

1, 10 – турбокомпрессоры; 2 – подогреватель природного газа; 3 – реактор гидрирования сернистых соединений; 4 – адсорбер; 5 – трубчатый конвертор; 6 – котел-утилизатор; 7, 11, 12 – теплообменники; 8, 14 – холодильники-конденсаторы; 9, 15 – сепараторы; 13 – колонна синтеза; 16 – сборник

Рисунок 1.2 – Схема производства метанола при давлении 5 МПа

Конвертированный газ поступает в котел-утилизатор 6, где охлаждается до 280—290 °С. Затем теплоту газа используют в теплообменнике 7 для подогрева питательной воды, направляемой в котел-утилизатор. Пройдя воздушный холодильник 8 и сепаратор 9, газ охлаждается до 35-40 °С.

Охлажденный конвертированный газ сжимают до 5 МПа в компрессоре 10, смешивают с циркуляционным газом и подают в теплообменники 11, 12, где он нагревается до 220—230 °С.

Нагретая газовая смесь поступает в колонну синтеза 13, температурный режим в которой регулируют с помощью холодных байпасов. Теплоту реакционной смеси используют в теплообменниках 11, 12 для подогрева поступающего в колонну газа.

2 ОБЗОР И АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ОБОРУДОВАНИЯ

Холодильники и конденсаторы предназначены для охлаждения потока или конденсации паров с использованием специального охлаждающего агента (вода, воздух, испаряющийся аммиак, пропан и др.). Охлаждение и конденсация в этих аппаратах являются целевыми процессами, а нагрев охлаждающего агента побочным. К таким аппаратам относятся холодильники и конденсаторы любой нефтегазоперерабатывающей установки, предназначенные для охлаждения и конденсации получаемых продуктов.

При регенерации тепла того или иного продукта его окончательное охлаждение до температуры, требуемой для безопасного транспорта и хранения, обычно завершается в холодильниках. В химической промышленности используются различные по конструкции холодильники. Один из таких аппаратов, используемых в производстве метанола, приведен на рисунке 2.1

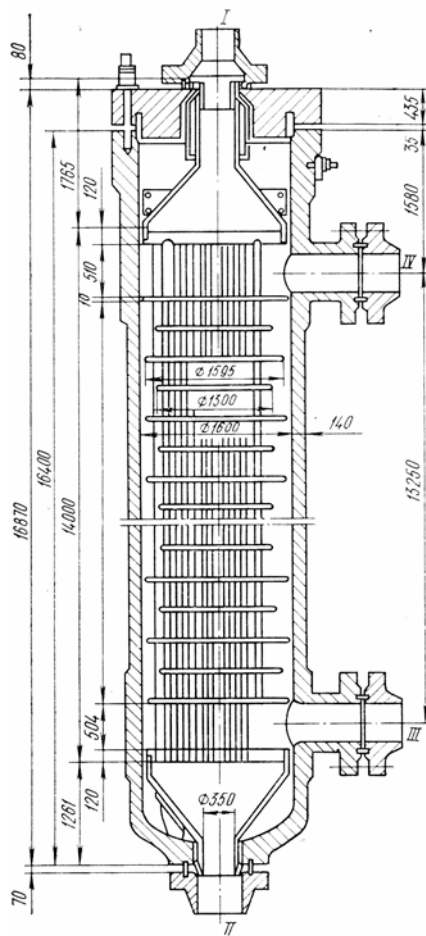


Рисунок 2.1 – Выносной газовый теплообменник

Корпус аппарата изготовлен в виде многослойного цилиндра, концевые части — днище и крышка — штампованные, приварены к корпусу. Общая длина теплообменника — 16292 мм, внешний диаметр корпуса — 1365 мм, масса — $8,5 \cdot 10^4$ кг. Вход газовой смеси осуществляется через штуцер *I*, выход — через штуцер *II*. Вход горячего газа в межтрубное пространство — через штуцер *III*, выход — через штуцер *IV*.

Аппараты воздушного охлаждения (АВО). Широкое распространение в промышленности получили аппараты воздушного охлаждения, в которых в качестве охлаждающего агента используется поток атмосферного воздуха, нагнетаемый специально установленными вентиляторами.

Использование аппаратов этого типа позволяет осуществить значительную экономию охлаждающей воды, уменьшить количество сточных вод, исключает необходимость очистки наружной поверхности теплообменных труб. Эти аппараты используются в качестве конденсаторов и холодильников.

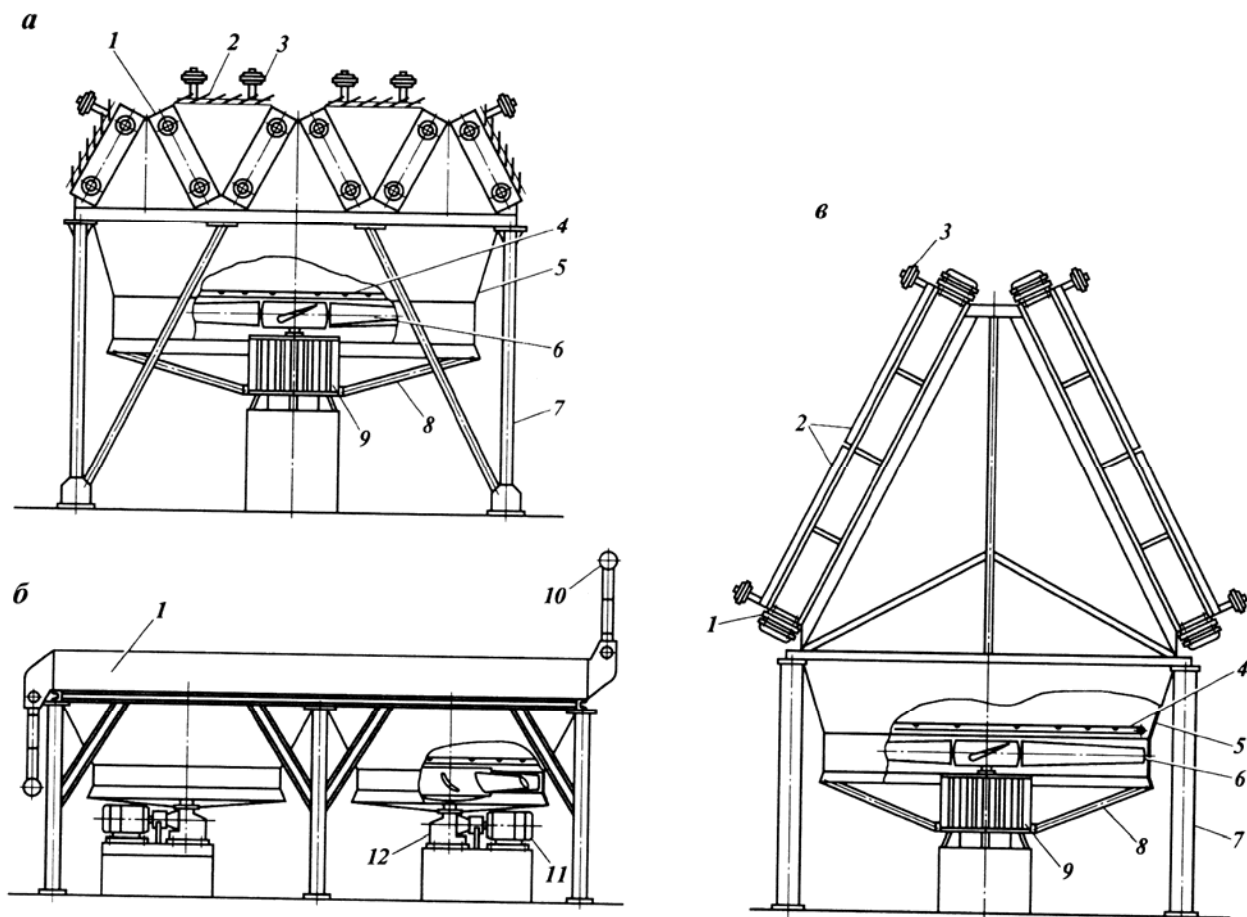
Сравнительно низкий коэффициент теплоотдачи со стороны потока воздуха [$30-90 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$], характерный для этих аппаратов, компенсируется значительным оребрением наружной поверхности труб, а также сравнительно высокими скоростями движения потока воздуха.

Поперечное оребрение труб выполняют глубокой спиральной накаткой слоя деформируемого алюминиевого сплава, завальцовкой алюминиевой ленты в спиральную канавку на трубе, оберткой трубы алюминиевой лентой, имеющей форму *L* или — двойной ступенчатой *L*. В отечественной промышленности наиболее широко применяются биметаллические трубы с накатанным оребрением, у которых в зависимости от коррозионной активности и температуры окружающей среды внутреннюю трубу выполняют из углеродистой или легированной стали либо из латуни.

Повышение тепловой эффективности аппаратов воздушного охлаждения можно обеспечить за счет применения оребренных труб, оснащенных турбулизаторами воздушного потока. Наличие турбулизаторов прерывает развитие пограничных слоев на боковой поверхности оребрения, обеспечивает возникновение

					КП ПАХТ ХТЗ-991 АВО 00.00.00 ПЗ	12
		N				

плообменника. Над лопастями вентилятора установлена еще одна решетка 4, предохраняющая лопасти вентилятора от попадания инородных предметов большого объема сверху.



- 1 – секция; 2 – сетка; 3 – клапан; 4, 8 – защитная решетка; 5 – раструб;
 6 – лопасть; 7 – стойка; 9 – опорный диск; 10 – штуцер;
 11 – электродвигатель; 12 – редуктор

Рисунок 2.3 – Типы аппаратов воздушного охлаждения

Пройдя распределительную решетку 4, поток холодного воздуха движется по расширяющемуся конусному раструбу 5. В результате расширения сечения потока его скорость несколько уменьшается, и снижается давление, что влечет некоторое снижение температуры, компенсирующее ее возрастание при прохождении лопастей 6 вентилятора.

3 ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОЧИХ ВЕЩЕСТВ

Окись углерода (угарный газ CO), соединение углерода с кислородом; газ без цвета и запаха. Плотность CO 0,00125 г/см³ при 0 °С и давлении 0,1 Мн/м², $t_{пл}$ - 205 °С, $t_{кип}$ -191,5 °С, критическая температура - 140°С, критическое давление 3,46 Мн/м² (34,6 кгс/см²). Негорюч, невзрывоопасен.

Метан, болотный, или рудничный, газ, CH₄, первый член гомологического ряда насыщенных углеводородов; бесцветный газ без запаха; $t_{кип}$ - 164,5 °С; $t_{пл}$ - 182,5 °С; плотность по отношению к воздуху 0,554 (20 °С); горит почти бесцветным пламенем, теплота сгорания 50,08 Мдж/кг (11954 ккал/кг). М. - основной компонент природных (77-99% по объёму), попутных нефтяных (31-90%) и рудничного газов (34-40%).

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.

Спирты, производные углеводородов, содержащие в молекуле одну или несколько гидроксильных групп (-ОН) у насыщенных атомов углерода. Соединения с ОН-группами в ароматическом кольце называются фенолами, с ОН-группами при углерод-углеродной двойной связи - енолами.

Воздух. В качестве транспортирующего агента используется воздух. Воздух – естественная смесь газов, главным образом азота и кислорода, составляющая земную атмосферу. Сухой воздух состоит из следующих газов (% по объёму): азота N₂ 78,09; кислорода O₂ 20,95; аргона Ar 0,93; углекислого газа CO₂ 0,03. Воздух содержит очень небольшие количества остальных инертных газов, а также водорода H₂, озона O₃, окислов азота, окиси углерода CO, аммиака NH₃, метана CH₄, сернистого газа SO₂ и др. Воздух нетоксичен, не взрывоопасен. Коррозионных свойств не имеет.

$$\begin{bmatrix} \text{CO}_2 \\ \text{CO} \\ \text{H}_2 \\ \text{CH}_4 \\ \text{N}_2 \\ \text{C}_2\text{H}_6 \\ \text{C}_3\text{H}_7\text{OH} \\ \text{CH}_3\text{OH} \\ (\text{CH}_3)_2\text{OH} \\ \text{H}_2\text{O} \end{bmatrix} = \text{VG}_\Gamma := \begin{pmatrix} 4309 \\ 8476 \\ 1298 \\ 3795 \\ 5449 \\ 783 \\ 5.6 \\ 1323 \\ 2.9 \\ 75.5 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{Т}} \cdot \text{G}_\text{M}$$

Производительность установки по условию

$$\text{G}_\text{M} := 120000 \frac{\text{Т}}{\text{год}} = 3,803 \times 10^{-3} \text{ Т/с}$$

Тогда расход охлаждаемого газа

$$\text{VG}_\Gamma = \begin{pmatrix} 16.3856 \\ 32.2313 \\ 4.9358 \\ 14.4311 \\ 20.7206 \\ 2.9775 \\ 0.0213 \\ 5.0309 \\ 0.0110 \\ 0.2871 \end{pmatrix} \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Просуммируем отдельные компоненты

$$\text{G}_\Gamma := \sum \text{VG}_\Gamma = 97.0 \text{ кг/с}$$

Для дальнейших расчетов определим массовый состав охлаждаемого газа

$$Y_\Gamma := \frac{\text{VG}_\Gamma}{\text{G}_\Gamma}$$

$$c_{Г100} := V_{c_{Г100}} \cdot Y_{Г} \quad c_{Г100} = 1.974 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{Г200} := V_{c_{Г200}} \cdot Y_{Г} \quad c_{Г200} = 2.066 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Теплоемкость при 50 °С и при 150 °С рассчитываем интерполированием:

$$\begin{aligned} c_{Н} &= c_{Г100} + (t_{Н} - 100 \text{ °С}) \frac{c_{Г200} - c_{Г100}}{200 \text{ °С} - 100 \text{ °С}} = \\ &= 1,974 + (150 \text{ °С} - 100 \text{ °С}) \frac{2,066 - 1,974}{200 \text{ °С} - 100 \text{ °С}} = 2,020 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{К} &= c_{Г0} + (t_{К} - 0 \text{ °С}) \frac{c_{Г100} - c_{Г0}}{100 \text{ °С} - 0 \text{ °С}} = \\ &= 1,873 + (50 \text{ °С} - 0 \text{ °С}) \frac{1,974 - 1,873}{100 \text{ °С} - 0 \text{ °С}} = 1,923 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}} \end{aligned}$$

Соответственно энтальпии газа

$$h_{Н} := c_{Н} \cdot t_{Н} = 2,020 \times 150 = 303 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$h_{К} := c_{К} \cdot t_{К} = 1,923 \times 50 = 96 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Тогда тепловая нагрузка теплообменника

$$Q = 97,0 \times (303 - 96) = 2080 \frac{\text{кДж}}{\text{с}} = 2,08 \frac{\text{МДж}}{\text{с}}$$

4.3 Определение расхода воздуха

По условию производство метанола организовано в г. Воронеже. Поскольку наиболее невыгодные условия для работы аппарата возникают летом (температура окружающего воздуха выше, чем зимой), то расчет выполним для летних условий работы аппарата. По справочным данным определяем среднюю температуру наружного воздуха [5, табл. XL]

$$t_{ВН} = t_{\text{возд}} = 20,6 \text{ °С}$$

Для обеспечения эффективного охлаждения принимаем конечную температуру воздуха на 10 °С меньше, чем конечная температура газа:

$$t_{ВК} = t_{К} - 10 = 50 - 10 = 40 \text{ °С}$$

					КП ПАХТ ХТЗ-991 АВО 00.00.00 ПЗ	20
		N				

$$d_2 := d_1 + 2\delta_{\text{тр}} = 21 + 2 \times 2 = 25 \text{ мм.}$$

Наружная поверхность одной трубы

$$F_1 := L \cdot \pi \cdot d_2 = 8 \times 3.14 \times 0.025 = 0.628 \text{ м}^2$$

4.5 Определение коэффициента теплоотдачи со стороны газа

Средняя температура газа

$$t_{\text{ср}} := \frac{t_{\text{н}} + t_{\text{к}}}{2} = \frac{150 + 50}{2} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

Определим плотность газа при средней температуре. Для этого воспользуемся справочными данными о плотностях отдельных компонентов газа [5, табл. IV]:

$$V\rho_{\text{г0}} = \begin{pmatrix} 1.980 \\ 1.250 \\ 0.090 \\ 0.720 \\ 1.250 \\ 1.360 \\ 2.020 \\ 1.010 \\ 0.688 \\ 0.005 \end{pmatrix} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Аддитивная плотность рассчитывается по формуле

$$\rho_{\text{г0}} = \frac{1}{\sum \frac{Y_{\text{г}}}{V\rho_{\text{г0}}}} = 0,505 \text{ кг/м}^3$$

Вязкость при 100 °С возьмем из справочных данных [4, прил. XIII]

$$c_{cp1} := c_{T100} = 1.974 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$$

Кинематическая вязкость

$$v_{cp1} := \frac{\mu_{cp1}}{\rho_{cp1}} = \frac{1.806 \times 10^{-5}}{0.370} = 4.885 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$$

Коэффициент Прандтля

$$Pr_{cp1} := \frac{v_{cp1} \cdot c_{cp1} \cdot \rho_{cp1}}{\lambda_{cp1}} = \frac{4.885 \times 10^{-5} \times 1.974 \times 0.370}{0.0389} = 0.917$$

Принимаем скорость движения газа в трубах

$$\omega = 6.2 \text{ м/с}$$

Критерий Рейнольдса

$$Re_{cp1} = \frac{\omega d_1}{v_{cp1}} = \frac{6.2 \times 0.021}{4.885 \times 10^{-5}} = 2665$$

Коэффициент теплоотдачи со стороны газа

$$\alpha_1 = 0.021 \frac{\lambda_{cp1}}{d_1} Re_{cp1}^{0.8} Pr_{cp1}^{0.43} = 0.021 \times \frac{0.0389}{0.021} \times 2665^{0.8} \times 0.917^{0.43} = 20.6 \frac{\text{Вт} \times \text{м}^2}{\text{К}}$$

4.6 Определение коэффициента теплоотдачи со стороны воздуха

Для дальнейших расчетов принимаем размеры пучка труб

$$B \times H = 8 \text{ м} \times 2.5 \text{ м}$$

Принимаем шаг по ширине пучка

$$S_1 = 52 \text{ мм}$$

Тогда шаг по высоте пучка

$$S_2 := \sqrt{S_1^2 - \left(\frac{S_1}{2}\right)^2} = \sqrt{52^2 - (52/2)^2} = 45 \text{ мм}$$

Число трубок в пучке по горизонтали

$$n_2 = 1 + \frac{B - d_2}{S_1} = 1 + \frac{8 - 0.025}{0.052} = 154$$

Принимаем

$$n_2 = 154$$

$$\rho_{\text{cp2}} := \rho_{\text{в0}} \cdot \frac{T_0}{t_{\text{cp2}} + 273\text{K}} = 1.293 \times \frac{273}{30,3 + 273} = 1.164 \text{ кг/м}^3$$

Значение критерия Рейнольдса

$$\text{Re} := \frac{\omega_2 \cdot d_2 \cdot \rho_{\text{cp2}}}{\mu_{\text{cp2}}} = \frac{24,6 \times 0,025 \times 1,164}{1,852 \times 10^{-5}} = 38590$$

Поправочный коэффициент, учитывающий угол атаки [3, стр. 111]

$$\varepsilon_{\text{ат}} := 1$$

Тогда значение коэффициента теплоотдачи со стороны воздуха

$$\alpha_2 := 0,37 \cdot \frac{\lambda_{\text{cp2}}}{d_2} \cdot \varepsilon_{\text{ат}} \cdot \text{Re}^{0,6} = 0,37 \times \frac{0,0267}{0,0025} \times 1 \times 38590^{0,6} = 223 \frac{\text{Вт} \times \text{м}^2}{\text{К}}$$

4.7 Коэффициент теплопередачи для пучка гладких труб

Коэффициент теплопередачи определяется по уравнению

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{тр}}}{\lambda_{\text{тр}}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

где $\lambda_{\text{тр}}$ – коэффициент теплопроводности материала труб, для труб из нержавеющей стали $\lambda_{\text{тр}} = 23 \text{ Вт} / (\text{м} \times \text{К})$ [2, стр. 603]. Соответственно

$$K = \frac{1}{\frac{1}{20,6} + \frac{0,025}{23} + \frac{1}{223}} = 18,9 \frac{\text{Вт} \times \text{м}^2}{\text{К}}$$

4.8 Определение среднего температурного напора

Средний температурный напор определяется по формуле

$$\Delta T_{\text{cp}} := \frac{\tau_{\text{макс}} - \tau_{\text{мин}}}{2,3 \cdot \log \left(\frac{\tau_{\text{макс}}}{\tau_{\text{мин}}} \right)}$$

Где $\tau_{\text{макс}}$ и $\tau_{\text{мин}}$ – соответственно большая и меньшая разность температур, определяемая по формулам

$$\tau_{\text{макс}} := \theta + 0,5\Delta T$$

4.10 Определение аэродинамического сопротивления пучка труб

Аэродинамическое сопротивление пучка труб рассчитывается по формуле

$$\Delta P = 9.7 \frac{\rho_{\text{сп2}}}{g} \omega_2^2 n \left(\frac{S_p}{d_2} \right)^{-0.72} \text{Re}^{-0.24}$$

Критерий Рейнольдса

$$\text{Re} := \frac{\omega_2 \cdot d_2 \cdot \rho_{\text{сп2}}}{\mu_{\text{сп2}}} = \frac{24,6 \times 0,025 \times 1,164}{1,852 \times 10^{-5}} = 38590$$

Соответственно

$$\Delta P = 9.7 \times \frac{1.164}{9.81} \times 24.6^2 \times 96 \times \left(\frac{0.0035}{0.025} \right)^{-0.72} \times 38590^{0.24} = 3473 \text{ Па}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном курсовом проекте был спроектирован воздушный теплообменник для охлаждения реакционных газов в производстве метанола. В ходе курсовой работы были проведены технологический расчет и выбор вспомогательного оборудования (электродвигателя).

Кроме того, в ходе расчетов были определены размеры некоторых элементов аппарата, в частности, высота, ширина и длина пучка трубок.

Рассчитанный аппарат воздушного охлаждения удовлетворяет техническому заданию и может быть использован в производстве.

					КП ПАХТ ХТЗ-991 АВО 00.00.00 ПЗ	30
		N				