

Введение

При производстве аэрозольной продукции в качестве выталкивающего агента и распыляющего агента на ОАО «Арнест» используется пропеллент на основе диметилового эфира. Поскольку аэрозольная продукция предъявляет повышенные требования к чистоте наполняющих газов, на предприятии организована очистка пропеллента от вредных примесей при помощи адсорбции. При очистке из газа удаляется в основном пары этанола.

Наиболее распространенный массообменный процесс, осуществляемый в аппаратах с неподвижным слоем твердой фазы – адсорбция. Адсорбцией называется процесс поглощения газов (паров) или жидкостей поверхностью твердых тел (адсорбентов). В случае избирательного поглощения компонентов смеси появляется возможность ее разделения на составляющие компоненты. Явление адсорбции связано с наличием сил притяжения между молекулами адсорбента и поглощаемого вещества.

Такого рода процессы являются нестационарными и периодическими. При этом концентрации в твердом материале и в газе (или в жидкости), находящиеся внутри аппарата, меняются во времени. Процесс длится до тех пор, пока конечная концентрация в среде, проходящей через слой твердой фазы (сорбента), не превысит некоторого предельного значения (концентрация проскока), после чего сорбент подвергают регенерации (обычно десорбцией) [1, стр. 144].

Адсорбция является одним из эффективных методов разделения газообразных и жидких смесей компонентов, различающихся структурой молекул. По сравнению с другими массообменными процессами наиболее эффективно ее использование в случае малого содержания извлекаемых компонентов в исходной смеси [2, стр. 274].

Расчет адсорбционной колонны для удаления из газа этана является целью данного курсового проекта.

		N				8

Газ, содержащий рекуперлируемый растворитель, воздуходувкой В1 подается в адсорбер А1, заполненный активным углем, предварительно проходя фильтр Ф, служащий для удаления пыли, огнепреградитель Ог, необходимый для предотвращения распространения огня по трубопроводам в случае воспламенения очищаемой парогазовой смеси, и холодильник Х2. После насыщения слоя адсорбента адсорбер А1 переключается на стадию десорбции. Адсорбент регенерируется острым водяным паром (давление 0,1—0,4 МПа), подаваемым внизу адсорбера.

Часть пара конденсируется, отдавая тепло на нагрев адсорбента, материала адсорбера и на компенсацию теплоты адсорбции. Оставшийся пар уносит пары адсорбата в конденсатор К, проходя через циклон Ц, задерживающий пылевидные частицы адсорбента. Конденсат, представляющий собой смесь воды и адсорбата, охлаждается в холодильнике Х1 и подается в емкость Е1, следуя затем на разделение.

Сушка адсорбента осуществляется горячим воздухом, подаваемым в адсорбер воздуходувкой В2 через калорифер Ка1. Охлаждение адсорбента производится атмосферным воздухом, подаваемым воздуходувкой В2 по обводной линии.

		N				10

ной практике общая высота слоя адсорбента предопределяется необходимым его объемом и величиной гидравлического сопротивления слоя адсорбента; обычно она составляет от 2 до 12 м.

На рисунке 2.1 представлен адсорбер, предназначенный для очистки природного газа от сероводорода и меркаптанов.

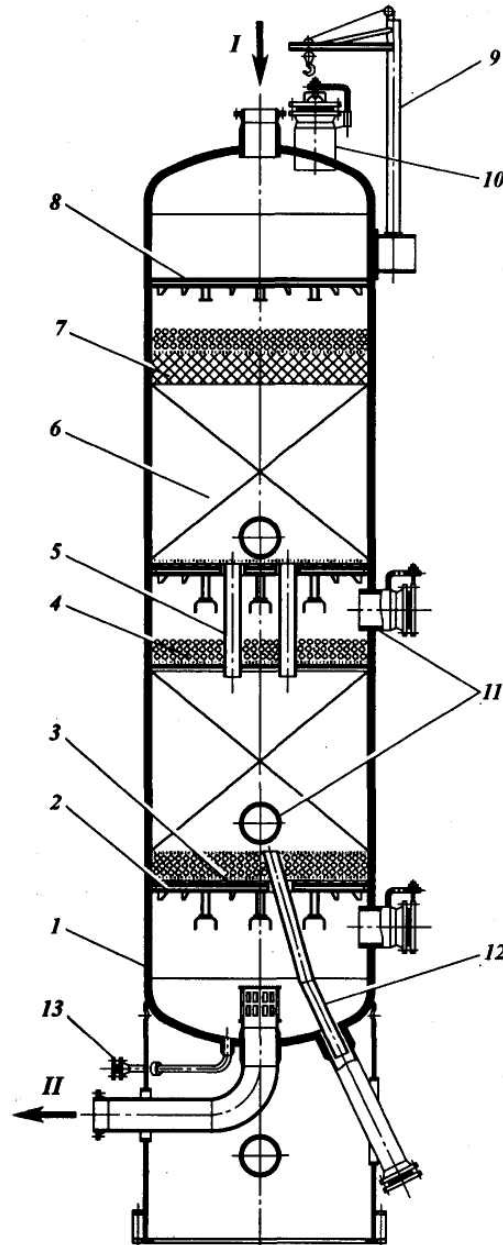


Рисунок 2.1 – Адсорбер аксиального типа с неподвижным слоем адсорбента:

1 – корпус; 2 – опорная решетка; 3 – перфорированный лист и два слоя сетки; 4 – фарфоровые шары; 5 – переточные трубы для загрузки (выгрузки) адсорбента; 6 – слой цеолита; 7 – слой алюмогеля; 8 – решетка; 9 – кран-укосина; 10 – штуцер для загрузки адсорбента; 11 – люк-лаз; 12 – трубопровод для выгрузки адсорбента. Поток: I – исходный газ; II – отработанный газ

фракции, содержащиеся в адсорбате, вытесняются и замещаются более активными молекулами тяжелой фракции.

Таким образом, газовая фаза, перемещаясь снизу вверх, все более обогащается компонентами легкой фракции, тогда как адсорбат при перемещении адсорбента сверху вниз все более и более обогащается компонентами тяжелой фракции. С нижней распределительной тарелки адсорбент вместе с адсорбатом, состоящим в основном из компонентов тяжелой фракции, поступает в нагреватель 2, в котором адсорбент нагревается и тяжелая фракция десорбируется.

Для облегчения десорбции в нижнюю часть аппарата подается водяной пар. Тепло для нагрева адсорбента и десорбции подводится греющим агентом, например водяным паром, поступающим в межтрубное пространство нагревателя 2. Десорбированная тяжелая фракция частично отводится с нижней распределительной тарелки как целевой продукт, а частично в качестве внутреннего циркулирующего потока через трубки распределительной решетки направляется в зону ректификации для контактирования с адсорбентом.

Для повышения чистоты верхнего и нижнего продукта в средней части зоны ректификации отводится промежуточная фракция.

Нагретый адсорбент по пневмоподъемнику 8 направляется в бункер 7, откуда после отделения транспортирующего газа поступает в холодильник 6.

При наличии в исходном газе компонентов, отличающихся высокой адсорбционной способностью и потому трудно десорбируемых, последние накапливаются в циркулирующем адсорбенте, что может привести к значительному снижению его активности. Для поддержания активности адсорбента на постоянном уровне в схему установки включается реактиватор 9, через который циркулирует часть адсорбента. В реактиваторе создаются более жесткие условия десорбции (более высокая температура, повышенный расход водяного пара, окислительная регенерация и т.п.).

Использование отдельного аппарата (реактиватора), в котором поддерживаются более жесткие условия десорбции для части циркулирующего адсорбента, в ряде случаев экономически более выгодно, чем создание таких же ус-

		N				18

В таком адсорбере на специальных контактных устройствах (тарелках) осуществляется взаимодействие между газом и порошкообразным адсорбентом, в результате чего адсорбент переводится в состояние псевдооживления. Адсорбент, двигаясь сверху вниз через переточные устройства, передается с одной контактной ступени на другую. Газ движется в аппарате противотоком снизу вверх. Для отделения из газового потока частичек адсорбента перед выходом из адсорбера газ направляют в циклоны. В аппаратах с псевдооживленным (кипящим) слоем адсорбента можно интенсифицировать процесс массопередачи при адсорбции за счет уменьшения размера гранул и более интенсивного обновления их контактной поверхности.

2.5 Выбор типа адсорбера

На основании приведенного описания типов адсорберов принимаем конструкцию аппарата с неподвижным слоем адсорбента. Число аппаратов в установке примем равное двум.

		N				20

где W_{01}, B_1, W_{02}, B_2 – константы, характеризующие уравнение адсорбент, для силикагеля $W_{01} = 0.19 \text{ г/см}^3, B_1 = 0.74 \times 10^{-6} \text{ К}^{-2}, W_{02} = 0.18 \text{ г/см}^3, B_2 = 3.42 \times 10^{-6} \text{ К}^{-2}$ [1, стр. 290];

β – коэффициент аффинности, для этанола $\beta = 0.61$ [1, стр. 290];

v – мольный объем поглощаемого компонента;

T – температура газовой смеси, $T = t + 273 = 293 \text{ К}$;

$\psi(C) = P_s/P_g$ – отношение давления насыщенных паров поглощаемого компонента к его парциальному давлению в смеси:

$$y(C) = \frac{P_s}{P_g} = \frac{P_s}{Y_v P} = \frac{P_s}{Y_v P} = \frac{P_s}{V_s/V P} = \frac{P_s V}{m/\rho P} = \frac{P_s V}{CV/\rho P} = \frac{P_s \rho}{C P}, \quad (3.2)$$

где P_s – давление насыщенных паров этанола, $P_s = 44 \times 133 = 5852 \text{ Па}$ [3, табл. L];

ρ – плотность паров этанола при рабочих условиях

$$\rho = \rho_{э0} \frac{P T_0}{P_0 T} \quad (3.3)$$

где $\rho_{э0}$ – плотность паров этанола при н.у., $\rho_{э0} = 1,87 \text{ кг/м}^3$ [3, табл. IV]

$$\rho = 1.87 \times \frac{2.1 \times 273}{0.101 \times 293} = 62.762 \text{ кг/м}^3$$

Тогда согласно уравнению равновесная концентрация паров этанола в адсорбенте

$$X_M(C_H) = \frac{0.19}{40.46} \exp\left(\frac{-0.74 \times 10^{-6} \times 293^2}{0.61^2} \left(\log \frac{5852 \times 2.483}{0.040 \times 0.15}\right)^2\right) +$$

$$+ \frac{0.18}{40.46} \exp\left(\frac{-3.42 \times 10^{-6} \times 293^2}{0.61^2} \left(\log \frac{5852 \times 2.483}{0.040 \times 0.15}\right)^2\right) = 7.946 \text{ моль/кг}$$

$$X_M(C_K) = \frac{0.19}{40.46} \exp\left(\frac{-0.74 \times 10^{-6} \times 293^2}{0.61^2} \left(\log \frac{5852 \times 2.483}{0.001 \times 0.15}\right)^2\right) +$$

$$+ \frac{0.18}{40.46} \exp\left(\frac{-3.42 \times 10^{-6} \times 293^2}{0.61^2} \left(\log \frac{5852 \times 2.483}{0.001 \times 0.15}\right)^2\right) = 2.236 \text{ моль/кг}$$

Массовая доля связана с мольной уравнением

$$X(C) = M X_M(C) \quad (3.4)$$

где M – мольная масса паров этанола, $M = 12 \times 2 + 5 + 16 + 1 = 46 \text{ кг/кмоль}$.

$$X(C_H) = M X_M(C_H) = 46 \times 7.946 \times 10^{-3} = 0.493 \text{ кг/кг}$$

		N			22

$$K_y := \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{1}{\beta_x}} = \frac{1}{\frac{1}{0.0749} + \frac{1}{0.01452}} = 9,417 \times 10^{-3} \text{ м/с} \quad (3.19)$$

Снижение движущей силы массопереноса в результате отклонения движения газа от режима идеального вытеснения учтем введением дополнительного диффузионного сопротивления продольного перемешивания. Коэффициент, учитывающий продольное перемешивание

$$\beta_{\text{прод}} := 0.0567 \cdot \frac{\omega}{1 - \varepsilon} \left(\frac{\rho_B \cdot \omega \cdot d_3}{\mu_B} \right)^{0.22} = \quad (3.20)$$

$$= 0.0567 \times \frac{0.246}{1 - 0.301} \left(\frac{1.783 \times 0.246 \times 0.002}{1,8 \times 10^{-5}} \right)^{0.22} = 0.0468 \text{ м/с}$$

Коэффициент массопередачи с учетом продольного перемешивания

$$K_y := \frac{1}{\frac{1}{K_y} + \frac{1}{\beta_{\text{прод}}}} = \frac{1}{\frac{1}{9,417 \times 10^{-3}} + \frac{1}{0.0468}} = 7,839 \times 10^{-3} \text{ м/с} \quad (3.21)$$

Удельная поверхность адсорбента

$$a := \frac{6 \cdot (1 - \varepsilon)}{d_3} = \frac{6 \times (1 - 0.301)}{0.002} = 2100 \text{ м}^2/\text{м}^3 \quad (3.22)$$

3.5 Определение высоты насадки

Адсорбционная установка состоит из двух одинаковых аппаратов. В одном идет стадия адсорбции, а во втором – регенерация адсорбента. Принимаем период работы установки 1 сутки. Тогда время работы каждого адсорбера составит 12 ч:

$$\tau = 12 \text{ ч} = 12 \times 3600 = 43200 \text{ с}$$

Для определения высоты насадки, обеспечивающей необходимую степень очистки газа в течение указанного времени воспользуемся уравнением Томаса [1, ф-ла 3.125].

$$J(\alpha, \gamma) := \frac{1 - \text{erf}(\sqrt{\alpha} - \sqrt{\gamma})}{2} + \frac{\exp\left[-(\sqrt{\alpha} - \sqrt{\gamma})^2\right]}{2\sqrt{\pi} \left[(\alpha \cdot \gamma)^{\frac{1}{4}} + \sqrt{\gamma} \right]} \quad (3.23)$$

Этот график показывает, что для момента времени $\tau = 12$ часов насадка до высоты примерно 1,5 метров будет полностью заполнена этанолом, а от 1.5 до 3.0 метров – частично. Из этого графика видно, что поглотительной способности насадки высотой 2.7 метров должно хватить для требуемой очистки газа. Выполним расчет концентрации этанола в газе для насадки высотой $z = 2.7$ м, используя в качестве аргумента время.

Концентрация этанола в воздухе в соответствии с функцией Томаса

$$C = C_H J(n_{Oy}, n_{Oy} T) \quad (3.29)$$

Для определения максимального времени работы насадки высотой $z = 2.7$ м необходимо решить уравнение

$$C_K = C_H \cdot J(n_{Oy}, n_{Oy} \cdot T(\tau)) \quad (3.30)$$

Используя численные методы поиска решения, получим

$$\tau_{\max} = 12.156 \text{ hr}$$

Следовательно, через 12.156 часов через насадку начнется просок извлекаемого компонента. Для наглядности построим график функции $C(\tau)$.

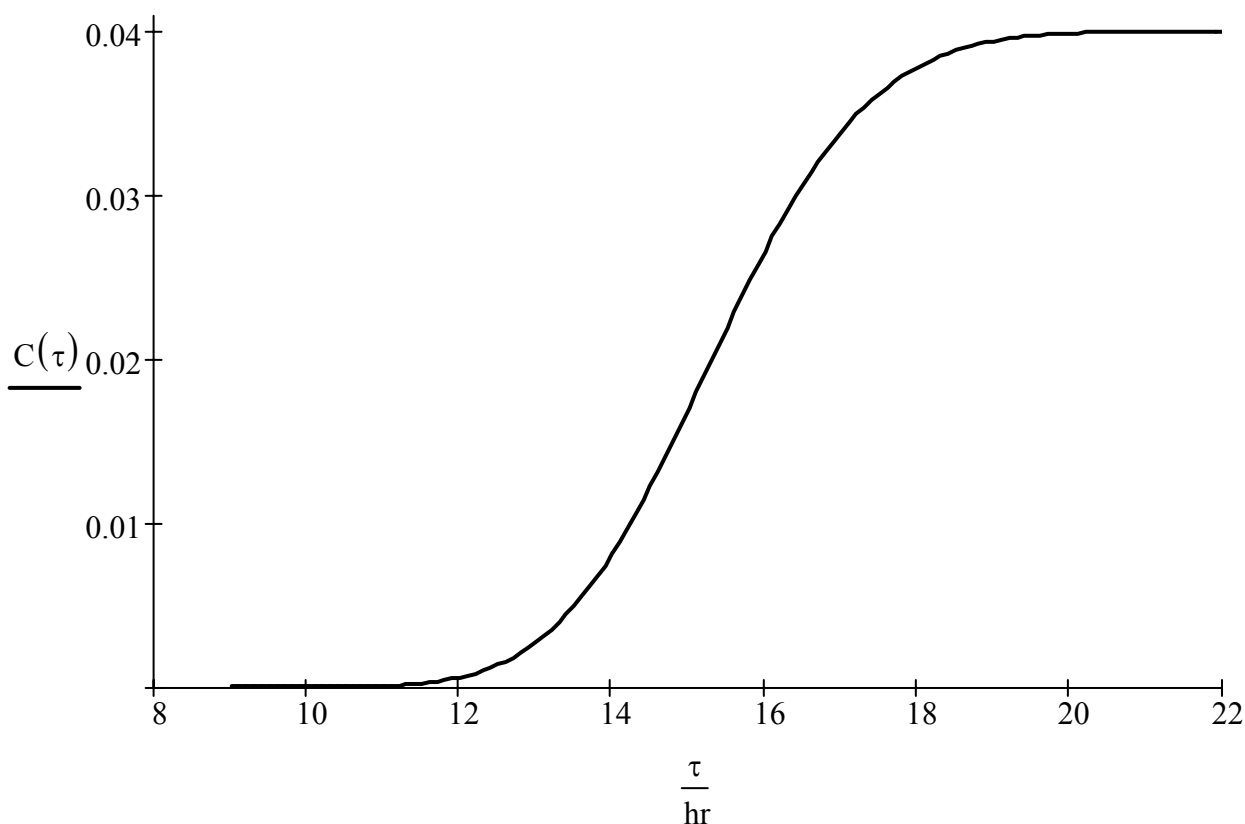


Рисунок 3.3 – Концентрация этанола в выходящем газе, кг/кг

$$G_{\text{нас}} = S \cdot \rho_{\text{нас}} \cdot X(C_H) \cdot \int_{0M}^{2.7M} 1 - J(n_{\text{Oy}}(z) \cdot T(z), n_{\text{Oy}}(z)) dz = 479.71 \text{ кг} \quad (3.32)$$

где S – площадь поперечного сечения насадки адсорбера, м^2 .

Количество этанола, покинувшего аппарат

$$G_{\text{yx}} = V \cdot C_H \cdot \int_{0\text{hr}}^{12\text{hr}} J(n_{\text{Oy}}, n_{\text{Oy}} \cdot T(\tau)) d\tau = 0.294 \text{ кг} \quad (3.33)$$

Материальный баланс

$$G = G_{\text{нас}} + G_{\text{yx}} \quad (3.34)$$

$$480 = 479.71 + 0.29$$

Материальный баланс выполняется.

3.7 Расчет диаметров основных штуцеров колонны

К основным штуцерам колонны относят штуцера ввода и вывода очищаемого газа. Расчетный диаметр штуцера определяется следующим образом:

$$D_{\text{шп}} = \sqrt{\frac{4V}{\pi\omega_p}} \quad (3.35)$$

где V – объемный расход среды, $\text{м}^3/\text{с}$;

ω_p – рекомендуемая скорость среды в штуцере, $\text{м}/\text{с}$.

Принимаем для ввода газа $\omega_{\text{вх}} = 4 \text{ м}/\text{с}$, а для вывода $\omega_{\text{вых}} = 3 \text{ м}/\text{с}$. Соответственно

$$D_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{4 \times 100 / 3600}{3.14 \times 4}} = 0.0297 \text{ м}$$

$$D_{\text{вых}} = \sqrt{\frac{4 \times 100 / 3600}{3.14 \times 3}} = 0.0343 \text{ м}$$

Принимаем стандартные значения

$$D_{\text{вх}} = 32 \text{ мм}$$

$$D_{\text{вых}} = 32 \text{ мм}$$

Тогда действительные скорости газа на входе и на выходе

$$\omega_{\text{вх}} = \frac{4V}{\pi D_{\text{вх}}^2} = \frac{4 \times 100 / 3600}{3.14 \times 0.0300^2} = 3.93 \text{ м}/\text{с} \quad (3.36)$$

		N				30

4 Расчетно-конструкторский раздел

4.1 Выбор материала для изготовления аппарата

В соответствии с рекомендациями [6] принимаем сталь 12Х18Н10Т для изготовления обечайки и днищ аппарата. Определим допускаемые напряжения для стали 12Х18Н10Т. Для выбранного материала при 20 °С [5]

$$\sigma_B = 450 \text{ МПа}, \sigma_{B20} = 660 \text{ МПа},$$

$$\sigma_T = 180 \text{ МПа}, \sigma_{T20} = 250 \text{ МПа}$$

Определим номинальное допускаемое напряжение. Согласно [6, табл. 14.5] расчет для легированной стали при рабочей температуре менее 525 °С необходимо вести по формулам

$$\sigma^* = \min \left\{ \frac{\sigma_B}{n_B}; \frac{\sigma_T}{n_T} \right\}, \quad (4.1)$$

где n_B – запас прочности по пределу прочности, для стального проката из легированной стали $n_B = 2,6$ [6, табл. 14.6];

n_T – запас прочности по пределу текучести, для стального проката из легированной стали при давлении в аппарате более 0,5 МПа $n_T = 1,5$ [6, табл. 14.6].

Соответственно нормативное допускаемое напряжение при расчетной температуре и при 20 °С:

$$\sigma^* = \min \left\{ \frac{450}{2.6}; \frac{180}{1.5} \right\} = \min \{173; 120\} = 120 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{20}^* = \min \left\{ \frac{660}{2.6}; \frac{250}{1.5} \right\} = \min \{254; 167\} = 167 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение при статических однократных нагрузках для рабочего состояния выбранного материала составляют

$$[\sigma] = \eta \sigma^*, [\sigma]_{20} = \eta \sigma_{20}^*, \quad (4.2)$$

где η – поправочный коэффициент, учитывающий вид заготовки, для листового проката $\eta = 1,0$ [7, с. 10].

Подставляя числовые значения, получим

$$[\sigma] = 1,0 \times 120 = 120 \text{ МПа}, [\sigma]_{20} = 1,0 \times 167 = 167 \text{ МПа}.$$

		N				32

c – прибавка к расчетной толщине, мм.

Расчетное давление в аппарате

$$p_p = p_T + p_r,$$

где p_T – технологическое давление в аппарате, $p_T = 2,1$ МПа;

p_r – гидростатическое давление столба жидкости в аппарате, $p_r = 0$ МПа

$$p_p = 2,1 + 0,0 = 2,1 \text{ МПа.}$$

Давление при испытаниях

$$p_{и} = \max \left(\frac{1,25 p_T [\sigma]_{20} / [\sigma]}{p_T + 0,3} \right) = \max \left(\frac{1,25 \times 2,1 \times 167 / 120}{2,1 + 0,300} \right) = \max \left(\frac{3,20}{2,10} \right) = 3,20 \text{ МПа}$$

Соответствующая расчетная толщина стенки

$$s_p = \max \left(\frac{\frac{2,10 \times 450}{2 \times 1,0 \times 120 - 2,10}}{\frac{3,20 \times 450}{2 \times 1,0 \times 167 - 3,20}} \right) = \max (8,81) = 8,81 \text{ мм}$$

Прибавка к расчетной толщине обечайки определяется по формуле

$$c = \Pi \tau + c_3, \quad (4.4)$$

где Π – скорость коррозии, $\Pi = 0,05$ мм/год [6];

τ - срок службы аппарата, принимаем $\tau = 15$ лет;

c_3 – прибавка для компенсации эрозии, для среды в аппарате $c_3 = 0$ мм.

Соответственно

$$c = 0,05 \times 15 + 0 = 0,75 \text{ мм.}$$

Соответственно толщина стенки цилиндрической обечайки

$$s = 8,81 + 0,75 = 9,85 \text{ мм.}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки

$$s = 10 \text{ мм}$$

Допускаемое давление в рабочем состоянии и при испытаниях

$$[p] = \frac{2\phi[\sigma](s - c)}{D + s - c} = \frac{2 \times 1,0 \times 120 \times (10 - 0,75)}{450 + 10 - 0,75} = 3,18 \text{ МПа} \quad (4.5)$$

$$[p]_{и} = \frac{2\phi[\sigma]_{и}(s - c)}{D + s - c} = \frac{2 \times 1,0 \times 167 \times (10 - 0,75)}{450 + 10 - 0,75} = 3,82 \text{ МПа} \quad (4.6)$$

		N				34

$$[p] = \frac{2\phi[\sigma](s_3 - c)}{D + 0,5(s_3 - c)} = \frac{2 \times 1,0 \times 120 \times (70 - 0,75)}{3200 + 0,5 \times (70 - 0,75)} = 5,12 \text{ МПа} \quad (4.8)$$

$$[p]_{\text{и}} = \frac{2\phi[\sigma]_{\text{и}}(s_3 - c)}{D + 0,5(s_3 - c)} = \frac{2 \times 1,0 \times 167 \times (70 - 0,75)}{3200 + 0,5 \times (70 - 0,75)} = 8,78 \text{ МПа} \quad (4.9)$$

4.4 Расчет штуцера люка

4.4.1 Определение геометрических размеров фланца

В зависимости от выбранного типа обтюрации определяются геометрические размеры поверхностей под уплотнения по справочным таблицам. Для уплотнения типа шип-паз ($D_y = D_{\text{вх}} = 300$, $P_y = 2,1$ МПа, $t = 20$ °С) размеры канавки и паза приведены в таблице [6, табл. 20.5]. Схема, поясняющая числовые значения, изображена на рисунке 4.3

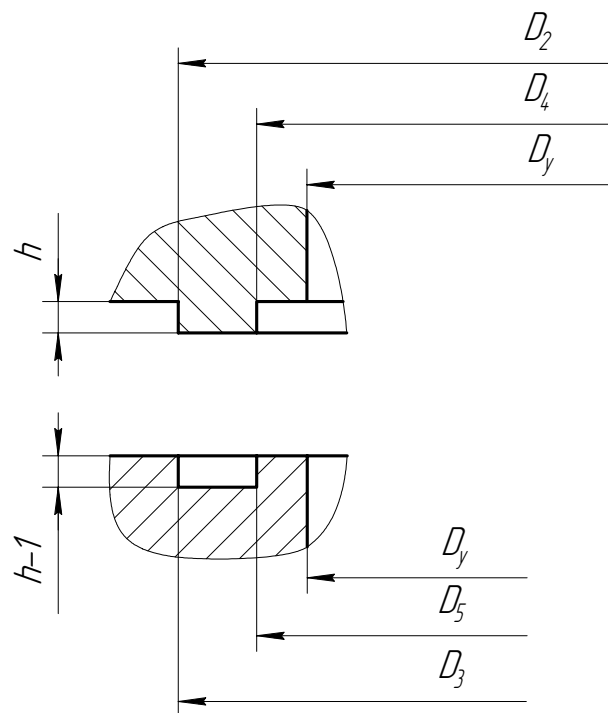


Рисунок 4.3 – Размеры уплотнения типа «шип-паз»

Для такого уплотнения размеры элементов

$$h = 6 \text{ мм}$$

$$D_4 = D_5 = 326 \text{ мм}$$

$$D_2 = D_4 + 2b = 326 + 14 \times 2 = 354 \text{ мм}$$

$$D_3 = D_2 + 2 = 354 + 2 = 356 \text{ мм}$$

$$P_{62} := P_c + P_n + \frac{4M_{II}}{D_n} = 1.45 + 1.21 + \frac{4 \times 0}{0.340} = 2.66 \text{ МН} \quad (4.13)$$

Диаметр окружности размещения шпилек для выбранного фланца [6, табл. 21.9]

$$D_6 = 430 \text{ мм}$$

Диаметр шпилек для выбранного фланца [6, табл. 21.9]

$$d_6 = 27 \text{ мм}$$

Количество шпилек для выбранного фланца [6, табл. 21.9]

$$z = 16$$

Площадь поперечного сечения шпилек

$$F_6 = \frac{\pi d_6^2}{4} = \frac{3,14 \times 27^2}{4} = 804 \text{ мм}^2 \quad (4.14)$$

Принимаем материал шпилек - сталь 15ХМ с характеристиками при $t = 350 \text{ °С}$ [6]

$$[\sigma]_{620} = 450 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{6T} = 370 \text{ МПа}$$

Напряжение в шпильках при затяжке и в рабочих условиях соответственно

$$\sigma_{61} = \frac{P_{61}}{z F_6} = \frac{2,93}{16 \times 804 \times 10^{-6}} = 182 \text{ МПа} \quad (4.15)$$

$$\sigma_{62} = \frac{P_{62}}{z F_6} = \frac{2,66}{16 \times 804 \times 10^{-6}} = 165 \text{ МПа} \quad (4.16)$$

Результаты расчетов позволяют сделать вывод, что принятое фланцевое соединение обеспечит герметичность стыка.

4.5 Расчет фланцев ввода смеси на очистку

Определение геометрических размеров. Выбираем приварной фланец с уплотнением типа «шип-паз» Схема к расчету фланцевого соединения приведена на рисунке 3.4. Расчетная температура фланца и болтов равна температуре аппарата – 20 °С . Допускаемое напряжение шпилек при такой температуре составит $[\sigma]_6 = 132 \text{ МПа}$. Толщина втулки фланца s_0 выбирается из условия

$$s_0 \geq s,$$

		N				38

где e – нормативный параметр, зависящий от типа прокладки, для плоских прокладок и $d_6 = 16$ мм $e = 28$ мм. Тогда

$$D_{\text{нп}} = 98 - 28 = 70 \text{ мм.}$$

Средний диаметр прокладки

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{нп}} - b,$$

где b – ширина прокладки, мм.

Для плоских металлических прокладок $b = 15$ мм [1, т. 1.42]. Значит

$$D_{\text{сп}} = 70 - 15 = 55 \text{ мм.}$$

Количество шпилек, необходимое для обеспечения герметичности соединения

$$n_6 \geq \frac{\pi D_6}{t_{\text{ш}}}, \quad (4.18)$$

где $t_{\text{ш}}$ – рекомендуемый шаг расположения шпилек, для $p = 2,1$ МПа $t_{\text{ш}} \approx 5d_6 = 5 \times 16 = 80$ мм [1, т. 1.43]. Соответственно

$$n_6 \geq \frac{3,14 \times 98}{80} = 3,8$$

Принимаем значение, кратное четырем $n_6 = 4$ шт. Ориентировочная высота фланца

$$h_{\text{ф}} = \lambda_{\text{ф}} \sqrt{Ds_{\text{эк}}}, \quad (4.19)$$

где $\lambda_{\text{ф}}$ – коэффициент, $\lambda_{\text{ф}} = 0,45$ [1, рис. 1.40]; $s_{\text{эк}}$ – эквивалентная толщина втулки, мм. Значение $s_{\text{эк}}$ определяется так

$$s_{\text{эк}} = s_0 \left(1 + \frac{h_{\text{в}}(\beta_1 - 1)}{h_{\text{в}} + 0,25(\beta_1 + 1)\sqrt{Ds_0}} \right), \quad (4.20)$$

где β_1 – коэффициент, принимаемый в зависимости от отношения D/s , в данном случае $D/s = 32/4 = 8$, тогда $\beta_1 = 1,5$ [1, рис. 1.39]. Соответственно

$$s_{\text{эк}} = 4 \left(1 + \frac{28 \times (1,5 - 1)}{28 + 0,25 \times (1,5 + 1)\sqrt{32 \times 4}} \right) = 4,2 \text{ мм}$$

Тогда

$$h_{\text{ф}} = 0,45 \times \sqrt{32 \times 4,2} = 15,8 \text{ мм}$$

Принимаем $h_{\text{ф}} = 16$ мм.

		N				40

$$G_a = 1.1 [G_{об} + 2 \times (G_k + G_l)] = 1.1 \times [0.45 + 2 \times (0.047 + 0.068)] = 0.748 \text{ т}$$

Масса воды внутри аппарата при гидроиспытании

$$G_b = h_1 \frac{\pi D^2}{4} \rho_b \quad (4.24)$$

где ρ_b – плотность воды, $\rho_b = 1000 \text{ кг/м}^3$.

$$G_b = 4 \times \frac{3,14 \times 0,45^2}{4} \times 1,00 = 0,636 \text{ т}$$

Максимальная масса, поддерживаемая опорами

$$G_m = G_a + G_b = 0,748 + 0,636 = 1,384 \text{ т} = 13,84 \text{ МН}$$

По каталогу выбираем две лапы общей грузоподъемностью

$$G_{оп} = 2 \times 12 = 24 \text{ МН}$$

Лапы привариваются к корпусу аппарата выше центра масс.

		N				42

5.4 Расчет стропов

В соответствии с выбранной схемой монтажа принимаем число стропов, равное $n_c = 2$. Наибольшая нагрузка на грузозахватные приспособления:

$$P_c := \frac{Q \cdot k_1 \cdot k_2}{n_c} \quad (5.2)$$

где k_1 – коэффициент динамичности, принимаем $k_1 = 1.1$

k_2 – коэффициент перегрузки, принимаем $k_2 = 1.2$.

Соответственно

$$P_c = \frac{1.00 \times 1.1 \times 1.2}{2} = 0,660 \text{ т}$$

Определим разрывное усилие каната, из которого изготовлен строп, для стропового каната коэффициент запаса прочности $k_3 = 5.5$.

$$R_c := P_c \cdot k_3 = 0,660 \times 5.5 = 3,63 \text{ т} \quad (5.3)$$

В соответствии со схемой монтажа число канатов равно 2. Разрывное усилие каната

$$S_c := \frac{R_c}{n_k} = 3,63 / 2 = 1,82 \text{ т} \quad (5.4)$$

Выбираем канат стальной двойной свивки ГОСТ 3079-80 диаметром $d_c = 5,7$ мм маркировочной группы 170 с разрывным усилием $[S] = 2.1$ т.

Определим необходимую длину каната для изготовления строп. Расстояние от монтажных штуцеров до траверсы будет

$$l_c := (H - h_{шт}) + h_{зап} \quad (5.5)$$

где $h_{зап} = 0,5$ м – расстояние от верхней точки аппарата до траверсы. Итого

$$l_c = 1.1 + 0,5 = 1,6 \text{ м}$$

Тогда расчетная длина каната для изготовления строп

$$L_c := l_c \cdot n_c \cdot n_k = 1,6 \times 2 \times 2 = 6,4 \text{ м} \quad (5.6)$$

5.5 Расчет монтажных штуцеров

Принимаем вылет монтажного штуцера $l_{шт} = 50$ мм, тогда в соответствии с выбранной схемой монтажа изгибающий момент, действующий на каждый штуцер

		N				44

Расчетная длина траверсы составит

$$l_{\text{тр}} := D + 2l_{\text{шт}} = 0,45 + 2 \times 0,050 = 0,55 \text{ м} \quad (5.11)$$

Принимаем угол захвата траверсы канатами с крюка $\alpha = 40^\circ$. Тогда нагрузка на каждую из двух ветвей будет

$$P_3 := \frac{P_c}{\cos(\alpha)} = 0,660 / \cos(40) = 0,862 \text{ т.} \quad (5.12)$$

Определим разрывное усилие каната, из которого изготовлен захват. Суммарная нагрузка на канаты

$$R_3 := P_3 \cdot k_3 = 0,862 \times 5,5 = 4,74 \text{ т} \quad (5.13)$$

Принимаем общее число канатов в захвате $n_3 = 2$, тогда разрывное усилие в канатах для захвата

$$S_3 := \frac{2R_3}{n_3} = 2 \times 4,74 / 2 = 4,74 \text{ т} \quad (5.14)$$

Выбираем канат стальной двойной свивки ГОСТ 3079-80 диаметром $d_3 = 8,8$ мм маркировочной группы 160 с разрывным усилием $[S] = 5,2$ т.

Определим необходимую длину каната для изготовления захвата траверсы. Суммарная длина ветвей захвата

$$l_3 := \frac{l_{\text{тр}}}{\sin(\alpha)} = 0,55 / \sin(40) = 0,86 \text{ м} \quad (5.15)$$

Длина каната для изготовления захвата

$$L_3 := l_3 \cdot n_3 = 0,86 \times 2 = 1,72 \text{ м} \quad (5.16)$$

Траверса работает под действием сжимающего усилия, которое можно определить по формуле

$$R_{\text{тр}} := P_c \cdot \tan(\alpha) = 0,66 \times \tan(40) = 0,55 \text{ т} \quad (5.17)$$

Траверса изготовлена из стали, поэтому допускаемое напряжение для нее составит $[\sigma] = 160$ МПа. Тогда расчетная площадь сечения траверсы

$$F_p := \frac{2R_{\text{тр}}}{\sigma_0} = 2 \times 0,55 / 160 = 687 \text{ мм}^2 \quad (5.18)$$

		N				46

Заключение

В данном курсовом проекте изучен процесс десорбции паров этанола, в частности, очистки пропеллента на основе диметилового эфира от примесей этанола.

Выбран адсорбент – силикагель с диаметром частиц 2 мм. В установке работают два аппарата, в одном протекает стадия адсорбции, а в другом – стадии регенерации адсорбента. В расчетной части приведены графические иллюстрации, наглядно показывающие обоснованность принятых решений по высоте насадки и продолжительности стадии адсорбции.

В процессе расчета определена высота слоя адсорбента: 3.7 м. Конструктивно принята одна насадка. Диаметр аппарата 0.45 м, высота около 5.0 м. Рассчитаны диаметры основных штуцеров.

В расчетно-конструкторском разделе выбран материал для изготовления аппарата, определена толщина стенки обечайки, выбраны две опоры аппарата, рассчитаны фланцы люков.

В монтажном разделе выбран способ транспортировки оборудования к месту эксплуатации – автомобиль КамАЗ с длинномерным прицепом и автомобильный кран на базе ЗИЛ-130 для монтажа оборудования.

Рассчитанная адсорбционная колонна удовлетворяет заданию на курсовое проектирование и может быть использована в производстве.

		N				48