

## 2 Технологический раздел

### 2.1 Описание технологической схемы и проектируемого оборудования

#### 2.1.1 Описание технологической схемы

Принимаем схему производства аммиачной селитры АС-72 (см. рисунок 2.1).

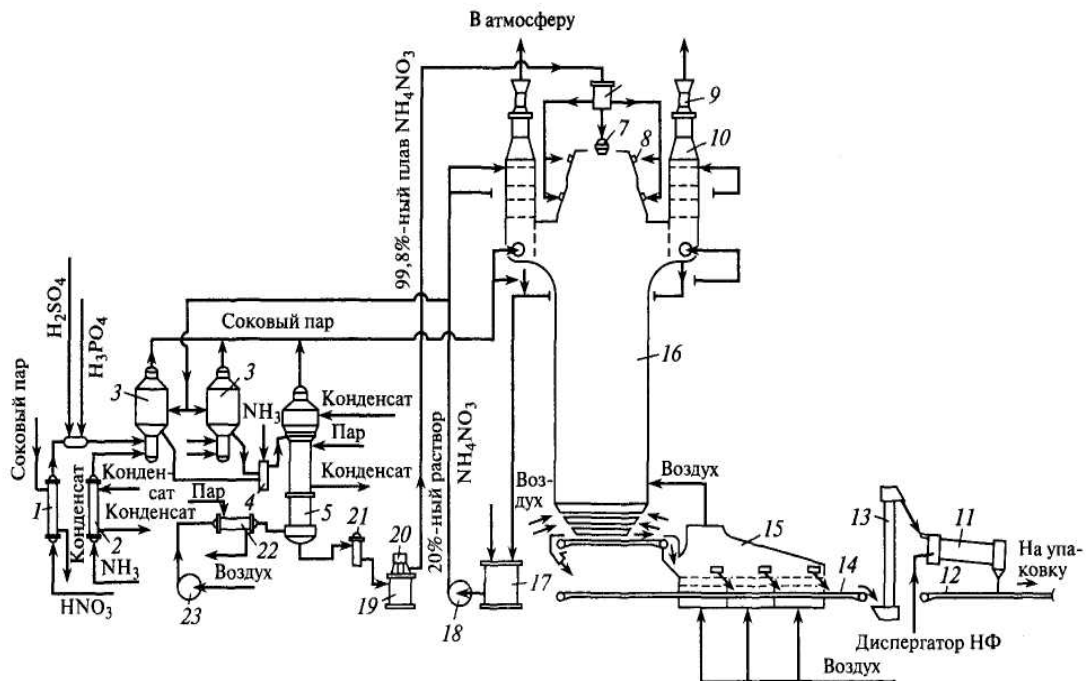


Рисунок 2.1 – Схема агрегата по производству аммиачной селитры АС-72:

1 – подогреватель кислоты; 2 – подогреватель аммиака; 3 – аппараты ИТН; 4 – донейтрализаторы; 5 – выпарной аппарат; 6 – напорный бак; 7,8 - грануляторы; 9,23 – вентиляторы; 10 – промывной скруббер; 11 – барабан; 12,14 – транспортеры; 13 – элеватор; 15 – аппарат кипящего слоя; 16 – грануляционная башня; 17 – сборник; 18,20 – насосы; 19 – бак для плава; 21 – фильтр для плава; 22 – подогреватель воздуха

В современном крупнотоннажном агрегате по производству аммиачной селитры АС-72 мощностью 1360 т/сут. исходная 55 – 60 %-ная азотная кислота подогревается в подогревателе 1 до 70– 80 °С соковым паром из аппарата ИТН 3 и подается на нейтрализацию. Перед аппаратами 3 к азотной кислоте добавляют

вращающийся барабан 11. Затем готовое удобрение транспортером 12 направляют на упаковку.

Воздух, выходящий из грануляционной башни, загрязнен частицами аммиачной селитры, а соковый пар из нейтрализатора и паро-воздушная смесь из выпарного аппарата содержат не прореагировавший аммиак и азотную кислоту, а также частицы унесенной аммиачной селитры. Для очистки этих потоков в верхней части грануляционной башни расположены шесть параллельно работающих промывных скрубберов тарельчатого типа 10, орошаемых 20—30 %ным раствором аммиачной селитры, которая подается насосом 18 из сборника 17. Часть этого раствора отводится в нейтрализатор ИТН для промывки сокового пара, а затем подмешивается к раствору селитры, и, следовательно, используется для выработки продукции. Очищенный воздух отсасывается из грануляционной башни вентилятором 9 и выбрасывается в атмосферу [1].

### 2.1.2 Описание проектируемого оборудования

В разделе 1 приведен подробный обзор существующих конструкций проектируемого оборудования. Рассмотрим подробно конструкцию выпарного аппарата пленочного типа (рисунок 2.2) [1].

Аппарат состоит из греющей камеры 2, сепаратора 1 с отбойником 3. Для установки на перекрытие предусмотрены 4 лапы 5. Отвод теплоты от кристаллизирующейся амселитры выполняется через змеевики на тарелках 4 и днище с рубашкой.

Раствор подается через штуцер В, установленный на обечайке нижней камеры. Из нижней камеры раствор поступает в греющие трубы, где вскипает под действием тепла греющего пара. Образующийся вторичный пар, поднимаясь вверх, постепенно занимает все центральное пространство трубки и увлекает раствор в виде тонкого слоя по периметру.

Раствор, захваченный снизу, благодаря поверхностному трению проходит с большой скоростью по всей длине трубки, выпаривается и выбрасывается в сепаратор. Упаренный раствор отводится из аппарата через штуцер Г. Уровень заполнения труб греющей камеры обычно составляет 25-30 %.

					ДП МАХП МД-021 ВА 00.00.00 ПЗ	
		N				

Несмотря на большую высоту труб греющей камеры, потери полезной разности температур за счет гидростатического столба невелики и их можно не учитывать при расчете аппарата.

Греющий пар через штуцер А поступает в межтрубное пространство аппарата. Конденсат удаляется через штуцер Д.

Вторичный пар из сепаратора аппарата выводится через штуцер Б.

Для наблюдения за работой аппарата предусмотрены смотровые окна, для установки манометров и термометров – бобышки. Аппарат рассчитан на непрерывную работу.

## 2.2 Технологический расчет

### 2.2.1 Исходные данные к расчету

Целью выполнения данного раздела является расчет основных геометрических размеров аппарата или выбор типоразмера. Методика расчета описана в источнике [3]. Физико-химические параметры раствора определены из источника [4]. Параметры водяного пара определены из источника [5].

В качестве исходных данных приняты следующие величины, сведенные в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные для расчета выпарного аппарата

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Величина
Производительность по сырью	$G_H$	т/ч	45
Давление греющего пара	$P_{гп}$	МПа	1,2
Температура греющего пара	$t_{гп}$	°С	170,9
Среда: плав аммиачной селитры, плотность	$\rho_{пл}$	т/м <sup>3</sup>	1,69...1,73
Температура плава	$t_{пл}$	°С	169,6

Принимаем дополнительные исходные данные по аналогии с существующим промышленным объектом (см. таблицу 2.2)

					ДП МАХП МД-021 ВА 00.00.00 ПЗ	
		N				

### 2.2.3 Тепловой баланс

Схема к расчету теплового баланса представлена на рисунке 2.4.

Температура вторичного пара, поступающего из выпарного аппарата определяется по давлению. Принимаем давление вторичного пара  $p_{в.п} = 0,120$  МПа, соответственно его температура при этом составит  $t_{в.п.} = 104,2$  °С [3].

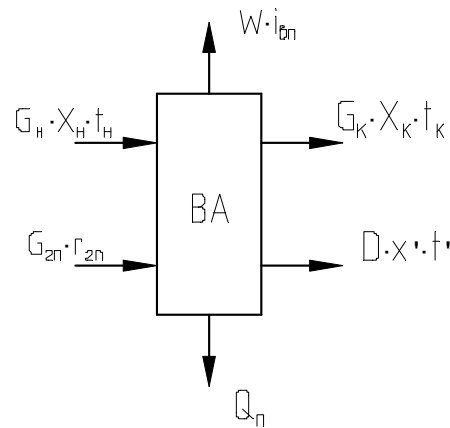


Рисунок 2.4 – Схема к расчету теплового баланса

На основании практических рекомендаций принимаем гидравлическую депрессию  $\Delta''' = 1$  °С [3]. Тогда температура вторичного пара в выпарном аппарате равна по формуле

$$t'_{п} = t_{в.п.} + \Delta''' \quad (2.4)$$

Зная температуру  $t_{в.п.}$  по формуле (2.4) получим

$$t'_{п} = 104,2 + 1 = 105,2 \text{ °С.}$$

Этой температуре соответствует давление  $p'_{п.} = 0,122$  МПа и теплота парообразования  $r = 2279,84$  кДж/кг. Площадь поверхности теплоотдачи выпарного аппарата  $F_{оп}$  определяется по формуле

$$F_{оп} = W \cdot \frac{r}{q}, \quad (2.5)$$

где  $q$  – удельная тепловая нагрузка, Вт/м<sup>2</sup>.

При кипении водных растворов солей удельная тепловая нагрузка для аппаратов с восходящей пленкой  $q = 30000$  Вт/м<sup>2</sup>. Тогда по формуле (3.5) определим

$$F_{оп} = 1,80 \times 2279,84 \times 10^3 / 30000 = 98,79 \text{ м}^2.$$

$r_{г.п}$  – удельная теплота конденсации греющего пара, Дж/кг;

$c_H$  и  $c_K$  – теплоемкость соответственно поступающего на выпарку и упаренного раствора, Дж/(кг·К);

$i_{вп}$  – удельная энтальпия вторичного пара, Дж/кг;

$t_H$  – температура раствора, поступающего в выпарной аппарат,  $t_H = 95$  [3]°С;

$t_K$  – конечная температура раствора, °С;

$Q_{пот}$  – потери теплоты в окружающую среду, Дж.

Принимаем температуру вторичного пара по аналогии с существующим промышленным объектом  $t_{в.п} = 91$  °С, соответственно удельная энтальпия  $i_{в.п} = 2282$  кДж/кг [3].

Теплоемкости 84,2 % раствора  $NH_4NO_3$  и 98,4 % соответственно равны:  $C_H = 2,008$  кДж/кг;  $C_K = 1,761$  кДж/кг.

Удельная теплота конденсации греющего пара при  $p_{г.п} = 1,2$  МПа равна  $r_{г.п} = 2095$  кДж/кг.

Расход греющего пара  $G_{г.п}$  с учетом 5 % потерь теплоты можно определить из формулы (2.8)

$$G_{гп} = \frac{W i_{вп} + G_K C_K t_K - G_H C_H t_H}{\Delta q r_{гп}} =$$
$$= \frac{1.80 \times 2282 + 10.70 \times 1761 \times 128,3 - 12.50 \times 2008 \times 95}{0,95 \times 2095} = 1,502 \text{ кг/с.}$$

Тепловая нагрузка греющей камеры определяется по формуле:

$$Q = G_{г.п} \cdot r_{г.п} , \quad (2.9)$$

$$Q = 1,502 \cdot 2095 \cdot 10^3 = 3147,544 \text{ кВт.}$$

Для определения коэффициента теплопередачи необходимо провести следующий расчет.

Число труб греющей камеры определим по формуле:

$$n = F / (\pi \cdot d \cdot l), \quad (2.10)$$

где  $d, l$  – диаметр и длина труб, м;

$F$  – поверхность теплообмена,  $m^2$

$$n = \frac{100}{(3,14 \cdot 0,038 \cdot 5)} = 168.$$

где  $Pr$  – критерий Прандтля, для пленки конденсата  $Pr=1,1133$ .

$$Nu_{пл} = \frac{2497,62}{\frac{6,25 \cdot (2497,62 - 400)}{1,1133^{0,33}} + 1580} = 0,1754$$

Коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося водяного пара к стенке труб  $\alpha_1$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К) рассчитывается по формуле

$$\alpha_1 = \frac{Nu_{пл} \cdot \lambda_{пл}}{\delta_{пр}}, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}, \quad (2.16)$$

где  $\lambda_{пл}$  – коэффициент теплопроводности конденсата, Вт/(м·К).

Примем при температуре  $t_{кон} = 158,1^\circ\text{C}$   $\lambda_{пл} = 68,32 \cdot 10^{-3}$  Вт/(м·К). Тогда по формуле (2.16), получим

$$\alpha_1 = \frac{0,1754 \cdot 68,32 \cdot 10^{-3}}{0,1356 \cdot 10^{-4}} = 8838,053 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки к раствору  $\alpha_2$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К) для пленочных аппаратов рассчитывается по формуле

$$\alpha_2 = C \cdot \frac{\lambda_{кр}}{\delta_{кр}} \cdot (0,25 \cdot Re_{кр})^n \cdot \left( \frac{q \cdot \delta_{кр}}{\lambda_{кр} \cdot t_B} \right)^m, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}, \quad (2.17)$$

где  $\lambda_{кр}$  – теплопроводность кипящего раствора, Вт/(м·К);

$\delta_{кр}$  – толщина пленки раствора, м;

$Re_{кр}$  – критерий Рейнольдса, для пленки раствора;

$q$  – удельная тепловая нагрузка, Вт/м<sup>2</sup>;

$C$  – коэффициент, при  $q < 20000$  Вт/м<sup>2</sup>  $C=163,1$ , иначе  $C=2,6$ ;  $n$  – коэффициент, при  $q < 20000$  Вт/м<sup>2</sup>  $n=-0,264$ , иначе  $n=0,203$ ;

$m$  – коэффициент, при  $q < 20000$  Вт/м<sup>2</sup>  $m=0,685$ , иначе  $m=0,322$ .

При расчете пленочных аппаратов параметры кипящей жидкости берут при средней концентрации раствора  $X_{с.р} = 91,3\%$ .

Критерий Рейнольдса, для пленки раствора  $Re_{кр}$ , рассчитывается по формуле

$$Re_{кр} = \frac{4 \cdot \Gamma_B}{\mu_{кр}}, \quad (2.18)$$

где  $\mu_{кр}$  – коэффициент динамической вязкости раствора, Па·с;

					ДП МАХП МД-021 ВА 00.00.00 ПЗ	
		N				

Распределение температур в процессе теплопередачи от пара через стенку к кипящему раствору показано на рисунке 2.5.

Полезная разность температур  $\Delta t_{пол}$ , °C определяется по формуле

$$\Delta t_{пол} = \frac{q}{K}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.22)$$

Подставим в выражение (3.22) значение коэффициента K и получим

$$\Delta t_{пол} = 0,6075 \cdot 10^{-3} \cdot q + 0.0081 \cdot q^{0,678} . \quad (2.23)$$

Расчет удельной тепловой нагрузки  $q$ , Вт/м<sup>2</sup> проводится методом последовательных приближений: задаются значения  $q$ , рассчитывается  $\Delta t_{пол}$  и по полученным результатам строится график зависимости  $\Delta t_{пол} = f(q)$ , по которому определяется истинное значение  $q$ .

По формуле (3.23), получим

$q, \text{ Вт / м}^2$	20000	30000
$t_{пол}, \text{ } ^\circ\text{C}$	18,8	27,01.

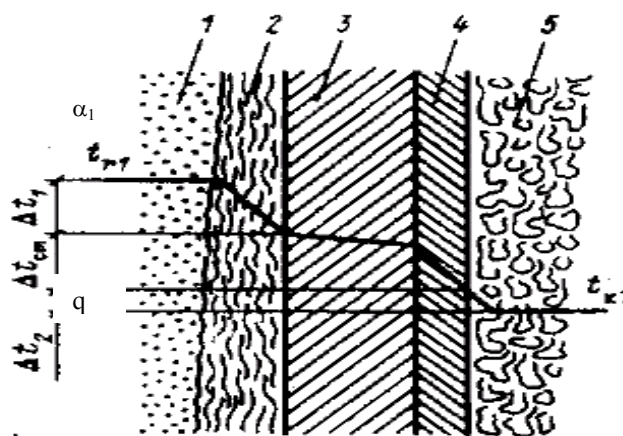


Рисунок 2.5 – Распределение температур в процессе теплопередачи:

1 – греющий пар; 2 – пленка конденсата; 3 – стенка трубы; 4 – отложение накипи; 5 – соковый пар.

По графику определяется значение  $q$  при  $\Delta t_{пол} = 29,8 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $q = 33000 \text{ Вт/м}^2$ .

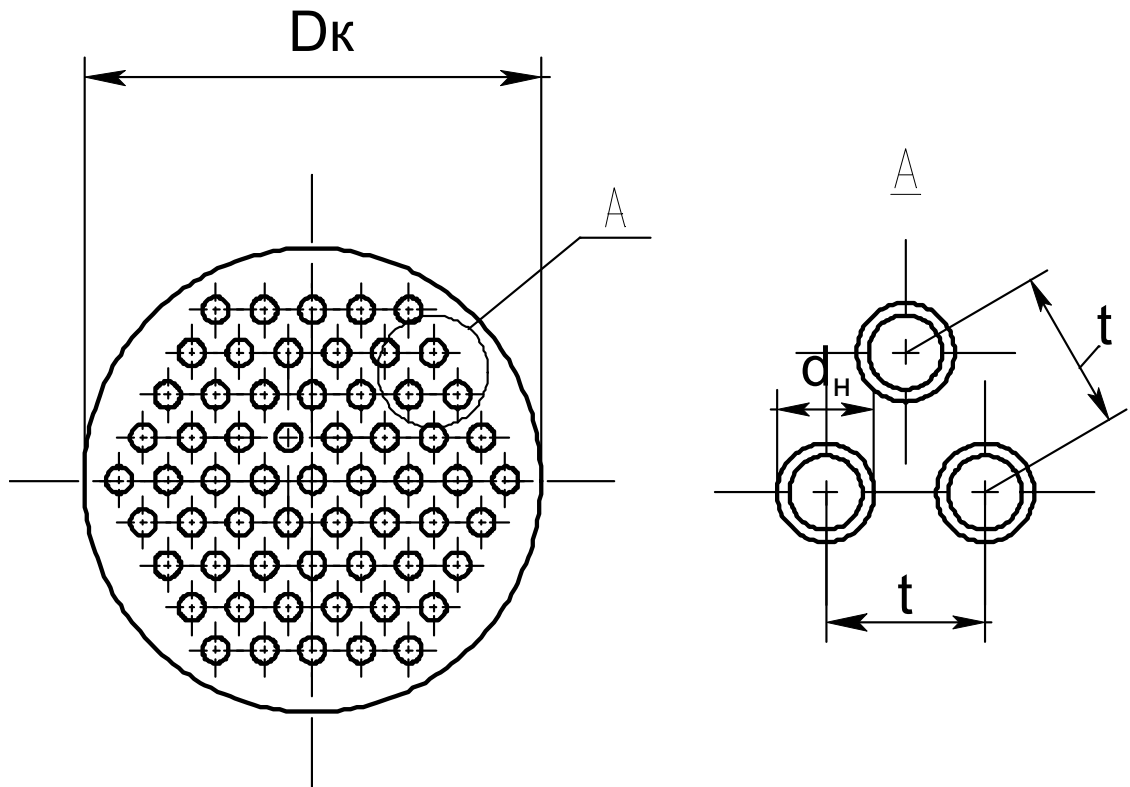


Рисунок 2.7 – Схема к расчету диаметра корпуса.

Зная величину  $n=168$  по формуле (3.25), определим

$$D_k = \sqrt{1,27 \cdot \sin 60 \cdot 0,048^2 \cdot \frac{168}{0,7}} = 0,780 \text{ м.}$$

Внутренний диаметр принимается из ряда стандартных величин  $D_k=800$  мм.  
В соответствии с ГОСТ 11987 – 81 диаметр парового пространства  $D_2=1200$  мм.

Объем парового пространства сепаратора  $V, \text{ м}^3$  рассчитывается по формуле

$$V = \frac{W}{W'}. \tag{2.26}$$

где  $W'$  – допускаемое напряжение парового пространства, кг/( $\text{м}^3 \cdot \text{ч}$ ).

Допускаемое напряжение парового пространства, определим по формуле

$$W' = W_{ATM} \cdot f_1 \cdot f_2, \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч}), \tag{2.27}$$

где  $W_{ATM}$  – значение допускаемого напряжения парового пространства при атмосферном давлении, составляющая для раствора-1000 кг/( $\text{м}^3 \cdot \text{ч}$ );

$f_1$  – коэффициент, зависящий от давления в сепараторе;



где  $G$  – массовый расход, кг/м<sup>3</sup>;  $w$  – скорость потока, м/с;  
 $\rho$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>.

Допускаемые скорости движения потоков принимаем для расчета скорости движения греющего пара  $w_{г.п} = 15$  м/с; конденсата  $w_{кон} = 1$  м/с; вторичного пара  $w_{в.п} = 15$  м/с; поступающего раствора  $w_{р1} = 2$  м/с; упаренного раствора  $w_{р2} = 2$  м/с.

Из справочных данных находим плотности: греющего пара при  $p=0,6$  МПа  $\rho_{г.п} = 3,104$  кг/м<sup>3</sup>; вторичного пара при  $p=0,075$  МПа  $\rho_{в.п} = 0,4423$  кг/м<sup>3</sup>; поступающего 84,2 % раствора при  $t = 95$  °С  $\rho_{р1} = 1368$  кг/м<sup>3</sup>; упаренного 98,4 % раствора при  $t = 128,3$  °С  $\rho_{р2} = 1436$  кг/м<sup>3</sup>; конденсата при  $t = 158,1$  °С  $\rho_{к} = 908,9$  кг/м<sup>3</sup>.

Расходы потоков берем из материальных и тепловых балансов. Согласно расчетам принимаем стандартные штуцеры следующих размеров (таблица 3.3).

Таблица 2.3 Размеры основных штуцеров

Наименование штуцера	Ду, мм
Вход греющего пара	400
Выход вторичного пара	500
Вход раствора	65
Выход раствора	65
Выход конденсата	50

#### 2.2.4 Расчет и подбор вспомогательного оборудования

Проведем расчет следующего вспомогательного оборудования: насоса и емкости для плава. Расчет производится по результатам материального и теплового баланса. Все расчетные формулы были взяты из источника [6].

Расчет насоса заключается в определении необходимого напора и расхода исходного сырья, по этим показателям проводится подбор насоса. Напор,  $H$ , м рассчитывается по следующей формуле

$$h_{II} = \left( \frac{0,012 \cdot 25}{0,65} + 5,3 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,17 \text{ м,}$$

$$H = 10^6 \cdot (0,2 - 0,1) / (1368 \cdot 9,81) + 15 + 1,17 = 23,6 \text{ м.}$$

Подача раствора аммиачной селитры насосом составляет  $G_H = 23,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Исходя из этого подбираем центробежный насос марки X65-50-160-Г с подачей  $G=25 \text{ м}^3/\text{ч}$  и напором 25,5 м [7].

Проведем расчет емкости для плава с резервным временем  $\tau = 3$  часа.

Количество жидкости, поступающей в емкость  $G=19,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Отсюда запас жидкости на  $\tau = 3$  часа составит

$$V_{ж} = G \cdot \tau = 19,2 \cdot 3 = 57,6 \text{ м}^3.$$

Исходя из полученного объема выбираем емкость ГЭЭ1–80–06 с номинальным объемом  $V_{ном}=80 \text{ м}^3$  и рабочим объемом  $V_{раб}=67,4 \text{ м}^3$  [8].

					ДП МАХП МД-021 ВА 00.00.00 ПЗ	
		N				

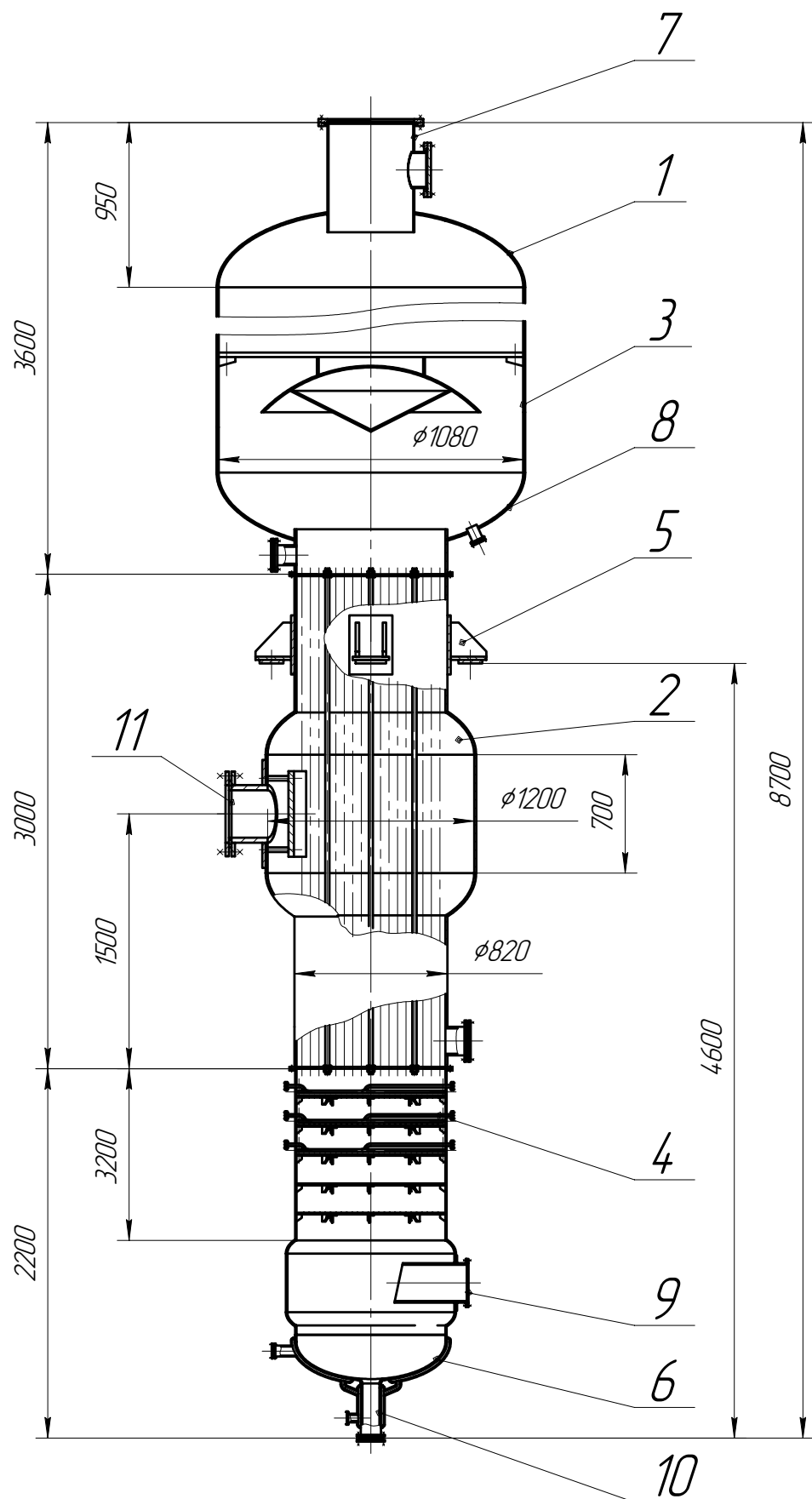


Рисунок 3.1 – Конструкция выпарного аппарата

1, 8 – днища эллиптические; 2 – греющая камера; 3 – обечайка; 4 – змеевик; 5 – опора; 6 – днище с рубашкой; 7, 9 – штуцер; 10 – патрубок с рубашкой.

				ДП МАХП МД-021 ВА 00.00.00 ПЗ		
	N					

Нормативное допускаемое напряжение для стали 08X18H10T при  $t_r = 158,1$  °C равно  $\sigma^* = 119,19$  МПа. Тогда допускаемое напряжение при статических однократных нагрузках для рабочего состояния, определяется по формуле

$$[\sigma] = 119,19 \cdot 1 = 119,19 \text{ МПа.}$$

Пробное давление при гидравлическом испытании определим по формуле:

$$p_{II} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot p_p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \\ p_p + 0,3 \end{array} \right\}, \text{МПа} \quad (3.1)$$

$$p_{II} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot 0,6 \cdot \frac{140}{119,19} = 0,88 \\ 0,6 + 0,3 = 0,90 \end{array} \right\} = 0,9 \text{ МПа.}$$

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки определяется по формуле

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} p_p \cdot D / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p_p) \\ p_{II} \cdot D / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{II} - p_{II}) \end{array} \right\}, \text{м} \quad (3.2)$$

где  $\varphi$  – коэффициент прочности продольных сварных швов обечайки.

Коэффициент прочности продольных сварных швов принимаем равным  $\varphi = 1$ . Тогда по формулам (3.31) и (3.11), определим расчетную и исполнительную толщину стенки:

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \cdot 1,2 / (2 \cdot 1 \cdot 119,19 - 0,6) = 3,03 \cdot 10^{-3} \\ 0,9 \cdot 1,2 / (2 \cdot 1 \cdot 190,9 - 0,9) = 2,84 \cdot 10^{-3} \end{array} \right\} = 3,03 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$s = 3,03 + 0,75 + 1,22 = 5 \text{ мм.}$$

Допускаемое давление:

в рабочем состоянии

$$[p] = 2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] \cdot (s - c) / (D + s - c), \text{МПа} \quad (3.3)$$

$$[p] = 2 \cdot 1 \cdot 119,19 \cdot (5 - 0,75) \cdot 10^{-3} / ((1200 + 5 - 0,75) \cdot 10^{-3}) = 0,84 \text{ МПа}$$

при испытаниях

$$[p]_{II} = 2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{II} \cdot (s - c) / (D + s - c), \text{МПа} \quad (3.4)$$

$$[p]_{II} = 2 \cdot 1 \cdot 190,9 \cdot (5 - 0,75) \cdot 10^{-3} / ((1200 + 5 - 0,75) \cdot 10^{-3}) = 1,35 \text{ МПа.}$$

					ДП МАХП МД-021 ВА 00.00.00 ПЗ	
		N				

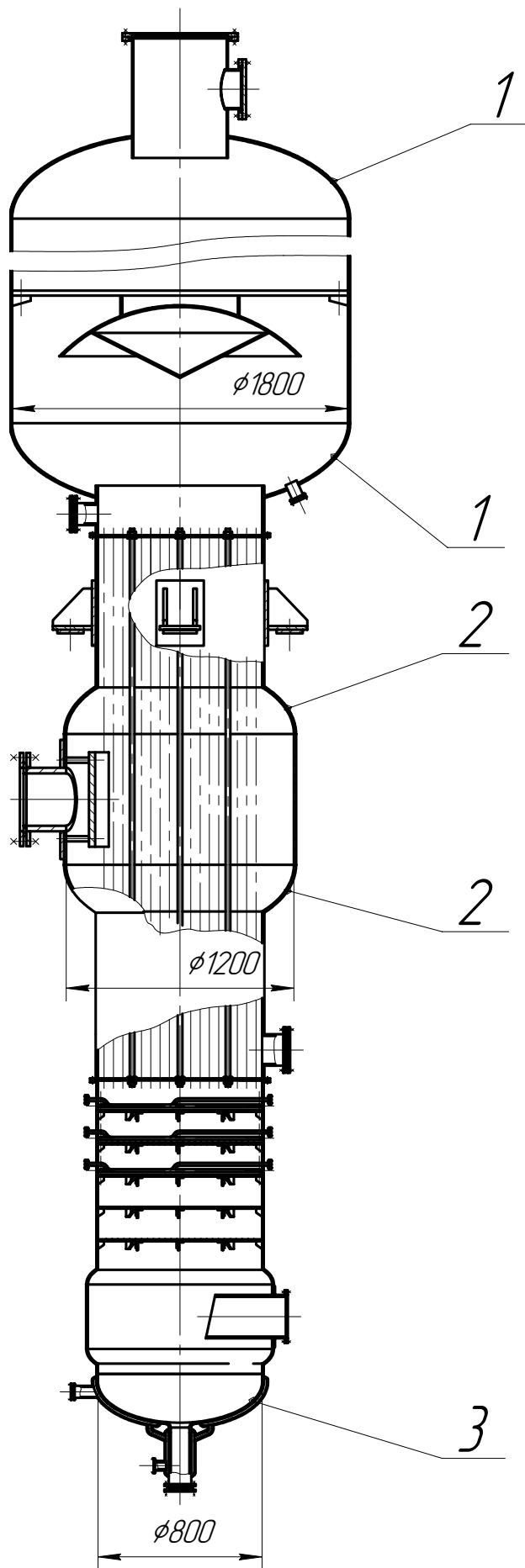


Рисунок 3.3 – Схема к расчету днищ в аппарате.

		N							
ДП МАХП МД-021 ВА 00.00.00 ПЗ									

Произведем расчет днища 2, работающего под внутренним давлением. Пробное давление при гидравлическом испытании, для эллиптического днища

$$p_{II} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot 0,6 \cdot \frac{140}{119,19} = 0,88 \\ 0,6 + 0,3 = 0,90 \end{array} \right\} = 0,9 \text{ МПа.}$$

Расчетная толщина стенки определяется по формуле:

$$S_{p4} = \max \left\{ \begin{array}{l} p_p \cdot D_4 / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot p_p) \\ p_{II} \cdot D_4 / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{II} - 0,5 \cdot p_{II}) \end{array} \right\}, \text{м} \quad (3.10)$$

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \cdot 1,2 / (2 \cdot 1 \cdot 119,19 - 0,5 \cdot 0,6) = 3,02 \cdot 10^{-3} \\ 0,9 \cdot 1,2 / (2 \cdot 1 \cdot 175 - 0,5 \cdot 0,9) = 3,09 \cdot 10^{-3} \end{array} \right\} = 3,09 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Исполнительная толщина стенки днища определяется по формуле

$$s_4 = 3,09 + 0,75 + 1,16 = 5 \text{ мм.}$$

Допускаемое давление:

в рабочем состоянии

$$[p] = 2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] \cdot (s_4 - c) / (D_4 + 0,5 \cdot (s_4 - c)), \text{ МПа} \quad (3.11)$$

$$[p] = 2 \cdot 1 \cdot 119,19 \cdot (5 - 0,75) \cdot 10^{-3} / (1,2 + 0,5 \cdot (5 - 0,75) \cdot 10^{-3}) = 0,84 \text{ МПа;}$$

при испытаниях

$$[p]_{II} = 2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{II} \cdot (s_4 - c) / (D_4 + 0,5 \cdot (s_4 - c)), \text{ МПа} \quad (3.12)$$

$$[p]_{II} = 2 \cdot 1 \cdot 175 \cdot (5 - 0,75) \cdot 10^{-3} / (1,2 + 0,5 \cdot (5 - 0,75) \cdot 10^{-3}) = 1,24 \text{ МПа.}$$

Условие устойчивости эллиптического днища 4 толщиной 5 мм выполняется:

для рабочего состояния  $0,6 \text{ МПа} < 0,84 \text{ МПа}$ ;

и при испытаниях  $0,9 \text{ МПа} < 1,24 \text{ МПа}$ .

Таким образом,  $s_4 = 5 \text{ мм}$  следует считать исполнительной толщиной стенки днища 4.

### 3.5 Расчет укрепления отверстия кольцом

Целью расчета является проверка условия прочности укрепления выреза накладным кольцом в случае, если размер выреза превышает размер отверстия, не требующего укрепления.

		N				
ДП МАХП МД-021 ВА 00.00.00 ПЗ						

$D_p$  – расчетный диаметр аппарата,  $D_p = D$  для корпуса;

$d_p$  – расчетный диаметр отверстия, мм;

$d_0$  – наибольший диаметр отверстия, не требующий укрепления, мм.

Расчетный диаметр круглого отверстия штуцеров в цилиндрических обечайках равен

$$d_p = d + 2 \cdot c_{III}, \text{мм}, \quad (3.14)$$

$$d_p = 400 + 2 \cdot 0,75 = 401,5 \text{ мм}.$$

Расчетная длина внешней и внутренней частей штуцера, участвующих в укреплении отверстия:

$$l_{1P} = \min \left\{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_{III}) \cdot (s_{III} - c_{III})} \right\}, \text{мм} \quad (3.15)$$

$$l_{2P} = \min \left\{ l_2; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_{III}) \cdot (s_{III} - 2 \cdot c_{III})} \right\}, \text{мм} \quad (3.16)$$

$$l_{1P} = \min \left\{ \begin{array}{l} 160 \text{ мм} \\ 1,25 \cdot \sqrt{(400 + 2 \cdot 0,75) \cdot (10 - 0,75)} = 76,2 \text{ мм} \end{array} \right\} = 76,2 \text{ мм},$$

$$l_{2P} = \min \left\{ \begin{array}{l} 50 \\ 0,5 \cdot \sqrt{(400 + 2 \cdot 0,75) \cdot (10 - 2 \cdot 0,75)} = 29,2 \end{array} \right\} = 29,2 \text{ мм}.$$

Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления, при отсутствии избыточной толщины стенки укрепляемого элемента:

$$d_{0P} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)}, \text{мм} \quad (3.17)$$

$$d_{0P} = 0,4 \cdot \sqrt{1200 \cdot (5 - 0,75)} = 28,57 \text{ мм}.$$

Наибольший диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left\{ \left[ (s - c) / s_p - 0,8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} - c_{III} \right\}, \text{мм} \quad (3.18)$$

$$d_0 = 2 \cdot \left\{ \left[ (5 - 0,75) / 4,55 - 0,8 \right] \cdot \sqrt{1200 \cdot (5 - 0,75)} - 0,75 \right\} = 19,15 \text{ мм}.$$

Так как  $d_p = 401,5 \text{ мм} > d_{0P} = 28,57 \text{ мм}$  и  $d_p = 401,5 \text{ мм} > d_0 = 19,15 \text{ мм}$ , то укрепление требуется.

Тогда проверим условие укрепления по формуле

$$\begin{aligned} & \left[ (76,2 + 16 - 4,55 - 0,75)(10 - 8,219 - 0,75) + 29,2(10 - 2 \cdot 0,75) \right] + \sqrt{1200 \cdot (15 - 0,75)} \times \\ & \times (1 \cdot 10 + 5 - 4,55 - 0,75) \geq 0,5 \cdot (401,5 - 28,57) \cdot 4,55. \end{aligned}$$

					ДП МАХП МД-021 ВА 00.00.00 ПЗ	
		N				

$$\sigma_{m0x} = 0,6 \cdot 1200 / (4 \cdot 3,03) = 59,40 \text{ МПа.}$$

Окружное напряжение от внутреннего давления  $p$ , определяется по формуле:

$$\sigma_{m0y} = p \cdot D / (2 \cdot s_0), \text{ МПа} \quad (3.21)$$

$$\sigma_{m0y} = 0,6 \cdot 1200 / (2 \cdot 3,03) = 118,81 \text{ МПа.}$$

Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок

$$\sigma_{m0} = \max\{\sigma_{m0x}; \sigma_{m0y}\} = \max\{59,40 \text{ МПа}; 118,81 \text{ МПа}\} = 118,81 \text{ МПа.}$$

Толщина накладного листа определяется по формуле [7]:

$$s_H = \sqrt{K_5 \cdot Q / (A \cdot \sigma_T)}, \text{ мм} \quad (3.22)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от условий и принимается равным 1,2;

$$s_H = \sqrt{0,45 \cdot 40000 / (1,2 \cdot 178,866)} = 9,16 \text{ мм.}$$

Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и реакции опоры, определяется по формуле:

$$\sigma_m = \sigma_{m0} + K_3 \cdot Q \cdot e / [D \cdot (s_0 + s_H)^2], \text{ МПа} \quad (3.23)$$

$$\sigma_m = 118,81 \cdot 10^6 + 0,5 \cdot 40 \cdot 79,95 / [1,2 \cdot ((3,03 + 9,16) \cdot 10^{-3})^2] = 127,78 \text{ МПа.}$$

Максимальное напряжение изгиба от опор, определяется по формуле:

$$\sigma_H = K_4 \cdot Q \cdot e / [H \cdot (s_0 + s_H)^2], \text{ МПа} \quad (3.24)$$

$$\sigma_H = 0,5 \cdot 40 \cdot 79,95 / [0,41 \cdot ((3,03 + 9,61) \cdot 10^{-3})^2] = 24,41 \text{ МПа.}$$

Условие прочности имеет вид:

$$(\sigma_m / \sigma_T)^2 + 0,8 / A \cdot (\sigma_H / \sigma_T) < 1$$

$$(127,78 / 178,866)^2 + 0,8 / 1,2 \cdot (24,41 / 178,866) = 0,601 < 1.$$

Условие прочности выполнено.

		N				
ДП МАХП МД-021 ВА 00.00.00 ПЗ						



$f_y = 0,03$  – сопротивление движению от уклона дороги, равное показателю уклона, соответствующему 0,01 на каждый процент уклона (с плюсом при подъёме дороги, с минусом – при спуске).

$$F = 10 \cdot 25 \cdot 0,075 + 10 \cdot (14 + 20) \cdot 0,05 + 10 \cdot (25 + 14 + 51) \cdot 0,03 = 68 \text{ кН}$$

Необходимое тяговое усилие для страгивания трактора с места с учетом увеличения тяговой нагрузки примерно на 50 % определяется по формуле:

$$F_T = 1,5F.$$

$$F_T = 1,5 \times 68 = 102 \text{ кН.}$$

По  $F_T$  подбираем тягач – трактор марки Т-100 с тяговым усилием 120 кН. Определяем силу тяги выбранного тягача по мощности двигателя на гусеницах трактора:

$$F_d = \frac{3,67 \cdot N \cdot \eta}{v},$$

где  $\eta = 0,8$  – КПД двигателя и силовой передачи трактора;

$v = 3000$  м/ч – скорость движения, принимается с учётом допустимых для прицепа и тягача.

$$F_d = \frac{3,67 \cdot 144 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{3000} = 141 \text{ кН.}$$

Сила тяги тягача по сцеплению с поверхностью дороги определяется по формуле:

$$F_c = 10G_c\phi,$$

где  $G_c = G_0 = 25$  т – сцепная масса трактора, обеспечивающая надёжное сцепление его с поверхностью дороги;

$\phi = 0,85$  – коэффициент сцепления гусениц трактора с покрытием дороги.

$$F_c = 10 \times 25 \times 0,85 = 213 \text{ кН.}$$

Проверка правильности выбора тягача проводится по условиям:

$$F_d < F_c; F_d > F_T$$

$$141 < 213 \text{ кН}; 141 > 120 \text{ кН.}$$

Условие правильности выбора тягача выполняется.

					ДП МАХП МД-021 ВА 00.00.00 ПЗ	
		N				

При окончательной установке оборудования его нижнюю часть плавно опирают на фундамент в проектное положение.

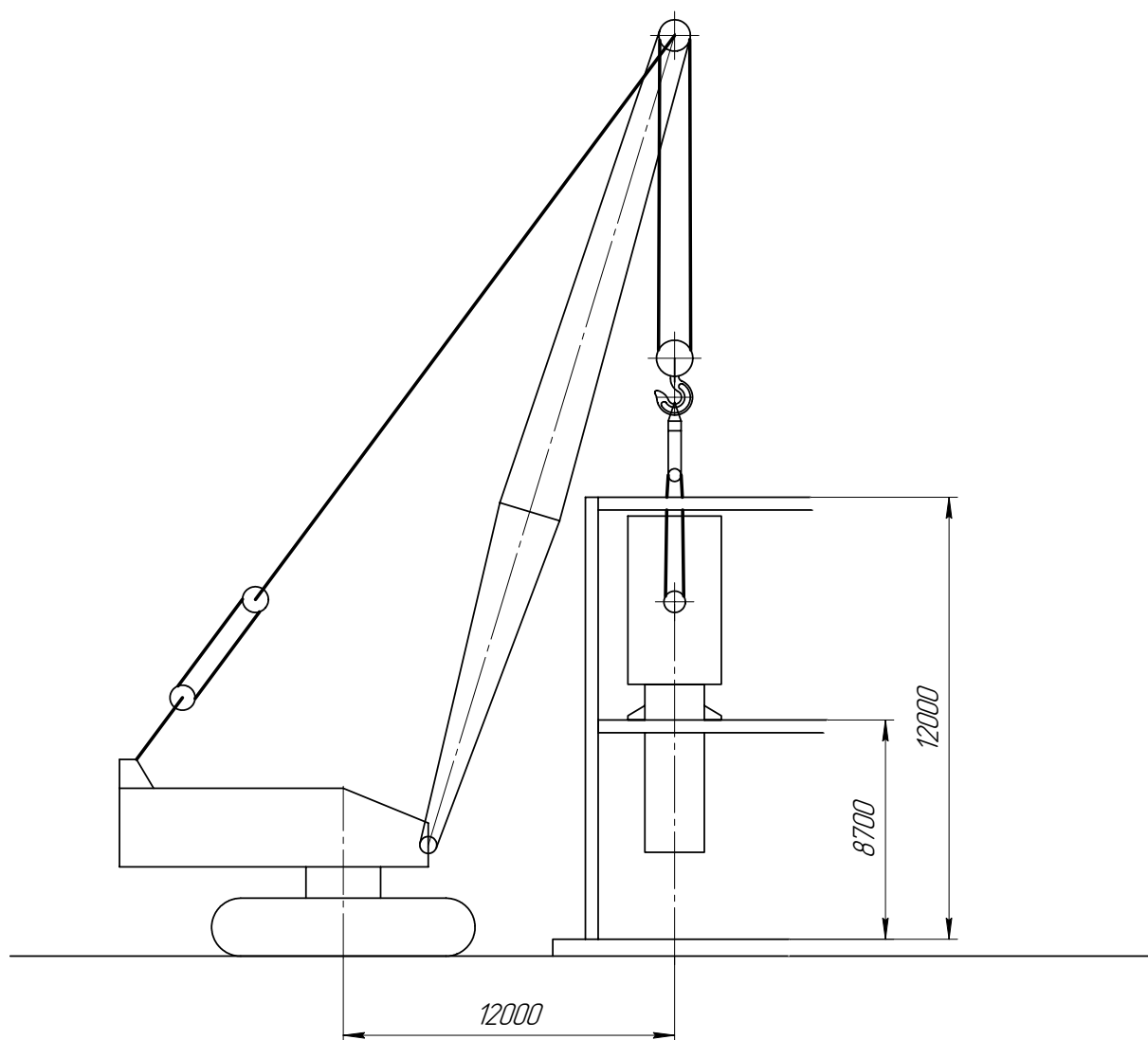


Рисунок 4.1 – Схема монтажа выпарного аппарата

#### 4.1.4 Выбор крана и расчёт такелажной оснастки

Выбор крана. Требуемая грузоподъёмность монтажного крана определяется по формуле:

$$G_{\text{к.тр}} \geq \frac{G_0}{n_{\text{к}}},$$

где  $G_0 = 20$  т – монтажная масса оборудования;

$n_{\text{к}} = 1$  – количество кранов, участвующих в подъёме оборудования.

Масса траверсы незначительна по сравнению с массой поднимаемого груза, поэтому в расчётах её можно не учитывать.

Определяем нагрузку, действующую на траверсу по формуле:

$$P = 10 \cdot G_0 \cdot k_n \cdot k_d$$

$$P = 10 \cdot 20 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 242 \text{ кН.}$$

Определяем изгибающий момент в траверсе по формуле:

$$M = \frac{P \cdot a}{2},$$

где  $a = \frac{B}{2} + 0,12 = \frac{3}{2} + 0,12 = 1,62$  м – длина плеча траверсы.

$$M = \frac{242 \cdot 1,62}{2} = 196 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Вычисляем требуемый момент сопротивления по формуле:

$$W = \frac{196 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 210 \cdot 10^6} = 1,10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

По моменту сопротивления  $W = 1,10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  выбираем с запасом сечение патрубка для траверсы размером  $\frac{450}{12}$  мм с моментом сопротивления

$$W_T = 1458 \text{ см}^3 > W_{\text{мин}} = 1100 \text{ см}^3.$$

Условие прочности траверсы выполняется.

Расчёт канатных строп. Стропы из стальных канатов применяются для строповки поднимаемого оборудования с грузозахватными приспособлениями для подъёма различного оборудования.

Для строповки тяжеловесного оборудования преимущественно применяют инвентарные витые стропы, выполняемые в виде замкнутой петли путём последовательной параллельной плотной укладки перевитых между собой витков каната вокруг начального центра витка.

Схема к расчёту канатного стропа приведена на рисунке 4.3.

Натяжение в одном витке стропа определяется по формуле:

$$S = \frac{P}{m \cdot n \cdot \cos \alpha},$$

					ДП МАХП МД-021 ВА 00.00.00 ПЗ	
		N				

где  $k_c = 4$  – коэффициент соотношения диаметров захватного устройства цилиндрической формы и поперечного сечения ветви стропа ( $k_c \geq 4$ ).

$$D_c = 0,0345 \cdot 4 = 0,138 \text{ м.}$$

#### 4.1.5 Выверка и испытание оборудования

Процесс установки оборудования в положение, предусмотренной проектом, с помощью специальных выверочных опорных элементов, центровочных приспособлений и грузоподъемных средств, включая операции измерения и контроля в плане, по высоте и по горизонтали (вертикали), а также относительно ранее установленного оборудования с контролем отклонения от соосности, перпендикулярности и параллельности.

Положение оборудования при выверке контролируют оптико-геодезическими способами, а также с помощью специальных инструментов, приборов, шаблонов, центровочных и других приспособлений, обеспечивающих измерение и контроль отклонений от перпендикулярности, перпендикулярности или соосности базовых поверхностей.

В качестве опорных элементов при выверке оборудования, устанавливаемого со сплошным опиранием на подливку применяют отжимные регулировочные винты, инвентарные домкраты, бетонные опоры и др.

Выбираем выверку оборудования с помощью отжимных регулировочных винтов, схема которой приведена на рисунке 4.4.

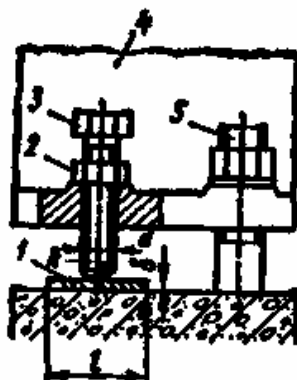


Рисунок 4.4 – Схема выверки отжимными регулировочными винтами

1 – опорная пластина; 2 – стопорная гайка; 3 – регулировочный винт; 4 – опорная часть оборудования; 5 – фундаментный болт

## 4.2 Технические условия на эксплуатацию и ремонт аппарата

Для проверки соответствия аппарата требованиям настоящих ТУ предусматриваются следующие виды испытаний: приемосдаточные, типовые, контрольные на надежность.

Приемосдаточные испытания производятся органами технического контроля предприятия-изготовителя. Приемка аппарата при вводе его в эксплуатацию производится по пунктам приемосдаточных испытаний. Аппарат, не выдержавший приемосдаточных испытаний, бракуют и возвращают для устранения дефектов. Забракованный аппарат после устранения неисправности должен вторично подвергаться приемосдаточным испытаниям в полном объеме.

Типовые испытания проводятся предприятием изготовителем во всех случаях, когда вносятся изменения в конструкцию или технологию изготовления, влияющие на технические характеристики и работоспособность аппарата. Объем типовых испытаний должен определяться характером изменения, вносимых в конструкцию или технологию.

Допускается проводить испытание аппарата по сокращенной программе, но обязательно на соответствие тем техническим характеристикам, на которые могут повлиять проведенные изменения в конструкции или технологии изготовления.

Контрольные испытания на надежность проводятся один раз в три года и сводятся к контролю соответствия показателей безотказности требованиям ТУ.

При несоответствии результатов испытаний требованиям ТУ допускается продолжение испытаний в соответствии с ГОСТ 27.0033-83.

Для химической промышленности установлены следующие системы технического обслуживания и ремонта оборудования: система планово-предупредительного ремонта (ППР); система послеосмотрового ремонта (ПОР).

Система планово-предупредительного ремонта — это такая организационно-техническая форма обеспечения работоспособности действующих машин и аппаратов, при которой межремонтное обслуживание и ремонт аппаратов производится по определенному плану, что уменьшает простой оборудования и предупреждается внезапный выход его из строя.

					ДП МАХП МД-021 ВА 00.00.00 ПЗ	
		N				

речня работ в зависимости от технического состояния оборудования и включает обычно:

- полную разборку аппарата;
- замену или реставрацию всех изношенных деталей и узлов с доведением размеров до номинальных;
- проверку, восстановление или замену несущих конструкций, базовых деталей и узлов, фундаментов;
- отладку и регулирование всех узлов аппарата, контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации;
- испытание и сдачу оборудования.

Планово-предупредительный ремонт оборудования осуществляется на основе ремонтных нормативов. Нормативы устанавливаются для каждого оборудования, функционирующего на предприятиях химической промышленности.

При изготовлении, испытании и поставке аппарата должны выполняться требования:

- а) ГОСТ 12.2.003-74 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности»;
- б) ОСТ 26.291-94 «Сосуды и аппараты стальные сварные. Технические требования».

					ДП МАХП МД-021 ВА 00.00.00 ПЗ	
		N				

## Список использованных источников

1. Кутепов А. М., Бондарева Т. И., Беренгартен Н. Г., Общая химическая технология, изд. 2-е, перераб. и доп., М.: «Высшая школа», 1990. – 522 с.
2. Скобло А.И. и др. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. – М.: ООО «Недра-Бизнес-центр», 2000. – 677 с.
3. Павлов К.Ф., Романков А.А., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу «Процессы и аппараты химической технологии». – Л.: Химия, 1981. – 552 с.
4. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. / Под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 272 с.
5. Тимонин А.С. основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Справочник. – Калуга: Изд. Н. Бочкаревой, 2002. Т.1, 852 с., т.2, 1028 с., т.3, 968 с.
6. Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры.– М.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
7. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи / под ред. М.Ф. Михалева.– Л.: Машиностроение, 1984. – 301 с.
8. Матвеев В.В., Крупин Н.Ф. Примеры расчета такелажной оснастки.– Л.: Стройиздат, 1987. – 320 с.
9. Киселев Г.Ф. и др. Система технического обслуживания и ремонта технологического оборудования предприятий по производству минеральных удобрений. Справочник. – М.: Химия, 1991. – 384 с.
10. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации. – М.: Химия, 1982. – 296 с.
11. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы. Справочное пособие./Под ред. Б.Д. Кошарского. – Л.: Машиностроение, 1976. – 488 с.
12. Сборник законодательных и других нормативных правовых актов по охране труда./Под ред. В.С. Шевцова. – Пятигорск: «Спецпечать», 2002.
13. Кукин П.П., Лапин В.Л., Пономарев Н.Л. Безопасность технологических процессов производств (Охрана труда). – М.: Высш. шк., 2001. – 319 с.

					ДП МАХП МД-021 ВА 00.00.00 ПЗ	
		N				