

Введение

Метанол по значению и масштабам производства является одним из важнейших многотоннажных продуктов, выпускаемых современной химической промышленностью. Он широко применяется для получения пластических масс, синтетических волокон, синтетического каучука, в качестве растворителя и т. п. [1].

Области применения метанола все расширяются: он является, в частности, перспективным продуктом для транспорта энергии на дальние расстояния (с, возможным компонентом автомобильных бензинов, сырьем для микробиологического синтеза и т. д.

Одним из способов получения метанола является синтез из оксида углерода (II) и водорода. Процесс выполняется под давлением и повышенной температурой (для более эффективной работы катализатора) в специальном аппарате – колонне синтеза метанола. Для ускорения процесса и большей селективности целевой реакции в колонне размещают катализатор [1, 2].

По способу ведения процесса колонна синтеза метанола близка к реактору идеального вытеснения.

Дипломный проект посвящен проектированию реактора синтеза метанола, работающего в составе установки производства метанола.

		N				4

Максимально достижимая степень превращения синтез-газа при этом ограничена условиями равновесия реакций получения метанола, которые изучены экспериментально и теоретически [1]. На основании полученных практических данных можно при приближенных расчетах ограничиться только первой реакцией, так как доля оксида углерода (IV) в исходной смеси незначительна.

Для увеличения скорости реакции необходимо повышение температуры. При этом, выбирая оптимальный температурный режим, следует учитывать образование побочных соединений: метана, высших спиртов, кислот, альдегидов, кетонов и эфиров [1].

Эти реакции обуславливают бесполезный расход синтез-газа и удорожают очистку метанола. Применяемый для синтеза метанола катализатор должен обладать высокой селективностью, т. е. максимально ускорять образование метанола при одновременном подавлении побочных реакций.

1.3 Катализаторы синтеза метанола

Применяемый для синтеза метанола катализатор должен обладать высокой селективностью, т. е. максимально ускорять образование метанола при одновременном подавлении побочных реакций. Для синтеза метанола предложено много катализаторов. Лучшими оказались катализаторы, основными компонентами которых являются оксид цинка или медь (применяется при давлении 5 МПа) [1].

На первых крупнотоннажных установках процесс осуществлялся при давлении около 30 МПа на цинк-хромовом катализаторе. В последующие годы получили широкое распространение схемы синтеза при пониженном давлении на низкотемпературных медьсодержащих катализаторах.

Катализаторы синтеза метанола весьма чувствительны к каталитическим ядам, поэтому первой стадией процесса является очистка газа от сернистых соединений. Сернистые соединения отравляют цинк-хромовые катализаторы обратимо, а медьсодержащие катализаторы — необратимо.

Необходима также тщательная очистка газа от карбонила железа, который образуется в результате взаимодействия оксида углерода с железом аппаратуры.

		N				6

1.5 Технологические схемы производства метанола

Технологический процесс получения метанола из оксида углерода и водорода включает ряд операций, обязательных для любой технологической схемы синтеза. Газ предварительно очищается от карбонила железа, сернистых соединений, подогрывается до температуры начала реакции и поступает в реактор синтеза метанола. По выходе из зоны катализа из газов выделяется образовавшийся метанол, что достигается охлаждением смеси, которая затем сжимается до давления синтеза и возвращается в процесс.

Технологические схемы различаются аппаратным оформлением главной стадии синтеза, включающей основную аппарат колонну синтеза и теплообменник [1].

На рисунке 1.2 представлена схема агрегата синтеза высокого давления с так называемой совмещенной насадкой колонны.

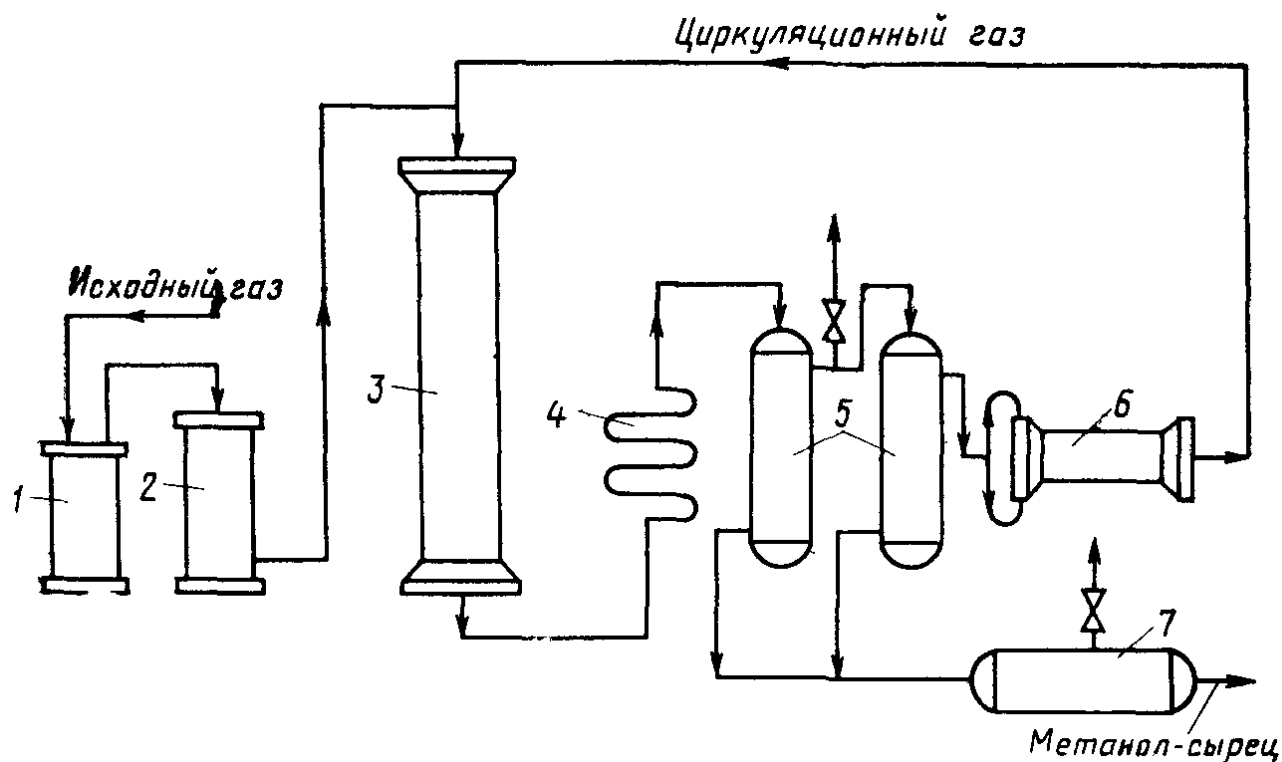


Рисунок 1.2 – Схема агрегата с совмещенной насадкой колонны

1, 2 – фильтры (масляный и угольный), 3 – колонна синтеза, 4 – холодильник-конденсатор, 5 – сепараторы; 6 – компрессор, 7 – сборник

с помощью регуляторов давления, причем перегревы катализатора практически исключены. Выгрузка отработанного катализатора протекает тоже достаточно просто — путем снятия колосниковых решеток. Диаметр реакторов достигает 6 м при длине 8–16 м [1].

В соответствии с выполненным анализом выбираем реактор, изображенный на рисунке 1.4.

		N	.	.	.	12

котел-утилизатор; 7, 11, 12 – теплообменники; 8, 14 – холодильники (АВО); 9, 15 – сепараторы; 13 – колонна синтеза; 16 – сборник

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.

Далее газовая смесь охлаждается в холодильнике-конденсаторе 14, сконденсировавшийся метанол-сырец отделяется в сепараторе 15 и поступает в сборник 16. Циркуляционный газ возвращают на синтез, продувочные и танковые газы передают на сжигание в трубчатую печь.

Вследствие снижения температуры синтеза при низком давлении процесс осуществляется в условиях, близких к равновесию, что позволяет увеличить производительность агрегата.

2.1.2 Описание проектируемого оборудования

Проектируемый реактор синтеза метанола представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат высотой около 18 метров и диаметром 3.2 м (см. рисунок 2.1), установленный на опоре 9.

Исходный газ подается в аппарат через штуцер в верхнем днище 1 и далее последовательно проходит через катализатор 4, на поверхности которого осуществляется синтез метанола. Продукты реакции выводятся через штуцер 8 снизу аппарата.

Слой катализатора разделен на две секции по 3,5 м. Для байпасного потока предусмотрен штуцер 6, расположенный между слоями катализатора.

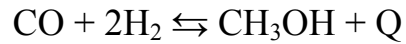
		N				14

2.2.2 Материальный баланс

Принимаем температуру синтеза в соответствии с выбранной технологической схемой по справочной литературе [1]

$$t_{\text{вх}} = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Суммарная реакция синтеза выражается уравнением [1]



Принимаем мольное соотношение $\text{CO}:\text{H}_2$ равным отношению стехиометрических коэффициентов:

$$\text{CO}:\text{H}_2 = 1:2$$

Определим мольную массу потока по принципу аддитивности:

$$M_{\text{вх}} = M_{\text{CO}} Y_{\text{MCO}} + M_{\text{H}_2} Y_{\text{MH}_2},$$

где M_{CO} – мольная масса оксида углерода (II), $M_{\text{CO}} = 12 + 16 = 28$ кг/кмоль;

M_{H_2} – мольная масса водорода, $M_{\text{H}_2} = 2 \times 1 = 2$ кг/кмоль;

Y_{MCO} – мольная доля оксида углерода (II) в потоке, $Y_{\text{MCO}} = 1/(1+2) = 0,3333$;

Y_{MH_2} – мольная доля водорода в потоке, $Y_{\text{MH}_2} = 2 / (1 + 2) = 0,6667$.

Соответственно

$$M_{\text{вх}} = 28 \times 0,3333 + 2 \times 0,6667 = 10,67 \text{ кг/кмоль.}$$

Тогда мольный расход сырья

$$L_{\text{вх}} = \frac{G_{\text{вх}}}{M_{\text{вх}}} = 16000 / 10,67 = 1500 \text{ кмоль/ч.}$$

Мольные расходы отдельных компонентов

$$L_{\text{COвх}} = L_{\text{вх}} Y_{\text{MCO}} = 1500 \times 0,3333 = 500 \text{ кмоль/ч}$$

$$L_{\text{H}_2\text{вх}} = L_{\text{вх}} Y_{\text{MH}_2} = 1500 \times 0,6667 = 1000 \text{ кмоль/ч}$$

Массовые расходы отдельных компонентов

$$G_{\text{COвх}} = L_{\text{COвх}} M_{\text{CO}} = 500 \times 28 = 14000 \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{H}_2\text{вх}} = L_{\text{H}_2\text{вх}} M_{\text{H}_2} = 1000 \times 2 = 2000 \text{ кг/ч}$$

Соответственно массовый состав сырья будет

$$Y_{\text{COвх}} = \frac{G_{\text{COвх}}}{G_{\text{вх}}} = 14000 / 16000 = 0,8750$$

$$Y_{\text{H}_2\text{вх}} = \frac{G_{\text{H}_2\text{вх}}}{G_{\text{вх}}} = 2000 / 16000 = 0,1250$$

Объемный расход сырья при $P_0 = 0,1013$ МПа и $T_0 = 273$ К (н.у.) будет

		N				18

Объемный расход на выходе из колонны при $P_0 = 0.1013$ МПа и $T_0 = 273$ К.

$$V_{0\text{ВЫХ}} = V_{\text{СОВЫХ}} + V_{\text{Н}_2\text{ВЫХ}} + V_{\text{СН}_3\text{ОНВЫХ}} = 10024 + 20048 + 1176 = 31248 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Объемный расход на выходе из колонны при рабочих условиях

$$V_{\text{ВЫХ}} = V_{0\text{ВЫХ}} \frac{P_0 T_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВЫХ}} T_0}$$

Реакция протекает с выделением тепла, поэтому температура газа на выходе из колонны синтеза будет выше, чем на входе. Применяемый катализатор эффективно работает при температуре до 350 °С [1]. Принимаем температуру выхода $t_{\text{ВЫХ}} = 320$ °С. Поддержание температуры в допустимых пределах осуществляется за счет байпаса холодного газа мимо части катализатора. Расход потока, направляемого в середину колонны, определяется в тепловом балансе.

Принимаем гидравлическое сопротивление катализатора $\Delta P = 0.1$ МПа, тогда давление газа на выходе будет

$$P_{\text{ВЫХ}} = P_{\text{ВХ}} - \Delta P = 5.0 - 0.1 = 4.9 \text{ МПа}$$

Соответственно

$$V_{\text{ВЫХ}} = 31248 \times \frac{0.1013 \times (273 + 320)}{4.9000 \times 273} = 1403,2 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,3897 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расчеты показывают, что реакция протекает с уменьшением объема. Это соответствует описанию свойств реакции синтеза метанола [1].

Сведем результаты расчета материального баланса в таблицу 3.1.

Компонент	Приход				Расход			
	массовый		объемный, н.у.		массовый		объемный, н.у.	
	кг/ч	доли	м ³ /ч	доли	кг/ч	доли	м ³ /ч	доли
СО	14000	0,8750	11200	0,3333	12530	0,7831	10024	0,3208
Н ₂	2000	0,1250	22400	0,6667	1790	0,1119	20048	0,6416
СН ₃ ОН	0	0,0000	0	0,0000	1680	0,1050	1176	0,0376
Всего	160000	1,0000	33600	1,0000	16000	1,0000	31248	1,0000

2.2.4 Расчет геометрических размеров колонны

Для выбранного катализатора при давлении 5 МПа и температуре 300..350 °С объемная скорость реакции составляет 280...300 кг/(м³ × ч) [1]. Принимаем

$$\omega := 290 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{ч}}$$

Тогда требуемый объем катализатора

$$V_{\text{кат}} := \frac{G_{\text{вх}}}{\omega} = 16000 / 290 = 55,2 \text{ м}^3$$

В соответствии с промышленным аналогом принимаем аппарат диаметром

$$D = 3200 \text{ мм}$$

Скорость движения газа в слое аппарата

$$\omega = \frac{4 V_{\text{вых}}}{\pi D^2} = \frac{4 \times 0,3897}{3,14 \times 3,2^2} = 0,048 \text{ м/с}$$

Тогда расчетная высота катализаторного слоя

$$H := \frac{4 \cdot V_{\text{кат}}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \times 55,2}{3,14 \times 3,2^2} = 6,8 \text{ м.}$$

Принимаем два слоя по 3,5 м. Общая высота катализатора составит 7,0 м. Высота колонны будет выше примерно в два раза за счет различных внутренних устройств.

Рассчитаем диаметры штуцеров ввода и вывода газа. Расчетный диаметр штуцера входа газа

$$D_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{4V_{\text{вх}}}{\pi \omega}},$$

где $V_{\text{вх}}$ – объемный расход газов при рабочих условиях, м³/с;

ω – линейная скорость, принимаем 10 м/с [4];

$$D_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,3969}{3,14 \times 10}} = 0,475 \text{ м}$$

Принимаем стандартное значение

$$D_{\text{вх}} = 0,500 \text{ м}$$

Расчетный диаметр штуцера выхода газа

$$D_{\text{вых}} = \sqrt{\frac{4V_{\text{вых}}}{\pi \omega}},$$

где $V_{\text{вых}}$ – объемный расход газов при рабочих условиях, м³/с;

ω – линейная скорость, принимаем 8 м/с [4];

		N				22

$$V_{xp} = 24 \times V_M = 24 \times 1,37 = 32,9 \text{ м}^3$$

Принимаем максимальное заполнение емкости $\psi = 80\%$, тогда объем емкости

$$V_{емк} = V_{xp} / \psi = 32,9 / 0,8 = 41,1 \text{ м}^3$$

Принимаем отношение диаметра емкости к ее длине $\alpha = 5$. Соответственно диаметр емкости

$$D_{емк} = \sqrt[3]{\frac{4 V_{емк}}{\pi \alpha}} = \sqrt[3]{\frac{4 \times 41,1}{3,14 \times 5}} = 2,18 \text{ м}$$

Принимаем стандартный диаметр

$$D_{емк} = 2,2 \text{ м}$$

Тогда длина емкости

$$L_{емк} = \alpha D_{емк} = 5 \times 2,2 = 12,0 \text{ м}$$

Расчет аппарата воздушного охлаждения (см. поз. 16 на технологической схеме). Аппарат предназначен для охлаждения газа от 150°C до 50°C . Объемный расход газа в соответствии с технологическим расчетом колонны синтеза составляет

$$G_r = 97,0 \text{ кг/с}$$

Схема к расчету АВО показана на рисунке 2.5.

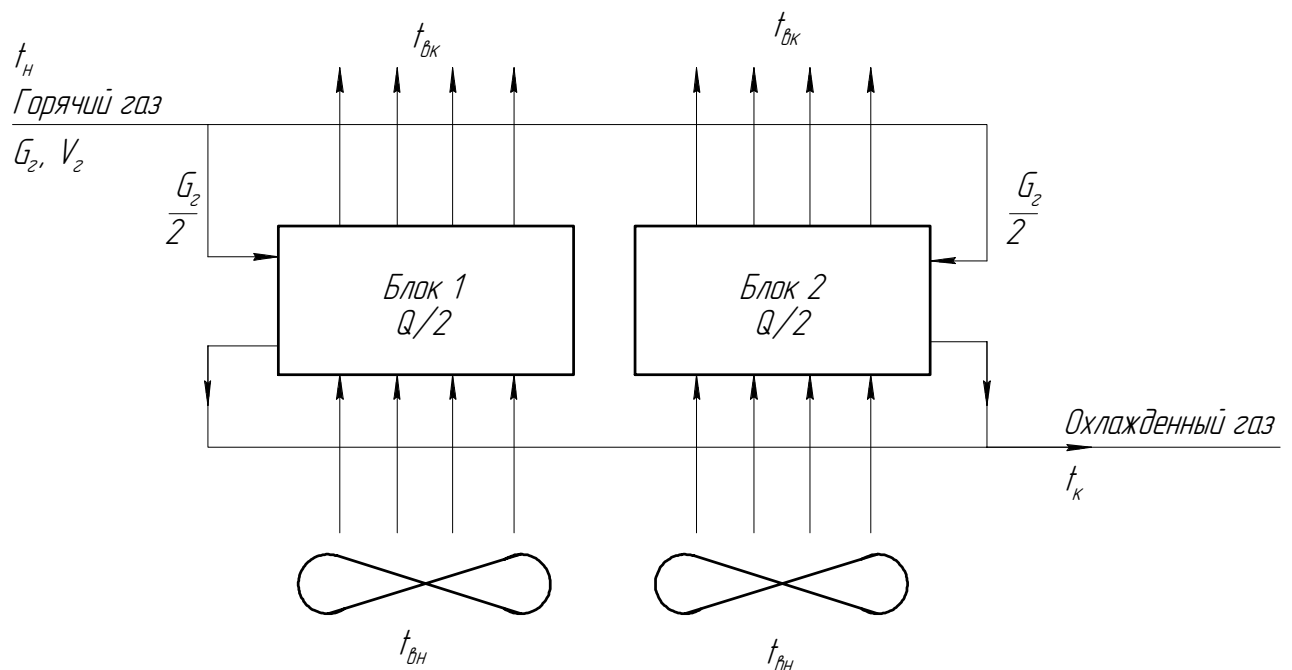


Рисунок 2.5 – Схема к расчету АВО

По справочным данным определяем теплоемкости воздуха при начальной и конечной температурах соответственно [4, прил. XIII]:

$$c_{\text{ВН}} := 1.005 \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{\text{ВК}} := 1.009 \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Тогда расход воздуха на охлаждение

$$G_{\text{В}} := \frac{Q}{c_{\text{ВК}} \cdot t_{\text{ВК}} - c_{\text{ВН}} \cdot t_{\text{ВН}}} = \frac{2080}{1.009 \times 40 - 1.005 \times 20.6} = 102 \text{ кг/с}$$

Принимаем к установке два одинаковых теплообменника, в каждом из которых расход воздуха

$$G_{\text{В12}} = G_{\text{В}} / 2 = 102 / 2 = 51 \text{ кг/с}$$

Определим объемный расход воздуха

$$V_{\text{В}} := \frac{G_{\text{В}}}{\rho_{\text{В}}}$$

где $\rho_{\text{В}}$ – плотность воздуха при начальных условиях.

Плотность определим по формуле

$$\rho_{\text{В}} := \rho_{\text{В0}} \cdot \frac{T_0}{t_{\text{ВН}} + 273\text{К}}$$

где $\rho_{\text{В0}}$ – плотность воздуха при нормальных условиях, $\rho_{\text{В0}} = 1.293 \text{ кг/м}^3$ [5, табл. IV]. Соответственно

$$\rho_{\text{В}} = 1.293 \times \frac{273}{20.6 + 273} = 1.202 \text{ кг/м}^3$$

Тогда объемный расход воздуха

$$V_{\text{В}} = \frac{51}{1.202} = 42 \text{ м}^3/\text{с}$$

Определим коэффициент теплопередачи для пучка гладких труб. Для теплообменника принимаем гладкие трубы из нержавеющей стали с внутренним диаметром $d_1 = 21 \text{ мм}$ и толщиной стенки $\delta_{\text{тр}} = 2 \text{ мм}$. Длину трубок примем 8 м. Наружный диаметр

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

		N				26

$$\Delta T_{cp} = \frac{110.5 - 28.9}{2.3 \times \lg\left(\frac{110.5}{28.9}\right)} = 60.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Определение поверхности теплообмена. Поверхность теплообмена каждого (прямо два теплообменника, общая тепловая нагрузка которых 20.08 МВт, а одного соответственно 10.04 МВт) теплообменника определяется по формуле

$$F := \frac{Q}{K \cdot \Delta T_{cp}} = \frac{10.04}{30 \times 60.9} = 8754 \text{ м}^2$$

Действительная поверхность теплообмена

$$F_d = N F_1 = 14784 \times 0.628 = 9284 \text{ м}^2$$

Запас поверхности теплообмена

$$\varphi = \frac{F_d - F}{F} = \frac{9284 - 8754}{8754} \times 100\% = 6.05 \%$$

		N				28

Аппарат состоит из цилиндрической обечайки 2 и двух эллиптических днищ 1. Внутри аппарата на двух опорных тарелках 8 расположен слой катализатора, который закрывается сверху решетками 6.

Верхнее днище является съемным и крепится к обечайке при помощи фланцевого соединения 11. Нижнее днище приваривается к обечайке.

Аппарат установлен на цилиндрической опоре 9, в которой предусмотрены отверстия для штуцеров выгрузки насадки, вывода метанола и доступа внутрь опоры для обслуживания колонны. Вверху опоры есть небольшое отверстие для выхода газов, скапливающихся под колонной.

Для обслуживания внутренних устройств колонны над опорными тарелками размещены два люк-лаза.

3.2 Выбор материала для изготовления аппарата

Аппарат состоит из двух трех крупных блоков – обечайки, трубчатки и корзины с катализатором. Давление в аппарате равно 5,0 МПа

Для обечайки, подверженной действию температуры 350 °С, выбираем высоколегированную сталь 12Х18Н10Т, предназначенную для работы при температуре до 600 °С.

Определим допускаемые напряжения для стали 12Х18Н10Т. Для выбранного материала при 350 °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

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

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].

		N				30

Рисунок 3.2 – Схема к расчету толщины стенки цилиндрической обечайки

Исполнительную толщину стенки s цилиндрической обечайки определяют по формуле

$$s = s_p + c ,$$

где s_p – расчетная толщина стенки

$$s_p = \max \left(\frac{p_p D}{2\varphi[\sigma] - p_p} ; \frac{p_{и} D}{2\varphi[\sigma]_{и} - p_{и}} \right),$$

где p_p и $p_{и}$ – расчетное давление в аппарате и давление при гидроиспытаниях соответственно, МПа;

D – внутренний диаметр обечайки;

φ – коэффициент прочности сварных швов стальных аппаратов, для автоматической сварки под слоем флюса $\varphi = 1,0$ [7, т. 1.7];

s_p – расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки, мм;

c – прибавка к расчетной толщине, мм.

Расчетное давление в аппарате

$$p_p = p_T + p_{г},$$

где p_T – технологическое давление в аппарате, определяемое в технологическом расчете, $p_T = 5,0$ МПа;

$p_{г}$ – гидростатическое давление столба жидкости в аппарате, $p_{г} = 0$ МПа

$$p_p = 5,0 + 0,0 = 5,0 \text{ МПа.}$$

Давление при испытаниях

$$p_{и} = \max \left(\frac{1,25 p_T [\sigma]_{20} / [\sigma]}{p_T + 0,3} \right) = \max \left(\frac{1,25 \times 5,0 \times 167 / 120}{5,0 + 0,300} \right) = \max \left(\frac{8,69}{5,30} \right) = 8,69 \text{ МПа}$$

Соответствующая расчетная толщина стенки

$$s_p = \max \left(\frac{\frac{5,00 \times 3200}{2 \times 1,0 \times 120 - 5,00}}{8,69 \times 3200} \right) = \max \left(\frac{68,1}{65,5} \right) = 68,1 \text{ мм}$$

Прибавка к расчетной толщине обечайки определяется по формуле

$$c = \Pi \tau + c_{э},$$

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

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

		N				32

$$s_{\text{эп}} = \max \left(\frac{p_p D_3}{2\phi[\sigma] - 0,5p_p}, \frac{p_{\text{и}} D_3}{2\phi[\sigma]_{\text{и}} - 0,5p_{\text{и}}} \right)$$

Расчетная толщина стенки

$$s_{\text{эп}} = \max \left(\frac{5,00 \times 3200}{2 \times 1,0 \times 120 - 0,5 \times 5,00}, \frac{8,69 \times 3200}{2 \times 1,0 \times 167 - 0,5 \times 8,69} \right) = \max (68,9) = 68,9 \text{ мм}$$

Толщина стенки эллиптического днища с учетом прибавки

$$s_3 = 68,9 + 0,75 = 69,65 \text{ мм.}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки днища

$$s_3 = 70 \text{ мм}$$

Допускаемое давление в рабочем состоянии и при испытаниях

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

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

3.5 Расчет фланцевых соединений

3.5.1 Штуцер ввода сырья

Определение геометрических размеров фланца. В зависимости от выбранного типа обтюрации определяются геометрические размеры поверхностей под уплотнения по справочным таблицам. Для уплотнения типа шип-паз ($D_y = D_{\text{вх}} = 500$, $P_y = 5,0$ МПа, $t = 350$ °С) размеры канавки и паза приведены в таблице [6, табл. 20.5]. Схема, поясняющая числовые значения, изображена на рисунке 3.4

		N				34

Принимаем изгибающий момент от действия внешних нагрузок

$$M_{и} = 0 \text{ МН}\times\text{м}$$

Константа жесткости соединения при неметаллической прокладке в металлической оболочке [6, табл. 20.28].

$$\alpha := 1.45$$

Расчетное растягивающее усилие в шпильках при затяжке соединения

$$P_{\delta 1} := \alpha \cdot P_c + P_n + \frac{4M_{и}}{D_n} = 1.45 \times 1.19 + 1.21 + \frac{4 \times 0}{0.549} = 2.93 \text{ МН}$$

В рабочих условиях

$$P_{\delta 2} := P_c + P_n + \frac{4M_{и}}{D_n} = 1.45 + 1.21 + \frac{4 \times 0}{0.549} = 2.66 \text{ МН}$$

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

$$D_{\delta} = 620 \text{ мм}$$

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

$$d_{\delta} = 32 \text{ мм}$$

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

$$z = 20$$

Площадь поперечного сечения шпилек

$$F_{\delta} = \frac{\pi d_{\delta}^2}{4} = \frac{3,14 \times 32^2}{4} = 804 \text{ мм}^2$$

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

$$[\sigma]_{620} = 450 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{\delta r} = 370 \text{ МПа}$$

Напряжение в шпильках при затяжке и в рабочих условиях соответственно

$$\sigma_{\delta 1} = \frac{P_{\delta 1}}{z F_{\delta}} = \frac{2,93}{20 \times 804 \times 10^{-6}} = 182 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\delta 2} = \frac{P_{\delta 2}}{z F_{\delta}} = \frac{2,66}{20 \times 804 \times 10^{-6}} = 165 \text{ МПа}$$

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

		N				36

$$h_b = 0,5\sqrt{D(s_0 - c)} = 0,5 \times \sqrt{3200 \times (80 - 0,75)} = 177,5 \text{ мм}$$

Принимаем $h_b = 180$ мм. Диаметр шпилечной окружности фланцев

$$D_6 \geq D + 2(s_0 + d_6 + u),$$

где d_6 – наружный диаметр шпилек, для проектируемого фланца рекомендуемый диаметр составляет 48 мм [1, т. 1.40];

u – нормативный зазор между гайкой и втулкой, $u = 15$ мм [1, с. 95].

Соответственно

$$D_6 = 3200 + 2 \times (80 + 48 + 15) = 3485 \text{ мм}$$

Наружный диаметр фланца

$$D_H = D_6 + a,$$

где a – конструктивная добавка для размещения гаек по периметру, $a = 120$ мм [1, т. 1.41]. Итого

$$D_H = 3485 + 120 = 3605 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр прокладки

$$D_{нп} = D_6 - e,$$

где e – нормативный параметр, зависящий от типа прокладки, для плоских прокладок и $d_6 = 48$ мм $e = 80$ мм. Тогда

$$D_{нп} = 3485 - 80 = 3405 \text{ мм.}$$

Средний диаметр прокладки

$$D_{сп} = D_{нп} - b,$$

где b – ширина прокладки, мм.

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

$$D_{сп} = 3405 - 15 = 3390 \text{ мм.}$$

Количество шпилек, необходимое для обеспечения герметичности соединения

$$n_6 \geq \frac{\pi D_6}{t_{ш}},$$

где $t_{ш}$ – рекомендуемый шаг расположения шпилек, для $p = 5$ МПа $t_{ш} \approx 4d_6 = 4 \times 48 = 192$ мм [1, т. 1.43]. Соответственно

$$n_6 \geq \frac{3,14 \times 3485}{192} = 57,0$$

Принимаем значение, кратное четырем $n_6 = 56$ шт. Ориентировочная высота фланца

$$h_{\phi} = \lambda_{\phi} \sqrt{D s_{эк}},$$

		N			
					38

Реакция прокладки

$$R_{\Pi} := \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b \cdot 0 \cdot K_{\text{пр}} \cdot P_r,$$

$$R_{\Pi} = 0.298 \cdot \text{МН}$$

Равнодействующая внутреннего давления

$$F_{\text{д}} := P_r \cdot \pi \cdot \frac{D_{\text{сп}}^2}{4}$$

$$F_{\text{д}} = 3.272 \cdot \text{МН}$$

Для определения коэффициента жесткости фланцевого соединения определим несколько вспомогательных величин. Линейная податливость неметаллической прокладки

$$y_{\Pi} := \frac{k_{\Pi} \cdot h_{\Pi}}{\pi \cdot E_{\Pi} \cdot D_{\text{сп}} \cdot b}$$

$$y_{\Pi} = 13.925 \cdot \frac{\text{мм}}{\text{МН}}$$

Угловая податливость фланца

$$y_{\Phi} := \frac{1 + \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_{\Phi 2}) \cdot \psi_2}{h_{\Phi}^3 \cdot E_{\Phi}}$$

Значения входящих коэффициентов

$$\nu := \frac{1}{1 + 0.9 \cdot \lambda_{\Phi 2} \cdot \left[1 + \psi_1 \cdot \left(\frac{h_{\Phi}}{s_{\text{ЭК}}} \right)^2 \right]}, \quad \lambda_{\Phi 2} := \frac{h_{\Phi}}{\sqrt{D \cdot s_{\text{ЭК}}}}$$

$$\psi_1 := 1.28 \cdot \log \left(\frac{D_{\text{Н}}}{D} \right), \quad \psi_2 := \frac{D_{\text{Н}} + D}{D_{\text{Н}} - D}$$

Вычисления

$$\psi_1 = 0.031, \quad \psi_2 = 35.667, \quad \lambda_{\Phi 2} = 0.461, \quad \nu = 0.5$$

$$y_{\Phi} = 2.378 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{мм}}$$

Линейная податливость шпилек

		N				40

Вычисления

$$F_t = 3.745 \cdot 10^{-4} \text{ МН}, F_{\sigma 2} = 4.021 \text{ МН}$$

Проверка шпилек на прочность. Условие прочности шпилек

$$\sigma_{\sigma} := 142 \text{ МПа}, \sigma_{\sigma 20} := 147 \text{ МПа}, \sigma_{\sigma} := \frac{F_{\sigma 2}}{n_{\sigma} \cdot f_{\sigma}}, \sigma_{\sigma} = 79.005 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\sigma 20} := \frac{F_{\sigma 1}}{n_{\sigma} \cdot f_{\sigma}}, \sigma_{\sigma 20} = 17.079 \text{ МПа}, \frac{\sigma_{\sigma}}{\sigma_{\sigma}} = 55.637 \%, \frac{\sigma_{\sigma 20}}{\sigma_{\sigma 20}} = 11.618 \%$$

Как видно, оба условия выполняются

Проверка втулки на прочность. Приведенный изгибающий момент

$$M_0 := \left[\begin{array}{l} 0.05 \cdot (D_{\sigma} - D_{\text{сп}}) \cdot F_{\sigma 1} \\ 0.05 \cdot \left[(D_{\sigma} - D_{\text{сп}}) \cdot F_{\sigma 2} + (D_{\text{сп}} - D - s_{\text{эк}}) \cdot F_{\text{д}} \right] \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma} \end{array} \right]$$

$$M_0 = \left[\begin{array}{l} 2.39 \\ 15.311 \end{array} \right] \text{ МН} \cdot \text{мм}, M_0 := \max(M_0), M_0 = 15.311 \text{ МН} \cdot \text{мм}$$

Безразмерный комплекс

$$T_{\phi} := \frac{D_H^2 \cdot \left(1 + 8.55 \cdot \log \left(\frac{D_H}{D} \right) \right) - D^2}{\left(1.05 \cdot D^2 + 1.945 \cdot D_H^2 \right) \cdot \left(\frac{D_H}{D} - 1 \right)}$$

$$T_{\phi} = 1.89$$

Максимальное напряжение во втулке

$$\sigma_0 := f_{\phi} \cdot \sigma_1$$

$$\sigma_1 := \frac{T_{\phi} \cdot M_0 \cdot v}{D \cdot (s_0 - c)^2}$$

$$\sigma_1 = 65.015 \text{ МПа}, \sigma_0 = 78.017 \text{ МПа}$$

Тангенциальное напряжение

$$\sigma_t := \frac{p_p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)}$$

$$\sigma_t = 84.324 \text{ МПа}$$

		N				42

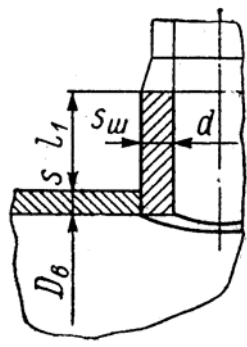


Рисунок 3.6 – Схема к расчету укрепления отверстия за счет увеличения толщины стенки штуцера

Общий критерий укрепления состоит в компенсации вырезанной площади поперечного сечения:

$$(A_{1н} + A_{1в})\chi_1 + A_2\chi_2 + A_0 \geq A,$$

где $A_{1н}$ и $A_{1в}$ – площади продольного сечения соответственно наружной и внутренней частей штуцера, участвующего в укреплении;

A_2 – площадь продольного сечения усиливающего обечайку элемента;

A_0 – площадь продольного сечения оболочки, участвующая в укреплении;

A – площадь продольного сечения выреза, подлежащая компенсации;

χ_1 и χ_2 – коэффициенты, учитывающие соотношение материалов конструктивных элементов.

Значения χ_1

$$\chi_1 = \frac{[\sigma]_{ш}}{[\sigma]}$$

где $[\sigma]_{ш}$ – допускаемое напряжение материала штуцера, т.к. штуцер изготовлен из того же материала, что и верхнее днище, то $\chi_1 = 1$.

Расчетный диаметр укрепляемого элемента (корпуса)

$$D_p = D = 3200 \text{ мм.}$$

Расчетный диаметр штуцера

$$d_p = d + 2c_{ш} = 250 + 2 \times 0,75 = 501,5 \text{ мм}$$

Наружная и внутренние длины штуцера, участвующие в укреплении

$$l_{1p} = \min \left(\frac{l_1}{\sqrt{(d + (s_{ш} - s_{шп}))(s_{ш} - s_{шп})}} \right) =$$

Тогда диаметры фундаментного кольца

$$D_1 = 3,2 \times (1 - 0,685 \cdot 0,058) = 3,07 \text{ м}, D_2 = 3,2 \times (1 + 1,35 \cdot 0,058) = 3,45 \text{ м}$$

Напряжение на опорной поверхности кольца.

$$\sigma_R = \frac{gQ}{F} + \frac{M_R}{W},$$

где F и W – соответственно площадь и момент сопротивления изгибу опорной площади фундаментного кольца;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ Н/кг}$.

Площадь и момент сопротивления изгибу опорной площади фундаментного кольца:

$$F = \pi \frac{D_2^2 - D_1^2}{4} = 3,14 \frac{3,45^2 - 3,07^2}{4} = 1,94 \text{ м}^2$$

$$W = \frac{\pi^2(D_2^4 - D_1^4)}{32D_2} = \frac{3,14^2(3,45^4 - 3,07^4)}{32 \cdot 3,45} = 4,72 \text{ м}^3$$

Значение момента примем равным

$$M_R = 0,315 \times 10^6 \text{ НМ}$$

Тогда

$$\sigma_R = \max \left(\frac{\frac{9,81 \times 28,6 \cdot 10^3}{1,94} + \frac{0,315 \times 10^6}{4,72}}{\frac{9,81 \times 30,1 \cdot 10^3}{1,94} + \frac{0,315 \times 10^6}{4,72}} \right) = \max \begin{pmatrix} 0,211 \\ 0,220 \end{pmatrix} = 0,220 \text{ МПа}$$

Расчетное значение толщины опорного кольца

$$\delta_k = fb \sqrt{\frac{3\sigma_R}{\sigma}},$$

где f – коэффициент, для колонных аппаратов $f = 1$;

b – длина полоски выступающей за диаметр обечайки, м.

Длину полоски можно посчитать так

$$b = \frac{D_2 - D}{2} = \frac{3,45 - 3,2}{2} = 0,125 \text{ м}$$

Расчетное значение толщины опорного кольца

		N				46

4 Специальный раздел

4.1 Определение массы оборудования

Проектируемый аппарат монтируется в разобранном виде. После установки и выверки аппарата монтируются опорные решетки двух катализаторных секций. Затем аппарат наполняют катализатором через специальные штуцеры. Следовательно монтажная масса складывается в основном из массы обечайки, днищ, опоры и вспомогательных устройств (штуцера, кронштейны).

Масса обечайки аппарата с учетом верхнего и нижнего днищ

$$G_{об} = \frac{\pi ((D + 2s)^2 - D^2)}{4} \rho H_1,$$

где D – внутренний диаметр аппарата, $D = 3200$ мм;

s – толщина стенки аппарата, $s = 70$ мм

H_1 – высота обечайки, $H = 9000$ мм

ρ – плотность материала аппарата, $\rho = 7860$ кг/м³

Итого

$$G_{об} = \frac{3,14 \times ((3,2 + 2 \times 0,070)^2 - 3,2^2)}{4} \times 7860 \times 9,0 = 40869 \text{ кг} = 40,9 \text{ т}$$

Принимаем монтажную массу аппарата с учетом вспомогательных устройств на 10% больше массы обечайки

$$G_m = 45 \text{ т}$$

4.2 Доставка оборудования на монтажную площадку

В практике монтажа технологическое оборудование перевозится к месту монтажа по шоссейным и грунтовым дорогам. Для перевозки крупногабаритного и тяжеловесного оборудования применяют прицепы-тяжеловозы различной грузоподъемности, которые буксируются тракторами или специальными колёсными тягачами. Выберем прицеп-тяжеловоз и тип тягача с учётом массы и габаритов транспортируемого оборудования.

Предварительно принимаем для транспортирования пневмоколёсный прицеп-тяжеловоз ЧМЗАП-5212, при транспортировании по сухой грунтовой дороге с максимальным подъёмом 3% и скоростью $v=2,6$ км/ч; для буксировки прицепа с

		N				48

$$F_c = 10G_c\varphi,$$

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

$\varphi = 0,85$ – 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.

4.3 Приёмка фундамента под монтаж

Готовность фундаментов к производству монтажных работ оформляют актом приемки-сдачи, подписанным представителями строительной и монтажной организации и технадзора заказчика.

К акту прилагают составленные строительной организацией исполнительные схемы: а) основных и привязочных размеров, отметок фундамента, расположения фундаментных болтов, шанцев и анкерных колодцев; б) расположения металлических плашек и реперов, заделанных в тело фундамента и фиксирующих его оси и высотные отметки; в) данные о качестве фундамента.

Фундаменты под машины, другое технологическое оборудование и конструкции, устанавливаемые без подливки, сооружают на полную проектную отметку и сдают под монтаж с выровненной поверхностью.

Перед сдачей под монтаж аппаратов фундамент, включая колодцы для фундаментных болтов, должен быть освобожден от опалубки и очищен от строительного мусора. Раковины, пористость, наслоения и другие дефекты недопустимы. Проемы и отверстия должны иметь соответствующее ограждение, каналы и люки должны быть закрыты, выступающие из бетона арматура и проволока, а также металлические кондукторы – обрезаны. На фундаментные болты должны быть установлены гайки и шайбы, а их нарезанные части защищены от коррозии и предохранены от повреждений [8].

		N				50

4.5 Выбор крана и расчёт такелажной оснастки

4.5.1 Выбор крана

Требуемая грузоподъёмность монтажного крана определяется по формуле:

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

где $G_0 = 45$ т – монтажная масса оборудования;

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

$$G_{\text{к.тр}} \geq \frac{45}{1} = 45 \text{ т}$$

Необходимая высота подъёма крюка крана для установки аппарата на фундамент вычисляется по формуле:

$$h_{\text{к}} = h_{\text{ф}} + h_{\text{з}} + h_{\text{о}} + h_{\text{с}},$$

где $h_{\text{ф}} = 1,5$ м – рекомендуемая высота фундамента;

$h_{\text{з}} = 0,5$ м – рекомендуемый запас высоты оборудования над фундаментом;

$h_{\text{о}} = 7,5$ м – высота блока оборудования от основания до места строповки, назначается по чертежу аппарата;

$h_{\text{с}} = 6$ м – высота стропа, назначается по конструктивным соображениям.

$$h_{\text{к}} = 1,5 + 0,5 + 7,5 + 6 = 15,5 \text{ м.}$$

По графику грузовысотных характеристик выбираем кран типа КГ-100 с длиной стрелы 20 м. При вылете крюка $l_{\text{к}} = 10$ м, кран имеет грузоподъёмность $G_{\text{к}} = 50$ т и высота подъёма крюка более 19 м, что обеспечивает подъём и установку аппарата на фундамент [8].

Для подтверждения возможности размещения поднятого над фундаментом блока аппарата в подстреловом пространстве вычерчивается монтажная схема в масштабе.

4.5.2 Выбор и расчёт траверсы

Траверса представляет собой жёсткое грузозахватное приспособление, предназначенное для подъёма крупногабаритного оборудования при необходимости строповки его за несколько точек. Выбираем траверсу, работающую на изгиб, расчётная схема которой приведена на рисунке 4.3.

		N				52

4.5.3 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 4.4.

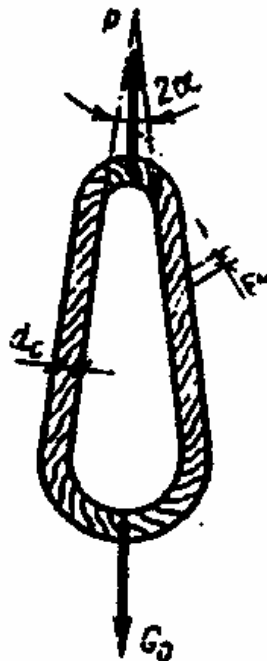


Рисунок 4.3 – Расчётная схема витого канатного стропа

Натяжение в одном витке стропа определяется по формуле:

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

где $P = 298/2 = 149$ кН – усилие, приложенное к стропу;

$m = 2$ – количество ветвей витого стропа;

$n = 7$ – число канатных витков в сечении одной ветви;

$\alpha = 15^\circ$ – угол между ветвью стропа и направлением усилия P (рекомендуется $\leq 30^\circ$).

		N				54

Эксплуатация оборудования должна проводиться в строгом соответствии с требованиями технической документации заводов-изготовителей. При отсутствии заводской техдокументации (паспорта, правила технической эксплуатации, руководства по эксплуатации и др.) последняя разрабатывается непосредственно в цехе для на предприятии. Кроме того, должны разрабатываться и вводиться в действие приказом по предприятию инструкции по эксплуатации, регламентирующие безотказную работу оборудования на данном предприятии.

Мастер цеха обязан помогать эксплуатационному персоналу совершенствовать производственные навыки по эксплуатации оборудования, предотвращению аварий и предупреждению преждевременного износа.

Ответственность за неправильную эксплуатацию оборудования, тем более приведшую к поломкам и авариям, наряду с непосредственными виновниками, несут мастер и начальник цеха (участка).

4.7.2 Основные причины отказа оборудования

Одной из основной причин отказа оборудования является коррозия. Причина – производственные среды относятся к разряду агрессивных. Азотная кислота и ее производные при высокой температуре и избыточном давлении образуют азотнокислые среды, являющиеся сильноагрессивными. Такие рабочие среды вызывают усиленный коррозионный износ металлов и сплавов, из которых изготовлено оборудование и коммуникации, несмотря на то, что они изготавливаются из кислотостойкой стали.

4.7.3 Подготовка к ремонту и ремонт оборудования

Основанием для остановки оборудования на ремонт служит месячный график планово-периодического ремонта. На подготовку и остановку на ремонт крупного технологического оборудования издается приказ по предприятию, в котором указываются: сроки подготовки и ремонта; исполнители работ; ответственные за технику безопасности; ответственные за подготовку оборудования к ремонту; руководители ремонта по объектам (отделениям, участкам, комплексам и т. п.); ответственные (комиссия) за качество и выполнение ремонта в установленные сроки. Подготовка и остановка основного технологического оборудования

стить оборудование от осадка, накипи и твердых отложений; г) проверить содержание инертных, горючих, ядовитых газов и кислорода в ремонтируемом оборудовании, коммуникациях, колодцах и приямках путем проведения соответствующих анализов; д) подготовить места для установки заглушек и установить их.

Подготовка оборудования к ремонту производится эксплуатационным и дежурным ремонтным персоналом технологического цеха. Ответственность за подготовку мест установки заглушек, за их установку и снятие, а также за своевременную запись об этом в журнале несет лицо, ответственное за вывод оборудования в ремонт. После установки заглушек ответственное лицо должно указать их номера на схеме установки заглушек и сделать об этом запись в журнале учета установки и снятия заглушек. Ответственность за качество устанавливаемых заглушек несет механик цеха. Схему на установку заглушек подписывает заместитель начальника цеха. Дежурный ремонтный персонал на подготовительные работы может привлекаться -только по письменному распоряжению начальника цеха. Во всех остальных случаях дежурному ремонтному персоналу запрещается самостоятельно проводить установку и снятие технологических заглушек.

Состояние работ по подготовке оборудования к ремонту записывается в журнале приема и сдачи смен. Работы по подготовке к ремонту, не законченные предыдущей сменой, оформляются в журнале приема и сдачи смен ответственным за подготовку и продолжаются следующей сменой. О выполненных подготовительных работах и принятых мерах по технике безопасности ответственное лицо за вывод оборудования в ремонт делает отметку в журнале начальников смен.

Полностью подготовленное к ремонту оборудование сдается лицом, ответственным за вывод оборудования в ремонт, руководителю ремонта (мастеру ремонтно-механического или энергоремонтного цеха, мастеру цеха централизованного ремонта и т. п.). При сдаче оборудования в текущий ремонт запись об этом делается в журнале начальников смен, а в капитальный ремонт — оформляется акт, который подписывает лицо, ответственное за вывод оборудования в ремонт, и руководитель ремонта. Проведение ремонта без оформления акта на сдачу оборудования в ремонт допускается только в тех случаях, когда ремонт осуществляется собственным ремонтным персоналом технологического цеха, в котором уста-

		N				60

5 Автоматизация оборудования

Автоматизация – применение методов и средств автоматизации для управления производственными процессами [10].

Управление технологическими процессами с использованием автоматических устройств включает в себя решение следующих основных задач: контроль параметров процессов, регулирование параметров, сигнализацию об отклонениях значений за допускаемые пределы, защиту оборудования в аварийных ситуациях. Автоматическое регулирование позволяет получить высокую производительность при наименьших производственных затратах и высоком качестве продуктов.

В химической промышленности комплексной механизации и автоматизации уделяется большое внимание. Это объясняется высокой скоростью протекания технологических процессов, их сложностью, а также чувствительностью их к нарушению режима, вредностью условий работы.

5.1 Выбор и обоснование параметров контроля и управления

В качестве объекта управления при автоматизации процесса синтеза метанола примем реактор синтеза метанола.

Показателем эффективности данного процесса является концентрация паров метанола после реактора. Выход метанола зависит от используемого катализатора и режимных параметров процесса. Установка работает под давлением 5 МПа, следовательно, наибольшей эффективностью катализатор будет обладать при температуре 290-320 °С. При выходе температуры за эти пределы выход метанола существенно снижается (см. раздел 2).

Таким образом, основной задачей регулирования процесса синтеза метанола при давлении 5 МПа является поддержание постоянной температуры в реакторе.

Реакция синтеза является экзотермичной, поэтому температура постепенно повышается по мере прохождения газа через реактор, и при определенном размере аппарата может превысить 320 °С. В таком случае нижние слои катализатора будут работать неэффективно. Чтобы повысить выход метанола, некоторую часть исходного газа направляют сразу внутрь реактора, минуя одну или несколько ка-

		N				62

ления в стандартный унифицированный пневматический сигнал с давлением сжатого воздуха 0,02-0,1 МПа, который передается на показывающий и регистрирующий пневматический прибор ПВ2.2.

Контроль температуры исходного газа, температуры потока после реактора и температуры метанола, идущего в АВО, ведется с помощью хромель-копелевых термопар, установленных на трубопроводах. Сигнал передается на многоточечный потенциометр типа КСП4.

Для измерения давления в реакторе использован сильфонный манометр с пневматическим выходным сигналом МС-П2, сигнал от которого воспринимается вторичным пневматическим прибором ПВ2.2.

Датчиком для измерения расхода греющего пара и байпасного потока выбрана камерная диафрагма ДК-150, создающая перепад давления на трубопроводе. Диафрагма работает в комплекте с дифманометром ДМ-П1, который преобразует перепад давления в стандартный унифицированный пневматический сигнал с давлением сжатого воздуха 0,02-0,1 МПа, который передается на показывающий и регистрирующий пневматический прибор ПВ10.1Э, регулирующий орган – обратный клапан.

Для контроля температуры газа перед реактором и после первой катализаторной корзины используются хромель-копелевые термопары ТХК-0515. Индикация и регистрация осуществляется с помощью милливольтметра М64. С помощью преобразующего прибора ЭПП-63 осуществляется подача сигнала на регулирование расхода греющего пара в теплообменник и байпасного потока.

Контроль концентрации метанола после колонны синтеза осуществляется с помощью газоанализатора КОЛИОН-1Е, устанавливаемым на трубопроводе. Электрический сигнал с фотоионизационного детектора поступает на преобразователь, поставляемый в комплекте с датчиком. Выходной пневматический сигнал воспринимается прибором ПВ2.2.

Использованные приборы являются унифицированными, что позволяет легко заменить их в случае необходимости. Все использованные приборы занесены в спецификацию (таблица. 5.1).

		N				64

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6	7
6-1	Температура газа после катализаторной корзины	335 °С		см. пункт 2.1		
6-2			Щит оператора	Милливольтметр, предназначенный для показания и регулирования температуры, класс точности 1,5	М64	Завод измерительных приборов г. Ереван
6-3			Щит преобразователей	Электропневматический преобразователь с выходным сигналом 0,02 – 0,1 МПа	ЭПП – 63	«Энергоприбор» г. Москва
8-1	Температура исходного газа перед колонной синтеза	310 °С		см. пункт 6-1		
8-2				см. пункт 6-2		
8-3				см. пункт 6-3		
4-1	Давление в реакторе	5,0 МПа	В аппарате	Манометр сильфонный с унифицированным пневматическим сигналом 0,02 – 0,1 МПа, класс точности 1	МС – П2	«Манометр» г. Москва
4-2			Щит оператора	Вторичный прибор, показывающий, регистрирующий	ПВ2.2	«Тизприбор» г. Москва

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6	7
7-1	Расход пара	0,22 м ³ /с		см. пункт 1-1		
7-2				см. пункт 1-2		
7-3				см. пункт 6-3		
7-4				см. пункт 6-4		
7-5				см. пункт 6-5		
3-1	Концентрация оксида паров метанола	10,5%	На трубопроводе	Газоанализатор в комплекте поставки: фотоионизационный датчик, преобразователь в пневматический выходной сигнал с дистанционной передачей 0,02–0,1 МПа	КОЛИОН-1Е	«KOSTIP» Ltd
3-2				см. пункт 1.3		

Скорость ветра (V) по средним многолетним данным, повторяемость превышения которой составляет 5 %, равна 8-9 м/с. Господствующее направление ветра - восточное, составляет 26%.

Для эффективности реализации результатов проектирования необходимо выполнение следующих требований:

- СНиП 11-89-80*. Генеральные планы промышленных предприятий.
- СНиП 2.01.01-99. Строительная климатология.
- СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
- СНиП 2.01.15-90. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов.
- СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
- СНиП 2.2.4/2.1.8562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

И законов Российской Федерации:

- а) «Об экологической экспертизе».
- б) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
- в) «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний»

6.1 Анализ опасных и вредных факторов производства

Метиловый спирт может поступать в организм с пищей, а также с вдыхаемым воздухом, содержащим пары этого спирта. В незначительных количествах метиловый спирт может проникать в организм и через кожу.

Токсичность метилового спирта зависит от обстоятельств отравления и индивидуальной восприимчивости. Под влиянием метилового спирта происходит поражение сетчатки глаза и зрительного нерва, а иногда наступает неизлечимая слепота.

Метиловый спирт нарушает окислительные процессы и кислотно-щелочное равновесие в клетках и тканях. В результате этого наступает ацидоз. Отравление метиловым спиртом в ряде случаев заканчивается смертью. Опасность появления слепоты возникает уже после приема 4—15 мл метилового спирта. Смертельная

		N				70

6.2 Мероприятия по предотвращению воздействия опасных и вредных факторов

С целью обеспечения безопасных условий работы обслуживающего персонала и предохранения оборудования от разрушения, а также для уменьшения последствий аварий, предусмотрен ряд мероприятий по технике безопасности:

1. Предусмотрен максимальное удаление оборудования от обслуживающих помещений, что улучшает безопасность его эксплуатации. В зданиях расположено компрессорное и насосное оборудование, узлы приготовления и регенерации катализатора и приготовления промотора.
2. Управление технологическими процессами отделения производства метанола осуществляется автоматически или дистанционно из ЦУП, что уменьшает необходимость пребывания обслуживающего персонала у аппаратов.
3. Для предотвращения загрязнения горючими, взрывоопасными и токсичными газами территории промышленной площадки предусмотрено сжигание некондиционных газов, образующихся при пуске и остановке. В коллекторы сброса газов на факелы также подключены сбросы токсичных и взрывоопасных газов от предохранительных клапанов.
4. Для предотвращения отравления токсичными газами и парами при остановках на ремонт должно производиться дренирование аппаратов и коммуникаций с последующей промывкой водой (конденсатом). Для дренирования рабочих смесей и промывных вод установлен ряд дренажных сборников, снабженных насосами.
5. При остановке на ремонт, а также после ремонта перед включением в работу должна производиться продувка оборудования азотом, воздухом, паром. Для этих целей предусмотрены расходы воздуха, азота и пара.
6. Для предотвращения коррозии аппаратов и трубопроводов они изготовлены из материалов, стойких в средах, содержащих азотную кислоту.

Для предотвращения разрушения оборудования необходимо выполнение требований «Правил устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячего водоснабжения» ПБ 10-573-03.

Для защиты персонала от воздействия опасных и вредных факторов предусмотрены средства индивидуальной защиты.

		N				72

$$r_0 = 1,5h = 1,5 \times 27,2 = 40,8 \text{ м}$$

Площадь зоны защиты молниеотвода от молнии определяется по формуле

$$S_M = \pi r_0^2 = 3,14 \times 40,8^2 = 7500 \text{ м}^2$$

Площадь, занимаемая колонной составит

$$S_K = \pi r_x^2 = 3,14 \times 1,1^2 = 18,1 \text{ м}^2$$

Таким образом $S_M > S_K$, поэтому одним молниеотводом от молнии можно защитить не только колонну, но и близлежащие аппараты, в т.ч. реактор селективной очистки.

Для обеспечения отвода электрического заряда в землю необходимо устанавливать заземлители. Линия заземления представляет собой вертикально забитые в грунт стальные трубы, диаметром 60 мм, которые соединяются с горизонтальной линией из стальной полосы, толщиной сечения 50 мм². Для расчёта заземляющего устройства выбираем схему заземления в ряд.

Сопротивление заземления определяется по формуле

$$R_{СТО} = \frac{0.16 \cdot \rho}{L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L}{0.95 \cdot b} + 0.5 \cdot \ln \frac{4 \cdot b + L}{4 \cdot h - L}$$

где $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – удельное сопротивление грунта;

$L = 2.5 \text{ м}$ – длина электрода;

$h = 1.95 \text{ м}$. – расстояние от поверхности земли до середины электрода;

$b = 0.05 \text{ м}$. – ширина полки.

Тогда сопротивление заземления составит

$$R_{СТО} = \frac{0.16 \cdot 100}{2.5} \cdot \ln \frac{2 \cdot 2.5}{0.95 \cdot 0.05} + 0.5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 1.95 + 2.5}{4 \cdot 1.95 - 2.5} = 31.94 \text{ Ом}$$

В соответствии с главой 1.7.64 «Правила устройства электроустановок» сопротивление стержней заземления не должно превышать 30 Ом, соответственно один стержень не достаточно. Определим необходимое количество стержней по формуле

$$n_{СТ} = \frac{R_{СТО}}{R_{СТ} \cdot \eta_{СТ}}$$

где $R_{С.О} = 30 \text{ Ом}$ – максимально допустимое сопротивление стержня;

ся объём, организация и порядок выполнения возложенных на неё задач. План разрабатывается текстурно с предложением в виде графиков и таблиц.

В случае объявления воздушной тревоги (сигнал по радио, сирены, прерывистые гудки) персонал должен действовать в соответствии с предусмотренным планом: выключить оборудование и покинуть производство в специально отведённые места для укрытия.

Финансирование мероприятий по защите персонала и территории в чрезвычайных ситуациях производится из местных резервов.

Мероприятия, предлагаемые в дипломном проекте, позволяют считать его безопасным и экологичным.

		N				76

расходов в зависимости от места их возникновения. Такую возможность дает классификация затрат по калькуляционным статьям. Для исчисления себестоимости отдельных видов продукции затраты группируются по статьям калькуляции.

Для планирования, учета и калькулирования себестоимости продукции использован налоговый кодекс Российской Федерации в соответствии с которым, расходы, в зависимости от их характера, условий осуществления и направлений деятельности организаций, подразделяются на расходы внереализационные, а также связанные с производством и реализацией.

Если некоторые затраты с равными основаниями могут быть отнесены одновременно к нескольким группам расходов, то организация вправе самостоятельно определить к какой именно группе он отнесет какие расходы.

7.3 Обоснование производственной мощности

Производственная мощность – это максимально возможный выпуск продукции за единицу времени при заданной номенклатуре и ассортименте при полном использовании производственного оборудования и площадей, с учетом применения передовой технологии, улучшения организации производства и труда, обеспечение высокого качества продукции. Производственная мощность предприятия может быть определена по формуле]:

$$M = T_m \cdot \Pi = 360 \times 17,36 \times 24 = 150000 \text{ т}$$

где $T_m = 360$ дн. – максимально возможный годовой фонд времени работы оборудования; $\Pi = 17,36$ т/ч – производительность одной единицы оборудования за час. в натуральном выражении.

Согласно статистическим данным, за предыдущий год цех фактически проработал 324 дня, соответственно действительный объем производства составил:

$$Q = 324 \times 17.36 \times 24 = 135000 \text{ т}$$

Уровень использования мощностей за этот промежуток времени:

$$K_{\text{факт}} = K_{\text{ПР}} = \frac{Q_{\text{ПР}} \text{ год(кварт)}}{M_{\text{ПР}} \text{ год(кварт)}} = 135000/150000 = 90\%$$

Годовой выпуск продукции по проекту составляет 150000 т/год за счет изменения конструкции оборудования.

		N				78

Таблица 7.2 – Расчет годового ФОТ руководителей и специалистов

Наименование	Количество работников	Баланс рабочего времени	Средний оклад в месяц	ФОТ за месяц	Процент премии	Сумма премии	Фонд оплаты труда за месяц	Фонд оплаты труда за год
Руководители	24	12	5500	132000	70	92400	224400	2692800
Специалисты	4	12	4200	16800	70	11760	28560	342720
Служащие	3	12	1700	5100	70	3570	8670	104040
Итого	31			153900	-	107730	261630	3139560

Общая эффективность капитальных вложений может быть определена по формуле

$$E_n = \frac{\Delta\Pi}{K}$$

где $\Delta\Pi$ – прирост прибыли за счет вложения инвестиций; K – капитальные вложения. Величина обратная эффективности называется сроком окупаемости капитальных вложений и определяется по формуле:

$$T_n = \frac{K}{\Delta\Pi}$$

или

$$E_n = \frac{(C_1 - C_2) \cdot V_2}{K} = \frac{(3441 - 3240) \cdot 150000}{151000000} = 0,2$$

$$T_n = \frac{K}{(C_1 - C_2) \cdot V_2} = \frac{151000000}{40445250} = 3,7 \text{ года}$$

где C_1 и C_2 – себестоимость азотной кислоты до и после вложения инвестиций;

V_2 – объем выпуска продукции после использования капитальных вложений.

Расчет себестоимости производства азотной кислоты до и после внедрения оборудования произведен в таблице 7.4.

Из таблицы 4.4 видно, что себестоимость производства азотной кислоты снизилась на 5,8% в результате внедрения нового оборудования, что связано со зна-

Таблица 7.4 – Расчет себестоимости производства азотной кислоты до и после внедрения оборудования

Наименование показателя	Ед. измерения	Данные аналога		Проектные данные		Отклонения	
		На единицу	На весь выпуск	На единицу	На весь выпуск	абс.	%
Переменные затраты							
Материальные расходы	руб.	721,8	97443000	710,50	10865779	-86577221	11,2
Расходы энергоресурсов	руб.	350,56	47325600	335,2	50280000	2954400	106,2
Расходы на оплату труда	руб.	97,19	13120240,2	56,90	8534831	-4585408,36	65,1
Итого			157888840		69680611		
Постоянные затраты							
Амортизационные расходы	руб.	134,9	18211500	128,7	19305000	1093500	106,0
Расходы на содерж. и ремонт	руб.	625,1	84388500	611,2	91680000	7291500	108,6
Общезаводские расходы	руб.	278,5	37597500	254,10	1026195	-36571305	2,7
Внереализационные расходы	руб.	310,8	41958000	394,60	59190000	17232000	141,1
Итого			306666000		206578745		
Полная себестоимость	руб.	3441	464554840	3240	276259356	-188295484,4	94,2

7.6 Прибыль

Различают балансовую (валовую) и чистую (остаточную). Балансовая прибыль определяется по формуле:

$$\Pi = В - С$$

где В – выручка от реализации продукции (работ, услуг);

С – затраты на производство и реализацию продукции (работ, услуг);

Чистая прибыль определяется путем вычитания из балансовой прибыли налогов, отчислений, штрафов, и других первоочередных платежей.

Прибыль определяется по проектируемому цеху как разница между выручкой от реализации и себестоимостью годового выпуска:

$$В = 4130,00 \times 150000 = 619500000 \text{ руб.}$$

$$С = 276259356 \text{ руб.}$$

$$\Pi = 343240644,2 \text{ руб.}$$

В современных условиях основными показателями экономической эффективности проекта при достижении планируемого уровня производства или полного освоения производственных мощностей являются: простая норма прибыли, минимальный оборот для сохранения ликвидности (точка безубыточности), удельные производственные издержки (производственная себестоимость единицы продукции), удельные инвестиционные издержки по реализации проекта (удельные капитальные вложения).

Таблица 7.5 – Показатели эффективности проектного решения

Наименование показателя	Ед. измерения	По аналогу	Проектное	Отклонения	
				абс.	отн.
Годовой выпуск продукции	т	135000	150000	15000	10,00
	руб.	557550000	619500000	61950000	10,00
Капитальные вложения	руб.	151800000	151000000	800000	0,53
Удельные капитальные вложения	руб./т	1118,52	1006,67	-111,85	-11,11
Численность персонала	чел.	271	271	0	0,00
Средняя заработная плата	руб./чел.	4035	4035	0	0,00
Производительность труда	т/чел.	494,51	553,51	59,00	10,66
	руб./чел.	2042308	2285978	243670	10,66
Себестоимость на единицу	руб.	3441,15	3240,40	-200,75	-6,20
Себестоимость на весь выпуск	руб.	464555250	486060000	-21504750	-4,42
Оптовая цена реализации на единицу	руб.	4130,00	4130,00	0	0,00
Прибыль на единицу	руб.	688,85	889,60	200,75	22,57
Прибыль на весь выпуск	руб.	92994750	133440000	40445250	30,31
Рентабельность производства	%	20%	27%	7%	25,93
Фондоотдача производственных фондов	руб./руб.	3,69	4,10	0,41	10,00
Годовой экономический эффект	руб.		40445250	40445250	
Срок окупаемости	лет		3,7		

Общая рентабельность производственных фондов:

$$РПФ = \frac{\Pi}{ПФ_{ср}} = \frac{343240644}{19530000} * 100 = 70\%,$$

где $ПФ_{ср}$ – среднегодовая стоимость производственных фондов (сумма среднегодовой стоимости основных производственных фондов и нормируемых оборотных средств). Сумму оборотных средств принимаем в размере 30% от стоимости основных оборотных фондов ($151000000 \times 0,3 = 45300000$). Простая норма балансовой прибыли:

$$НП_6 = \frac{\Pi_6}{ОП_ч}$$

где Π_6 – балансовая (валовая) прибыль; $ОП_ч$ – чистый объем продаж. Чистая норма прибыли:

обусловленные технологическим процессом производства), расходы на подготовку и освоение производства, заработная плата с начислениями основных рабочих-повременщиков. Они равны 2532001 руб.

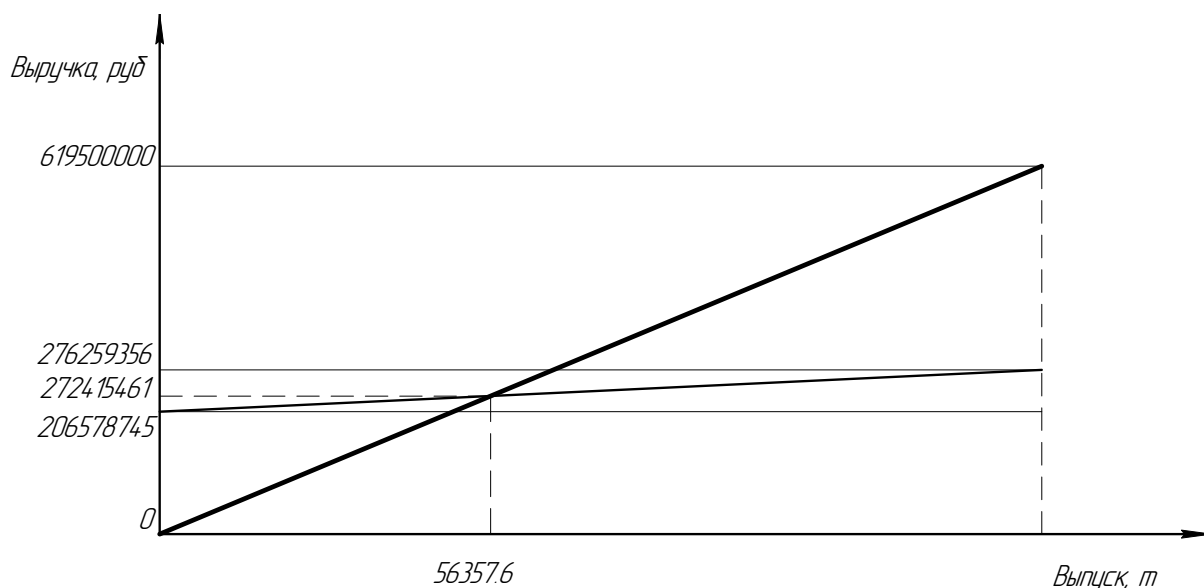


Рисунок 7.1 – График безубыточности

Из графика безубыточности, представленного на рисунке 1. видно, что безубыточный объем производства составляет 56357 т.

7.9 Заключение об экономической эффективности

При проектировании оборудования был реализован ряд технологических и конструкционных решений, которые обусловили снижение себестоимости производства азотной кислоты на 5,8%, за счет сокращения условно-постоянных расходов, увеличения мощности цеха. Общий прирост прибыли составил 250245484,4 рублей в год. Срок окупаемости капитальных вложений 5 лет. При этом учтены убытки, понесенные производством период технического перевооружения. Рентабельность продукции составляет 27%. Годовой экономический эффект 30112212,82 руб. безубыточный объем производства составляет 56357 т.

Приведенные технико-экономические показатели проекта свидетельствует об его эффективности.

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. Лащинский 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 ох-

		N				88