10<br>18  |
|  |  | 3000 | 3910 | 1500  | 2500 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 500        | 1500       | 750           | 900  |                                  |                     |
|  |  | 4000 | 4910 | 2000  | 3500 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 800        | 1800       | 1000          | 1000 |                                  |                     |
|  |  | 6000 | 6910 | 3000  | 5500 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 1200       | 1800       | 1500          | 1000 |                                  |                     |
| $\frac{-}{800}$  | 1,0  | 2000 | 3160 | 800   | 1450 | 250                                   | 200 | 150 | $\frac{250}{966}$    | $\frac{627}{622}$ | $\frac{630}{420}$ | 400        | 1200       | 400           | 700  | 350                              | 4<br>6<br>8<br>14   |
|  |  | 3000 | 4160 | 1500  | 2450 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 600        | 1500       | 750           | 900  |                                  |                     |
|  |  | 4000 | 5160 | 2000  | 3350 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 800        | 1800       | 1000          | 1000 |                                  |                     |
|  |  | 6000 | 7160 | 3000  | 5250 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 1200       | 1800       | 1500          | 1000 |                                  |                     |
| $\frac{-}{800}$  | 1,6  | 2000 | 3190 | 800   | 1450 | 250                                   | 200 | 150 | $\frac{250}{966}$    | $\frac{627}{622}$ | $\frac{630}{420}$ | 400        | 1200       | 400           | 700  | 350                              | 4<br>6<br>8<br>14   |
|  |  | 3000 | 4190 | 1500  | 2450 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 600        | 1500       | 750           | 900  |                                  |                     |
|  |  | 4000 | 5190 | 2000  | 3350 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 800        | 1800       | 1000          | 1000 |                                  |                     |
|  |  | 6000 | 7190 | 3000  | 5250 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 1200       | 1800       | 1500          | 1000 |                                  |                     |

Основные размеры многоходовых теплообменников, мм (ГОСТ 15122-79)

| Диаметр<br>кожу-<br>ха<br>$\frac{D_H}{D_{BH}}$ | Дав-<br>ление<br>в ко-<br>жухе<br>$P_y$ ,<br>МПа | $l$  | $L$  | $l_0$ | $A$  | $D_y$ при<br>числе ходов<br>по трубам |     |     | $\frac{D_{y1}}{D_K}$ | $\frac{H/2}{h}$   | $\frac{A_0}{l_1}$ | $l_2$      |            | $\approx l_K$ |      | Размеще-<br>ние пере-<br>городок |              |
|--|--|------|------|-------|------|---------------------------------------|-----|-----|----------------------|-------------------|-------------------|------------|------------|---------------|------|----------------------------------|--------------|
|  |  |      |      |       |      | 2                                     | 4   | 6   |                      |                   |                   | ТКГ<br>ТНГ | ТКВ<br>ТНВ | ТКГ           | ТКВ  | $l_3$                            | $n$ ,<br>шт. |
|  |  |      |      |       |      |                                       |     |     |                      |                   |                   |            |            |               |      |                                  |              |
| 1<br>1000                                      | 0,6;<br>1,0                                      | 3000 | 4260 | 1500  | 2350 | 300                                   | 200 | 150 | $\frac{300}{1166}$   | $\frac{729}{722}$ | $\frac{685}{500}$ | 400        | 1500       | -             | 900  | 520                              | 6            |
|  |  | 4000 | 5260 | 2000  | 3350 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 600        | 1800       |               | 1000 |                                  | 8            |
|  |  | 6000 | 7260 | 3000  | 5350 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 1200       | 1800       |               | 1000 |                                  | 10           |
| 1<br>1000                                      | 1,6  | 3000 | 4260 | 1500  | 2350 | 300                                   | 200 | 150 | $\frac{300}{1166}$   | $\frac{729}{722}$ | $\frac{685}{500}$ | 400        | 1500       | -             | 900  | 520                              | 6            |
|  |  | 4000 | 5260 | 2000  | 3350 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 600        | 1800       |               | 1000 |                                  | 8            |
|  |  | 6000 | 7260 | 3000  | 5350 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 1200       | 1800       |               | 1000 |                                  | 10           |
| 1<br>1200                                      | 0,6;<br>1,0                                      | 4000 | 5430 | 2000  | 3200 | 350                                   | 250 | 200 | $\frac{350}{1366}$   | $\frac{831}{822}$ | $\frac{756}{620}$ | 700        | 1800       | -             | 1000 | 550                              | 6            |
|  |  | 6000 | 7430 | 3000  | 5200 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 1200       | 1800       |               | 8    |                                  |              |
|  |  |      |      |       |      |                                       |     |     |                      |                   |                   |            |            |               |      |                                  |              |
| 1<br>1200                                      | 1,6  | 4000 | 5430 | 2000  | 3200 | 350                                   | 250 | 200 | $\frac{350}{1366}$   | $\frac{831}{822}$ | $\frac{765}{620}$ | 700        | 1800       | -             | 1000 | 550                              | 6            |
|  |  | 6000 | 7430 | 3000  | 5200 |                                       |     |     |                      |                   |                   | 1200       | 1800       |               | 8    |                                  |              |
|  |  |      |      |       |      |                                       |     |     |                      |                   |                   |            |            |               |      |                                  |              |

## 6. КОНСТРУКЦИИ И РАЗМЕРЫ ФЛАНЦЕВ

В зависимости от назначения по месту установки различают фланцы:

- соединительных частей трубопроводов, штуцеров насосов и аппаратов, запорно-регулирующих устройств и др.;
- аппаратные облегченные, которые служат для соединения отдельных частей емкостей, аппаратов.

По способу соединения с трубой, корпусом аппарата, прибором фланцы могут быть плоскими и приварными встык.

По конструкции уплотнительной поверхности различают фланцы:

- с гладкой уплотнительной поверхностью;
- типа «выступ – впадина»;
- типа «шип – паз».

### 6.1. Фланцы соединительных частей трубопроводов

По ГОСТ 12815-80 фланцы трубопроводов и соединительных частей, а также присоединительные фланцы арматуры, машин, приборов, патрубков аппаратов и резервуаров могут быть шести разных видов (табл. 19).

Таблица 19

Типы и основные параметры фланцев по ГОСТ 12815-80

| Тип фланца  | Условное давление $P_y$ , МПа | Условный проход $D_y$ , мм |
|---|-------------------------------|----------------------------|
| Литые из серого чугуна по ГОСТ 12817-80                 | 0,1; 0,25                     | 15 ... 3000                |
|   | 1,0                           | 15 ... 2000                |
|   | 1,6                           | 15 ... 1000                |
| Литые из ковкого чугуна по ГОСТ 12818-80                | 1,6 ... 4,0                   | 15 ... 80                  |
| Литые стальные по ГОСТ 12819-80                         | 1,6                           | 15 ... 1600                |
|   | 10                            | 15 ... 400                 |
|   | 20                            | 15 ... 250                 |
| Стальные плоские приварные по ГОСТ 12820-80             | 0,1; 0,25                     | 10 ... 2400                |
|   | 1,6                           | 10 ... 1200                |
|   | 2,5                           | 10 ... 800                 |
| Стальные приварные встык по ГОСТ 12821-80               | 0,1 ... 4,0                   | 10 ... 1600                |
|   | 10                            | 10 ... 400                 |
|   | 20                            | 15 ... 250                 |
| Стальные свободные на приварном кольце по ГОСТ 12822-80 | 0,1 ... 2,5                   | 10 ... 500                 |

Уплотнительная поверхность фланца может иметь 9 исполнений (рис. 23). Независимо от вида уплотнительной поверхности сами фланцы могут быть как приварными встык, так и плоскими приварными (рис. 23а).

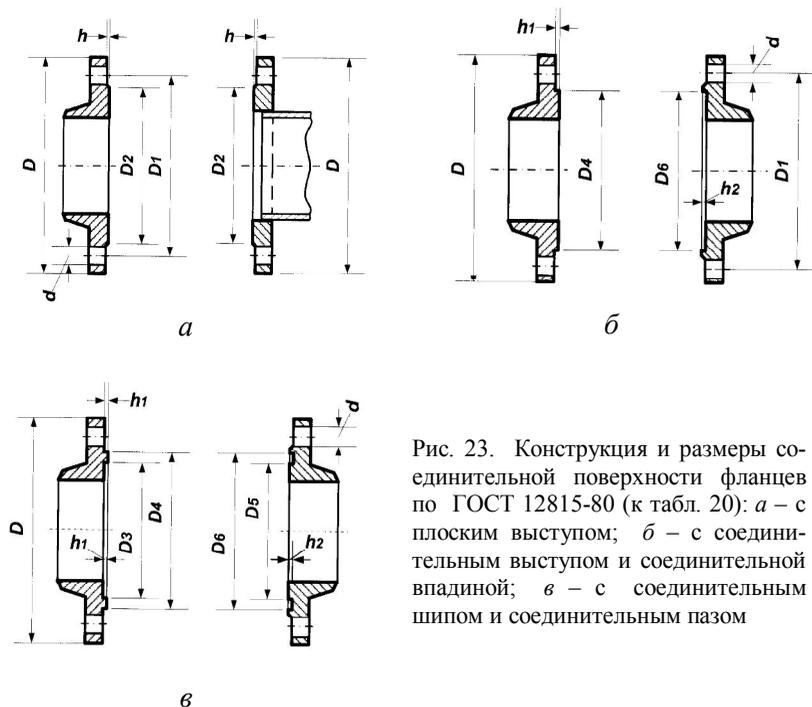


Рис. 23. Конструкция и размеры соединительной поверхности фланцев по ГОСТ 12815-80 (к табл. 20): а – с плоским выступом; б – с соединительным выступом и соединительной впадиной; в – с соединительным шипом и соединительным пазом

Фланцы с плоским выступом типа *а* удобны для замены прокладки, установки заглушек.

Во фланцевых соединениях с выступом и впадиной типа *б* прокладка фиксируется во фланце со впадиной.

Для аппаратов, работающих при глубоком вакууме, используют фланцы на  $P_y$  не менее 1,6 МПа с уплотнением типа *в* «шип – паз». Прокладка укладывается в кольцевой паз, что предотвращает её перемещение в радиальном направлении.

Таблица 20

Размеры присоединительных поверхностей фланцев  
для трубопроводов, мм, по ГОСТ 12815-80

| $D_y$                   | $D$ | $D_1$ | $D_2$ | $D_3$ | $D_4$ | $D_5$ | $D_6$ | $d$ | $n$ | $h$ | $h_1$ | $h_2$ | $B$ | $d$<br>бол-<br>тов |
|-------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-------|-------|-----|--------------------|
| на $P_y$ 0,1 и 0,25 МПа |     |       |       |       |       |       |       |     |     |     |       |       |     |                    |
| 20                      | 90  | 65    | 50    | 33    | 43    | 32    | 44    | 11  | 4   | 2   | 4     | 3     | 70  | M10                |
| 25                      | 100 | 75    | 60    | 41    | 51    | 40    | 52    | 11  | 4   | 2   | 4     | 3     | 75  | M10                |
| 32                      | 120 | 90    | 70    | 49    | 59    | 48    | 60    | 14  | 4   | 2   | 4     | 3     | 95  | M12                |
| 40                      | 130 | 100   | 80    | 55    | 69    | 54    | 70    | 14  | 4   | 3   | 4     | 3     | 100 | M12                |
| 50                      | 140 | 110   | 90    | 66    | 80    | 65    | 81    | 14  | 4   | 3   | 4     | 3     | 110 | M12                |
| 65                      | 160 | 130   | 100   | 86    | 100   | 85    | 101   | 14  | 4   | 3   | 4     | 3     | 125 | M12                |
| 80                      | 185 | 150   | 128   | 101   | 115   | 100   | 116   | 18  | 4   | 3   | 4     | 3     | 140 | M16                |
| 100                     | 205 | 170   | 148   | 117   | 137   | 116   | 138   | 18  | 4   | 3   | 4     | 3     | 155 | M16                |
| 125                     | 235 | 200   | 178   | 146   | 166   | 145   | 167   | 18  | 8   | 3   | 4     | 3     | ¾   | M16                |
| 150                     | 260 | 225   | 202   | 171   | 191   | 170   | 192   | 18  | 8   | 3   | 4     | 3     | ¾   | M16                |
| 200                     | 315 | 280   | 258   | 229   | 249   | 228   | 250   | 18  | 8   | 3   | 4     | 3     | ¾   | M16                |
| 250                     | 370 | 335   | 312   | 283   | 303   | 282   | 304   | 18  | 12  | 3   | 4     | 3     | ¾   | M16                |
| 300                     | 435 | 395   | 365   | 336   | 356   | 335   | 357   | 22  | 12  | 4   | 5     | 4     | ¾   | M20                |
| 350                     | 485 | 445   | 415   | 386   | 406   | 385   | 407   | 22  | 12  | 4   | 5     | 4     | ¾   | M20                |
| 400                     | 535 | 495   | 465   | 436   | 456   | 435   | 457   | 22  | 16  | 4   | 5     | 4     | ¾   | M20                |
| на $P_y$ 1,0 МПа        |     |       |       |       |       |       |       |     |     |     |       |       |     |                    |
| 20                      | 105 | 75    | 58    | 36    | 50    | 35    | 51    | 14  | 4   | 2   | 4     | 3     | 80  | M12                |
| 25                      | 115 | 85    | 68    | 43    | 57    | 42    | 58    | 14  | 4   | 2   | 4     | 3     | 90  | M12                |
| 32                      | 135 | 100   | 78    | 51    | 65    | 50    | 66    | 18  | 4   | 2   | 4     | 3     | 105 | M16                |
| 40                      | 145 | 110   | 88    | 61    | 75    | 60    | 76    | 18  | 4   | 3   | 4     | 3     | 110 | M16                |
| 50                      | 160 | 125   | 102   | 73    | 87    | 72    | 88    | 18  | 4   | 3   | 4     | 3     | 125 | M16                |
| 65                      | 180 | 145   | 122   | 95    | 109   | 94    | 110   | 18  | 4   | 3   | 4     | 3     | 140 | M16                |
| 80                      | 195 | 160   | 133   | 106   | 120   | 105   | 121   | 18  | 4   | 3   | 4     | 3     | 150 | M16                |
| 100                     | 215 | 180   | 158   | 129   | 149   | 128   | 150   | 18  | 8   | 3   | 4     | 3     | ¾   | M16                |
| 125                     | 245 | 210   | 184   | 155   | 175   | 154   | 176   | 18  | 8   | 3   | 4     | 3     | ¾   | M16                |
| 150                     | 280 | 240   | 212   | 183   | 203   | 182   | 204   | 22  | 8   | 3   | 4     | 3     | ¾   | M20                |
| 200                     | 335 | 295   | 268   | 239   | 259   | 238   | 260   | 22  | 8   | 3   | 4     | 3     | ¾   | M20                |
| 250                     | 390 | 350   | 320   | 292   | 312   | 291   | 313   | 22  | 12  | 3   | 4     | 3     | ¾   | M20                |
| 300                     | 440 | 400   | 370   | 343   | 363   | 342   | 364   | 22  | 12  | 4   | 5     | 4     | ¾   | M20                |
| 350                     | 500 | 460   | 430   | 395   | 421   | 394   | 422   | 22  | 16  | 4   | 5     | 4     | ¾   | M20                |
| 400                     | 565 | 515   | 482   | 447   | 473   | 446   | 474   | 26  | 16  | 4   | 5     | 4     | ¾   | M24                |

Толщина и присоединительные размеры зависят от конструкции фланцев (рис. 24, 25).

Внутренний диаметр отверстия стального плоского фланца определяется наружным диаметром трубы (рис. 24, табл. 21).

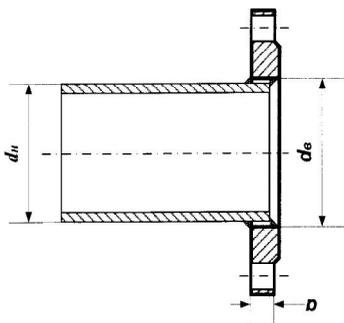


Рис. 24. Конструкция и размеры стального плоского фланца по ГОСТ 12820-80 (к табл. 21)

Таблица 21  
Конструктивные размеры стальных плоских приварных фланцев, мм,  
по ГОСТ 12820-80

| Проход условный<br>$D_y$ | $P_y$ 0,1 и 0,25 МПа |       |     | $P_y$ 1,0 МПа |       |     |
|--------------------------|----------------------|-------|-----|---------------|-------|-----|
|                          | $d_n$                | $d_b$ | $b$ | $d_n$         | $d_b$ | $b$ |
| 20                       | 25                   | 26    | 10  | 25            | 26    | 12  |
| 25                       | 32                   | 33    | 10  | 32            | 33    | 12  |
| 32                       | 38                   | 39    | 10  | 38            | 39    | 14  |
| 40                       | 45                   | 46    | 10  | 45            | 46    | 15  |
| 50                       | 57                   | 59    | 10  | 57            | 59    | 15  |
| 65                       | 76                   | 78    | 11  | 76            | 78    | 17  |
| 80                       | 89                   | 91    | 11  | 89            | 91    | 17  |
| 100                      | 108                  | 110   | 11  | 108           | 110   | 19  |
|                          | 114                  | 116   | 11  | 114           | 116   | 19  |
| 125                      | 133                  | 135   | 13  | 133           | 135   | 21  |
|                          | 140                  | 142   | 13  | 140           | 142   | 21  |
| 150                      | 152                  | 154   | 13  | 152           | 154   | 21  |
|                          | 159                  | 161   | 13  | 159           | 161   | 21  |
| 200                      | 168                  | 170   | 13  | 168           | 170   | 21  |
|                          | 219                  | 222   | 15  | 219           | 222   | 21  |
| 250                      | 273                  | 273   | 18  | 273           | 273   | 23  |
| 300                      | 325                  | 325   | 18  | 325           | 325   | 24  |
| 350                      | 377                  | 377   | 18  | 377           | 377   | 24  |
| 400                      | 426                  | 426   | 18  | 426           | 426   | 26  |

Внутренний диаметр фланцев стальных приварных встык определяется однозначно диаметром условного прохода (рис. 25, табл. 22).

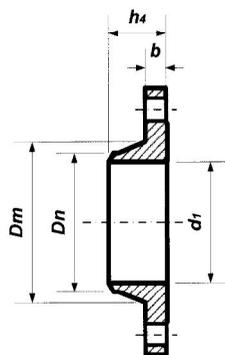


Рис. 25. Конструкция и размеры фланца приварного встык по ГОСТ 12821-80 (к табл. 22)

Таблица 22  
Конструктивные размеры фланцев стальных приварных встык, мм,  
по ГОСТ 12821-80

| Проход условный $D_v$ | $P_y$ 0,1 и 0,25 МПа |     |       |       |       | $P_y$ 1,0 МПа |     |       |       |       |
|-----------------------|----------------------|-----|-------|-------|-------|---------------|-----|-------|-------|-------|
|                       | $d_1$                | $b$ | $h_4$ | $D_m$ | $D_n$ | $d_1$         | $b$ | $h_4$ | $D_m$ | $D_n$ |
| 20                    | 18                   | 8   | 2     | 36    | 26    | 18            | 12  | 36    | 38    | 26    |
| 25                    | 25                   | 8   | 28    | 42    | 33    | 25            | 12  | 38    | 45    | 33    |
| 32                    | 31                   | 8   | 28    | 50    | 39    | 31            | 13  | 40    | 55    | 39    |
| 40                    | 38                   | 9   | 33    | 60    | 46    | 38            | 13  | 42    | 62    | 46    |
| 50                    | 49                   | 9   | 33    | 70    | 58    | 49            | 13  | 42    | 76    | 58    |
| 65                    | 66                   | 9   | 33    | 88    | 77    | 66            | 15  | 45    | 94    | 77    |
| 80                    | 78                   | 11  | 35    | 102   | 90    | 78            | 15  | 47    | 105   | 90    |
| 100                   | 96                   | 11  | 37    | 122   | 110   | 96            | 17  | 48    | 128   | 110   |
| 125                   | 121                  | 11  | 37    | 148   | 135   | 121           | 19  | 57    | 156   | 135   |
| 150                   | 146                  | 11  | 38    | 172   | 161   | 146           | 19  | 57    | 180   | 161   |
| 200                   | 202                  | 13  | 45    | 235   | 222   | 202           | 19  | 58    | 240   | 222   |
| 250                   | 254                  | 16  | 45    | 288   | 278   | 254           | 21  | 60    | 290   | 278   |
| 300                   | 303                  | 16  | 45    | 340   | 330   | 303           | 22  | 60    | 345   | 330   |
| 350                   | 351                  | 16  | 45    | 390   | 382   | 351           | 22  | 60    | 400   | 382   |
| 400                   | 398                  | 16  | 45    | 440   | 432   | 398           | 22  | 60    | 445   | 432   |
| 500                   | 501                  | 19  | 50    | 545   | 535   | 501           | 24  | 65    | 550   | 535   |
| 600                   | 602                  | 19  | 55    | 650   | 636   | 602           | 24  | 65    | 650   | 636   |
| 800                   | 792                  | 19  | 60    | 844   | 826   | 792           | 27  | 75    | 850   | 826   |
| 1000                  | 992                  | 21  | 60    | 1044  | 1028  | 992           | 29  | 80    | 1050  | 1028  |

## 6.2. Фланцы соединительных частей аппаратов

По ГОСТ 28759.1-90 фланцы сосудов и аппаратов могут быть трех типов (табл. 23).

Таблица 23  
Типы и основные параметры фланцев сосудов и аппаратов по ГОСТ 28759.1-90

| Тип фланца  | Внутренний диаметр аппарата, $D$ , мм | Условное давление, $P_v$ , МПа | Температура, °С         |
|---|---------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Стальные плоские приварные по ГОСТ 28759.2-90                                     | 400 ... 4000                          | 0,3                            | От минус 70 до плюс 300 |
|   | 400 ... 3200                          | 0,6 ... 1,0                    |                         |
|   | 400 ... 2400                          | 1,6                            |                         |
| Стальные приварные встык по ГОСТ 28759.3-90                                       | 400 ... 4000                          | 0,6 ... 1,0                    | От минус 70 до плюс 600 |
|   | 400 ... 3200                          | 1,6                            |                         |
|   | 400 ... 2000                          | 2,5                            |                         |
|   | 400 ... 1600                          | 4,0 ... 6,3                    |                         |
| Стальные приварные встык под прокладку восьмиугольного сечения по ГОСТ 28759.4-90 | 400 ... 1600                          | 6,3 ... 8,0                    | От минус 70 до плюс 600 |
|   | 400 ... 1500                          | 10                             |                         |
|   | 400 ... 1200                          | 16                             |                         |

Для сосудов и аппаратов, работающих в условиях вакуума с остаточным давлением не ниже 665 Па, допускается применять фланцы исполнений 1 – 5 ГОСТ 28759.2 на  $P_v$  0,3 МПа и исполнений 1 – 4 ГОСТ 28759.3 на  $P_v$  1,3 МПа. Технические требования к фланцам определены в ГОСТ 28759.5-90.

Фланцы сосудов и аппаратов стальные плоские приварные по ГОСТ 28759.2-90 (табл. 24) могут иметь следующие исполнения (рис. 26): 1 – с гладкой уплотнительной поверхностью; 2 – с пазом; 3 – с шипом (ответный для фланца исполнения 2); 4 – с впадиной; 5 – с выступом (ответный для фланца исполнения 4).

Фланцы исполнений 6 – 10 аналогичны фланцам исполнений 1 – 5, уплотнительная поверхность которых облицована листом из коррозионно-стойкой стали; фланцы исполнений 11 – 15 аналогичны фланцам исполнений 1 – 5, на уплотнительную поверхность которых наплавлена коррозионно-стойкая сталь.

Пример условного обозначения фланца исполнения 1 диаметром 1200 мм на условное давление 0,6 МПа при высоте втулки 150 мм из стали 20:

Фланец 1-1200-0,6-150 Ст 20 ГОСТ 28759.2-90.

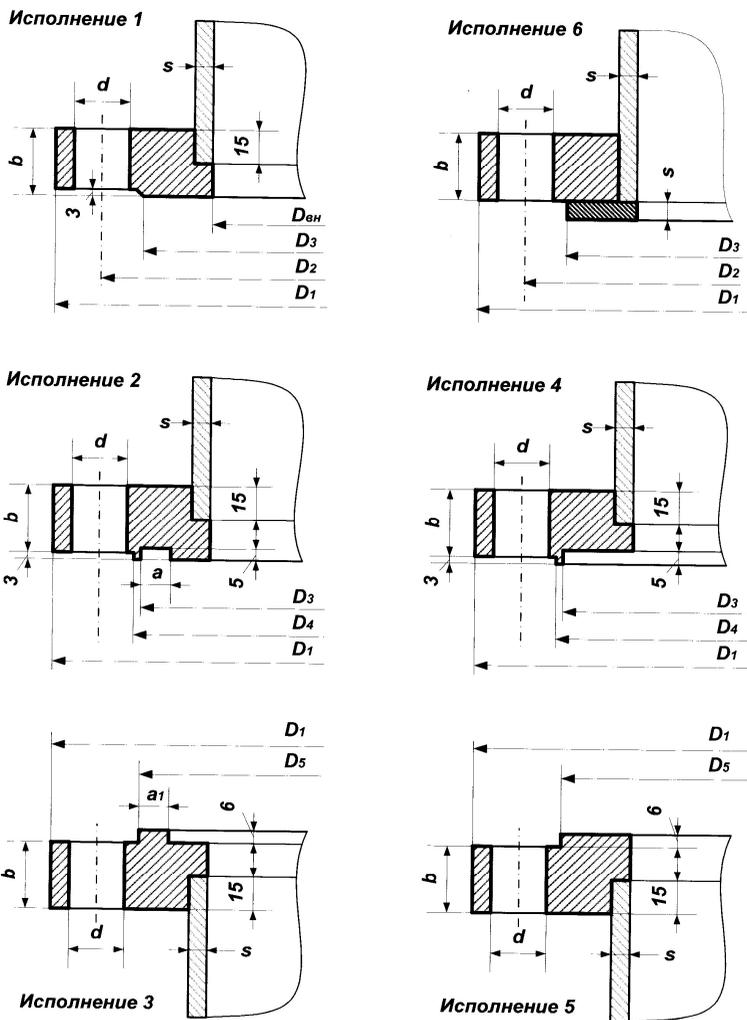


Рис. 26. Конструкции и размеры стальных плоских приварных фланцев для сосудов и аппаратов по ГОСТ 28759.2-90 (к табл. 24)



Фланцы сосудов и аппаратов стальные приварные встык (ГОСТ 28759.3-90) используют в аппаратах с внутренним диаметром от 400 до 4000 мм с условным давлением от 0,6 до 6,3 МПа при температуре рабочей среды от  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+540^{\circ}\text{C}$ .

Стандарт устанавливает конструкции фланцев 12 исполнений. Наиболее распространены (рис. 27): исполнение 1 – с впадиной; исполнение 2 – с выступом (ответный для фланца исполнения 1); исполнение 3 – с пазом; исполнение 4 – с шипом (ответный для фланца исполнения 3).

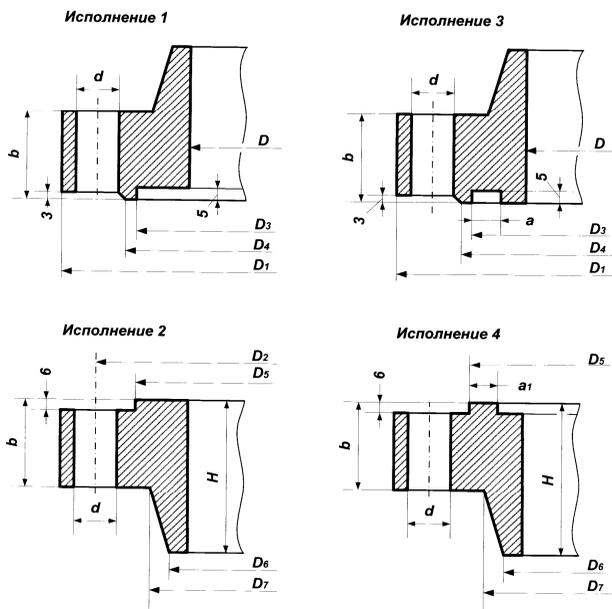


Рис. 27. Конструкции и размеры фланцев сосудов и аппаратов приварные встык по ГОСТ 28759.3-90 (к табл. 25)

Пример условного обозначения фланца исполнения 1 диаметром 1200 мм на условное давление 2,5 МПа из стали 12X18H10T:

Фланец 1-1200-2,5-12X18H10T ГОСТ 28759.3-90.

То же для фланца с прокладкой из фторопласта:

Фланец 1-1200-2,5-Ф-12X18H10T ГОСТ 28759.3-90.

Таблица 25

## Конструктивные размеры фланцев сосудов и аппаратов стальных приварных встык, мм, ГОСТ 28759.3-90

| $D_{\text{вн}}$ | $D_1$ | $D_2$ | $D_3$ | $D_4$ | $a$  | $D_5$ | $a_1$ | $D_6$ | $D_7$ | $b$  | $H$ | $d$ | Болты,<br>шпильки |     | $P_y$ ,<br>МПа |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-------------------|-----|----------------|
|                 |       |       |       |       |      |       |       |       |       |      |     |     | $d$               | $n$ |                |
| 400             | 535   | 495   | 458   | 466   | 13,5 | 457   | 12    | 412   | 432   | 35   | 65  | 23  | M20               | 20  | 1,0            |
|                 | 590   | 530   |       |       | 15,5 |       |       | 14    | 418   | 440  | 40  |     |                   | 75  | 24             |
| 600             | 740   | 700   | 644   | 672   | 14   | 663   | 12    | 614   | 634   | 35   | 65  | 23  | M20               | 28  | 1,0            |
|                 | 820   | 750   | 670   | 685   | 16   | 669   | 14    | 624   | 648   | 50   | 85  |     |                   | 32  | 2,5            |
| 800             | 945   | 905   | 866   | 876   | 14   | 865   | 12    | 818   | 838   | 40   | 70  | 23  | M20               | 40  | 1,0            |
|                 | 955   | 915   | 876   | 886   |      |       |       | 875   | 880   | 55   | 100 |     |                   | 48  | 2,5            |
| 1000            | 1055  | 985   | 885   | 910   | 20,5 | 883   | 18    | 848   | 904   | 95   | 180 | 40  | M36               | 36  | 6,3            |
|                 | 1145  | 1105  | 1066  | 1076  | 15,5 | 1064  | 13    | 1020  | 1044  | 50   | 85  |     |                   | 23  | M20            |
| 1200            | 1175  | 1125  | 1030  | 1092  | 20,5 | 1093  | 18    | 1036  | 1066  | 60   | 105 | 27  | M24               | 52  | 2,5            |
|                 | 1300  | 1220  | 1095  | 1110  |      |       |       | 1056  | 1126  | 115  | 220 |     |                   | 46  | M42            |
| 1400            | 1350  | 1310  | 1268  | 1280  | 15,5 | 1266  | 13    | 1220  | 1248  | 50   | 95  | 23  | M20               | 56  | 1,0            |
|                 | 1400  | 1345  | 1206  | 1310  |      |       |       | 1294  | 1238  | 1276 | 70  |     |                   | 130 | 30             |
| 1600            | 1520  | 1440  | 1310  | 1326  | 28   | 1307  | 25    | 1268  | 1346  | 120  | 235 | 46  | M42               | 48  | 6,3            |
|                 | 1550  | 1510  | 1470  | 1484  | 15,5 | 1468  | 13    | 1420  | 1452  | 55   | 105 |     |                   | 23  | M20            |
| 1800            | 1610  | 1555  | 1506  | 1520  | 28   | 1519  | 25    | 1476  | 1438  | 75   | 115 | 30  | M27               | 64  | 2,5            |
|                 | 1770  | 1675  | 1522  | 1545  |      |       |       | 1476  | 1362  | 145  | 275 |     |                   | 58  | M52            |
| 2000            | 1780  | 1730  | 1682  | 1696  | 17,5 | 1679  | 14    | 1626  | 1660  | 55   | 105 | 27  | M24               | 68  | 1,0            |
|                 | 1820  | 1760  | 1708  | 1720  |      |       |       | 1705  | 1642  | 1690 | 80  |     |                   | 155 | 33             |
| 1800            | 1995  | 1900  | 1732  | 1750  | 28,5 | 1729  | 25    | 1686  | 1784  | 155  | 300 | 58  | M52               | 56  | 6,3            |
|                 | 1980  | 1930  | 1882  | 1896  | 17,5 | 1879  | 14    | 1828  | 1864  | 60   | 115 |     |                   | 27  | M24            |
| 2000            | 2025  | 1965  | 1910  | 1928  | 21,5 | 2083  | 18    | 1842  | 1896  | 90   | 170 | 33  | M30               | 80  | 2,5            |
|                 | 2185  | 2135  | 2086  | 2100  |      |       |       | 2028  | 2064  | 65   | 130 |     |                   | 27  | M24            |
| 2000            | 2235  | 2175  | 2116  | 2130  | 21,5 | 2113  | 18    | 2044  | 2104  | 105  | 195 | 33  | M30               | 80  | 2,5            |

Примечание. При применении прокладки из фторопласта-4 размер  $D_3$  равен  $D_5$ ; размер  $a$  равен  $a_1+0,6$ .

## 7. ЗАДАНИЯ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

### Задание T01

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать кожухотрубчатый теплообменник для нагрева жидкости S от значения начальной температуры  $t_1$  до значения температуры 40 °С горячей водой. Начальное значение температуры воды составляет 75 °С, в теплообменнике вода охлаждается на  $\Delta t$ , °С.

#### 2. Данные для расчетов

Расход нагреваемой жидкости, т/ч:  $G = 90 + 0,3 k z$ .

Значение начальной температуры жидкости  $t_1$  и изменение значения температуры воды  $\Delta t$  для варианта k:

| k               | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
|-----------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $t_1$ , °С      | -10 | -5 | 0  | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| $\Delta t$ , °С | 48  | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 | 30 |

Жидкость S для подварианта z:

1. Метанол.
2. Изопропанол.
3. Дихлорэтан.
4. Этанол.
5. Бутанол.
6. Хлороформ.
7. Пропанол.
8. Изобутанол.
9. Ацетон.
0. n-Октан.

### Задание T02

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать кожухотрубчатый теплообменник для охлаждения жидкости S от значения начальной температуры 20 °С до значения температуры  $t_2$  испаряющимся при температуре минус 30 °С жидким аммиаком.

#### 2. Данные для расчетов

Расход жидкости, т/ч:  $G = 25 + 0,2 k z$ .

Конечная температура жидкости  $t_2$  для варианта k:

| k          | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 0   |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $t_2$ , °С | -20 | -19 | -18 | -17 | -16 | -15 | -14 | -13 | -12 | -11 |

Жидкость S для подварианта z:

1. Бутанол.
2. Этанол.
3. Изопропанол.
4. n-Октан.
5. Изобутанол.
6. Хлороформ.
7. Пропанол.
8. Метанол.
9. Ацетон.
0. Дихлорэтан.

### Задание Т03

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать кожухотрубчатый теплообменник для испарения вещества  $S$  при абсолютном давлении 0,2 МПа за счет теплоты конденсации насыщенного водяного пара, причем значение температуры водяного пара превышает значение температуры кипения жидкости  $S$  на  $\Delta t$ .

#### 2. Данные для расчетов

Расход вещества, т/ч:  $G = 30 + 0,3 k z$ .

Температурный напор  $\Delta t$  для варианта  $k$ :

| $k$                        | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $\Delta t, ^\circ\text{C}$ | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 |

Жидкость  $S$  для подварианта  $z$

1. Бензол.
2. Этанол.
3.  $n$ -Ксилол.
4. Пропанол.
5. Изобутанол.
6. Бутанол.
7. Толуол.
8. Метанол.
9. Хлороформ.
0. Дихлорэтан.

### Задание Т04

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать кожухотрубчатый теплообменник для утилизации теплоты конденсации паров вещества  $S$  при атмосферном давлении с получением горячей воды, которая нагревается от начального значения температуры  $t_1$  на  $\Delta t$ .

#### 2. Данные для расчетов

Расход вещества, т/ч:  $G = 60 + 0,2 k z$ .

Начальное значение температуры воды  $t_1$  и ее изменение в теплообменнике  $\Delta t$  для варианта  $k$ :

| $k$                        | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $t_1, ^\circ\text{C}$      | 23 | 22 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| $\Delta t, ^\circ\text{C}$ | 42 | 44 | 50 | 48 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 |

Жидкость  $S$  для подварианта  $z$ :

1.  $n$ -Октан.
2. Этанол.
3. Этилацетат.
4. Пропанол.
5. Бензол.
6. Бутанол
7.  $n$ -Ксилол.
8. Изобутанол.
9. Толуол.
0. Четыреххлористый углерод.

## Задание Т05

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать теплообменник для нагрева жидкости S от значения температуры  $t_1$  до  $45\text{ }^\circ\text{C}$  при атмосферном давлении. Нагрев производится водой с начальным значением температуры  $80\text{ }^\circ\text{C}$ . В теплообменнике вода охлаждается на  $\Delta t$ .

### 2. Данные для расчетов

Расход жидкости, т/ч:  $G = 70 + 0,3 k z$ .

Начальное значение температуры жидкости  $t_1$  и изменение значения температуры воды  $\Delta t$  для варианта k:

| k                          | 1   | 2   | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
|----------------------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $t_1, ^\circ\text{C}$      | -15 | -10 | -5 | 0  | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| $\Delta t, ^\circ\text{C}$ | 50  | 48  | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 | 34 | 32 |

Жидкость S для подварианта z:

1. *n*-Октан.
2. Этанол.
3. Изопропанол.
4. Пропанол.
5. Изобутанол.
6. Бутанол.
7. *n*-Ксилол.
8. Метанол.
9. Ацетон.
0. Дихлоэтан.

## Задание Т06

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать кожухотрубчатый теплообменник для нагрева жидкости S от значения температуры  $t_1$  до значения температуры кипения при атмосферном давлении водяным паром. Значение температуры конденсации греющего пара превышает значение температуры кипения жидкости S на  $\Delta t$ .

### 2. Данные для расчетов

Расход жидкости, т/ч:  $G = 50 + 0,4 k z$ .

Значение начальной температуры жидкости  $t_1$  и изменение значения температуры воды  $\Delta t$  для варианта k:

| k                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $t_1, ^\circ\text{C}$      | 25 | 30 | 35 | 40 | 15 | 20 | 25 | 20 | 30 | 35 |
| $\Delta t, ^\circ\text{C}$ | 28 | 21 | 24 | 22 | 20 | 27 | 26 | 25 | 29 | 23 |

Жидкость S для подварианта z:

1. Дихлорэтан.
2. Изобутанол.
3. *n*-Ксилол.
4. Пропанол.
5. Бензол.
6. Бутанол.
7. Этанол.
8. Метанол.
9. Хлороформ.
0. Толуол.

### Задание Т07

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать кожухотрубчатый теплообменник для нагрева жидкости S от начального значения температуры  $t_1$  до значения температуры кипения при атмосферном давлении насыщенным водяным паром, причем температура конденсации водяного пара превышает значение температуры кипения жидкости на  $\Delta t$ .

#### 2. Данные для расчетов

Расход жидкости, т/ч:  $G = 50 + 0,5 k z$ .

Начальное значение температуры жидкости  $t_1$  и минимальный температурный напор  $\Delta t$  для варианта k:

| k                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $t_1, ^\circ\text{C}$      | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| $\Delta t, ^\circ\text{C}$ | 15 | 18 | 11 | 14 | 12 | 20 | 18 | 16 | 14 | 22 |

Жидкость S для подварианта z:

1. Ацетон.
2. n-Ксилол.
3. Изопропанол.
4. Пропанол.
5. Изобутанол.
6. Бутанол.
7. Хлороформ.
8. Метанол.
9. Бензол.
0. Дихлорэтан

### Задание Т08

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать теплообменник для охлаждения жидкости S от значения температуры  $40^\circ\text{C}$  до значения температуры  $t_2$ . Охлаждение производится 25%-м раствором хлористого кальция. Начальное значение температура рассола минус  $25^\circ\text{C}$ . В теплообменнике рассол нагревается на  $\Delta t$ .

#### 2. Данные для расчетов

Расход жидкости, т/ч:  $G = 15 + 0,4 k z$ .

Конечное значение температуры жидкости  $t_2$  и изменение температуры рассола  $\Delta t$  для варианта k:

| k                          | 1   | 2   | 3   | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
|----------------------------|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| $t_2, ^\circ\text{C}$      | -15 | -13 | -11 | -9 | -7 | -5 | -3 | -1 | +1 | +3 |
| $\Delta t, ^\circ\text{C}$ | 7   | 8   | 9   | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |

Жидкость S для подварианта z:

1. Метанол.
2. Хлороформ.
3. Изопропанол.
4. Бутанол.
5. Изобутанол.
6. Дихлорэтан.
7. n-Ксилол.
8. Пропанол.
9. Этанол.
0. Ацетон.

### Задание Т09

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать кожухотрубчатый теплообменник для конденсации паров вещества S при атмосферном давлении оборотной водой. Начальное значение температуры оборотной воды составляет  $t_1$ . В теплообменнике вода нагревается на  $\Delta t$ .

#### 2. Данные для расчетов

Расход потока, т/ч:  $G = 60 + 0,3 k z$ .

Начальное значение температуры воды  $t_1$  и изменение температуры воды  $\Delta t$  для варианта k:

|                            |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| k                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
| $t_1, ^\circ\text{C}$      | 21 | 23 | 25 | 27 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 |
| $\Delta t, ^\circ\text{C}$ | 6  | 7  | 8  | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  |

Вещество S для подварианта z:

1. Дихлорэтан.
2. Метанол.
3. Пропанол.
4. Хлороформ.
5. Бензол.
6. Изобутанол.
7. Изопропанол.
8. Этанол.
9. Бутанол.
0. Ацетон

### Задание Т10

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать кожухотрубчатый теплообменник для испарения жидкости S при избыточном давлении 0,2 МПа насыщенным водяным паром. Значение температуры водяного пара превышает значение температуры кипения жидкости S на  $\Delta t$ .

#### 2. Данные для расчетов

Расход жидкости, т/ч:  $G = 20 + 0,4 k z$ .

Значение температурного напора  $\Delta t$  для варианта k:

|                            |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| k                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
| $\Delta t, ^\circ\text{C}$ | 25 | 28 | 31 | 34 | 32 | 40 | 38 | 36 | 34 | 42 |

Жидкость S для подварианта z:

1. Метанол.
2. Этанол.
3. Изобутанол.
4. Бензол.
5. Хлороформ.
6. Пропанол.
7. Бутанол.
8. n-Ксилол.
9. Ацетон.
0. Дихлорэтан.

## Задание Т11

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать кожухотрубчатый теплообменник для охлаждения жидкости S от начального значения температуры 28 °С до значения температуры  $t_2$  30%-м раствором  $\text{CaCl}_2$ . Начальное значение температуры рассола составляет минус 20 °С, в теплообменнике рассол нагревается на  $\Delta t$ .

### 2. Данные для расчетов

Расход жидкости, т/ч:  $G = 60 + 0,4 k z$ .

Конечное значение температуры жидкости  $t_2$  и изменение температуры рассола  $\Delta t$  для варианта k:

| k                          | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7  | 8   | 9  | 0  |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|----|----|
| $t_2, ^\circ\text{C}$      | -15 | -13 | -11 | -14 | -12 | -10 | -9 | -11 | -9 | -7 |
| $\Delta t, ^\circ\text{C}$ | 6   | 7   | 5   | 9   | 8   | 6   | 10 | 11  | 12 | 13 |

Жидкость S для подварианта z:

- |                 |             |                |                     |
|-----------------|-------------|----------------|---------------------|
| 1. Изопропанол. | 2. Буганол. | 3. Пропанол.   | 9. Ацетон.          |
| 4. Изобутанол.  | 5. Метанол. | 6. Дихлорэтан. | 0. <i>n</i> -Октан. |
| 7. Хлороформ.   | 8. Этанол.  |                |                     |

## Задание Т12

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать кожухотрубчатый теплообменник для конденсации паров аммиака при температуре  $t_1$ . Конденсация производится оборотной водой. Начальное значение температуры оборотной воды составляет  $t_2$ . В теплообменнике вода нагревается на  $\Delta t$ .

### 2. Данные для расчетов

Расход паров аммиака, т/ч:  $G = 40 + 0,1 k z$ .

Значение температуры конденсации паров аммиака  $t_1$  для варианта k:

| k                     | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $t_1, ^\circ\text{C}$ | 46 | 44 | 40 | 43 | 46 | 38 | 35 | 33 | 43 | 30 |

Значение начальной температуры оборотной воды  $t_2$  и изменение ее температуры  $\Delta t$  для подварианта z:

| z                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $t_2, ^\circ\text{C}$      | 20 | 22 | 24 | 26 | 21 | 23 | 25 | 27 | 19 | 17 |
| $\Delta t, ^\circ\text{C}$ | 11 | 12 | 13 | 14 | 9  | 10 | 12 | 13 | 14 | 15 |

### Задание Т13

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать кожухотрубчатый теплообменник для охлаждения газовой смеси при избыточном давлении 0,6 МПа от значения температуры  $t_1$  до температуры 48 °С водой. Начальное значение температуры воды составляет 26 °С, в теплообменнике вода нагревается на  $\Delta t$ .

#### 2. Данные для расчетов

Расход газовой смеси, кг/с:  $G = 6,0 + 0,1 k z$ .

Начальное значение температуры газа  $t_1$  и изменение температуры воды  $\Delta t$  для варианта  $k$ :

|                            |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| k                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9   | 0   |
| $t_1, ^\circ\text{C}$      | 71 | 75 | 79 | 83 | 87 | 91 | 95 | 99 | 103 | 107 |
| $\Delta t, ^\circ\text{C}$ | 6  | 7  | 5  | 9  | 8  | 6  | 10 | 11 | 12  | 13  |

Молярная доля, %, в газовой смеси, для подварианта  $z$ :

|                |           |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| z              | 1         | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
| N <sub>2</sub> | 66        | 62 | 58 | 54 | 50 | 46 | 42 | 38 | 34 | 39 |
| O <sub>2</sub> | остальное |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

### Задание Т14

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать кожухотрубчатый теплообменник для нагрева газовой смеси при избыточном давлении 0,8 МПа от температуры 28 °С до температуры  $t_2$  насыщенным водяным паром. Значение температуры пара превышает конечное значение температуры газа на  $\Delta t$ .

#### 2. Данные для расчетов

Расход газа, кг/с:  $G = 5,0 + 0,08 k z$ .

Значения конечной температуры газовой смеси  $t_2$  и температурного напора на выходе  $\Delta t$  для варианта  $k$ :

|                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| k                          | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 0   |
| $t_2, ^\circ\text{C}$      | 143 | 139 | 135 | 131 | 127 | 123 | 119 | 115 | 111 | 107 |
| $\Delta t, ^\circ\text{C}$ | 16  | 19  | 22  | 25  | 28  | 31  | 33  | 35  | 37  | 41  |

Молярная доля, %, в газовой смеси, для подварианта  $z$ :

|                |           |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| z              | 1         | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
| H <sub>2</sub> | 66        | 62 | 58 | 54 | 50 | 46 | 42 | 38 | 34 | 39 |
| CO             | остальное |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

## Задание Т15

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать теплообменник для утилизации теплоты потока реакционной массы  $G_1$  с температурой  $t_1$  для нагрева исходного потока  $G_0 = \gamma G_1$  с начальным значением температуры  $26^\circ\text{C}$  при среднем арифметическом температурном напоре  $18^\circ\text{C}$ . Свойства потоков принять равными свойствам растворителя.

### 2. Данные для расчетов

Расход реакционной массы, т/ч:  $G_1 = 13 + 0,3 k z$ .

Значения параметров для варианта  $k$ :

| $k$                   | 1    | 2    | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 0   |
|-----------------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|
| $t_1, ^\circ\text{C}$ | 65   | 69   | 73   | 77  | 71   | 75   | 89   | 93   | 97   | 85  |
| $\gamma$              | 0,91 | 0,93 | 0,98 | 1,1 | 1,14 | 1,18 | 1,23 | 1,26 | 1,27 | 1,3 |

Наименование растворителя для подварианта  $z$ :

- |                 |             |                |                      |
|-----------------|-------------|----------------|----------------------|
| 1. Изопропанол. | 2. Бутанол. | 3. Пропанол.   | 9. <i>n</i> -Ксилол. |
| 4. Изобутанол.  | 5. Метанол. | 6. Дихлорэтан. | 0. Тoluол.           |
| 7. Хлороформ.   | 8. Этанол.  |                |                      |

## Задание Т16

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать теплообменник для отвода теплоты  $N$  от водного раствора NaOH массовой концентрации  $x$  со значениями температуры на входе  $t_1$ , на выходе  $t_2$  оборотной водой. Значение начальной температуры оборотной воды составляет  $t_3$ , в теплообменнике она нагревается на  $\Delta t$ .

### 2. Данные для расчетов

Тепловая нагрузка, кВт:  $N = 13 + 0,13 k z$ .

Параметры водного раствора NaOH для варианта  $k$ :

| $k$                   | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $t_1, ^\circ\text{C}$ | 39 | 38 | 37 | 36 | 35 | 34 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| $t_2, ^\circ\text{C}$ | 32 | 32 | 31 | 31 | 30 | 30 | 29 | 29 | 32 | 33 |
| $x, \%$               | 7  | 6  | 5  | 4  | 5  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  |

Параметры оборотной воды для подварианта  $z$ :

| $z$                        | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $t_3, ^\circ\text{C}$      | 21 | 22 | 23 | 24 | 21 | 22 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| $\Delta t, ^\circ\text{C}$ | 5  | 5  | 4  | 4  | 5  | 6  | 6  | 5  | 4  | 3  |

### Задание Т17

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать кожухотрубчатый теплообменник для получения потока заохлажденной до температуры  $t_1$  воды с объемным расходом  $V$  м<sup>3</sup>/ч из воды с начальной температурой  $t_0$ . Охлаждение производится 30% водным раствором CaCl<sub>2</sub> с температурой минус  $t_3$ , в теплообменнике рассол нагревается на  $\Delta t$ .

#### 2. Данные для расчетов

Расход заохлажденной воды, м<sup>3</sup>/ч:  $V = 23 + 0,16 k z$ .

Параметры заохлажденной воды для варианта k:

|                       |    |    |    |    |    |   |   |   |   |    |
|-----------------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|----|
| k                     | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6 | 7 | 8 | 9 | 0  |
| $t_1, ^\circ\text{C}$ | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6  |
| $t_0, ^\circ\text{C}$ | 15 | 13 | 11 | 14 | 12 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Параметры рассола для подварианта z:

|                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| z                          | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 0   |
| $t_3, ^\circ\text{C}$      | -21 | -22 | -23 | -24 | -21 | -22 | -21 | -22 | -23 | -24 |
| $\Delta t, ^\circ\text{C}$ | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  |

### Задание Т18

**1. Техническая задача.** Рассчитать и спроектировать кожухотрубчатый теплообменник для подогрева потока растворителя  $G_1$  с температурой 16 °С, теплотой реакционного потока  $G_2 = \beta G_1$ , имеющей температуру  $t_2$  при среднем температурном напоре 23 °С. Теплофизические свойства реакционного потока принять равными свойствам растворителя.

#### 2. Данные для расчетов

Расход потока растворителя, т/ч:

$$G_1 = 33 + 0,1 k z.$$

Параметры процесса для варианта k:

|                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| k                     | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 0   |
| $t_2, ^\circ\text{C}$ | 89  | 87  | 85  | 83  | 81  | 79  | 77  | 75  | 73  | 71  |
| $\beta$               | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 |

Растворитель для подварианта z:

- |                     |                |                 |                |
|---------------------|----------------|-----------------|----------------|
| 1. Хлороформ.       | 2. Бутанол.    | 3. Пропанол.    | 4. Дихлорэтан. |
| 5. <i>n</i> -Октан. | 6. Изобутанол. | 7. Изопропанол. | 8. Этанол.     |
| 9. Бензол.          | 0. Метанол.    |                 |                |

## Задание Т19

### 1. Техническая задача

Рассчитать и спроектировать теплообменник для конденсации паров вещества S при атмосферном давлении. Отвод теплоты производится оборотной водой с значением начальной температуры  $t_1$ . В теплообменнике вода нагревается на  $\Delta t$ .

### 2. Данные для расчетов

Расход паров, т/ч:  $G = 17 + 0,1 k z$ .

Параметры воды для варианта k:

| k                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $t_1, ^\circ\text{C}$      | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| $\Delta t, ^\circ\text{C}$ | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  |

Вещество S для подварианта z:

1. Изопропанол.
2. Этанол.
3. Дихлоэтан.
4. Пропанол.
5. Изобутанол.
6. Бутанол.
7. n-Ксилол.
8. Метанол.
9. Ацетон.
0. n-Октан.

## Задание Т20

### 1. Техническая задача

Рассчитать и спроектировать теплообменник для охлаждения жидкости S от температуры кипения при атмосферном давлении до температуры  $42 ^\circ\text{C}$ . Отвод теплоты производится оборотной водой с значением начальной температуры  $t_1$ . В теплообменнике вода нагревается на  $\Delta t$ .

### 2. Данные для расчетов

Расход жидкости, т/ч:  $G = 27 + 0,15 k z$ .

Параметры воды для варианта k:

| k                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 0  |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $t_1, ^\circ\text{C}$      | 24 | 15 | 23 | 18 | 22 | 20 | 21 | 17 | 23 | 16 |
| $\Delta t, ^\circ\text{C}$ | 6  | 14 | 5  | 11 | 7  | 9  | 8  | 12 | 6  | 9  |

Вещество S для подварианта z:

1. Пропанол.
2. Этанол.
3. Изопропанол
4. n-Октан.
5. Изобутанол.
6. Дихлорэтан
7. n-Ксилол.
8. Метанол.
9. Ацетон.
0. Бутанол.

## 8. РЕКОМЕНДАЦИИ К ОФОРМЛЕНИЮ ПРОЕКТА

### 8.1. Форма титульного листа

---

Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Чувашский государственный университет имени И.Н.Ульянова»  
Химико-фармацевтический факультет  
Кафедра охраны окружающей среды  
и рационального использования природных ресурсов

#### КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по процессам и аппаратам на тему:  
«Теплообменник для *(назначение, продукт, производитель-  
ность, второй теплоноситель)*»

ПА Т\*\*- kz

Выполнил студент группы *(номер группы, фамилия, инициалы)*  
*(подпись, дата)*

Руководитель проекта *(должность, фамилия, инициалы)*  
*(подпись, дата)*

Чебоксары 20\*\*

---

Примечания:

1. Назначение: нагрев, охлаждение, испарение, конденсация;  
второй теплоноситель: пар водяной, вода, рассол, аммиак и др.
2. Буквы в обозначении проекта означают:  
ПА – процессы и аппараты; Т\*\*- kz – номер и шифр задания.

## **8.2. Структура пояснительной записки**

Титульный лист.

Задание на курсовое проектирование.

Содержание.

1. Введение (общие сведения о теплообменных процессах и о содержании выполненного курсового проекта).

2. Общие закономерности и особенности теплообмена для рассчитываемого процесса.

3. Свойства теплоносителей (теплофизические, взрывопожароопасные, токсикологические, коррозионные).

4. Тепловые расчеты.

4.1. Расчетная температурная схема (с цифровыми данными, наименованиями теплоносителей, рис. 7).

4.2. Предварительный расчет поверхности теплообменника и выбор стандартного аппарата.

4.3. Поверочный расчет аппарата (обеспечение запаса поверхности).

4.4. Схема движения теплоносителей и ее описание (вертикальное или горизонтальное размещение аппарата, направление движения теплоносителей, способ компенсации температурных деформаций, удаление газа при первом пуске, опорожнение аппарата перед ремонтом и др. (рис. 9)).

5. Гидравлические расчеты.

6. Механические расчеты.

7. Заключение (основные результаты).

Список использованной литературы.

## **8.3. Основные правила оформления записки**

Пояснительную записку следует оформлять с соблюдением требований межгосударственного стандарта [2] с изменениями 1 от 2005 года. Данный стандарт распространяется на отчеты о научно-исследовательских работах по всем областям науки и техники. Ниже приведены выписки из отдельных пунктов.

*Размеры полей:* правое – не менее 10 мм, верхнее и нижнее – не менее 20 мм, левое – не менее 30 мм.

*Заголовки структурных элементов* «РЕФЕРАТ», «СОДЕРЖАНИЕ», «ЗАКЛЮЧЕНИЕ» и др. следует располагать в сере-

дине строки без точки в конце и печатать прописными буквами, не подчеркивая.

*Разделы, подразделы, пункты* следует нумеровать арабскими цифрами и записывать с абзацного отступа. После номера раздела, подраздела, пункта точку не ставят. Заголовки разделов, подразделов, пунктов следует печатать с абзацного отступа с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Если заголовки состоят из двух предложений, их разделяют точкой.

*Страницы отчета* следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему отчету. Номер страницы проставляют в центре нижней части листа без точки.

*Иллюстрации* (рисунки, схемы, графики и др.) следует располагать в отчете непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице. На все иллюстрации должны быть даны ссылки в отчете. Иллюстрации следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1». Иллюстрации могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных посередине строки. Пример: Рисунок 7 – Детали прибора.

*Таблицы* применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей. Наименование таблицы, при его наличии, должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Наименование таблицы следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире. Пример: Таблица 2 – Свойства теплоносителей.

#### **8.4. Состав графической части курсового проекта**

1. Чертеж общего вида теплообменника на листе формата А1.
2. Чертеж опоры или крышки на листе формата А2 или А3.



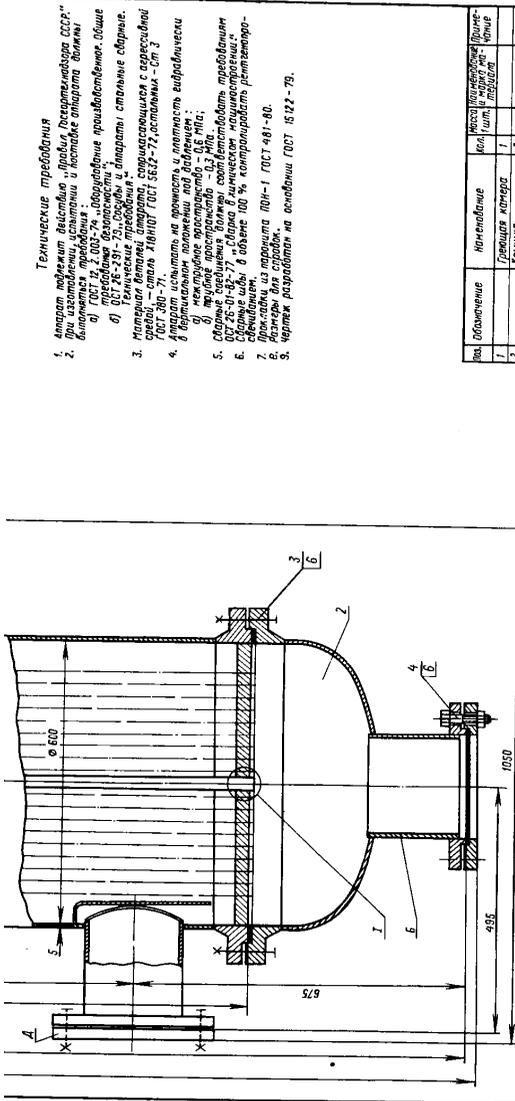
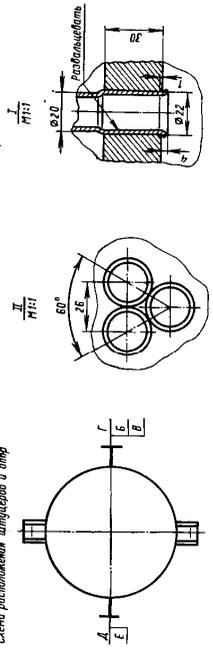


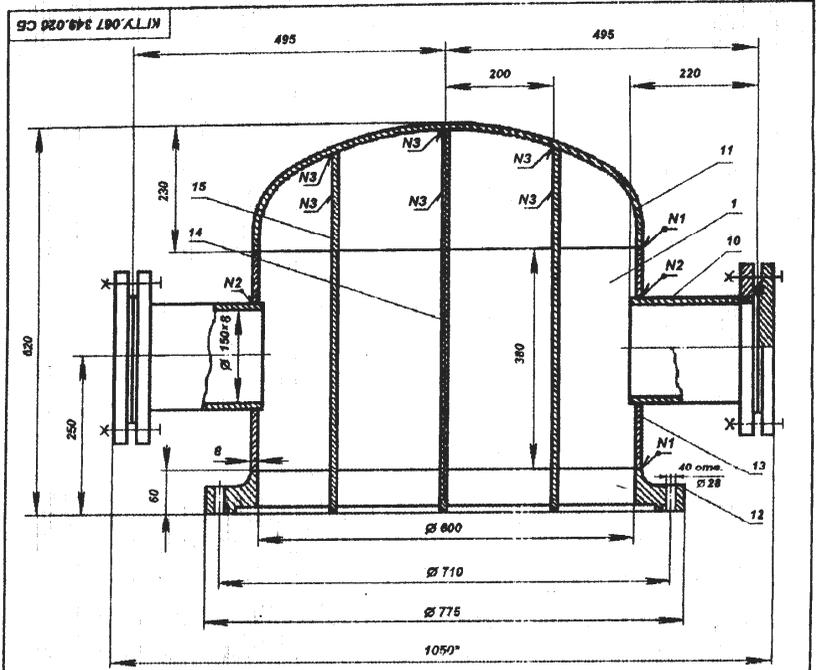
Схема расположения штуцера и отпа



- Технические требования**
1. Аварат подержит востановлю илробил, Досудекемеходра СССР"
  2. Выпачкаться прободана чрвнн в ластаке отарага влжмы  
а) ГОСТ 98-2, 002-78 «Обработка прощывающего обще  
б) ГОСТ 25-231-73 «Соединеннн аппараты: стальные сварные»
  3. Материалы металлы стирателн, соединяющнхся с агрессивной средой, должны соответствовать ГОСТ 9822-72, листовым - Ст 3 ГОСТ 380-71.
  4. Аварат ысчнтать на прочность и пластичность, выдобрнчески испытать по ГОСТ 9822-72, листовым - Ст 3 ГОСТ 380-71.  
а) механические свойства - 0,3 МПа;  
б) механические свойства - 0,3 МПа;
  5. Сварочные швы должны соответствовать требованиям ГОСТ 9822-72, листовым - Ст 3 ГОСТ 380-71.
  6. Сварочные швы, в объеме 100 % контролируются рентгенографическим методом.
  7. Аварат для стиралн.
  8. Чертеж разработан на основании ГОСТ 15.122-79.

| №, Обозначение | Наименование       | Масса (кг) | Материал | Примечание |
|----------------|--------------------|------------|----------|------------|
| 1              | Головка клапана    | 1          | 1        |            |
| 2              | Болты              | 1          | 1        |            |
| 3              | Болты ГОСТ 7788-70 | 6,4        | 6,4      | Сталь 20   |
| 4              | М 20-50-46.05      | 3,2        | 3,2      | Сталь 20   |
| 5              | М 12-30-46.05      | 4          | 4        | Сталь 20   |
| 6              | Гайки ГОСТ 5915-70 | 56         | 56       | Сталь 10   |
| 7              | М 12-3.06          | 4          | 4        | Сталь 10   |

|                    |         |
|--------------------|---------|
| 00.00.000.80       |         |
| Контурный          | Масштаб |
| Чертеж общего вида | 1:4     |
| Исполнитель        | М.П.    |
| Проверенный        | М.П.    |
| Составитель        | М.П.    |
| Инженер            | М.П.    |
| Мастер             | М.П.    |
| Работник           | М.П.    |



**Технические требования:**

- \* размер для справок
- N1 сварка по ГОСТ 11533-75 - С4 - Δ7
- N2 сварка по ГОСТ 5264-80 - С4 - Δ5
- N3 сварка по ГОСТ 5264-80 - С4 - Δ57

|                 |             |                 |              |                                 |                        |                 |                |     |
|-----------------|-------------|-----------------|--------------|---------------------------------|------------------------|-----------------|----------------|-----|
|                 |             |                 |              | <b>КГТУ.067 349.026 СБ</b>      |                        |                 |                |     |
|                 |             |                 |              | <b>Распределительная камера</b> | <b>Лит.</b>            | <b>Масса</b>    | <b>Масштаб</b> |     |
| <b>Изм.</b>     | <b>Лист</b> | <b>№ докум.</b> | <b>Подп.</b> |                                 |                        |                 |                | 1:2 |
| <b>Разраб.</b>  |             | Иванов          |              |                                 |                        |                 |                |     |
| <b>Провер.</b>  |             | Петров          |              |                                 |                        |                 |                |     |
| <b>Т.контр.</b> |             |                 |              |                                 |                        |                 |                |     |
| <b>Рук.</b>     |             |                 |              |                                 | <b>Лист 1</b>          | <b>Листов 1</b> |                |     |
| <b>Н.контр.</b> |             | Сидоров         |              |                                 | Каф. ПАХТ<br>гр. 48-01 |                 |                |     |
| <b>Уте.</b>     |             | Дьяконов        |              |                                 |                        |                 |                |     |

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные правила разработки курсовых проектов по процессам и аппаратам химической технологии и защиты окружающей среды: метод. указания / сост.: А.И. Козлов, П.М. Лукин, Н.И. Савельев, П.Н. Эндюсхийн; Чуваш. ун-т. – Чебоксары, 2005. – 32 с.
2. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления: ГОСТ 7.32-2001 с изм.1 от 2005 г. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2006.
3. ГОСТ 15119-79. Испарители кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1979.
4. ГОСТ 15120-79. Холодильники кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1979.
5. ГОСТ 15121-79. Конденсаторы кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1979.
6. ГОСТ 15122-79. Теплообменники кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1979.
7. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
8. Машины и аппараты химических производств: примеры и задачи: учеб. пособие / И.В. Доманский, В.П. Исаков, Г.М. Островский и др; под общ. ред. В.Н. Соколова. – Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с.
9. Орлов В.Н. Проектирование рекуперативных теплообменных аппаратов: учеб. пособие. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2005. – 136 с.
10. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.
11. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / под ред. Ю.И. Дытнерского.– М.: Химия, 1991.– 496 с.
12. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов: справочник. – Л.: Машиностроение, 1981. –382 с.

*Учебное-справочное издание*

**Савельев** Николай Иванович  
**Лукин** Петр Матвеевич

**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛОБМЕННЫХ АППАРАТОВ**

**Учебное пособие**

Редактор Л.Г. Григорьева  
Компьютерная правка Е.В. Шигильчевой

Подписано в печать 27. 05.10. Формат 60×84/16. Бумага газетная.  
Печать офсетная. Гарнитура Times. Усл. печ. л. 4,65.  
Уч.-изд. л. 4,75. Тираж 100 экз. Заказ № 296.

Издательство Чувашского университета  
Типография университета  
428015 Чебоксары, Московский просп., 15