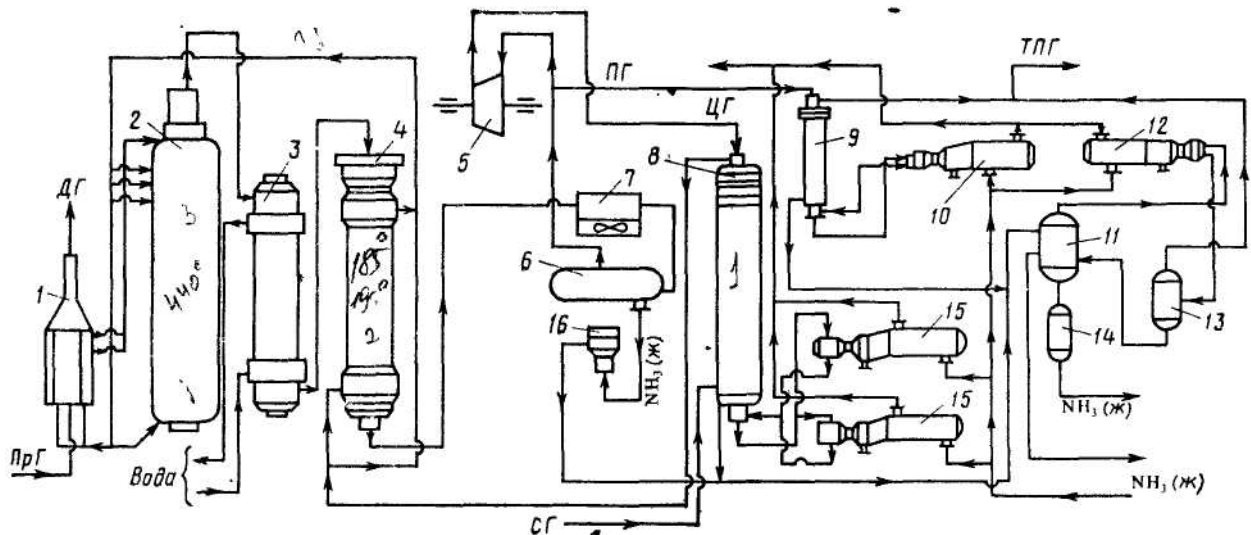


# 1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УСТАНОВКИ

На рисунке 1.1 приведена принципиальная технологическая схема синтеза аммиака в агрегате мощности 1360 т/сут на отечественном оборудовании.



1 – подогреватель газа, 2 – колонна синтеза аммиака, 3 – подогреватель воды, 4 – выносной теплообменник; 5 – циркуляционное колесо компрессора; 6 – сепаратор жидкого аммиака; 7 – блок аппаратов воздушного охлаждения; 8 – конденсационная колонна; 9 – конденсационная колонна продувочных газов; 10 – испаритель жидкого аммиака на линии продувочных газов; 11 – сборник жидкого аммиака; 12 – испаритель жидкого аммиака на линии танковых газов; 13 – сепаратор; 14 – промежуточная дренажная емкость; 15 – испарители жидкого аммиака; 16 – магнитный фильтр

Рисунок 1.1 – Технологическая схема

блока синтеза аммиака агрегата мощностью 1360 т/сут

Свежая азотоводородная смесь после очистки метанированием сжимается в центробежном компрессоре до давления 32 МПа и после охлаждения в воздушном холодильнике (на схеме не показан) поступает в нижнюю часть конденсационной колонны 8 для очистки от остаточных примесей  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и следов масла. Свежий газ барботирует через слой сконденсировавшегося жидкого аммиака, освобождается при этом от водяных паров и следов  $\text{CO}_2$  и масла, насыщается аммиаком до 3–5% и смешивается с циркуляционным газом. Полученная смесь проходит по трубкам теплообменника конденсационной колонны и направляется в межтрубное пространство выносного теплообменника 4, где нагревается до 185 –

Жидкий аммиак из первичного сепаратора проходит магнитный фильтр 16, где из него выделяется катализаторная пыль, и смешивается с жидким аммиаком из конденсационной колонны 8. Затем его дросселируют до давления 4 МПа и отводят в сборник жидкого аммиака 11. В результате дросселирования жидкого аммиака до 4 МПа происходит выделение растворенных в нем газов  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CH_4$ . Эти газы, называемые танковыми, содержат 16–18%  $NH_3$ . Поэтому танковые газы направляют в испаритель 12 с целью утилизации аммиака путем его конденсации при  $-25\text{ }^\circ\text{C}$ . Из испарителя танковые газы и сконденсировавшийся аммиак поступают в сепаратор 13 для отделения жидкого аммиака, направляемого в сборник жидкого аммиака 11.

Для поддержания в циркуляционном газе постоянного содержания инертных газов, не превышающего 10%, производится продувка газа после первичной конденсации аммиака (после сепаратора 6). Продувочные газы содержат 8–9%  $NH_3$ , который выделяется при температуре  $25\text{--}30\text{ }^\circ\text{C}$  в конденсационной колонне 9 и испарителе 10 продувочных газов. Смесь танковых и продувочных газов после выделения аммиака используют как топливный газ.





### 3 ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОЧИХ ВЕЩЕСТВ

**Оксид углерода** (угарный газ CO), соединение углерода с кислородом; газ без цвета и запаха. Плотность CO  $0,00125 \text{ г/см}^3$  при  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  и давлении  $0,1 \text{ Мн/м}^2$ ,  $t_{пл} - 205 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{кип} - 191,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , критическая температура -  $140^\circ\text{C}$ , критическое давление  $3,46 \text{ Мн/м}^2$  ( $34,6 \text{ кгс/см}^2$ ). Негорюч, невзрывоопасен. В больших количествах вызывает удушье.

**Метан**, болотный, или рудничный, газ,  $\text{CH}_4$ , первый член гомологического ряда насыщенных углеводородов; бесцветный газ без запаха;  $t_{кип} - 164,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_{пл} - 182,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ; плотность по отношению к воздуху  $0,554$  ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ); горит почти бесцветным пламенем, теплота сгорания  $50,08 \text{ Мдж/кг}$  ( $11954 \text{ ккал/кг}$ ). М. - основной компонент природных (77-99% по объёму), попутных нефтяных (31-90%) и рудничного газов (34-40%). Токсичен, пожаровзрывоопасен.

**Азот** (от греч. *ázōos* - безжизненный, лат. Nitrogenium), N, химический элемент V группы периодической системы Менделеева, атомный номер 7, атомная масса  $14,0067$ ; бесцветный газ, не имеющий запаха и вкуса. Нетоксичен, не взрывоопасен, коррозионных свойств не имеет.

**Водяной пар** – газообразное состояние воды. Пар получают в процессе парообразования (испарения) при нагревании воды в паровых котлах, испарителях и других теплообменных аппаратах. Пар служит рабочим телом в паросиловых установках, теплоносителем в системах вентиляции, тепло- и водоснабжения; используется также в технологических целях. По отношению к черным металлам проявляет коррозионные свойства.

**Вода**, оксид водорода,  $\text{H}_2\text{O}$ , простейшее устойчивое в обычных условиях химическое соединение водорода с кислородом (11,19% водорода и 88,81% кислорода по массе), молекулярная масса  $18,0160$ . Вода – бесцветная жидкость без запаха и вкуса (в толстых слоях имеет голубоватый цвет). По отношению к черным металлам проявляет коррозионные свойства.

Тепловая нагрузка холодильника может быть определена по формуле [3, стр. 32]

$$Q = G_r (h_{r1} - h_{r2})$$

где  $G_r$  – расход газа, подлежащего охлаждению, кг/с;

$h_{r1}$  – энтальпия газа, поступающего в холодильник, кДж/ (кг × К);

$h_{r2}$  – энтальпия газа, выходящего из холодильника, кДж/ (кг × К).

Массовый расход охлаждаемого газа определим как сумму массовых расходов отдельных компонентов

$$G_r = \Sigma G_i = \Sigma (V_r Y_{v_i} \rho_i) = V_r \Sigma (Y_{v_i} \rho_i)$$

где  $Y_{v_i}$  – объемная доля  $i$ -го компонента газа;

$V_r$  – объемный расход газа, согласно заданию на проектирование при  $P = 0,1013$  МПа,  $t = 0$  °С расход  $V_r = 160500$  м<sup>3</sup>/ч = 44.6 м<sup>3</sup>/с.

$\rho_i$  – плотность  $i$ -го компонента газа. Согласно справочным данным [4, табл. IV] плотности компонентов при  $P = 0.1013$  МПа,  $t = 0$

Таблица 4.1 – Плотности компонентов конвертированного газа при н. у.

| Компонент         | Хим. формула     | Плотность, кг/м <sup>3</sup> |
|-------------------|------------------|------------------------------|
| Водород           | H <sub>2</sub>   | 0,0899                       |
| Окись углерода    | CO               | 1,2500                       |
| Двуокись углерода | CO <sub>2</sub>  | 1,9800                       |
| Азот              | N <sub>2</sub>   | 1,2500                       |
| Метан             | CH <sub>4</sub>  | 0,7200                       |
| Водяной пар       | H <sub>2</sub> O | 0,0049                       |

Определим массовые расходы компонентов, результаты оформим в виде таблицы, опустив несложные промежуточные вычисления

Энтальпия газа считается по формуле

$$h(t) = c(t) t$$

где  $c(t)$  – теплоемкость при температуре  $t$ .

Значение теплоемкости при  $t_{r1} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{r2} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$  подсчитаем интерполированием, используя табличные значения теплоемкости при  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  [5, прил. XIII]. Общая теплоемкость смеси газов считается по принципу аддитивности

$$C(t) = \Sigma (c(t)_i Y_{m_i})$$

Опуская промежуточные вычисления, результаты расчетов сведем в таблицу.

Таблица 4.4 – Теплоемкости компонентов газа

| Компонент        | Массовая доля, $Y_m$ | $c(100)$  | $c(100)_i$ | $c(200)$  | $c(200)_i$ | $c(300)$  | $c(300)_i$ |
|------------------|----------------------|---|------------|---|------------|---|------------|
|                  |                      | $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \times \text{К}}$ | $Y_{m_i}$  | $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \times \text{К}}$ | $Y_{m_i}$  | $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \times \text{К}}$ | $Y_{m_i}$  |
| H <sub>2</sub>   | 0,1056               | 3,450   | 0,3642     | 3,460   | 0,3653     | 3,470   | 0,3663     |
| CO               | 0,0721               | 0,250   | 0,0180     | 0,253   | 0,0182     | 0,258   | 0,0186     |
| CO <sub>2</sub>  | 0,7370               | 0,218   | 0,1607     | 0,237   | 0,1747     | 0,252   | 0,1857     |
| N <sub>2</sub>   | 0,0721               | 0,249   | 0,0180     | 0,251   | 0,0181     | 0,255   | 0,0184     |
| CH <sub>4</sub>  | 0,0073               | 0,585   | 0,0043     | 0,670   | 0,0049     | 0,758   | 0,0055     |
| H <sub>2</sub> O | 0,0059               | 0,452   | 0,0027     | 0,469   | 0,0028     | 0,478   | 0,0028     |
| Сумма            | 1,0000               |   | 0,5678     |   | 0,5839     |   | 0,5974     |

Для дальнейших расчетов необходимо перевести справочные данные в размерности системы СИ:

$$c(100) = 0.5678 \times 4.19 = 2,38 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$$

$$c(200) = 0.5839 \times 4.19 = 2,46 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$$

$$c(300) = 0.5974 \times 4.19 = 2,50 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$$

Тогда теплоемкость газа при температуре  $t_{r1} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{r2} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$

$$c_{r1} = c(100) + (130 - 100) \frac{c(200) - c(100)}{200 - 100} = 2,38 + 30 \times \frac{2,46 - 2,38}{100} = 2.40 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$$

$$c_{r2} = c(200) + (250 - 200) \frac{c(300) - c(200)}{300 - 200} = 2,46 + 50 \times \frac{2,50 - 2,46}{100} = 2.48 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$$

### 4.3 Определение средней разности температур

Средняя разность температур считается по формуле

$$\Delta T_{\text{cp}} := \frac{\Delta T_{\text{max}} - \Delta T_{\text{min}}}{2.3 \cdot \log \left( \frac{\Delta T_{\text{max}}}{\Delta T_{\text{min}}} \right)}$$

где  $\Delta T_{\text{max}}$  и  $\Delta T_{\text{min}}$  – большая и меньшая разность температур соответственно:

$$\Delta T_{\text{max}} = t_{r1} - t_{r2} = 250 - 130 = 120 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{min}} = t_{b2} - t_{b2} = 120 - 60 = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Тогда средняя разность температур

$$\Delta T_{\text{cp}} = \frac{120 - 60}{2.3 \log (120/60)} = 86,7 \text{ } ^\circ$$

### 4.4 Ориентировочный выбор теплообменника

Требуемая поверхность теплообмена определяется по формуле

$$F := \frac{Q}{K \cdot \Delta T_{\text{cp}}}$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи. Для предварительных расчетов принимаем [3, стр. 32]

$$K = 0,8 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \text{ К}}$$

Тогда ориентировочная поверхность теплообмена

$$F = \frac{4760}{0,8 \times 86,7} = 68,7 \text{ м}^2$$

Решение вопроса о том, какой из теплоносителей направить в трубное пространство, а какой в межтрубное, определяется давлением теплоносителей, их коррозионной активностью, способностью загрязнять поверхность теплообмена [3, стр. 32]. В данном случае определяющим является давление воды, которое по условию равно 10,6 МПа, и значительно превосходит давление газа, равное 2,6 МПа. Трубки теплообменника по критерию прочности работают значительно лучше при внутреннем избыточном давлении, чем при наружном. Поэтому воду направляем в трубное пространство, а газ – в межтрубное.



где  $\alpha_T$  – коэффициент теплоотдачи со стороны газа;

$\lambda_{ст}$  – теплопроводность материала трубок, принимаем трубки из нержавеющей стали  $\lambda = 25 \text{ Вт} / (\text{м} \times \text{К})$  [2];

$\alpha_B$  – коэффициент теплоотдачи со стороны воды.

Значение коэффициент теплоотдачи определяют по формуле [2]

$$Nu = \frac{\alpha d_3}{\lambda}$$

где  $Nu$  – критерий Нуссельта;

$d_3$  – эквивалентный диаметр поверхности, для цилиндрической поверхности эквивалентный диаметр равен диаметру цилиндра;

$\lambda$  – теплопроводность среды.

**Коэффициент теплоотдачи со стороны воды.** Критерий Нуссельта для воды может быть определен по формуле

$$Nu_B := 0.023 \cdot Re_B^{0.8} \cdot Pr_B^{0.4}$$

где  $Re_B$  – критерий Рейнольдса для воды

$$Re_B = \frac{4G_B}{\pi d_{BH} (n/z) \mu_B} = \frac{4 \times 18,5}{3,14 \times 0,016 \times (389/1) \times 3.355 \times 10^{-4}} = 12111$$

$Pr_B$  – критерий Прандтля для воды

$$Pr_B = \frac{c_B \mu_B}{\lambda_B}$$

где  $\lambda_B$  – теплопроводность воды при средней температуре  $t_{вср} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$c_B$  – теплоемкость воды при средней температуре  $t_{вср} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Теплопроводность воды определим по табличным данным при  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  [4, табл. XXXIX]:

$$\lambda_B = 0,680 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{К}}$$

Теплоемкость воды определим по табличным данным при  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  [4, табл. XXXIX]:

$$c_B = 4190 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \times \text{К}}$$

Таблица 4.5 – Вязкости компонентов газа

| Компонент        | Массовая доля, $Y_m$ | $\mu(100)$<br>спз | $c(100)_i Y_{m_i}$<br>спз $\times 10^3$ | $\mu(200)$<br>спз | $c(200)_i Y_{m_i}$<br>спз $\times 10^3$ |
|------------------|----------------------|-------------------|---|-------------------|---|
| H <sub>2</sub>   | 0,1056               | 0,0103            | 1,087                                   | 0,0121            | 1,277                                   |
| CO               | 0,0721               | 0,0209            | 1,508                                   | 0,0246            | 1,774                                   |
| CO <sub>2</sub>  | 0,7370               | 0,0184            | 13,560                                  | 0,0226            | 16,655                                  |
| N <sub>2</sub>   | 0,0721               | 0,0208            | 1,500                                   | 0,0246            | 1,774                                   |
| CH <sub>4</sub>  | 0,0073               | 0,0133            | 0,097                                   | 0,0161            | 0,117                                   |
| H <sub>2</sub> O | 0,0059               | 0,0123            | 0,073                                   | 0,0161            | 0,096                                   |
| Сумма            | 0,1056               | $\mu(100)$        | 17,825                                  | $\mu(200)$        | 21,694                                  |

Переведем размерности вязкости в СИ:

$$\mu(100) = \mu(100) \times 10^{-3} = 17,825 \times 10^{-3} \times 10^{-3} = 1,783 \times 10^{-5} \frac{\text{Н}}{\text{с} \times \text{м}^2}$$

$$\mu(200) = \mu(200) \times 10^{-3} = 21,694 \times 10^{-3} \times 10^{-3} = 2,169 \times 10^{-5} \frac{\text{Н}}{\text{с} \times \text{м}^2}$$

Вязкость при  $t_{\text{срмтр}} = 190 \text{ }^\circ\text{C}$  определяем интерполированием:

$$\begin{aligned} \mu_T &= \mu(100) + (190 - 100) \frac{\mu(200) - \mu(100)}{200 - 100} = \\ &= 1,783 \times 10^{-5} + 90 \times \frac{2,169 \times 10^{-5} - 1,783 \times 10^{-5}}{100} = 2,13 \times 10^{-5} \frac{\text{Н}}{\text{с} \times \text{м}^2} \end{aligned}$$

Соответственно критерий Рейнольдса

$$Re_T = \frac{15,5 \times 0,016}{0,040 \times 2,13 \times 10^{-5}} = 119067$$

Критерий Прандтля для газа

$$Pr_T = \frac{c_T \mu_T}{\lambda_T}$$

где  $\lambda_T$  – теплопроводность воды при средней температуре  $t_{\text{ср}} = 190 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$c_T$  – теплоемкость воды при средней температуре  $t_{\text{ср}} = 190 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Значение теплопроводности и теплоемкости вычисляется аналогично тому, как было вычислено значение вязкости при  $190 \text{ }^\circ\text{C}$ . Поэтому процесс расчета



## 5 РАСЧЕТ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

### 5.1 Расчет насосной установки для подачи охлаждающей воды

Требуется подавать  $L = 0.0185 \text{ м}^3/\text{с}$  воды. Принимаем расположение установки на одном уровне с точкой ввода воды в аппарат, длина трубопровода 20 м. Ниже приведена схема к расчету насосной установки.

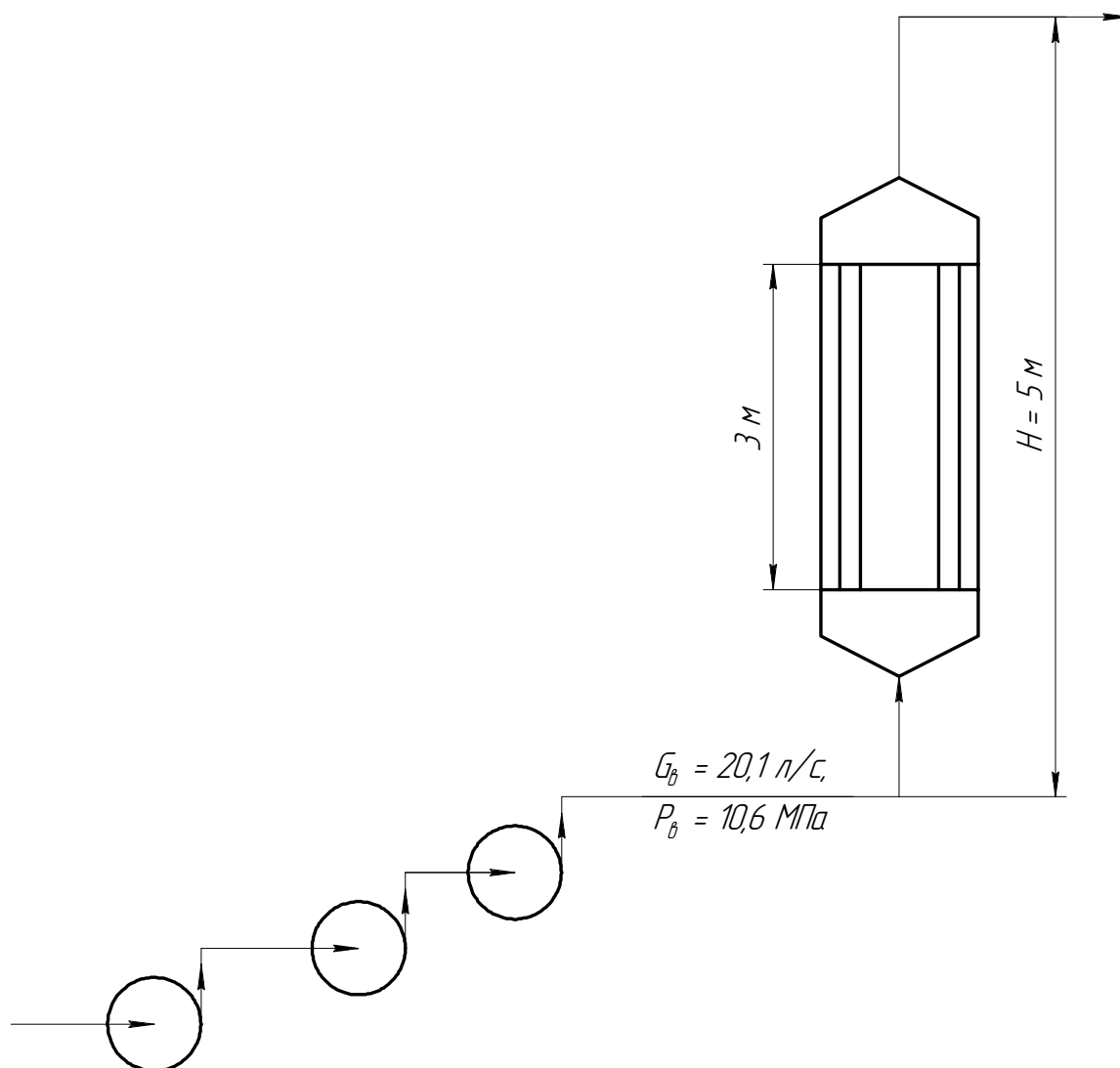


Рисунок 5.1 – Схема к расчету насосной установки

Принимаем скорость воды в трубопроводе 3 м/с. Тогда диаметр трубопровода

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi \omega}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.0185}{3.14 \times 3}} = 0.089 \text{ м}$$

Эквивалентная длина такого сопротивления для трубопровода круглого сечения [3]

$$L_{\text{пов}}^{90} = 1.65 d_{\text{вн}}$$

где  $d_{\text{вн}} = d - 2s = 0,100 - 2 * 0,005 = 0,09$  м – внутренний диаметр трубопровода. Соответственно

$$L_{\text{пов}}^{90} = 1,65 * 0,09 = 0,149 \text{ м.}$$

Тогда полная эквивалентная длина всех местных сопротивлений

$$L_{\text{экр}} = 2 L_{\text{пов}}^{90} = 2 * 0,149 = 0,298 \text{ м}$$

Итого

$$h_{\text{тр+мс}} = \frac{0,298 \times (20 + 0,298)}{0,100 - 2 \times 0,005} \times 0,44 = 29,6 \text{ м}$$

Требуемый полный напор насосной установки:

$$H = \frac{P_{\text{изб}}}{g \rho} + H_{\text{п}} + h_{\text{тр+мс}} + h_{\text{ск}}$$

где  $P_{\text{изб}} = 10,6$  МПа – избыточное давление в аппарате. Следовательно

$$H = 10,6 \times 10^6 / 9.81 / 965 + 5 + 29,6 + 0,44 = 1154 \text{ м}$$

Мощность, потребляемую насосной установкой определяем по формуле [5]

$$N = \frac{Q \rho g H}{1000 \eta}$$

где  $\eta = 0,8$  – КПД установки (принимаем). Соответственно

$$N = 0,0185 * 965 * 9,81 * 1154 / 1000 / 0,8 = 252 \text{ кВт}$$

Используя полученные данные (производительность  $0,0185 \text{ м}^3/\text{с}$  и напор  $1154 \text{ м}$ ) можно рассчитать насосную установку, состоящую из нескольких ступеней.

## 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., Молоканов Ю. К., Владимиров А. И., Щелкунов В. А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. Учебник для вузов. – 3-е изд., переаб. и доп. – М.: ООО «Недрабизнесцентр», 2000. – 677 с. ил.
3. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / под ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 272 с.
4. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии, М.: Химия, 1970. – 624 с.
5. Плановский А. Н., Рамм В. М., Соломон З. К. Процессы и аппараты химической технологии, М.: Химия, 1967. – 848 с.

|  |  |   |   |   |                               |    |
|--|--|---|---|---|-------------------------------|----|
|  |  |   |   |   | КП ПАХТ МЗ-992 ХГ 00.00.00 ПЗ | 34 |
|  |  |   |   |   |                               |    |
|  |  | N | . | . |                               |    |

### 3. Расчет толщины стенки

Коэффициент прочности сварных швов стальных аппаратов, для ручной дуговой электросварки

$$\varphi := 1$$

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки (максимальная из двух)

$$s_p := \left( \begin{array}{l} \frac{p_p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma D - p_p} \\ \frac{p_{и} \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma D_{и} - p_{и}} \end{array} \right) \quad s_p = \left( \begin{array}{l} 0.257 \\ 0.777 \end{array} \right) \text{мм} \quad s_p := \max(s_p) \quad s_p = 0.78 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации коррозии

$$c_1 := \Pi \cdot \tau$$

$$c_1 = 0.50 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска (при листовом прокате и сварной обечайке)

$$c_2 := 0 \text{ мм}$$

Технологическая прибавка (при листовом прокате и сварной обечайке)

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Общая прибавка к расчетной толщине обечайки

$$c := c_1 + c_2 + c_3$$

$$c = 0.50 \text{ мм}$$

Прибавка на округление размера до стандартного значения

$$c_0 := 0.0 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки

$$s := s_p + c + c_0$$

$$s = 1.28 \text{ мм}$$

Принятая толщина стенки обечайки

$$s := 2 \text{ мм}$$

Допускаемое давление в рабочем состоянии

$$\frac{2 \cdot \varphi \cdot \sigma D \cdot (s - c)}{D + s - c} = 43.52 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление при гидроиспытаниях

$$\frac{2 \cdot \varphi \cdot \sigma D_{и} \cdot (s - c)}{D + s - c} = 28.34 \text{ МПа}$$