

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Обзор состояния вопроса	5
1.1 Сырье для получения азотной кислоты	5
1.2 Методы получения азотной кислоты	5
1.3 Сущность процесса абсорбции	11
1.4 Конструкции абсорберов	11
2 Технологический раздел	15
2.1 Описание технологической схемы и проектируемого оборудования	15
2.2 Технологический расчет	20
3 Расчетно-конструкторский раздел	36
3.1 Описание конструкции аппарата	36
3.2 Выбор материала	37
3.3 Расчет обечайки	38
3.4 Расчет днища	40
3.5 Расчет фланцевого соединения	41
3.6 Расчет аппарата на действие ветровой нагрузки	43
4 Специальный раздел	49
4.1 Монтаж колонны	49
4.2 Технические условия на эксплуатацию и ремонт колонны	59
5 Автоматизация оборудования	64
5.1 Выбор и обоснование параметров контроля и управления	64
5.2 Выбор и обоснование технических средств и систем автоматизации	65
6 Безопасность и экологичность проекта	72
6.1 Анализ опасных и вредных факторов производства	73

6.2 Мероприятия по предотвращению воздействия опасных и вредных факторов	74
6.3 Защита персонала и территории в чрезвычайных ситуациях	77

				Абсорбер производства азотной кислоты				

ВВЕДЕНИЕ

Азотная кислота является одним из важнейших многотоннажных продуктов химической промышленности. Она занимает второе место по объему производства после серной кислоты. Азотная кислота широко применяется для производства многих продуктов, используемых в промышленности и сельском хозяйстве. Так, около 40% ее расходуется на получение сложных и азотных минеральных удобрений; азотная кислота используется для производства синтетических красителей, взрывчатых веществ, нитролаков, пластических масс, лекарственных синтетических веществ и других важнейших продуктов.

Сырьем для получения продуктов в азотной промышленности являются атмосферный воздух и различные виды водород-содержащего сырья (уголь, сланцы, газ и др.). Одной из составных частей воздуха является азот, который используется в процессах получения аммиака, цианамиды кальция и других продуктов азотной технологии [1].

Поскольку ресурсы атмосферного азота огромны, то сырьевая база азотной промышленности в основном определяется вторым видом сырья – углеводородами, применяемым для получения водорода или водород-содержащего газа. До 50-х годов текущего столетия заводы нашей страны использовали в качестве сырья в основном твердое топливо.

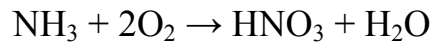
С 60-х годов XX века доля твердого топлива как сырья для получения водорода резко сокращалась. В настоящее время основным сырьем в производстве аммиака является природный газ. В восьмидесятые годы XX века около 90% всего выпускаемого в нашей стране аммиака получали на предприятиях, использовавших в качестве сырья природный газ [1].

При производстве азотной кислоты сначала получают нитрозные газы (NO , NO_2), которые затем вступают в реакцию с водой с образованием 60% азотной кислоты. Реакция оксида азота с водой идет в абсорбере.

Дипломный проект посвящен проектированию абсорбционной колонны, работающей в составе установки производства азотной кислоты.

		N				4

Суммарная реакция образования азотной кислоты выражается



Производство азотной кислоты по схеме АК-72. В основу схемы АК-72, разработанной в СССР, положен замкнутый энерготехнологический цикл с двухступенчатой конверсией аммиака и охлаждением нитрозных газов под давлением 0,42–0,47 МПа и абсорбцией оксидов азота при давлении 1,1–1,26 МПа; продукция выпускается в виде 60%-ной HNO_3 . Первый агрегат АК-72 мощностью 380 тыс. т/год был пущен в 1976 г [1].

Принципиальная технологическая схема процесса приведена на рисунке 1.1.

Воздух забирают из атмосферы через трубу 25, очищают от пыли в фильтре 24, сжимают воздушным компрессором 23 до 0,42 МПа и, разделив на два потока, подают в контактный аппарат и подогреватель аммиака. Жидкий аммиак (парожидкостная смесь) через ресивер 1 поступает в испаритель 2, где испаряется при 10–16 °С и давлении 0,6 МПа.

После испарителя газообразный аммиак очищают от масла и механических примесей в фильтре 3 и направляют в подогреватель аммиака 4, где он нагревается до 80–120 °С воздухом.

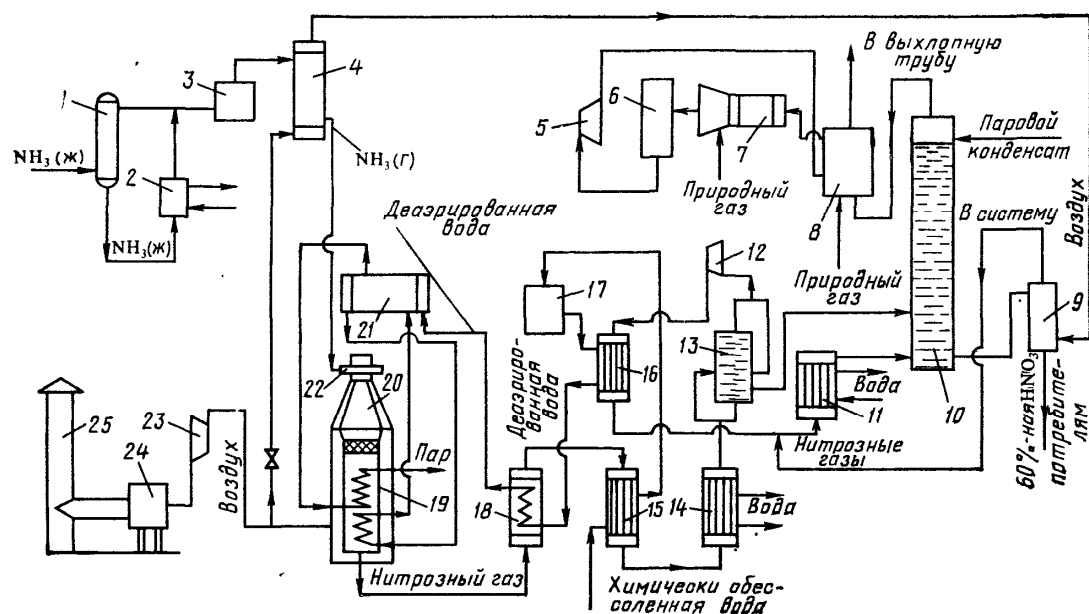


Рисунок 1.1 – Технологическая схема производства азотной кислоты АК-72:

1 – ресивер; 2 – испаритель; 3, 24 – фильтры; 4, 15 – подогреватели; 5 – рекуперационная турбина; 6 – реактор каталитической очистки; 7 – смеситель; 8 – топочное устройство; 9 – продувочная колонна; 10 – абсорбционная колонна, II, 14 – водяные холодильники; 12, 23 – компрессоры; 13 – газовый промыватель; 16, 18 – холодильники нитрозных газов; 17 – деаэриционная колонна; 19 – котел-утилизатор; 20 – контактный аппарат; 21 – барабан с сепарационным устройством; 22 – смесительная камера; 25 – труба для забора воздуха

		N				6

тор. Катализатором очистки служит алюмопалладиевый катализатор АПК-2. После каталитического разложения выхлопные газы, содержащие до 0,008% оксидов азота при температуре 750 °С, поступают в рекуперационную турбину 5, входящую в состав газотурбинного агрегата. Здесь тепловая энергия выхлопных газов преобразуется в механическую с одновременным снижением давления газа до 0,95–1,05МПа. Энергия, вырабатываемая в газовой турбине, используется для привода компрессоров 12 и 23 (нитрозного и воздушного).

Производство слабой азотной кислоты под повышенным давлением. В 1960-х годах разработан агрегат по производству азотной кислоты мощностью 120 тыс. т год под давлением 0,716 МПа с использованием высокотемпературной каталитической очистки выхлопных газов, выпускающий продукцию в виде 53-58%-ной HNO₃ [1]. При разработке этой схемы были пересмотрены вопросы экономической эффективности производства по схеме АК-72, в результате чего уменьшена мощность установки с 380 тыс. тонн до 120 тыс. тонн в год и снижено давление во всей схеме. В частности, абсорберы работают при давлении 0,5–0,7 МПа. Улучшена схема очистки хвостовых газов [1].

Производство концентрированной азотной кислоты прямым синтезом из оксидов азота. Прямой синтез HNO₃ основан на взаимодействии жидких оксидов азота с водой и газообразным кислородом под давлением до 5 МПа по уравнению



100%-ный диоксид азота при атмосферном давлении и температуре 21,5 °С полностью переходит в жидкое состояние. При окислении аммиака полученный NO окисляется в NO₂, содержание которого в газовой смеси составляет около 11%. Перевести диоксид азота такой концентрации в жидкое состояние при атмосферном давлении не представляется возможным, поэтому для сжижения оксидов азота применяют повышенное давление.

Концентрирование азотной кислоты с помощью водоотнимающих веществ. Получить концентрированную азотную кислоту перегонкой разбавленной кислоты невозможно. При кипении и перегонке разбавленной азотной кислоты ее можно упарить лишь до содержания 68,4 % HNO₃ (азеотропная смесь), после чего состав перегоняемой смеси не изменится [1].

		N				8

Серная кислота из напорного бака 4 через регулятор 5 подается в верхнюю часть колонны 6 выше ввода холодного потока азотной кислоты. В нижнюю часть колонны вводится острый пар, при нагревании которым из тройной смеси начинает испаряться азотная кислота. Пары азотной кислоты при температуре 70–85 °С, поднимаясь вверх, выходят через штуцер в крышке колонны и поступают в холодильник-конденсатор 7. В этих парах имеются примеси оксидов азота и воды. В холодильнике-конденсаторе пары азотной кислоты при температуре около 30 °С конденсируются с образованием 98–99%-ной HNO_3 , при этом оксиды азота частично поглощаются этой кислотой. Концентрированная азотная кислота, содержащая оксиды азота, направляется на две верхние тарелки и проходит их последовательно, причем оксиды выдуваются из раствора парами азотной кислоты, поступающими в конденсатор 7. Несконденсировавшиеся пары азотной кислоты и выделившиеся оксиды азота направляют на абсорбцию в башню 10, орошаемую водой. Полученная 50%-ная кислота поступает в сборник 11 и вновь направляется на концентрирование. Концентрированную азотную кислоту после охлаждения направляют на склад готовой продукции.

Отработанная серная кислота, содержащая 65–85% H_2SO_4 , поступает на концентрирование. При концентрировании азотной кислоты с применением 92–93%-ной серной кислоты расход последней значительно сокращается при подаче на концентрирование 59–60%-ной HNO_3 вместо 48–50%-ной. Поэтому в некоторых случаях выгодно проводить предварительное концентрирование 50%-ной HNO_3 до 60%-ной путем простого упаривания.

Большим недостатком концентрирования азотной кислоты с помощью серной кислоты является высокое содержание паров и тумана H_2SO_4 в выхлопных газах после электрофильтров (0,3–0,8 г/м³ газа). Поэтому серную кислоту заменяют, например, нитратом магния или цинка.

Концентрирование азотной кислоты с помощью нитрата магния. Этот способ концентрирования обеспечивает получение чистой концентрированной азотной кислоты без вредных выбросов в атмосферу. Однако у него есть ряд существенных недостатков, не позволяющих использовать такой способ повсеместно. В первую очередь это связано с повышенной по сравнению с другими способами

		N				10

ции. Для ремонта и монтажа внутренних устройств абсорбера через 4 – 5 тарелок установлены люки-лазы 4 условным диаметром не менее 450 мм. В нижней части корпус аппарата приварен к опорной обечайке 5.

В настоящее время в промышленности применяются разнообразные конструкции тарельчатых аппаратов. По способу слива жидкости с тарелок барботажные абсорберы можно подразделить на колонны: 1) с тарелками со сливными устройствами и 2) с тарелками без сливных устройств.

В тарельчатых колоннах со сливными устройствами перелив жидкости с тарелки на тарелку осуществляется при помощи специальных устройств – сливных трубок, карманов и т. п. Нижние концы трубок погружены в стакан на нижней расположенных тарелках и образуют гидравлические затворы, исключая возможность прохождения газа через сливное устройство.

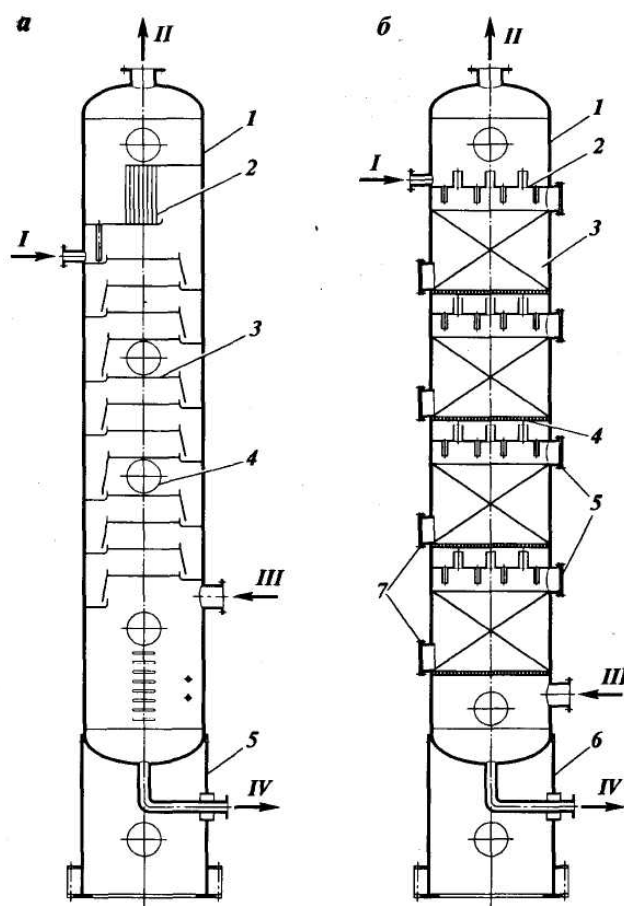


Рисунок 1.3 – Абсорберы

а – тарельчатый: 1 – корпус; 2 – каплеотбойник; 3 – тарелка; 4 – люк; 5 – опорная обечайка;

б – насадочный: 1 – корпус; 2 – распределительная тарелка; 3 – насадка; 4 – опорная решетка; 5 – загрузочные люки; 6 – опора; 7 – люки выгрузки насадки.

Потоки: I – ненасыщенный абсорбент; II – сухой газ; III – сырой газ; IV – насыщенный абсорбент

		N				
						12

- возможность работы на средах, склонных к полимеризации, образованию инкрустаций и т.п.;
- простоту конструкции, проявляющуюся в трудоемкости изготовления, монтажа, ремонтов;

В большинстве случаев для оценки конструкции решающее значение имеют первые четыре показателя.

На основании представленного обзора конструкций разрабатываемого технологического оборудования можно определить наиболее предпочтительную конструкцию абсорбционной колонны: это колонна со ситчатыми или колпачковыми тарелками.

Выбор ситчатых тарелок обусловлен простотой конструкции и удобством монтажа. Колпачковые тарелки допускают большее колебание нагрузки по пару и обеспечивают лучшую степень контакта фаз, чем ситчатые, но сложнее в обслуживании.

В проектируемом аппарате идет химическая реакция со значительным выделением тепла [1], поэтому необходимо предусмотреть устройства для отвода тепла. Конструкции ситчатых тарелок позволят разместить змеевики прямо над полотно тарелки.

Принимаем колонну с ситчатыми тарелками, на нижних тарелках, где реакция идет наиболее сильно, устанавливаем несколько змеевиков.

		N				14

Атмосферный воздух проходит тщательную очистку в двухступенчатом фильтре 1 (первая ступень фильтра выполнена из лавсановой ткани, вторая – из ткани Петрянова). Очищенный воздух сжимают двухступенчатым воздушным компрессором. В первой ступени 18 воздух сжимают до 0,35 МПа, при этом он нагревается до 165–175 °С за счет адиабатического сжатия. После охлаждения воздух направляют на вторую ступень сжатия 16, где его давление возрастает до 0,716 МПа.

Основной поток воздуха после сжатия нагревают в подогревателе воздуха 12 до 250–270 °С теплотой нитрозных газов и подают на смешение с аммиаком в смеситель 6.

Газообразный аммиак, полученный путем испарения жидкого аммиака, после очистки от влаги, масла и катализаторной пыли через подогреватель 5 при температуре 150 °С также направляют в смеситель 6. Смеситель совмещен в одном аппарате с поролитовым фильтром. После очистки аммиачно-воздушную смесь с содержанием NH_3 не более 10% подают в контактный аппарат 14 на конверсию аммиака.

Конверсия аммиака протекает на платинородиевых сетках при температуре 870–900 °С, причем степень конверсии составляет 96%. Нитрозные газы при 890–910 °С поступают в котел-утилизатор 15, расположенный под контактным аппаратом. В котле за сжег охлаждения нитрозных газов до 170 °С происходит испарение химически очищенной деаэрированной воды, питающей котел-утилизатор; при этом получают пар с давлением 1,5 МПа и температурой 230 °С, который выдается потребителю.

После котла-утилизатора нитрозные газы поступают в окислитель нитрозных газов 13. Он представляет собой полый аппарат, в верхней части которого установлен фильтр из стекловолокна для улавливания платинового катализатора. Частично окисление нитрозных газов происходит уже в котле-утилизаторе (до 40%).

В окислителе 13 степень окисления возрастает до 85%. За счет реакции окисления нитрозные газы нагреваются до 300–335 °С. Эта теплота используется в подогревателе воздуха 12. Охлажденные в теплообменнике 12 нитрозные газы поступают для дальнейшего охлаждения в теплообменник 11, где происходит сни-

		N				16

2.1.2 Описание конструкции проектируемого оборудования

Для осуществления процесса абсорбции выбран тарельчатый абсорбер с ситчатыми тарелками по аналогии с существующим оборудованием.

Конструкция выбранного аппарата показана на рисунке 2.2.

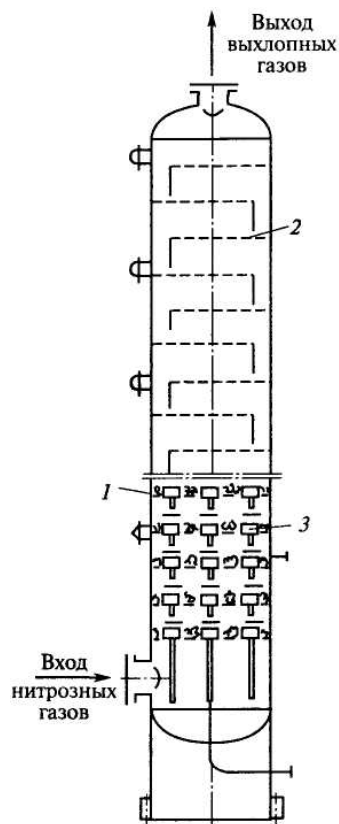


Рисунок 2.2 – Колонна для абсорбции нитрозных газов

1 – корпус; 2 – ситчатая тарелка; 3 – колпачковая тарелка

Отличительной особенностью данного аппарата является то, что на нескольких нижних тарелках установлены змеевики для отвода тепла.

Снизу колонны подаются нитрозные газы, а сверху вводится поглотитель. Газ движется снизу вверх, противотоком жидкости. При этом идет химическая реакция оксида азота с водой с образованием разбавленной азотной кислоты:



Применение ситчатых тарелок для колонны объясняется простотой их конструкции и возможностью легкой замены полотна тарелки при ремонте оборудования. В нижней части колонны установлены две колпачковые тарелки, т.к. они обеспечивают большую степень контакта фаз по сравнению с ситчатыми [2]

		N				18

2.2 Технологический расчет

2.2.1 Исходные данные к расчету

Согласно заданию на проектирование, исходными данными для расчета абсорбера являются следующие величины

Таблица 2.1 – Исходные данные к расчету колонны

Наименование показателя	Обозначение	Величина
Расход газовой смеси при рабочих условиях	V_r	11 м ³ /с
Температура газовой смеси	t_r	50 °С
Давление газовой смеси	P_r	0,63 МПа
Состав газовой смеси (об.)		
NO ₂	Y_1	7,66 %
NO	Y_2	0,64 %
O ₂	Y_3	6,35 %
N ₂	Y_4	82,2 %
H ₂ O	Y_5	3,15 %
Степень окисления оксидов азота в кислоту	α	0,92
Концентрация продукционной азотной кислоты	ψ	58%
Рабочая температура	t_p	30 °С

В типовой технологической схеме присутствуют 5 одинаковых колонн. Прием по аналогии с производством 5 аппаратов. Тогда расход газа в каждом аппарате

$$V_r = 11 / 5 = 2.2 \text{ м}^3/\text{с}$$

Схема к технологическому расчету приведена на рисунке 2.4.

$P_{\text{н.у.}} = 0,1013 \text{ МПа}$ – давление н.у.

$T_r = t_r + 273 = 303 \text{ К}$ – температура газовой смеси

$$G_r = \frac{2,2}{22,4} \frac{0,63 \times 273}{0,1013 \times 303} = 516 \text{ моль/с} = 1858 \text{ кмоль/ч}$$

Расход каждого компонента

$$VG_{\text{H}} := G_r \cdot Y_{\text{VH}} = 1858 \times \begin{pmatrix} 0,0766 \\ 0,064 \\ 0,0635 \\ 0,8220 \\ 0,0315 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 142 \\ 12 \\ 118 \\ 1527 \\ 59 \end{pmatrix} \text{ кмоль/ч}$$

Массовый расход

$$G_M = VG_{\text{H}} M$$

где M – мольная масса вещества.

$$M(\text{NO}_2) = 14 + 16 \times 2 = 46 \text{ кг/кмоль}$$

$$M(\text{NO}) = 14 + 16 = 30 \text{ кг/кмоль}$$

$$M(\text{O}_2) = 16 \times 2 = 32 \text{ кг/кмоль}$$

$$M(\text{N}_2) = 14 \times 2 = 28 \text{ кг/кмоль}$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 1 \times 2 + 16 = 18 \text{ кг/кмоль}$$

Тогда

$$G_M(\text{NO}_2) = 142 \times 46 = 6547 \text{ кг/ч}$$

$$G_M(\text{NO}) = 12 \times 30 = 357 \text{ кг/ч}$$

$$G_M(\text{O}_2) = 118 \times 32 = 3776 \text{ кг/ч}$$

$$G_M(\text{N}_2) = 1527 \times 28 = 42765 \text{ кг/ч}$$

$$G_M(\text{H}_2\text{O}) = 59 \times 18 = 1054 \text{ кг/ч}$$

Общий массовый расход смеси

$$G_M = G_M(\text{NO}_2) + G_M(\text{NO}) + G_M(\text{O}_2) + G_M(\text{N}_2) + G_M(\text{H}_2\text{O}) = \\ 6547 + 357 + 3776 + 42765 + 1054 = 54498 \text{ кг/ч} = 15,14 \text{ кг/с}$$

Плотность исходного газа

$$\rho_r = \frac{G_M}{V_r} = 15,14 / 2,2 = 6,88 \text{ кг/м}^3$$

		N				22

Расход воды на разбавление

$$G_{\text{ВЗ}} := G_{\text{К}} \cdot \left(\frac{1}{\psi} - 1 \right) = 8250 \times \left(\frac{1}{0.58} - 1 \right) = 5974 \text{ кг/ч}$$

Мольный расход воды на разбавление

$$G_{\text{МВЗ}} = G_{\text{ВЗ}} / M(\text{H}_2\text{O}) = 5974 / 18 = 332 \text{ кмоль/ч}$$

Полный расход воды

$$G_{\text{В}} := G_{\text{ВЗ}} + G_{\text{ВР}} = 1179 + 5974 = 7153 \text{ кг/ч}$$

Мольный расход

$$G_{\text{МВ}} = G_{\text{В}} / M(\text{H}_2\text{O}) = 7153 / 18 = 397 \text{ кмоль/ч}$$

Мольный расход оксида азота (IV) в газе, покидающем адсорбер

$$n_{\text{NO}_{2\text{ВЫХ}}} = n_{\text{NO}_{2\text{ВХ}}} - n_{\text{NO}_{2\text{Р}}} = 142 - 131 = 11 \text{ кмоль/ч}$$

Мольный расход кислорода в газе, покидающем адсорбер

$$n_{\text{O}_{2\text{ВЫХ}}} = n_{\text{O}_{2\text{ВХ}}} - n_{\text{O}_{2\text{Р}}} = 118 - 33 = 85 \text{ кмоль/ч}$$

Расход газа, выходящего из абсорбера

$$G_{\text{ВЫХ}} = n_{\text{NO}_{2\text{ВЫХ}}} + n_{\text{NO}_{\text{ВХ}}} + n_{\text{O}_{2\text{ВЫХ}}} + n_{\text{N}_{2\text{ВХ}}} + n_{\text{H}_2\text{O}_{\text{ВХ}}} = \\ 11 + 12 + 85 + 1527 + 59 = 1694 \text{ кмоль/ч}$$

2.2.4 Материальный баланс колонны

Расход вещества, подаваемого в колонну

$$\text{сырье: } G_{\text{Г}} = 1858 \text{ кмоль/ч}$$

$$\text{вода: } G_{\text{МВ}} = 397 \text{ кмоль/ч}$$

Расход сырья, покидающего колонну

$$\text{кислота + вода: } G_{\text{ОСТ}} = G_{\text{МВЗ}} + G_{\text{К}} = 131 + 397 = 528 \text{ кмоль/ч}$$

$$\text{газ: } G_{\text{ВЫХ}} = 1694 \text{ кмоль/ч}$$

Баланс по веществу

$$G_{\text{Г}} + G_{\text{МВ}} = G_{\text{ОСТ}} + G_{\text{ВЫХ}}$$

$$1858 + 397 = 528 + 1694$$

$$2235 = 2222$$

Незначительное расхождение связано с погрешностями в расчетах при округлении величин.

		N				24

2.2.6 Определение скорости газа и диаметра абсорбера

В аппарате установлены два типа тарелок – ситчатые и колпачковые. Выполним расчет допустимой скорости газа для колпачковой тарелки.

Для колпачковых тарелок предельно допустимую скорость рекомендуется рассчитывать по уравнению [3]

$$w_{\text{lim}} = \frac{0,0155}{d_k^{2/3}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{г}}} h_k}$$

где d_k – диаметр колпачка, принимаем $d_k = 80$ мм [4, табл. 24.1];

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости на тарелке, кг/м³;

$\rho_{\text{г}}$ – плотность газовой фазы на тарелке, кг/м³;

h_k – расстояние от верхнего края колпачка до вышележащей тарелки, м.

Плотность поглотителя (воды) примем в соответствии со справочными данными [3, табл. XXXIX]

$$\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/м}^3$$

Расстояние от верхнего края колпачка до вышележащей тарелки ориентировочно

$$h_k = h_t - d_k$$

где h_t – расстояние между тарелками колонны, принимаем в соответствии со справочными данными $h_t = 800$ мм [4, табл. 24.1].

Тогда

$$h_k = 800 - 80 = 720 \text{ мм}$$

Соответственно, предельно допустимая скорость газа

$$w_{\text{lim}} = \frac{0,0155}{0,080^{2/3}} \sqrt{\frac{1000}{6,88} \times 0,72} = 0,854 \text{ м/с}$$

Выбор рабочей скорости газа обусловлен многими факторами. В общем случае ее находят путем технико-экономического расчета для каждого конкретного процесса. Транспортировка больших объемов газа через них требует повышенного избыточного давления и, следовательно, значительных энергозатрат.

В большинстве случаев рабочую скорость газа принимают равной $0,7 \div 0,9$ от предельной [4]. Рабочая скорость газа в колонне

$$w = 0,8 w_{\text{lim}} = 0,8 \times 0,854 = 0,683 \text{ м/с}$$

		N				26

Определим высоту абсорбера. Схема к расчету приведена на рисунке 2.5.

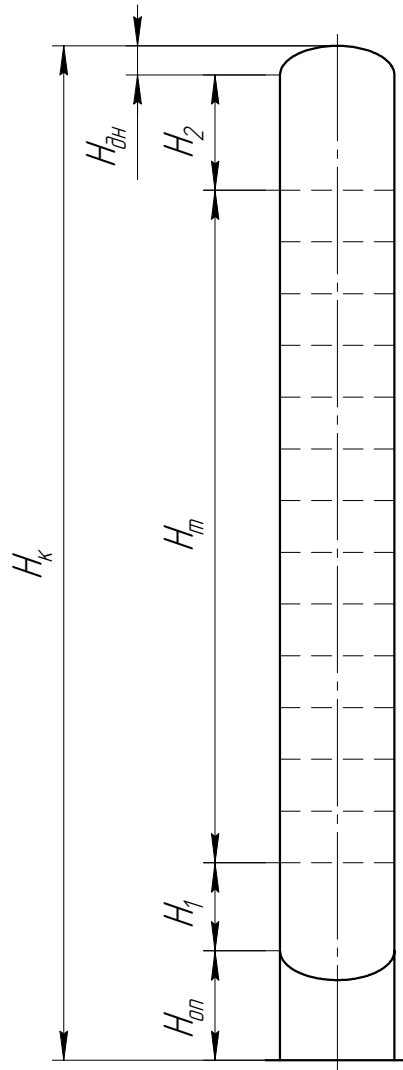


Рисунок 2.5 – Схема к расчету высоты абсорбера

Высота, занимаемая тарелками

$$H_T = (N_T - 1) h_T = (20 - 1) \times 0,800 = 15,2 \text{ м}$$

Принимаем высоту от верхней тарелки до верхнего днища

$$H_2 = 1,8 \text{ м}$$

Принимаем высоту от нижнего днища до нижней тарелки

$$H_1 = 1,8 \text{ м}$$

Принимаем высоту опоры

$$H_{оп} = 2,7 \text{ м}$$

Высота стандартного эллиптического днища

$$H_{дн} = D/4 = 2,2 / 4 = 0,6 \text{ м}$$

Тогда ориентировочная высота аппарата

$$H = H_{оп} + H_1 + H_T + H_2 + H_{дн} = 2,7 + 1,8 + 15,2 + 1,8 + 0,6 = 22,1 \text{ м}$$

		N				28

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости на тарелке, кг/м³;

$e = h_{к} - h_{пер} = 55 - 20 = 35$ мм – расстояние от верхнего края прорезей до сливного порога;

$\Delta h = h_{п} - h_{пер}$ – высота перепада уровня жидкости, м;

$h_{п}$ – высота газожидкостного слоя

$$h_{п} := \frac{h_0}{1 - \varepsilon}$$

где h_0 – высота уровня спокойной (невспененной жидкости), м;

ε – газосодержание слоя

$$\varepsilon := \frac{\sqrt{Fr}}{1 + \sqrt{Fr}}$$

где Fr – критерий Фруда

$$Fr := \frac{w^2}{g \cdot h_0}$$

Высота уровня спокойной жидкости определяется по эмпирической формуле, приведенной в [4]

$$h_0 = 0,0419 + 0,19 h_{пер} - 0,0135 \sqrt{\rho_{г}} + 2,46q$$

где $q = 1,70$ м³/(м×ч) – расход поглотителя на единицу длины периметра слива.

Высота уровня спокойной жидкости

$$h_0 = 0,0419 + 0,19 \times 0,055 - 0,0135 \sqrt{6,88} + 2,46 \times 1,70 = 0,0417 \text{ м} = 42 \text{ мм}$$

Критерий Фруда

$$Fr = \frac{0,851^2}{9,81 \times 0,0417} = 1,771$$

Газосодержащие слоя

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{1,771}}{1 + \sqrt{1,771}} = 0,571$$

Высота газожидкостного слоя (пены)

$$h_{п} = \frac{0,0417}{1 - 0,571} = 0,0971 \text{ м} = 98 \text{ мм}$$

Высота перепада уровня жидкости

$$\Delta h = 98 - 55 = 43 \text{ мм}$$

		N				30

После определения $D_{шр}$ осуществляется подбор стандартного диаметра $D_{ш}$ и определение действительной скорости потока среды в штуцере:

$$w = \frac{4V}{\pi D_{ш}^2}$$

При выходе действительной скорости за границы допустимой осуществляют выбор другого диаметра и повторный расчет действительной скорости потока.

Таблица 2.3 – Характеристика основных штуцеров колонны

Расчетный параметр	Ввод газа	Вывод газа	Ввод поглотителя	Вывод кислоты
Расход потока, кмоль/ч	1858	1694	397	528
Объемный расход, м ³ /с	1,156	1,055	0,00199	0,00484
Рекомендуемая скорость, м/с	15,00	10,00	1,0	0,50
Рассчитанный диаметр, м	0,313	0,366	0,051	0,111
Принятый диаметр, м	0,300	0,350	0,100	0,150
Действительная скорость, м/с	16,4	11,0	0,25	0,27

2.2.10 Расчет вспомогательного оборудования

Расчет насоса для подачи поглотителя вверх колонны. Схема к расчету приведена на рисунке 2.5. Принимаем одинаковый диаметр для всасывающего и нагнетательного трубопровода. В соответствии с рекомендациями [4] принимаем скорость движения воды в трубопроводе

$$w = 2 \text{ м/с}$$

Тогда диаметр трубопровода

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0,00199}{3,14 \times 2}} = 0,0268 \text{ м}$$

Принимаем трубу с внутренним диаметром 25 мм и толщиной стенки 2 мм. Тогда действительная скорость воды в трубопроводе

$$w = \frac{4L}{\pi d^2} = \frac{4 \times 0,00199}{3,14 \times 0,025^2} = 2,30 \text{ м/с}$$

В рассматриваемом случае имеем зону смешанного трения, поскольку

$$100/\epsilon < Re < 560 / \epsilon$$

$$100 / 0,0032 < 64146 < 560 / 0,0032$$

$$31250 < 64146 < 175000$$

Для этой зоны значение коэффициента трения [3]

$$\lambda = 0.11 (\epsilon + 68 / Re)^{0.25} = 0,11 \times (0,0032 + 68 / 64146)^{0.25} = 0,0281$$

Определим сумму коэффициентов местных сопротивлений [3]

1. выход из штуцера в аппарат: $\xi = 1$
2. колено с углом 90° при $d = 25$ мм (два поворота): $\xi = 2 \times 2 = 4$
3. вентиль прямооточный при полном открытии для $d = 25$ мм: $\xi = 1,04$

Сумма коэффициентов

$$\sum \xi_i = 1 + 4 + 1,04 = 6,04$$

Расчетная высота аппарата составляет 23 м. Принимаем длину подающего трубопровода 25 м. Тогда напора от перемещения жидкости в нагнетательной линии $h_{\text{тр+мс}}$

$$h_{\text{тр+мс}} = \left(\lambda \frac{1}{d_3} + \sum \xi_{\text{м.с.}} \right) \frac{\omega^2}{2g} = \left(0,0281 \times \frac{25}{0,025} + 6,04 \right) \frac{2,30^2}{2 \times 9,81} = 7,69 \text{ м}$$

Необходимый напор насоса

$$H = \frac{p_2 - p_1}{g \rho} + h_{\text{тр+мс}} + h_r$$

где p_2 – давление в абсорбере, $p_2 = 1,47 \times 10^5$ Па;

p_1 – давление перед всасывающим патрубком, $p_1 = \text{атм} = 1,01 \times 10^5$ Па;

h_r – геометрическая высота подъема жидкости, принимаем $h_r = 15$ м.

Соответственно

$$H = \frac{1,47 \times 10^5 - 1,01 \times 10^5}{9,81 \times 997} + 7,69 + 15 = 27,4 \text{ м}$$

Высота аппарата меньше, чем 27 м, следовательно, расчеты выполнены верно. Такой напор можно обеспечить одноступенчатым центробежным насосом.

Полезная мощность насоса

$$N_{\text{п}} = \rho g L H = 997 \times 9,81 \times 0,00113 \times 27,4 = 3200 \text{ Вт} = 3,2 \text{ кВт}$$

		N				34

3.1 Описание конструкции аппарата

Конструкция аппарата показана на рисунке 3.1.

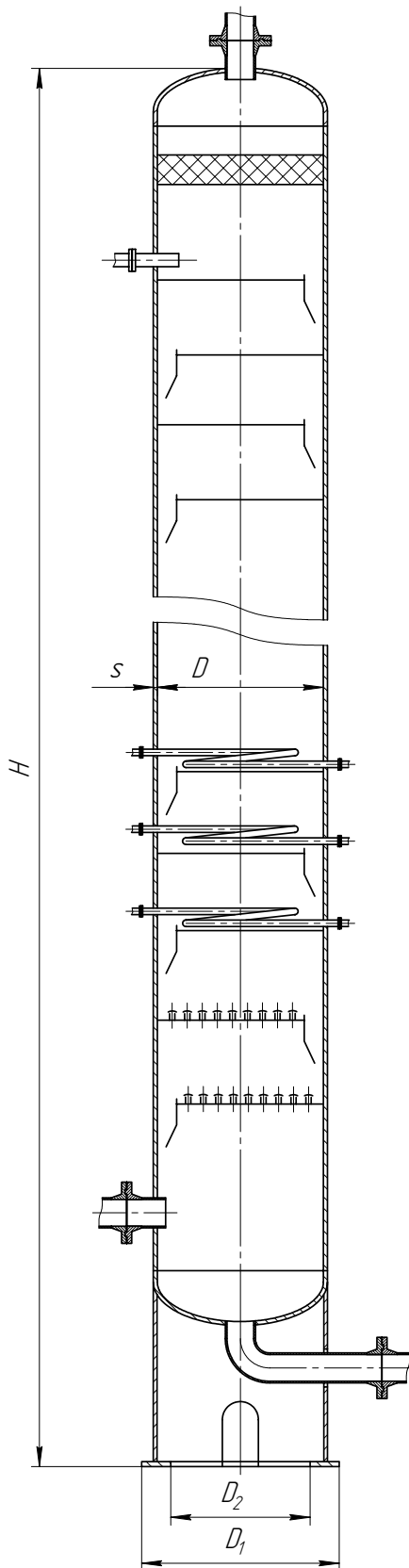


Рисунок 3.1 – Конструкция аппарата

	N			

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 не более 0,63 МПа $n_T = 1,65$ [6, табл. 14.6].

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

$$\sigma^* = \min \left\{ \frac{532}{2,6}; \frac{292}{1,65} \right\} = \min \{205; 177\} = 177 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{20}^* = \min \left\{ \frac{540}{2,6}; \frac{300}{1,65} \right\} = \min \{208; 182\} = 182 \text{ МПа}$$

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

$$[\sigma] = \eta \sigma^*, [\sigma]_{20} = \eta \sigma_{20}^*$$

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

$$[\sigma] = 1,0 \cdot 177 = 177 \text{ МПа}, [\sigma]_{20} = 1,0 \cdot 182 = 182 \text{ МПа}.$$

Допускаемое напряжение при гидроиспытаниях

$$[\sigma]_{и} = \sigma_{T20} / 1,1 = 300 / 1,1 = 273 \text{ МПа}$$

Значение модуля упругости и коэффициента линейного расширения для такой стали составят

$$E = 2,0 \cdot 10^5 \text{ МПа}, \alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}.$$

3.3 Расчет обечайки

Схема к расчету обечайки на прочность приведена ниже на рисунке 3.2

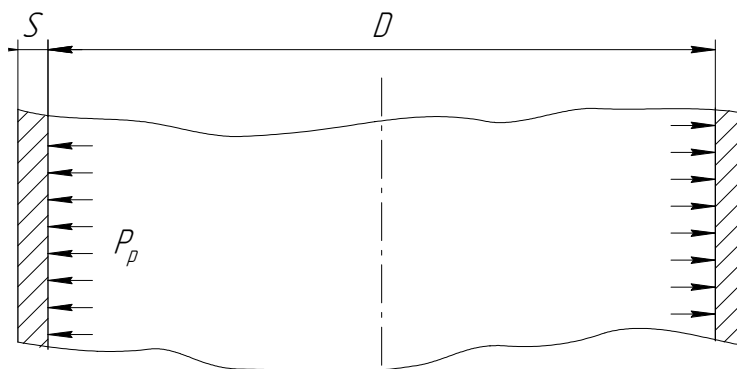


Рисунок 3.2 – Схема к расчету обечайки колонны

где $c_1 = Pt + c_3$ – прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;

P – скорость коррозии, для выбранного материала $P = 0,05$ мм/год;

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

c_2 – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

c_3 – технологическая прибавка, мм.

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии

$$c_1 = 0,05 \cdot 15 + 0 = 0,75 \text{ мм.}$$

При листовом прокате и сварной обечайке $c_2 = 0$ мм и $c_3 = 0$ мм [7, с. 16]. Поэтому

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

Прибавку c_0 примем равной 0,35 мм. Соответственно исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки составит

$$s = 5,90 + 0,75 + 0,35 = 8,0 \text{ мм.}$$

В отечественном машиностроении абсорбционные колонны диаметром более 2000 мм с толщиной стенки менее 10 мм не используются из соображений жесткости. Примем исполнительную толщину стенки $s = 10$ мм.

Допускаемое давление в рабочем состоянии и при испытаниях

$$[p] = \frac{2\phi[\sigma](s - c)}{D + s - c} = \frac{2 \cdot 1,0 \cdot 177 \cdot (10 - 0,75)}{2200 + 10 - 0,75} = 1,41 \text{ МПа}$$

$$[p]_{\text{и}} = \frac{2\phi[\sigma]_{\text{и}}(s - c)}{D + s - c} = \frac{2 \cdot 1,0 \cdot 273 \cdot (10 - 0,75)}{2200 + 10 - 0,75} = 2,17 \text{ МПа}$$

Как видно, оно не меньше соответствующих расчетных давлений.

3.4 Расчет днища

Схема к расчету эллиптического днища приведена на рисунке 3.3.

Исполнительную толщину стенки стандартного эллиптического днища рассчитывают по формуле

$$s_{\text{эп}} = \max \left(\frac{p_p D}{2\phi[\sigma] - 0,5p_p}, \frac{p_{\text{и}} D}{2\phi[\sigma]_{\text{и}} - 0,5p_{\text{и}}} \right) = \max \left(\frac{0,63 \times 2200}{2 \cdot 1,0 \cdot 177 - 0,5 \times 0,63}, \frac{0,93 \cdot 2200}{2 \cdot 1,0 \cdot 273 - 0,5 \cdot 0,93} \right) = \max \left(\begin{matrix} 5,90 \\ 5,10 \end{matrix} \right) = 5,90 \text{ мм}$$

$$s_3 = s_{\text{эп}} + c + c_0 = 5,90 + 0,75 + 0,51 = 7,16 \text{ мм}$$

		N				40

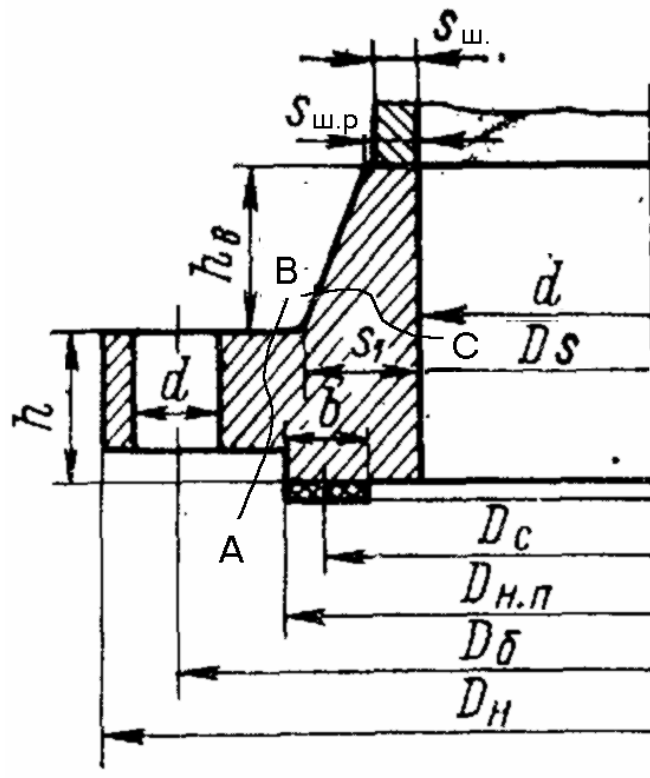


Рисунок 3.4 – Схема к расчету фланца

Принимаем $h_b = 75$ мм. Диаметр болтовой окружности фланцев

$$D_b \geq D + 2(s_0 + d_b + u)$$

где d_b – наружный диаметр болтов, для проектируемого фланца рекомендуемый диаметр болтов составляет 20 мм [6, т. 1.40]; u – нормативный зазор между гайкой и втулкой, $u = 5$ мм [6, с. 95]. Соответственно

$$D_b = 2200 + 2 \times (5 + 20 + 5) = 2290 \text{ мм}$$

Наружный диаметр фланца

$$D_n = D_b + a$$

где a – конструктивная добавка для размещения гаек по периметру, $a = 40$ мм [6, т. 1.41]. Итого

$$D_n = 2290 + 40 = 2350 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр прокладки

$$D_{нп} = D_b - e$$

где e – нормативный параметр, зависящий от типа прокладки, для плоских прокладок и $d_b = 20$ мм $e = 40$ мм. Тогда

$$D_{нп} = 2290 - 40 = 2250 \text{ мм.}$$

Средний диаметр прокладки

$$D_{сп} = D_{нп} - b$$

При расчете аппарат разбивается на некоторое число вертикальных элементов и для каждого определяется действующая на него сила от ветра. Затем рассчитывается момент, воспринимаемый опорой.

Поскольку расчет достаточно трудоемок, выполним его с применением ЭВМ. Далее описывается методика расчета, реализованная в программе MathCAD и дается сводная таблица результатов вычислений. Схема к расчету аппарата приведена на рисунке 3.5.

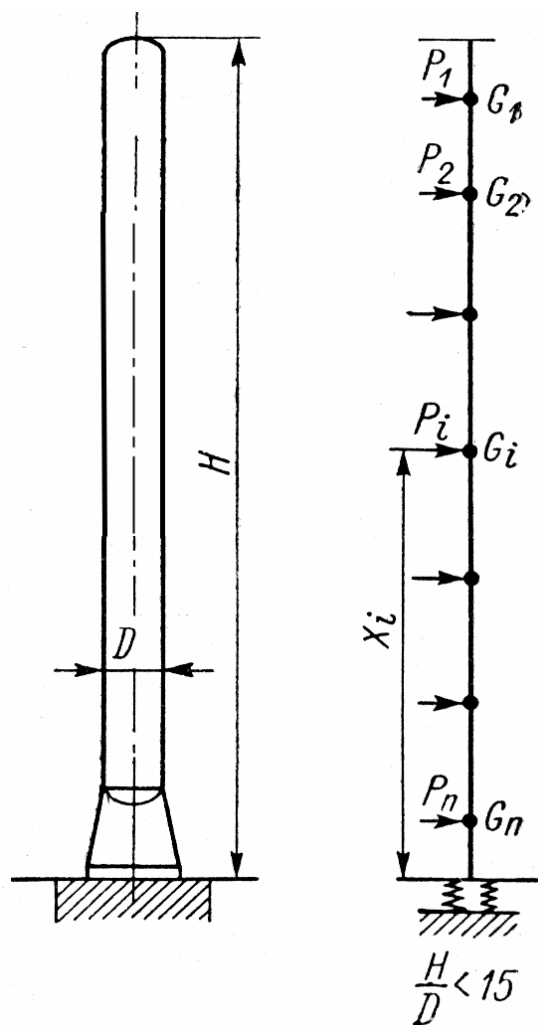


Рисунок 3.5 – Схема к расчету аппарата на ветровую нагрузку

3.6.2 Определение массы аппарата

Массу аппарата определяют для двух случаев: при монтаже и в рабочих условиях. Масса аппарата при монтаже

$$G_{\text{монт}} := G_{\text{об}} + G_{\text{тар}} + G_{\text{ву}}$$

где $G_{\text{об}}$ – масса обечайки, МН;

		N			

$$m(h) := \begin{cases} 0.35 & \text{if } h < 20\text{м} \\ 0.21 & \text{if } h > 100\text{м} \\ 0.35 + (h - 20\text{м}) \cdot \frac{0.21 - 0.35}{100\text{м} - 20\text{м}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Момент инерции колонны

$$J_K := \frac{\pi}{8} \cdot (D + 2s)^3 \cdot s$$

Момент инерции подошвы фундамента

$$J_\Phi := 1.3J_K$$

Угол поворота опорного сечения

$$\varphi_0 := \frac{1}{C_\Phi \cdot J_\Phi}$$

где C_Φ – коэффициент неравномерности сжатия грунта, $C_\Phi = 50 \text{ МН/м}^3$ [6].

Период колебаний аппарата для $H/D = 23000/2200 = 10.5 < 15$

$$T := 1.79 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{G}{g} \cdot \left(\frac{H}{E_t \cdot J_K} + 4 \cdot \varphi_0 \right)}$$

Интерполяция кубическим сплайном графической зависимости [6, рис. 29.16]

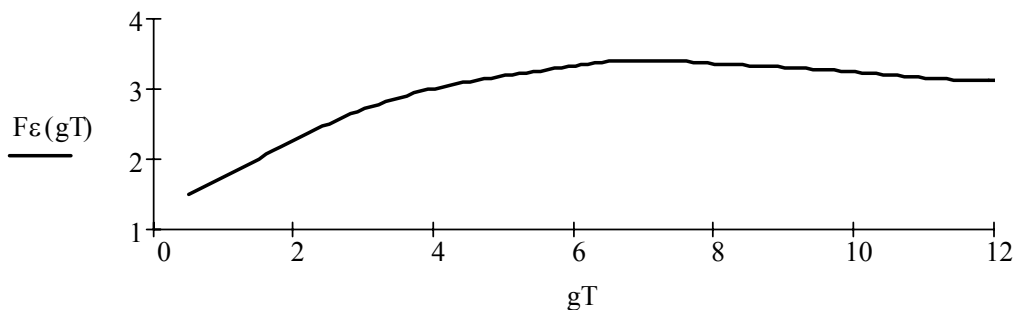
$$vT := (0.5 \ 1.5 \ 2.5 \ 4.0 \ 5.5 \ 7.0 \ 8.0 \ 9.0 \ 11.0 \ 12.0) \text{с}^T$$

$$v\varepsilon := (1.50 \ 2.00 \ 2.50 \ 3.00 \ 3.25 \ 3.40 \ 3.35 \ 3.30 \ 3.15 \ 3.10) \text{Т}$$

$$v\varepsilon T := \text{cspline}(vT, v\varepsilon)$$

$$F\varepsilon(T) := \text{interp}(v\varepsilon T, vT, v\varepsilon, T)$$

$$gT := 0.5, 0.6.. 12$$



Коэффициент увеличения скоростного напора

$$\beta_i := 1 + \varepsilon \cdot m(h_i)$$

Сила, действующая на i-й участок аппарата

		N				46

$$F := \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2) = 3.14 / 4 \times (2.52^2 - 2.14^2) = 1.391 \text{ м}^2$$

Момент инерции опорного кольца

$$W := \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_1^4 - D_2^4}{D_1} = \frac{3.14}{32} \frac{2.52^4 - 2.14^4}{2.52} = 0.754 \text{ м}^3$$

Напряжение в материале фундамента

$$\sigma := \frac{G_{\max}}{F} + \frac{M_{\max}}{W} = \frac{0.1699}{1.394} + \frac{34.235}{0.754} = 45.525 \text{ МПа}$$

Выбираем установку опоры на стальной фундамент, для которого допускаемое напряжение $[\sigma]_{\phi} = 200 \text{ МПа}$ [6, табл. 29.1]

Проверка устойчивости аппарата

$$\sigma_x := \frac{G_{\max}}{F} - \frac{M_{\max}}{W} = \frac{0.1699}{1.394} - \frac{34.235}{0.754} = -45.281 \text{ МПа} < 0 \text{ МПа}$$

Т.к. получено отрицательное значение, то аппарат неустойчив, значит необходима его фиксация фундаментными болтами. Нагрузка на фундаментные болты

$$P_{\phi} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2) \cdot \sigma = 3.14 / 4 \times (2.52^2 - 2.14^2) \times 45,525 = 63,315 \text{ МН}$$

Принимаем число болтов

$$z := 80$$

Тогда нагрузка на один болт

$$P_{\phi 1} := \frac{P_{\phi}}{z} = 63,315 / 80 = 0.791 \text{ МН}$$

Расчетный диаметр болтов

$$d_{\phi} := \sqrt{\frac{4P_{\phi 1}}{\pi \sigma_{\phi}}} + 2\text{мм} = \sqrt{\frac{4 \times 0.791}{3.14 \times 537}} + 0.002 = 0.045 \text{ мм}$$

Принимаем

$$d_{\phi} := 48\text{мм}$$

Диаметр болтовой окружности для $d_{\phi} > 30 \text{ мм}$

$$D_{\phi} := D + 2s + 4d_{\phi} = 2,20 + 2 \times 0,01 + 4 \times 0,048 = 2,41 \text{ мм}$$

Тогда уточненный наружный диаметр опорного кольца

$$D_1 := D_{\phi} + 3d_{\phi} = 2,41 + 3 \times 0,048 = 2,56 \text{ м}$$

		N			48

кузове тягача, куда укладываются две царги общей массой $G_o = 2 \times 0,697 = 1,394$ т. Произведем поверочный расчет.

Суммарное сопротивление движению всего транспорта

$$F = 10G_T f_T + 10(G_T + G_o) f_y$$

где G_T – масса тягача, $G_T = 6$ т;

f_T – удельное сопротивление движению тягача, $f_T = 0,015$ [8, т. 30]; f_y – удельное сопротивление движению от уклона дороги, $f_y = 0,15 \times 0,01 = 0,0015$ [8, с. 268].

Итого

$$F = 10 \times 6 \times 0,015 + 10 \times (6 + 1,394) \times 0,0015 = 0,100 \text{ кН.}$$

Необходимое усилие для страгивания тягача с места

$$F_T = 1,5F = 1,5 \times 0,100 = 0,150 \text{ кН}$$

Сила тяги выбранного тягача по мощности двигателя на ведущих колесах автомобиля

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

где N – мощность двигателя, $N = 132$ кВт [8, т. 28];

η – КПД двигателя и силовой передачи, для автомашин $\eta = 0,85$ [8, с. 268];

v – скорость движения, $v = 75$ км/ч [8, т. 28].

Итого

$$F_d = 3,67 \frac{132 \times 0,85}{75} = 5,49 \text{ кН}$$

Сила тяги тягача по сцеплению с дорогой

$$F_c = 10G_c \phi$$

где G_c – сцепная масса тягача, обеспечивающая надежное сцепление его с поверхностью земли, для автомашин $G_c = 0,65G_T = 0,65 \times 6 = 3,9$ т [8, с. 268];

ϕ – коэффициент сцепления колес автомашины с покрытием дороги, $\phi = 0,85$ [8, т. 33]. Тогда

$$F_c = 10 \times 3,9 \times 0,85 = 33,15 \text{ кН.}$$

Условие правильности подбора тягача

$$F_d \leq F_c \text{ и } F_T \leq \min \{F_d; F_c\}$$

$$5,49 \leq 33,15 \text{ и } 0,150 \leq \min \{5,49; 33,15\}$$

Оба условия выполняются, поэтому тягач выбран верно.

		N				50

Согласно приведенным рекомендациям, принимаем схему монтажа методом скольжения двумя монтажными мачтами (см. рисунок 4.1).

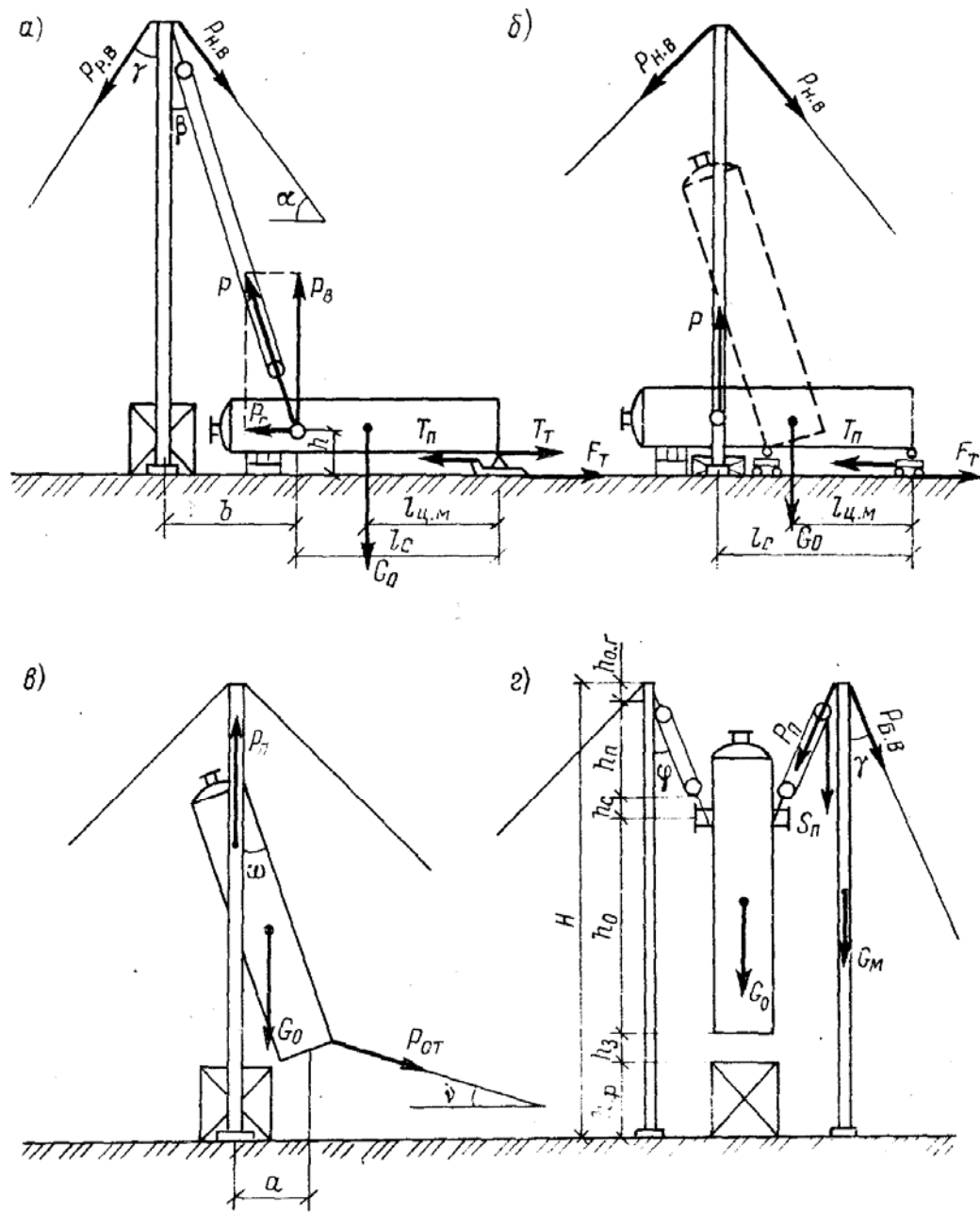


Рисунок 4.1. Схема монтажа оборудования

методом скольжения двумя монтажными мачтами

а), б) – положение колонны перед первым этапом; в), г) – положение колонны перед вторым этапом

Этот метод обычно используется для подъема высотного вертикального оборудования, когда грузоподъемность и высота монтажных мачт или портала обеспечивают установку его в проектное положение. Преимуществом метода скольжения является возможность установки оборудования на фундаменты или постамен-

меняются стальные канаты. Они используются для изготовления стропов и грузовых подвесок, в качестве расчалок, оттяжек и тяг, а также для оснастки полиспастов, лебедок и монтажных кранов.

Стальные канаты рассчитываются на прочность путем определения максимальных расчетных усилий в ветвях, умножения их на коэффициент запаса прочности и сравнения полученных значений с разрывным усилием каната в целом. При этом расчетные усилия, действующие на канат, включают нормативные нагрузки без учета коэффициентов перегрузки и динамичности от массы поднимаемых грузов вместе с монтажными приспособлениями и усилий в оттяжках, тягах.

Определение мест строповки оборудования. Для захвата различных грузов, оборудования и конструкций грузоподъемными механизмами применяются специальные устройства. Учитывая большое разнообразие массы, габаритов, конфигурации, прочности и расположения точек строповки монтируемого оборудования, а также конкретные условия подъема, в монтажной практике используется большое количество хватных устройств, расчет которых имеет определенные особенности.

При монтаже часто приходится определять положение центра массы различных видов технологического оборудования. Как правило, это связано с решением вопросов о способах и местах строповки как горизонтальных, так и вертикальных цилиндрических аппаратов, а также оборудования сложной конфигурации. Если не учитывать положения центра массы поднимаемого оборудования, то возможны перегрузка отдельных грузоподъемных средств и ветвей стропов, потеря устойчивости и опрокидывание поднимаемого аппарата.

Расчет монтажных штуцеров. Для строповки вертикальных цилиндрических аппаратов при их подъеме и установке на фундамент часто применяются монтажные (ложные) штуцера. Они представляют собой стальные патрубки различных сечений, привариваемые торцом в виде консоли к корпусу аппарата на его образующей по диаметрали. Для увеличения жесткости внутри штуцера могут быть вварены ребра из листовой стали. Для устранения трения между стропом и штуцером при наклонах аппарата на штуцер надевается свободный патрубок большого диаметра; для предохранения стропа от соскальзывания внешнему тор-

		N				54

Проверяем прочность сварного кольцевого шва, крепящего монтажный штуцер к аппарату:

$$\frac{N_r}{\beta h_{ш} l_{ш}} + \frac{M}{\beta h_{ш} \pi r^2} \leq m R_y^{св}$$

где β - коэффициент, учитывающий глубину провара (для автоматической сварки $\beta = 1,0$ [8, с. 68]);

r – радиус штуцера, $r = 50$ см;

$h_{ш}$ —толщина шва, $h_{ш} = 12$ мм [8, с. 68];

N_r – горизонтальная составляющая усилия N ,

$$N_r = N \sin(15) = 71,5 \times 0,259 = 23,3 \text{ кН}$$

Итого

$$\frac{23,3}{1,0 \times 12 \times 0,3} + \frac{27}{0,7 \times 12 \times \pi \times 0,5^2} \leq 1 \times 50$$
$$13,3 \leq 50$$

Следовательно монтажный шов выдержит.

Расчет и подбор полиспастов. Полиспаст является простейшим грузоподъемным устройством, состоящим из двух блоков, оснащенных стальным канатом, начальный конец которого закрепляется к одному из блоков, другой конец каната, проходя последовательно через ролики блоков в виде сбегающей ветви, идет на барабан лебедки. Полиспаст предназначен для подъема и перемещения грузов, оборудования и конструкций, а также для натяжения грузовых канатов, вант и оттяжек в том случае, когда масса поднимаемого оборудования или натяжения канатов превышает тяговые усилия лебедок.

Принцип расчета полиспастов сводится к подсчету усилий на блоки полиспаста (по ним находят технические характеристики блоков); расчету каната для оснастки полиспаста с определением технических данных и длины каната; подбору тягового механизма. Усилия на блоки полиспаста складываются из возможных в каждом конкретном случае нагрузок, таких как массы грузов, поднимаемых вместе с монтажными приспособлениями, натяжения грузовых и тяговых канатов, расчалок, вант (коэффициенты перегрузки и динамичности не учитываются). При расчете необходимо принимать во внимание назначение полиспаста (подъем гру-

		N				56

Проверка якоря на сдвиг не выполняется, так как сдвигающее усилие компенсируется реакцией на якорь стенки котлована. Также не требуется проверки якоря на опрокидывание. Это объясняется тем, что опрокидывающий момент, создаваемый тяговым канатом, закрепленным за самый нижний заглубленный блок, значительно меньше удерживающего от массы якоря. Кроме того, якорь, состоящий из блоков, не связанных между собой жестко, не является монолитной конструкцией.

Расчет монтажных мачт. Монтажные мачты нашли широкое применение при монтаже крупногабаритного тяжеловесного оборудования, масса и размеры которого выходят за пределы грузовысотных характеристик стреловых самоходных кранов. Кроме того, мачты используются в тех случаях, когда работа кранов невозможна, т. е. в стесненных условиях монтажа.

Согласно рекомендациям, приведенным в [8], выбираем мачту, сваренную из прокатного профиля – уголка (см. рисунок 4.4).

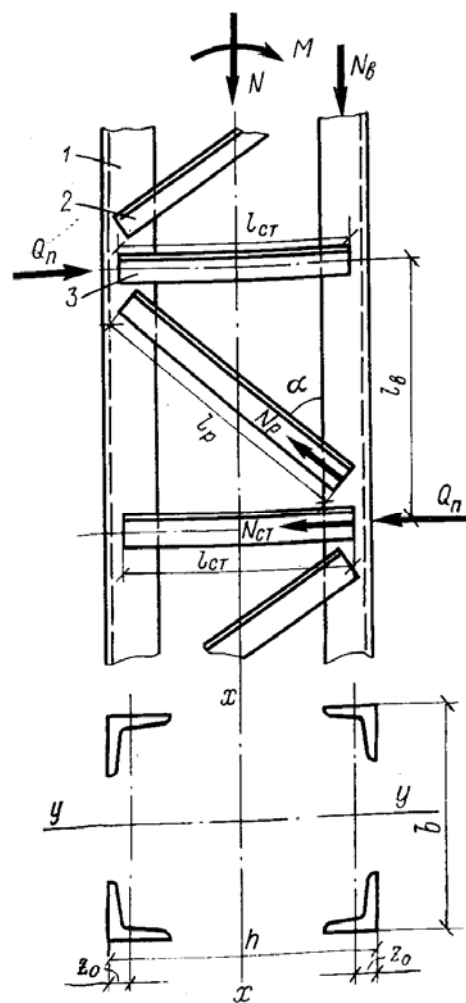


Рисунок 4.4 Схема к расчету монтажной мачты

учет до списания, включая периоды хранения, транспортирования потребителям, использования по назначению и проведения всех видов технического обслуживания и ремонта. Производственная эксплуатация – это одна из фаз технической эксплуатации, заключающаяся в использовании оборудования по назначению.

К эксплуатации технологического оборудования (колонны осушки) допускаются лица, прошедшие обучение по устройству, эксплуатации и техническому обслуживанию оборудования со сдачей экзаменов цеховой комиссии и признанные медицинской комиссией годными для выполнения данной работы. Участие в приеме экзаменов механика цеха и представителя отдела главного механика предприятия обязательно [9].

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).

4.2.2 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.

		N				60

При подготовке оборудования к ремонту необходимо выполнить следующие работы: а) отключить электроэнергию, снять напряжение на сборках и щитах, отсоединить ремонтируемый объект от всех подходящих к объекту и отходящих от него коммуникаций с помощью заглушек; б) освободить оборудование и коммуникации от остатков технологических материалов, грязи и шлама с соответствующей уборкой от них помещения, освободить оборудование от вредных, ядовитых и горючих газов и продуктов (промыть, пропарить, продуть и проветрить); в) очистить приемки, каналы, лотки, промыть канализационные трубопроводы, очистить оборудование от осадка, накипи и твердых отложений; г) проверить содержание инертных, горючих, ядовитых газов и кислорода в ремонтируемом оборудовании, коммуникациях, колодцах и приемках 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.

		N				62

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 абсорбции прием одну из абсорбционных установок для получения азотной кислоты, состоящую из тарельчатой колонны, сепаратора и теплообменника для охлаждения поглотителя (воды).

Показателем эффективности данного процесса является концентрация азотной кислоты в продукте колонны. Уменьшение концентрации вызывает отбраковку продукта, а увеличение – значительное снижение эффективности процесса.

Значение этого параметра должно поддерживаться постоянным, что является целью управления. Задача управления процессом адсорбции заключается в поддержании постоянной температуры продукта, температуры поглотителя и его расхода. Что касается непосредственно колонны абсорбции, то важными параметрами контроля являются давление и температура газа, поступающего в колонну.

Основными возмущающими воздействиями для колонны является изменение состава, расхода, температуры исходного газа, давления в колонне и температура захоленной воды.

Для передачи сигнала на расстояние принимаем по аналогии с существующим промышленным объектом пневматическую систему передачи сигнала на рас-

		N				64

ется вторичным пневматическим прибором ПВ10.1Э, показывающий, регистрирующий.

Датчиком для измерения расхода азотной кислоты выбрана камерная диафрагма ДК6-150, 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 ПВ2-У2.

Для измерения концентрации азотной кислоты выбран датчик ИС-4М, работающий в колоннах с агрессивными средами. Пневматический выходной сигнал воспринимается прибором ПВ2.2.

Температура захоложенной воды, азотной кислоты и выходящего из колонны газа осуществляется с помощью хромель копелевой термопары ТХК, установленной на трубопроводе, сигнал передается на многоточечный потенциометр типа КСП4.

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

		N				66

Продолжение таблицы 5.1.

1	2	3	4	5	6	7
1-3			Щит оператора	Вторичный прибор, показывающий, регистрирующий	ПВ 10	«Тизприбор» г. Москва
2-1	Расход газовой смеси в абсорбер	2,2 м ³ /с		см. пункт 1-1		
2-2				см. пункт 1-2		
2-3				см. пункт 1-3		
3-1	Расход хвостовых газов	1,8 м ³ /с		см. пункт 1-1		
3-2				см. пункт 1-2		
3-3				см. пункт 1-3		
4-1	Расход захоленной воды	0,6 м ³ /с		см. пункт 1-1		
4-2				см. пункт 1-2		
4-3			Щит оператора	Вторичный прибор, показывающий, регистрирующий со станцией управления, расход воздуха 420 л/ч	ПВ 10.1Э	«Тизприбор» г. Москва

№

ДП МАХП МД-011 АПАК 00.00.00 ПЗ

70

1	2	3	4	5	6	7
6-4				см. пункт 4-4		
6-5				см. пункт 4-5		
7-1	Температура азотной кислоты	45 °С		см. пункт 5-1		
7-2				см. пункт 5-2		
7-3				см. пункт 5-3		
9-1	Температура нитрозных газов	65 °С	На трубопроводе	Термопара хромель копельная с пределом измерения 600 °С, сталь 12Х18Н10Т	ТХК	Приборостроительный завод г. Луцк
9-2	Температура азотной кислоты	35 °С		см. пункт 9-1		
9-3			Щит оператора	Многоточечный потенциометр, количество точек измерения до 6	КСП4	«Электроавтоматика» г. Йошкар - Ола
10-1	Давление нитрозных газов	0,65 МПа		Манометр сильфонный с унифицированным пневматическим сигналом 0,02 – 0,1 МПа, класс точности 1	МС – П2	«Манометр» г. Москва

6 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА

Цель дипломного проекта – разработка абсорбера для поглощения нитрозных газов водой и образования азотной кислоты. Проектируемый аппарат, по сравнению с аналогичным оборудованием, позволит увеличить выход азотной кислоты при использовании того же объема нитрозных газов.

Для достижения этой цели в дипломном проекте предусмотрены следующие мероприятия:

1) проанализированы существующие схемы производства азотной кислоты и выбрана установка, обеспечивающая наиболее полное превращение оксидов азота в кислоту (см. раздел 1);

2) выполнены расчеты, определяющие оптимальные параметры для процесса абсорбции нитрозных газов в аппарате (см. раздел 2);

3) для предотвращения разрушения аппарата в рабочих условиях выполнены соответствующие расчеты на прочность (см. раздел 3);

4) для обеспечения безопасного монтажа выполнены расчеты и в соответствии с ними выбрана такелажная оснастка (см. раздел 4);

5) разработана система контроля и автоматизации оборудования, что обеспечивает безопасность обслуживающего персонала и достижение заданной степени очистки при изменяющихся условиях работы аппарата (см. раздел 5);

6) выполнены экономические расчеты, показывающие эффективность принятых решений (см. раздел 7).

Результаты дипломного проекта будут реализованы в природно-климатических условиях города Невинномыска, где климатические факторы, влияющие на рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере, приняты согласно данным Ставропольского краевого центра по гидрометеорологии: средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца $T_{л} = 29,1^{\circ} \text{C}$; средняя максимальная температура наиболее холодного $T_{з} = -4^{\circ} \text{C}$.

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 максимальный вынос оборудования на открытую площадку, 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 азотной кислоты 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. Для обезвреживания кислых стоков производства и разбавления стоков, содержащих значительное количество примесей, не позволяющих подавать их непосредственно на очистительные сооружения предприятия, в составе производства предусмотрены нейтрализатор и усреднитель стоков.
6. 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.

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h до 150 м представляет собой конус. Вершина конуса находится на высоте зоне защиты над землёй $h_o < h$. На уровне земли зона защиты образует круг радиусом r_o . Горизонтальное сечение защиты на высоте защищенного сооружения h_x представляет собой круг радиусом r_x . Высоту одиночного стержневого молниеотвода определяют по формуле

$$h = \frac{r_x + 1,63h_x}{1,5}$$

где $r_x = 2,2$ м – наружный диаметр аппарата; $h_x = 23$ м – общая высота аппарата.

$$h = \frac{2,2 + 1,63 \times 23}{1,5} = 27,2 \text{ м}$$

Высота зоны защиты над землёй составит

$$h_o = 0,85h = 0,85 \times 27,2 = 20,2 \text{ м}$$

Радиус защиты на уровне земли определяется по формуле

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

Площадь зоны защиты молниеотвода от молнии определяется по формуле

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

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

$$R_{СТО} = \frac{0,16 \cdot \rho}{L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L}{0,95 \cdot b} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot b + L}{4 \cdot h - L}$$

Подготовка персонала в действиях чрезвычайной ситуации в мирное время производят через систему гражданской обороны.

Основные задачи гражданской обороны:

1. Защита населения от оружия массового поражения и других средств нападения. Осуществляется проведением комплекса защитных мероприятий. "г
2. Повышение устойчивости работы объектов и отраслей народного хозяйства в условиях военного времени. Достигается заранее проведёнными мероприятиями (организационные, инженерно-технические и др.).
3. Проведение спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ в очагах поражения и зонах затопления.

Наиболее полное и организационное выполнение мероприятий ГО на предприятии достигается заблаговременной разработкой плана мероприятий. Он представляет собой заранее разработанный перечень мероприятий. В нём определяется 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.

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]:

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

где $T_m = 360$ дн. – максимально возможный годовой фонд времени работы оборудования; $\Pi = 13,65$ т/ч – производительность одной единицы оборудования за час. в натуральном выражении.

Уровень использования мощностей за определенный промежуток времени:

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

где $Q = 135000$ т – объем производства; $M = 150000$ т – мощность.

7.4 Организация труда и расчет заработной платы.

Расчет штатов и фонда заработной платы произведен отдельно по:

- 1) Рабочим основного производства;
- 2) рабочим вспомогательного производства, которые включают в себя: рабочих ремонтных цехов, рабочих, обслуживающих оборудование, кладовщиков, лаборантов и т.д.

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

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

$$T_n = \frac{K}{(C_1 - C_2) \cdot V_2} = \frac{151000000}{(3441 - 3240) \cdot 550000} = 5 \text{ лет}$$

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 значительным уменьшением стоимости внедряемого оборудования, а также снижением расходов на оплату труда, снижением цеховых и производственных расходов.

В современных условиях основным источником покрытия затрат, связанных с обновлением основных фондов являются собственные средства организаций. Они накапливаются в течение всего срока службы основных фондов в виде амортизационных отчислений. Капитальные вложения по проектируемому цеху приняты на уровне аналога и составляют 151000000 руб, что совпадает со стоимостью основных производственных фондов (зданий, оборудования проектируемого цеха).

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:

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

$$C = 276259356 \text{ руб.}$$

$$\Pi = 343240644,2 \text{ руб.}$$

7.7 Расчет эффективности использования основных средств

Основные средства – это средства труда, которые неоднократно участвуют в производственном процессе, сохраняя при этом свою натуральную форму, а их стоимость переносится на производимую продукцию частями по мере снашивания. По принципу вещественно-натурального состава они подразделяются на: здания, сооружения, передаточные устройства, машины и оборудование (рабочие и силовые машины и оборудование, измерительные и регулирующие устройства), транспортные средства, инструмент.

Фондовооруженность труда (W) определяется:

$$W = \frac{\Phi}{N}, = \frac{151000000}{271} = 557195.27$$

где Φ – среднегодовая стоимость основных фондов, руб.; N - среднегодовая численность ППП, чел. Фондоотдача (Φ_0):

$$\Phi_0 = \frac{V}{\Phi} = \frac{61950000}{15100000} = 4.1$$

где V – стоимость произведенной за год продукции в натуральном или стоимостном выражении.

7.8 Сводные показатели эффективности проектного решения

В данном разделе рассчитываются комплексные показатели экономического обоснования проекта, такие как рентабельность производства продукции, общая

Общая рентабельность производственных фондов:

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

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 ($151000000 * 0,3 = 45300000$). Простая норма балансовой прибыли:

$$НП_б = \frac{П_б}{ОП_ч}$$

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

$$НП_ч = \frac{П_ч}{ОП_ч}$$

где $П_ч$ – чистая прибыль. Все четыре показателя выражаются в процентах. Большое внимание в условиях рыночной экономики уделяется чистой норме прибыли, которая отражает удельный вес чистой прибыли в каждом рубле оборота.

Простая норма прибыли (ПНП) оценивает ту часть инвестиционных затрат, которая возмещается (возвращается) в виде прибыли в течение установленного периода времени и рассчитывается, исходя из формулы (7), как отношение чистой прибыли (ЧП), полученной за год, к общему объему инвестиционных затрат (ИЗ):

$$ПНП = \frac{ЧП}{ИЗ} = \frac{343240644}{15100000} * 100 = 70\%$$

Результаты расчетов сведены в таблицу.

Точка безубыточности (ТБ) – это минимальный объем производства продукции, при котором обеспечивается нулевая прибыль, т. е. доход от продаж равен издержкам производства. Она определяется по формуле:

$$ТБ = \frac{ПИ}{Ц_y - ПИ_y} = \frac{206578745}{4130 - 464,5} = 56357,6 \text{ т}$$

где ПИ – постоянные издержки;

$Ц_y$ - удельная цена;

					ДП МАХП МД-011 АПАК 00.00.00 ПЗ	86
		N				

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.

					ДП МАХП МД-011 АПАК 00.00.00 ПЗ	88
		N				

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кутепов А. М., Бондарева Т. И., Беренгартен Н. Г., Общая химическая технология, изд. 2-е, перераб. и доп., М.: «Высшая школа», 1990. – 522 с.
2. Скобло А.И. и др. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. – М.: ООО «Недра-Бизнес-центр», 2000. – 677 с.
3. Павлов К.Ф., Романков А.А., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу «Процессы и аппараты химической технологии». – Л.: Химия, 1981. – 552 с.
4. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. / Под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 272 с.
5. Тимонин А.С. основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Справочник. – Калуга: Изд. Н. Бочкаревой, 2002. Т.1, 852 с., т.2, 1028 с., т.3, 968 с.
6. 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 охране труда./Под ред. В.С. Шевцова. – Пятигорск: «Спецпечать», 2002.