

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра "Процеси та обладнання хімічних
і нафтопереробних виробництв"

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра
зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг
обладнання хімічних виробництв"

Тема роботи: Абсорбційно-десорбційна установка. Розробити абсорбційну колону для осушення природного газу

Виконав:
студент групи ХМдн-54чк
Петрич Ігор Костянтинович

підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, ст. викл.

Острога Руслан Олексійович

підпис, дата

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
Освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних виробництв"

Курс 3 Група ХМдн-54чк Семестр 6

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студент Петрич Ігор Костянтинівич

1 Тема проекту: Абсорбційно-десорбційна установка. Розробити абсорбційну колону для осушення природного газу

2 Вихідні дані: Розробити тарілчастий абсорбер установки осушення природного газу продуктивністю 27,78 м³/с. Температура контакту газу в апараті 45°C. Точка роси -5°C; тиск в апараті 10 МПа.

3 Перелік обов'язкового графічного матеріалу (аркуші А1):

- | | |
|--|------------|
| 1. <u>Технологічна схема установки</u> | – 1,0 арк. |
| 2. <u>Складальне креслення апарата</u> | – 1,5 арк. |
| 3. <u>Складальне креслення тарілки</u> | – 1,0 арк. |

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р.О. Острога, М.С. Скиданенко, Я.Е. Михайловський, А.В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Кузнецов А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А.А. Кузнецов, С.М. Кагерманов, Е.Н. Судаков. – Л. : Химия, 1974 – 344 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

Етапи та розділи проектування	ТИЖНІ				
	1	2,3	4,5	6,7	8
1 Вступна частина	x				
2 Технологічна частина		xx			
3 Проектно-конструкторська частина			xx		
4 Розробка креслень				xx	
5 Оформлення записки					x
6 Захист роботи					x

6 Дата видачі завдання

жовтень 2019 р.

Керівник

підпис

ст. викл. Острога Р.О.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 64 с., 7 рис., 12 табл., 3 додатки, 26 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема абсорбційно-десорбційної установки, складальне креслення апарата, складальне креслення ситчато-клапанної тарілки – усього 3,5 аркуша формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Абсорбційно-десорбційна установка. Розробити абсорбційну колону для осушення природного газу».

У роботі наведено теоретичні основи та особливості процесу абсорбції вуглеводневих сумішей, виконані технологічні розрахунки процесу, визначені габаритні розміри апарата, розраховано його гідравлічний опір, обґрунтований вибір матеріалу для виготовлення основних деталей і вузлів апарата, розраховане і вибрано допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи запроєктованого апарата. У додатках представлені комп'ютерні розрахунки проєктованого апарата на міцність із застосуванням ЕОМ (програма Passat). У розділі «Охорона праці» розглянуті фізичні та фізіологічні параметри шуму, його дія на організм людини, а також нормування та методи захисту.

Ключові слова: ОСУШЕННЯ, ПРИРОДНИЙ ГАЗ, ДІЕТИЛЕНГЛІКОЛЬ, ТОЧКА РОСИ, ТЕМПЕРАТУРА, ТИСК, АБСОРБЕР, ШУМ.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми установки	7
1.2 Теоретичні основи процесу	9
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	17
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	20
2.1 Технологічні розрахунки	20
2.2 Конструктивні розрахунки	31
2.3 Гідравлічний опір апарата	36
2.4 Вибір допоміжного обладнання	41
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	43
3.1 Визначення товщини стінки обичайки апарата	43
3.2 Визначення товщини стінки кришки і днища апарата	44
3.3 Розрахунок опори апарата	45
4 Монтаж та ремонт апарата	47
4.1 Монтаж апарата	47
4.2 Ремонт апарата	49
5 Охорона праці	52
Список літератури	62
Додаток А – Визначення числа теоретичних тарілок графічним способом	
Додаток Б – Розрахунки апарата на міцність із застосуванням ЕОМ	
Додаток В – Специфікації до графічної частини	

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Петрич				Лім.	Лист	Листів
Перевір.	Острога				4	64	
Реценз.					Тарілчастий абсорбер Пояснювальна записка СумДУ, ХМдн-54чк		
Н. Контр.							
Затверд.	Склябінський						

Перевагою абсорбційної схеми (концентрація гліколю 96–99 %) є невеликі втрати гліколю. У свою чергу, недолік – це труднощі досягнення точки роси осушуваного газу.

Економічність роботи абсорбційних установок у значній мірі залежить від втрат сорбенту. Для їх зниження, у першу чергу, необхідно строго підтримувати розрахунковий температурний режим десорбера, ретельно сепарувати газ і водяну пару, та, за можливістю, виключити піноутворення при контакті газу з абсорбентом за рахунок введення спеціальних добавок.

Перевага схеми вприскування (концентрація гліколю 70–80 %) – по мірі охолодження газу одночасно знижується і його точка роси, при цьому осушується не тільки газ, а й конденсат, що випадає при охолодженні газу. Недолік схеми вприскування – значні втрати гліколю внаслідок його розчинності у вуглеводневому конденсаті.

У результаті комплексної роботи над проектом закріплюються практичні навички в розрахунках і проектуванні апаратів хімічної технології. Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок із дотриманням нормативних вимог і представленням регламентованих розділів [5].

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

міститься менше метану (30–40 %), але більше його гомологів: етану, пропану, бутану, пентану (60–70 % за об'ємом), та інші гази. Тому хімічною переробкою цих газів можна добути більше речовин, ніж з природного газу [7].

Раніше супутній газ не знаходив застосування і при видобутку нафти його спалювали факельним способом. Тепер його вловлюють і використовують як паливо і цінну хімічну сировину. При переробці попутного нафтового газу спочатку відокремлюють важколетючі вуглеводні – пентан, гексан та ін. Вони разом утворюють так званий газовий бензин, який використовується в якості добавки до звичайних бензинів для кращого їх займання під час запуску двигуна. Потім відокремлюється пропан-бутанова суміш, якою заповнюють балони під тиском. Зріджений газ використовується як газоподібне паливо. «Сухий газ», що залишається після відділення газового бензину і пропан-бутанової суміші, складається в основному з метану і використовується як паливо.

Для хімічної переробки попутного газу відокремлюють індивідуальні вуглеводні: етан, пропан, бутан тощо. Оскільки насичені вуглеводні відносно хімічно інертні і мало придатні для хімічного синтезу, їх перетворюють за допомогою реакцій дегідрування в активні – ненасичені вуглеводні, із яких потім синтезують каучуки і пластмаси. Крім того, окисленням вуглеводнів добувають органічні кислоти, спирти та інші продукти [1, 8].

Видобуток природного газу здійснюється через свердловини. Під шаром газонепроникних порід газ знаходиться в газonosних пластах, що представляють собою шари пористих порід (пісковики, пористі вапняки). Зі свердловини газ надходить до сепараторів, де відбувається первинна очистка газу від механічних домішок. Потім газ осушується, очищується від сірководню, діоксиду вуглецю, одорірується (газу надається специфічний запах за допомогою етил меркаптану – C_2H_5SH) і ще раз очищується від механічних домішок. Потім, якщо газ має достатній тиск, він подається у магістральні газопроводи [2].

Природний газ, який отримується з промислів, містить сторонні домішки: тверді частинки (пісок і окалину), конденсат важких вуглеводнів, водяні пари і часто сірководень і вуглекислий газ. Присутність твердих частинок у газі призводить до швидкого зношування деталей компресорів і не тільки. Тверді

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

частинки засмічують і псують арматуру газопроводу і контрольно-вимірювальні прилади; накопичуючись на окремих ділянках газопроводу, вони звужують його поперечний переріз.

Рідкі частки, осідаючи в знижених ділянках трубопроводу, також викликають зменшення площі його поперечного перерізу. Вони, крім того, надають кородуючу дію на трубопровід, арматуру і прилади.

Сірководень – дуже шкідлива домішка. У кількостях, більших за 0,01 мг на 1 л повітря робочої зони, він отруйний. При промисловому використанні газу сірководень, що міститься в ньому, негативно позначається на якості кінцевої продукції. У присутності вологи сірководень викликає сильну корозію металів [3].

Вимоги до газів, що подаються в магістральні трубопроводи

На даний час основним видом транспортування природного газу є трубопровідний. Газ під надлишковим тиском рухається по трубах діаметром до 1420 мм. По мірі просування газу по трубопроводу він втрачає енергію, долаючи сили тертя як між газом і стінкою труби, так і між шарами газу. Тому через певні проміжки необхідно споруджувати компресорні станції (КС), на яких відбувається дотискання природного газу до потрібних атмосфер. Спорудження і обслуговування трубопроводу досить дороге, але тим не менш – це найбільш дешевий спосіб транспортування газу [2].

Наявність у газі вологи, рідких вуглеводнів, агресивних і механічних домішок знижує пропускну здатність газопроводів, збільшує витрату інгібіторів, підсилює корозію, збільшує необхідну потужність компресорних агрегатів, сприяє забиванню ліній контрольно-вимірювальних і регулюючих приладів тощо. Усе це знижує надійність роботи технологічних систем, збільшує ймовірність аварійних ситуацій на компресорних станціях і газопроводах.

Крім того, пил і механічні домішки сприяють стиранню металу і, осідаючи на поверхні теплообмінних апаратів, погіршують їх теплові характеристики.

Якщо при постійній температурі відбувається зниження тиску газу, то він стає недонасиченим. Виділення крапельної вологи не відбувається. Якщо ж під

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

– при роботі вхідних сепараторів із низькою ефективністю, разом з крапельною рідиною на компресорні агрегати також потрапляють механічні домішки і солі, які, відкладаючись на лопатях, скорочують міжремонтний цикл агрегатів.

Вплив температури на процес поглинання вологи абсорбентом

Температура процесу осушення газу – це один із основних факторів, що визначають техніко-економічні показники. Чим нижче температура осушуваного газу, при інших рівних умовах, тим менша його рівноважна вологоємність. А, отже, для отримання вологи з газу потребується менша питома витрата циркулюючого абсорбенту. Це, у свою чергу, робить істотний вплив на метало- і енергоємність блоку регенерації установок осушення газу. Зі зниженням температури зменшуються і втрати гліколю з висушеним газом.

Температура абсорбенту на вході в колону не повинна перевищувати температуру газу більше ніж на 6–8°C, тому що це призводить до збільшення його втрат. Коли температура гліколю нижче температури газу, відбувається охолодження газу і конденсація частини важких вуглеводнів, що може призвести до вспінювання абсорбенту та, як наслідок, до захлинання тарілок та збільшення перепаду тиску в колоні. Якщо ж осушуваний газ має низьку температуру, то можна встановити теплообмінник для охолодження регенованого розчину гліколю сировинним газом.

Вибір якості і кількості абсорбенту

Показники процесу осушення газу в значній мірі залежать також і від якісних показників (вміст в абсорбенті основної речовини, в'язкість розчину, гігроскопічність тощо) і питомої витрати осушувача. Якісні показники – це основні чинники, що визначають точку роси газу на виході з абсорбера.

Кількість розчину, що подається в абсорбер, визначають із термодинамічних параметрів процесу (тиск, температура). При цьому концентрацію вихідного (регенерованого) розчину гліколю вибирають, виходячи

										Лист
										14
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

У верхню частину абсорбера безперервно подається регенований абсорбент (ДЕГ), що стікає по тарілках назустріч газу. Контакт фаз усередині колони відбувається поступово. Механізм роботи тарілчастої колони полягає в тому, що кожна тарілка діє як самостійна ступінь контракту для зустрічних потоків газу і рідини. Контактуючи між собою, фази обмінюються речовиною і енергією внаслідок прагнення взаємодіючих фаз до стану рівноваги. Волога витягується з газу до тих пір, поки парціальний тиск води у газі і над розчином осушувача не стануть рівними, тобто водяна пара, що міститься в газі, буде поглинатися ДЕГом, аж поки не наситить його. Осушений до необхідної точки роси газ потрапляє у верхню частину абсорбера, де проходить через краплевідбійник, призначений для уловлювання крапель ДЕГу. Насичений водою ДЕГ збирається на глухій тарілці абсорбера, а потім відводиться на регенерацію.

У хімічній промисловості умови роботи апаратів характеризуються широким діапазоном температур – приблизно від мінус 254 до плюс 2500°C при тисках від 0,015 Па до 600 МПа при агресивному впливі середовищ [11].

Основними вимогами, яким повинні відповідати хімічні апарати, є механічна надійність, довговічність, конструктивна досконалість, простота виготовлення, зручність транспортування, монтажу та експлуатації [11–13].

Загалом гліколі не викликають корозію вуглецевих сталей, проте продукти їх розкладення чи окислення, а також домішки, які надходять разом із газом, можуть бути агресивними. Продукти корозії (оксиди, сульфід заліза тощо) осідають на контактних тарілках абсорбера, забивають трубки теплообмінної апаратури, погіршують теплопередачу, прискорюють подальшу корозію і викликають ерозію устаткування.

Оскільки вміст сірководню в осушуваному природному газі не значний – для виготовлення основних деталей та вузлів абсорбційної колони використовуємо сталь 09Г2С. Матеріал опори – сталь ВСтЗсп. Для усіх інших елементів – сталь Ст 3. Для ущільнення з'єднань використовуємо прокладковий матеріал – пароніт ПОН-1. Це листовий матеріал, виготовлений пресуванням азбокаучукової маси, що складається із азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів.

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

$\rho_{p,y}$ – густина газової суміші, кг/м³.

Розчинність вуглеводневих газів у діетиленгліколі при тиску $P = 10$ МПа і прийнятій середній температурі в апараті $t = 53^\circ\text{C}$ дорівнює $V_{p,y} = 7,04$ м³/м³.

Густина газової суміші дорівнює [10]:

$$\rho_{p,y} = \frac{M_r P 273}{22,4(t + 273)0,1z}, \quad (2.12)$$

Рівноважні втрати ДЕГу при його випаровуванні і унесенні з колони із осушеним газом визначаються за діаграмою [10] у залежності від температури контакту $t_c = 45^\circ\text{C}$ і тиску в апараті $P = 10$ МПа. Таким чином, $\Delta g = 4,8 \cdot 10^{-3}$ кг/(м³·10³).

$$\rho_{p,y} = \frac{21,18 \cdot 10 \cdot 273}{22,4(45 + 273)0,1 \cdot 0,83} = 97,8 \text{ кг/м}^3;$$

$$G_{p,y} = 7,04 \cdot 97,8 \cdot 4,9 = 2875 \text{ кг/год.}$$

Кількість i -го вуглеводню, що розчиняється в діетиленгліколі [10]:

$$g_i = G_{p,y} x_i, \quad (2.13)$$

де x_i – масова частка i -го вуглеводню, що розчинився в діетиленгліколі.

Масова частка i -го вуглеводню, що розчинився в діетиленгліколі знаходиться із припущення при одночасному розчиненні вуглеводнів пропорційно їх коефіцієнтам дифузії в розчиннику.

Коефіцієнти дифузії вуглеводнів в ДЕГ, при середній температурі процесу $t = 53^\circ\text{C}$, розраховуються за наближеною формулою [10]:

$$D_i = D_{20} [1 + b(t - 20)], \quad (2.14)$$

де D_{20} – коефіцієнт дифузії вуглеводнів в ДЕГ при температурі 20°C , м²/с;
 b – коефіцієнт, який враховує вплив температури на дифузію речовини.

Коефіцієнт D_{20} розраховується за формулою [14]:

$$D_{20} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{AB \sqrt{\mu} (V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}, \quad (2.15)$$

де A і B – коефіцієнти, що залежать від властивостей розчиненої речовини і розчинника (для газів $A = 1$; для гліколю $B = 2$);

$\mu = 25$ мПа·с – динамічний коефіцієнт в'язкості [15];

V_A, V_B – молярні об'єми розчиненої речовини і діетиленгліколю;

M_A і M_B – молярні маси газу і діетиленгліколю.

										Лист
										24
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

c_{pi}^0 – теплоємність i -го компонента в розрахунку на ідеальний газ, кДж/(кг · °С).

Теплоємність компонентів газової сировини, як ідеальних газів, розраховується за формулою [10]:

$$c_{pi}^0 = E_i + F_i \left(\frac{T}{100} \right) + G_i \left(\frac{T}{100} \right)^2 + H_i \left(\frac{T}{100} \right)^3 + N_i \left(\frac{100}{T} \right), \quad (2.23)$$

де E_i, F_i, G_i, H_i, N_i , кДж/(кг·°С) – коефіцієнти, значення яких для ряду речовин, які часто зустрічаються в розрахунках, наведені у [10].

Розрахунок ізобарної теплоємності сировини як ідеального газу наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахунок ізобарної теплоємності газової сировини абсорбера, як ідеального газу (при $t_c=45$ °С)

Компонент	Кількість g_i , кг/год.	Вміст y_i , мас. частки	Теплоємність c_{pi}^0 , кДж/(кг · °С)	$y_i c_{pi}^0$, кДж/(кг · °С)
CH ₄	54501	0,577531	2,29	1,32
C ₂ H ₆	12879	0,136475	1,84	0,25
C ₃ H ₈	10751	0,113925	1,77	0,20
C ₄ H ₁₀	4775	0,050599	1,75	0,09
C ₅ H ₁₂	1704	0,018057	1,56	0,03
C ₆ H ₁₄	868	0,009198	0,55	0,01
CO ₂	3785	0,040109	0,86	0,03
N ₂	5084	0,053873	1,03	0,06
O ₂	21	0,000222	0,92	0,00
H ₂ O	1	0,000011	1,85	0,00
Σ	94369	1,000000	–	1,99

Поправка теплоємності на тиск в апараті розраховується за [10]:

$$\Delta c_p = \frac{R}{M} (\Delta c_p^0 + \omega \Delta c_p'), \quad (2.24)$$

де $R = 8,315$ кДж/(кмоль · °С) – універсальна газова постійна;

ω – фактор ацентричності (безрозмірна величина);

$\Delta c_p^0, \Delta c_p'$ – функція, що враховує вплив тиску (безрозмірна величина).

Величина Δc_p° і $\Delta c_p'$ визначаються за графіками [10], у залежності від $\tau_{\text{пр}} = 1,47$ і $P_{\text{пр}} = 2,17$. Вони відповідно дорівнюють: $\Delta c_p^\circ = -1,8$; $\Delta c_p' = -0,53$.

Числове значення $\omega = 0,041$ розраховано у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Розрахунок фактора ацентричності для газової сировини абсорбера

Компонент	Мольна маса, M_i	Кількість		Вміст $y_i' = \frac{n_i}{\sum n_i}$, мол. частки	ω_i	$y_i' \omega_i$
		g_i , кг/год.	$n_i = \frac{g_i}{M_i}$, кмоль/год.			
CH ₄	16	54501	3406,3	0,762992	0,013	0,0099
C ₂ H ₆	30	12879	429,3	0,096161	0,105	0,0101
C ₃ H ₈	44	10751	224,3	0,054722	0,152	0,0083
C ₄ H ₁₀	58	4775	82,3	0,018435	0,393	0,0072
C ₅ H ₁₂	72	1704	23,7	0,005309	0,458	0,0024
C ₆ H ₁₄	86	868	10,1	0,002262	0,290	0,0007
CO ₂	44	3785	86,0	0,019263	0,041	0,0008
N ₂	28	5084	181,6	0,040677	0,040	0,0016
O ₂	32	21	0,7	0,000157	0,0213	0,0000
H ₂ O	18	1	0,1	0,000022	0,348	0,0000
Σ	–	94369	4464,4	1,0000	–	0,041 *

* у даному випадку ω

Величина Δc_p дорівнює:

$$\Delta c_p = \frac{8,315}{21,18} (-1,8 + 0,041(-0,53)) = -0,7 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}.$$

Тоді

$$c_p = 1,99 - (-0,7) = 2,69 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)};$$

$$Q_{Gy} = 94369 \cdot 2,69 \cdot 45 = 11423367 \text{ кДж/год} = 3173 \text{ кВт}.$$

Кількість тепла, яке вноситься в апарат із розчином діетиленгліколю, становить [10]:

										Лист
										28
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

$$Q_{G_{ГЛ}} = G_{ГЛ} c_{ГЛ} t_{ГЛ}, \quad (2.25)$$

де $c_{ГЛ}$ – середня масова теплоємність 99,2 %-го розчину діетиленгліколю при температурі $t_{ГЛ} = 45^{\circ}\text{C}$, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Величину теплоємності ДЕГ знаходять за графіком [10]: $c_{ГЛ} = 2,3 \text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Тоді:

$$Q_{G_{ГЛ}} = 52,2 \cdot 2,3 \cdot 45 = 5402,7 \text{кДж} / \text{год} = 1,5 \text{кВт}.$$

Кількість тепла, яке виділяється при конденсації водяної пари та розчиненні конденсату і діетиленгліколю [10]:

$$Q_K = Q' + Q'', \quad (2.26)$$

де Q' – кількість тепла, що виділяється при конденсації водяної пари, кВт;

Q'' – кількість тепла, що виділяється при розчиненні конденсату, кВт.

Кількість тепла, що виділяється при конденсації водяної пари [10]:

$$Q' = G_{ВЛ.П} r_{H_2O}, \quad (2.27)$$

де $r_{H_2O} = 2391,3 \text{кДж}/\text{кг}$ – теплота конденсації водяної пари при температурі $t_c = 45^{\circ}\text{C}$.

$$Q' = 0,91 \cdot 2391,3 = 2176 \text{кДж} / \text{год} = 0,6 \text{кВт}.$$

Кількість тепла, що виділяється при розчиненні води в діетиленгліколі [10]:

$$Q'' = G_{ВЛ.П} r_p, \quad (2.28)$$

де $r_p = 135,2 \text{кДж}/\text{кг}$ – теплота розчинення води в діетиленгліколі.

$$Q'' = 0,91 \cdot 135,2 = 123 \text{кДж} / \text{год} = 0,034 \text{кВт}.$$

Тоді:

$$Q_K = 0,6 + 0,034 = 0,634 \text{кВт}.$$

Кількість тепла, яке виділяється при частковому розчиненні вуглеводнів у діетиленгліколі, розраховується за формулою [10]:

$$Q_P = \sum g_i r_i, \quad (2.29)$$

де g_i – кількість i -го вуглеводню, що розчинився в діетиленгліколі, $\text{кг}/\text{год}$;

r_i – теплота розчинення i -го вуглеводню в діетиленгліколі, $\text{кДж}/\text{кг}$ [10].

Розрахунок кількості тепла, яке виділяється при частковому розчиненні вуглеводнів в діетиленгліколі, представлений у табл. 2.7.

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
						29
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.8 – Тепловий баланс абсорбера

Найменування теплового потоку	Температура, °С	Кількість тепла, кВт
Прихід		
Газова сировина Q_{G_V}	45	3173
Свіжий розчин $Q_{G_{ГЛ}}$	45	1,5
Тепло конденсації розчинення води Q_K	–	0,634
Тепло розчинення вуглеводнів Q_P	–	–
Σ	–	3264,8
Витрата		
Осушений газ Q_{G_O}	27	3172
Насичений розчин $Q_{G_{ГЛ.Н}}$	t_H	92,8
Σ	–	3264,8

Розбіжність із прийнятим в умовах розділення середнім значенням температури в апараті $t = 53^\circ\text{C}$ становить прийнятну величину 5,7 %.

2.2 Конструктивні розрахунки

Число теоретичних тарілок визначаємо графічним способом.

Координати крайніх точок [10]:

– на вході розчину і виході осушеного газу

$$x'_1 = \frac{1-x_1}{x_1} \cdot \frac{M_{ГЛ}}{M_B}; \quad (2.33)$$

$$x'_1 = \frac{1-0,992}{0,992} \cdot \frac{106,12}{18} = 0,0475 \text{ кмоль води / один кмоль ДЕГ};$$

$$y'_2 = \frac{22,4C_K}{M_B}; \quad (2.34)$$

$$y'_2 = \frac{22,4 \cdot 6 \cdot 10^{-5}}{18} = 0,000045 \text{ кмоль води / один кмоль газу.}$$

– на виході розчину і вході сирого газу

$$x'_2 = \frac{1-x_{2P}}{x_{2P}} \cdot \frac{M_{ГЛ.Н}}{M_B}; \quad (2.35)$$

										Лист
										31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ					

$$x'_2 = \frac{1-0,975}{0,975} \cdot \frac{54,35}{18} = 0,1237 \text{ кмоль води / один кмоль ДЕГ};$$

$$y'_1 = \frac{22,4C_H}{M_B}; \quad (2.36)$$

$$y'_1 = \frac{22,4 \cdot 100 \cdot 10^{-5}}{18} = 0,0012 \text{ кмоль води / один кмоль газу.}$$

Мольна маса насиченого розчину діетиленгліколю $M_{г\text{л.н}} = 54,35$ розрахована в табл. 2.9. Розрахунок координат рівноважної лінії поданий у табл. 2.10; при цьому заданий ряд числових значень концентрації води у розчині x_i (мас. частки) і за діаграмою [10] визначені числові значення парціальних тисків води у розчині ДЕГ.

Таблиця 2.9 – Розрахунок середньої мольної маси насиченого розчину ДЕГ

Компонент	Мольна маса, M_i	Кількість		Вміст		$M_i x'_i$
		g_i , кг/год.	$n_i = \frac{g_i}{M_i}$, кмоль/год.	$x_i = \frac{g_i}{\sum g_i}$ мас. частки	$x'_{ni} = \frac{n_i}{\sum n_i}$, мол. частки	
ДЕГ	106,1	5391	50,81	0,6448	0,3304	35,06
H ₂ O	18	94	5,22	0,0112	0,0339	0,61
CH ₄	16	867,9	54,24	0,1038	0,3528	5,64
C ₂ H ₆	30	571,3	19,04	0,0683	0,1238	3,71
C ₃ H ₈	44	445,1	10,12	0,0532	0,0658	2,89
C ₄ H ₁₀	58	370,9	6,39	0,0444	0,0416	2,41
C ₅ H ₁₂	72	326,3	4,53	0,0390	0,0295	2,12
C ₆ H ₁₄	86	293,5	3,41	0,0351	0,0222	1,91
Σ	–	8360	153,76	1,0000	1,0000	54,35 *

* у даному випадку $M_{г\text{л.н}}$

Оперативна лінія АВ, побудована за координатами А (x'_1, y'_2) і В (x'_2, y'_1), зображена на рис. А.1 (додаток А).

Мольна концентрація води в розчині розраховується за формулою [10]:

$$x'_i = M_{срi} \frac{x_i}{M_B}, \quad (2.37)$$

де $M_{срi}$ – середня мольна маса розчину ДЕГ.

									Лист
									32
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

Витрата насиченого абсорбенту становить [10]:

$$G'_{ГЛ.Н} = \frac{G_{ГЛ.Н}}{3600}; \quad (2.40)$$

$$G'_{ГЛ.Н} = \frac{8359,5}{3600} = 2,32 \text{ кг/с.}$$

Діаметр абсорбера дорівнює:

$$D_a = \frac{\frac{1800 \cdot 2,32}{1110} + \sqrt{(0,35 \cdot 480 + 35) \frac{94468}{\sqrt{97,8(1110 - 97,8)}}}}{0,35 \cdot 480 + 35} = 1,191 \text{ м.}$$

Із нормативного ряду приймаємо стандартизований діаметр 1200 мм.

Робоча висота абсорбера (рис. 2.3) дорівнює [10]:

$$H_p = h_1 + h_2 + h_3, \quad (2.41)$$

де h_1 – висота нижньої частини апарату, м;

h_2 – висота тарілчастої частини апарату, м;

h_3 – висота верхньої частини апарату, м.

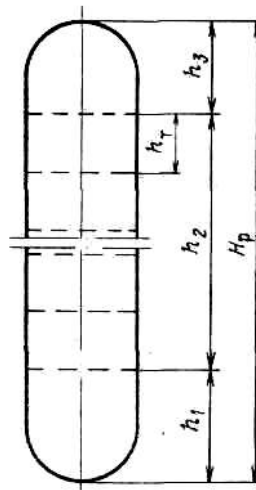


Рисунок 2.3 – Схема для розрахунку висоти тарілчастого абсорбера

Висота нижньої частини колони приймається рівною $h_1 = 3 \text{ м}$ [10].

Висота тарілчастої частини дорівнює:

$$h_2 = (N_p - 1)h_T, \quad (2.42)$$

де N_p – число робочих тарілок в колоні.

Число робочих тарілок в апараті визначається за формулою [10]:

$$N_p = \frac{N_T}{\eta_T}, \quad (2.43)$$

де η_T – коефіцієнт корисної дії (ККД) ситчасто-клапанних тарілок.

										Лист
										34
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ					

Зазвичай, ККД ситчасто-клапанних тарілок в промислових абсорберах приймають у межах 0,25–0,4 [10]. З метою максимального осушення газу приймаємо $\eta_T = 0,25$. Тоді:

$$N_p = \frac{2}{0,25} = 8;$$

$$h_2 = (8-1)0,6 = 4,2 \text{ м.}$$

Висота верхньої частини колони приймається рівною $h_3 = 2 \text{ м.}$

Робоча висота абсорбера за (2.41):

$$H_p = 3 + 4,2 + 2 = 9,2 \text{ м.}$$

Для усіх потоків по входу і виходу продуктів в проектуваному абсорбері приймаємо стандартний штуцер із приварним встик фланцем і тонкостінним патрубком.

Внутрішній діаметр патрубка для введення і виведення природного газу приймаємо однаковим і визначаємо за формулою [16]:

$$d = \sqrt{4V / \pi\omega}, \quad (2.44)$$

де V – об'ємна витрата газу за робочих умов, $\text{м}^3/\text{с}$;

ω – рекомендована швидкість газового потоку, $\text{м}/\text{с}$.

Оскільки природний газ подається під тиском 10 МПа, то приймемо швидкість ω газового потоку $\omega = 15 \text{ м}/\text{с}$ [16].

Патрубок подачі вихідної сировини. Об'ємну витрату визначаємо за формулою:

$$V = \frac{G_y}{3600 \cdot \rho_{p,y}}; \quad (2.45)$$

$$V = \frac{94468}{3600 \cdot 97,8} = 0,268 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Діаметр штуцера:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,268}{3,14 \cdot 15}} = 0,15 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр штуцера $D_y = 150 \text{ мм.}$

Згідно із рекомендацією [16] приймаємо швидкість руху ДЕГу в трубопроводі $w_p = 1,5 \text{ м}/\text{с}$.

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

Патрубок для введення і виведення ДЕГу. Об'ємну витрату ДЕГу визначас-
мо за формулою:

$$V = \frac{G_{\text{дл}}}{3600 \cdot \rho_{\text{дл}}}; \quad (2.46)$$

$$V = \frac{5391}{3600 \cdot 1105} = 0,0014 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0014}{3,14 \cdot 1,5}} = 0,034 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр штуцера $D_y = 50 \text{ мм}$.

2.3 Гідравлічний опір апарата

Гідравлічний розрахунок проводимо у відповідності до методики [17].

Природний газ не містить механічних домішок. Тип тарілок – ситчасто-
клапанні; міжтарілчаста відстань $H = 600 \text{ мм}$; початкова глибина барботажу –
приймаємо $h_6 = 0,1 \text{ м}$.

Діаметр отворів ситчастого полотна $d_0 = 0,005 \text{ м}$ – приймаємо $\xi = 1,6$; кое-
фіцієнт гідравлічного опору клапана приймаємо $\xi_K = 4,7$.

Діапазон сталої роботи тарілки $DIP = K_4 / K_3 = 2 / 0,8 = 2,5$. $DIP < 3,56$, а от-
же, ситчасто-клапанна тарілка задовольняє вихідним даним.

Коефіцієнт, який залежить від поверхневого натягу:

$$K_2 = 0,549 \cdot \sigma^{0,2}; \quad (2.47)$$

$$K_2 = 0,549 \cdot 48,5^{0,2} = 1,193.$$

Допоміжні комплекси:

$$A_1 = \left(\frac{\rho_x - \rho_y}{\rho_y} \right)^{0,5}; \quad (2.48)$$

$$A_1 = \left(\frac{1110 - 97,8}{97,8} \right)^{0,5} = 3,22;$$

$$A_2 = \frac{L}{G} \left(\frac{\rho_y}{\rho_x} \right)^{0,5}; \quad (2.49)$$

$$A_2 = \frac{1,5}{26,2} \left(\frac{97,8}{1110} \right)^{0,5} = 0,002.$$

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
						36
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'ємне навантаження:

$$\text{по газу } G_v = G / \rho_y; \quad (2.50)$$

$$G_v = 26,2 / 97,8 = 0,27 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$\text{по рідини } L_v = L / \rho_x; \quad (2.51)$$

$$L_v = 1,5 / 1110 = 0,00014 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Допустима швидкість газу в колоні:

$$W_\delta = 0,1 \cdot A_1; \quad (2.52)$$

$$W_\delta = 0,1 \cdot 3,22 = 0,322 \text{ м/с}.$$

Розрахунковий діаметр тарілки:

$$D = (G_v / 0,785 \omega_\delta)^{0,5}; \quad (2.53)$$

$$D = \left(\frac{0,27}{0,785 \cdot 0,322} \right)^{0,5} = 1,034 \text{ м}.$$

Приймаємо діаметр $D = 1,2 \text{ м}$.

Площа вільного перетину колоні:

$$S = 0,785 D^2; \quad (2.54)$$

$$S = 0,785 \cdot 1,2^2 = 1,13 \text{ м}^2.$$

Швидкість газу в колоні:

$$W = G_v / S; \quad (2.55)$$

$$W = 0,27 / 1,13 = 0,24 \text{ м/с}.$$

Фактор навантаження по газу:

$$F = \omega(\rho_y)^{0,5}; \quad (2.56)$$

$$F = 0,24(97,8)^{0,5} = 2,37 \text{ кг}^{0,5} / (\text{м}^{0,5} \cdot \text{с}).$$

За [17] вибираємо периметр зливу $l_2 = 0,72 \text{ м}$ і відносний перетин переливу $S_2 = 5,3 \%$.

Відносний робочий перетин тарілки:

$$S_1 = 1 - 0,02 S_2; \quad (2.57)$$

$$S_1 = 1 - 0,02 \cdot 5,3 = 0,894.$$

Навантаження по рідині на одиницю активної площі тарілки:

$$L_{v1} = L_v / (S \cdot S_1); \quad (2.58)$$

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		37

$$L_{v1} = 0,00014 / (1,13 \cdot 0,894) = 0,000139.$$

Коефіцієнт навантаження $B_1 = 0,071$ [17].

Допустима швидкість газу в робочому перетині тарілки:

$$W_\delta = K_2 B_1 A_1; \quad (2.59)$$

$$W_\delta = 1,193 \cdot 0,071 \cdot 3,22 = 0,27 \text{ м/с.}$$

$$K_4 W = 1,2 \cdot 0,24 = 0,168;$$

$$W_\delta S_1 = 0,34 \cdot 0,894 = 0,304;$$

$$K_4 W = 0,168 < W_\delta S_1 = 0,304.$$

Питоме навантаження на одиницю довжини периметра зливу:

$$L_{v2} = L_v / l_2; \quad (2.60)$$

$$L_{v2} = 0,00014 / 0,72 = 0,00019 \text{ м}^2/\text{с.}$$

Оскільки $L_{v2} < 0,0017 \text{ м}^2/\text{с}$, то слід використовувати зубчасту зливну планку.

Підпір рідини над зливним порогом:

$$h_1 = 1,44 (L_{v2})^{2/3}; \quad (2.61)$$

$$h_1 = 1,44 (0,00019)^{2/3} = 0,01 \text{ м.}$$

Приймаємо мінімальну глибину барботажу $h_5 = h_6 = 0,1 \text{ м}$.

Висота газорідного шару на тарілці:

$$h_2 = h_5 \frac{1000}{\rho_x}; \quad (2.62)$$

$$h_2 = 0,1 \frac{1000}{1110} = 0,09 \text{ м.}$$

Висота зливного порогу:

$$h_7 = h_2 - h_1; \quad (2.63)$$

$$h_7 = 0,09 - 0,01 = 0,08 \text{ м.}$$

Динамічна глибина барботажу:

$$h_6 = (h_7 + h_1) \frac{\rho_x}{1000}; \quad (2.64)$$

$$h_6 = (0,08 + 0,01) \frac{1110}{1000} = 0,08 \text{ м.}$$

Коефіцієнт, що залежить від глибини барботажу:

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
						38
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B_2 = 21,03 + 1,626 \ln h_6 - 1,85 \cdot 10^{-11} h_6^{-5,65} \cdot \exp(90,33 h_6); \quad (2.65)$$

$$B_2 = 21,03 + 1,626 \cdot \ln 0,08 - 1,85 \cdot 10^{-11} \cdot 0,08^{-5,65} \cdot \exp(90,33 \cdot 0,08) = 16,92.$$

Мінімально допустима швидкість газу у вільному перетині ситчастого полотна:

$$W_{0\min} = \frac{B_2 - 9(1 - 100 \cdot d_0)}{\rho_y^{0,5}}; \quad (2.66)$$

$$W_{0\min} = \frac{16,92 - 9(1 - 100 \cdot 0,005)}{97,8^{0,5}} = 1,3 \text{ м/с.}$$

Розрахунковий відносно вільний перетин ситчастого полотна:

$$f_1 = \frac{WK_3}{W_{0\min}} 100; \quad (2.67)$$

$$f_1 = \frac{0,24 \cdot 0,8}{1,3} 100 = 8,62 \text{ \%}.$$

Максимальна швидкість газу у вільному перетині клапанів:

$$W_{K\max} = 2W_{0\min} \left(\frac{\xi}{\xi_K}\right)^{0,5}; \quad (2.68)$$

$$W_{K\max} = 2 \cdot 1,3(1,6/4,7)^{0,5} = 1,52 \text{ м/с.}$$

Розрахунковий відносно вільний перетин клапанів:

$$f_2 = W(K_4 - 2K_3) 100 / W_{K\max}; \quad (2.69)$$

$$f_2 = 0,14(2 - 2 \cdot 0,85) \cdot 100 / 1,52 = 2,76 \text{ \%}.$$

Оскільки $f_2 < 4,35$, то приймаємо тарілку модифікації Б (виконання 2). Вибираємо $f_6 = 7,1 \text{ \%}$ і крок між отворами $t = 0,014 \text{ м}$ [17]. Стандартний відносний перетин клапанів становить $f_4 = 2,5 \text{ \%}$ [17].

Максимальний фактор газового навантаження:

$$F_{K\max} = W_{K\max} (\rho_y)^{0,5}; \quad (2.70)$$

$$F_{K\max} = 1,52(97,8)^{0,5} = 14,5 \text{ кг}^{0,5} / (\text{м}^{0,5} \cdot \text{с}).$$

Питоме навантаження клапана: $q = 256,6 \text{ Па}$.

Коефіцієнт гідравлічного опору ситчастого полотна:

$$\xi = (d_0/t)^2 [t/(0,62d_0) - 1]^2; \quad (2.71)$$

$$\xi = (0,005/0,014)^2 [0,014/(0,62 \cdot 0,005) - 1]^2 = 1,58.$$

Коефіцієнт використання діапазону стійкої роботи ситчастого полотна:

$$B_{11} = f_1 / (K_3 f_6); \quad (2.72)$$

										Лист
										39
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ					

$$B_{11} = 8,62 / (0,85 \cdot 7,1) = 1,43.$$

Швидкість газу у вільному перетині клапанів:

$$W_K = (W - B_{11} f_6 W_{0\min}) / f_4 ; \quad (2.73)$$

$$W_K = (0,14 - 1,43 \cdot 7,1 \cdot 1,3 \cdot 0,01) / (0,01 \cdot 2,5) = 0,32 \text{ м/с.}$$

Допоміжний комплекс:

$$A_3 = \frac{2q}{W_K^2 \rho_n} - 0,82 ; \quad (2.74)$$

$$A_3 = \frac{2 \cdot 256,6}{0,32^2 \cdot 97,8} - 0,82 = 54,13.$$

Тоді:

$$B_3 = \frac{1,5}{A_3^{0,5}} ; \quad (2.75)$$

$$B_3 = \frac{1,5}{54,13^{0,5}} = 0,2.$$

Робочий відносно вільний перетин тарілки:

$$f_5 = f_6 + B_3 f_4 (\xi / \xi_K)^{0,5} ; \quad (2.76)$$

$$f_5 = 7,1 + 0,2 \cdot 2,5 (1,58 / 4,7)^{0,5} = 7,39.$$

Фактор аерації:

$$\beta = \frac{0,1}{\frac{30W}{f_5} + 4} + \frac{0,253}{h_6^{0,25}} ; \quad (2.77)$$

$$\beta = \frac{0,1}{\frac{30 \cdot 0,14}{7,39} + 4} + \frac{0,253}{0,08^{0,25}} = 0,5.$$

Гідравлічний опір тарілки:

$$\Delta P = 5000 \xi \left(\frac{F}{f_5} \right)^2 + 9810 \beta h_6 ; \quad (2.78)$$

$$\Delta P = 5000 \cdot 1,58 \left(\frac{1,34}{7,39} \right)^2 + 9810 \cdot 0,5 \cdot 0,08 = 652 \text{ Па.}$$

Тоді гідравлічний опір усієї колони складе:

$$\Delta P_K = 652 \cdot 6 = 3912 \text{ Па.}$$

Приймаємо величину гідравлічного опору абсорбера $\Delta P_K = 5000 \text{ Па.}$

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висота сепарації простору:

$$H_c = H - 2,5 \frac{h_6}{f_5}; \quad (2.79)$$

$$H_c = 0,6 - 2,5 \frac{0,08}{7,39} = 0,57 \text{ м.}$$

Швидкість рідини в переливі:

$$u = \frac{100 \cdot L_v}{SS_2}; \quad (2.80)$$

$$u = \frac{100 \cdot 0,00014}{1,13 \cdot 5,3} = 0,023 \text{ м/с.}$$

Допустима швидкість рідини в переливі:

$$u_{\partial} = 0,008K_5 [H(\rho_x - \rho_y)]^{0,5}; \quad (2.81)$$

$$u_{\partial} = 0,008 \cdot 0,85 [0,6(1110 - 97,8)]^{0,5} = 0,168 \text{ м/с;}$$

$$u_{\partial} = 0,168 > u = 0,023.$$

Розрахунок закінчено.

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Вибір насосів N_1 і N_2 для подачі ДЕГу в абсорбер [18].

Розрахунок і вибір насосів проводимо за необхідними напором і витратою $V = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$. На технологічній схемі (див. рис. 1.1) подача регенованого ДЕГу у верхню частину абсорбера забезпечується двома, паралельно встановленими, насосами. У такому випадку продуктивність одного насоса становить: $V = 7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$.

Напір розраховують за формулою:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + H_r + h_n, \quad (2.82)$$

де $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ – тиск в апараті, із якого перекачується рідина;

$p_2 = 10 \text{ МПа}$ – тиск в абсорбері;

$\rho = 1110 \text{ кг/м}^3$ – густина ДЕГу;

$H_r = 10 \text{ м}$ – геометрична висота підйому рідини;

h_n – сумарні втрати напором у всмоктувальній і нагнітальній лініях.

										Лист
										41
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ					

Прийmemo сумарні втрати напору у всмоктувальній і нагнітальній лініях рівними $h_{\Pi} = 4$ м.

Тоді:

$$H = \frac{(10 - 0,1) \cdot 10^6}{1110 \cdot 9,81} + 10 + 4 = 923 \text{ м.}$$

Такий напір при заданій продуктивності може забезпечити насос марки ПТ-1-2,5/160.

Ємність для дренажу [18].

При проектуванні дренажної ємності основними керівними документами є стандарти, які передбачають нормальний ряд циліндричних посудів об'ємом до 200 м^3 .

Ємність для , виходячи з 6–8 годинного резерву робочого часу, а також з урахуванням коефіцієнту заповнення $\psi = 0,8 \dots 0,85$. Приймаємо $\psi = 0,82$.

Розрахунковий об'єм ємності дренажної ємності:

$$V_{EP} = \frac{V \cdot \tau}{\psi}, \quad (2.83)$$

де $V = 0,0014 \text{ м}^3/\text{с}$ – витрата ДЕГу;

$\tau = 9000 \text{ с}$ – тривалість перебування середовища в ємності;

$\psi = 0,8$ – коефіцієнт заповнення ємності.

$$V_{EP} = \frac{0,0014 \cdot 9000}{0,8} = 15,75 \text{ м}^3.$$

Приймаємо ємність горизонтальну зі стандартизованим об'ємом $V = 20 \text{ м}^3$:

- діаметр $D = 2,0$ м;
- довжина $H = 6,4$ м.

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

3.1 Визначення товщини стінки обичайки апарата

Товщину стінки циліндричної обичайки, яка навантажена внутрішнім тиском, визначаємо за формулою [19]:

$$S_R = \frac{P_p D}{2[\sigma]\varphi_p - P_p}, \quad (3.1)$$

де $P_p = 1,1 \cdot P = 1,1 \cdot 10 = 11$ МПа – розрахунковий тиск;

$D = 1,2$ м – внутрішній діаметр обичайки;

$\varphi_p = 0,9$ – коефіцієнт, який характеризує міцність зварного шва;

$[\sigma]$ – допустима напруга, МПа.

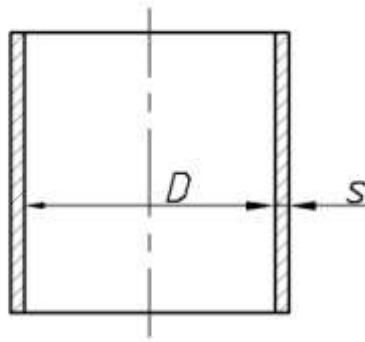


Рисунок 3.1 – Схема циліндричної обичайки

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^*, \quad (3.2)$$

де $\eta = 0,9$ – поправний коефіцієнт;

$\sigma^* = 191$ МПа – нормативна допустима напруга.

$$[\sigma] = 0,9 \cdot 191 = 171,5 \text{ МПа};$$

$$S_R = \frac{11 \cdot 1,2}{2 \cdot 171,5 \cdot 0,9 - 11} = 0,044 \text{ м.}$$

Виконавчу товщину стінки визначимо за формулою [19]:

$$S \geq S_K + C, \quad (3.3)$$

де C – загальне значення прибавки до розрахункових товщин, яка за формулою:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (3.4)$$

де C_1 – прибавка на корозію і ерозію; при проникності $\Pi = 0,2$ мм/рік і тер-

									Лист
									43
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

міні служби апарату $\tau = 15$ років складе $C_1 = \Pi \cdot \tau = 0,2 \cdot 15 = 3$ мм;

C_2 – прибавка на мінусове значення граничного відхилення по товщині листа, мм;

C_3 – технологічна прибавка, яка враховується залежність від прийнятої технології виготовлення і не включає в себе округлення розрахункової товщини елемента до номінальної товщини за стандартом, мм.

Прибавки C_2 і C_3 враховуються лише в тому випадку, коли їх сумарне значення перевищує 5 % від розрахункової товщини обичайки.

$$C = 3 + 0 + 0 = 3 \text{ мм};$$

$$S = 0,044 + 0,003 = 0,047 \text{ м}.$$

Приймаємо товщину циліндричної обичайки $S = 50$ мм.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск визначається за формулою [19]:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_p(s-c)}{D+(s-c)}, \quad (3.5)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 171,5 \cdot 0,9(0,05 - 0,003)}{1,2 + (0,05 - 0,003)} = 12 \text{ МПа}.$$

Умова міцності має вигляд:

$$P < [p];$$

$$11 \text{ МПа} < 12 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

3.2 Визначення товщини стінки кришки і днища апарата

Номінальну товщину стінки напівсферичних днища і кришки, навантажених внутрішнім надлишковим тиском, визначимо за формулою [19]:

$$S_R = \frac{P_p R}{2\varphi[\sigma] - 0,5P_p}, \quad (3.6)$$

де R – радіус кривизни у вершині днища; для напівсферичних днищ $R = 0,5D$.

$$R = 0,5 \cdot 1,2 = 0,6 \text{ м};$$

$$S_R = \frac{11 \cdot 0,6}{2 \cdot 0,9 \cdot 171,5 - 0,5 \cdot 11} = 0,022 \text{ м}.$$

Загальне значення прибавки до товщини стінки кришки та днища складе:

$$C = 3 + 0 + 7,5 = 10,5 \text{ мм};$$

										Лист
										44
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

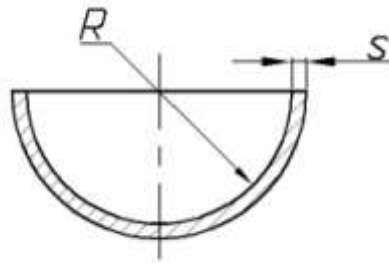


Рисунок 3.2 – Схема напівсферичного днища

$$S = 0,022 + 0,0105 = 0,0325 \text{ м.}$$

З метою надання апарату більшої міцності (до днища приварюється опора) приймаємо $S = 50 \text{ мм}$.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск визначимо за формулою [19]:

$$[p] = \frac{2(S - C)\varphi[\sigma]}{R + 0,5(S - C)}; \quad (3.7)$$

$$[p] = \frac{2(0,05 - 0,01) \cdot 0,9 \cdot 171,5}{0,6 + 0,5(0,05 - 0,01)} = 16,5 \text{ МПа,}$$

що більше робочого. Отже, умова міцності виконується.

3.3 Розрахунок опори апарата

Визначимо навантаження порожнього апарату на опору за формулою:

$$Q_{an} = M_{an} \cdot g, \quad (3.8)$$

де M_{an} – маса порожнього апарату, кг;

$$M_{an} = M_{\kappa} + M_{\text{дн}} + M_{\text{кр}} + M_{\text{т}} + M_{\text{фл}}, \quad (3.9)$$

де $M_{\kappa}, M_{\text{дн}}, M_{\text{кр}}, M_{\text{т}}, M_{\text{фл}}$ – відповідно маси корпусу, днища, кришки, тарілок, фланців і арматури, кг;

$$M_{\kappa} = H \cdot \pi \cdot D \cdot s \cdot \rho, \quad (3.10)$$

де ρ – щільність матеріалу корпусу; $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$;

$$M_{\kappa} = 11,44 \cdot 3,14 \cdot 1,2 \cdot 0,060 \cdot 7850 = 20303.$$

$$M_{\text{дн}} = M_{\text{кр}} = F \cdot s \cdot \rho, \quad (3.11)$$

де $F = 1,21 \text{ м}^2$ – площа внутрішньої поверхні напівсферичного днища;

$$M_{\text{дн}} = M_{\text{кр}} = 1,21 \cdot 0,060 \cdot 7850 = 570 \text{ кг.}$$

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

Маса тарілок:

$$M_m = N \cdot m_m, \quad (3.12)$$

де $m_m = 44$ кг – маса однієї ситчасто-клапанної тарілки.

$$M_m = 8 \cdot 44 = 352 \text{ кг.}$$

Загальну масу фланців і арматури приймемо рівною $M_{\text{фл}} = 1000$ кг.

Тоді маса порожнього апарату складе:

$$M_{\text{ан}} = 20303 + 2 \cdot 570 + 352 + 1000 = 22795 \text{ кг.}$$

$$Q_{\text{ан}} = 22795 \cdot 9,81 = 223619 \text{ Н.}$$

Визначимо навантаження апарату на опори під час гідравлічних випробувань за формулою:

$$Q_{\text{ан}}^u = (M_{\text{ан}} + M_{\text{в}}) \cdot g, \quad (3.13)$$

де $M_{\text{в}}$ – маса залитої води.

$$M_{\text{в}} = V \cdot \rho_{\text{в}}, \quad (3.14)$$

де $\rho_{\text{в}} = 1000$ кг/м³ – густина води;

V – об'єм апарату.

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H; \quad (3.15)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 9,2 = 10,4 \text{ м}^3;$$

$$M_{\text{в}} = 10,4 \cdot 1000 = 10400 \text{ кг};$$

$$Q_{\text{ан}}^u = (22795 + 10400) \cdot 9,81 = 233821 \text{ Н.}$$

Виходячи з $Q_{\text{max}} = Q_{\text{ан}}^u$ і $Q_{\text{min}} = Q_{\text{ан}}$ за [19] вибираємо опору 4-1200-400-200-2100 ОСТ 26-467-78.

Решту розрахунків на міцність абсорбційної колони виконано із застосуванням ЕОМ (програмний продукт PASSAT), а результати представлено в додатку Б.

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж апарата [20, 21]

При монтажі повністю зібраного апарата спочатку апарат збирається із блоків, а потім приварюється опора. Частина апарата, що стикуються, підтягують один до одного трубоукладачами або тракторами. Для збігу стиків по всьому периметру до кромки однією зі стикуючих частин приварюють вісім і більше напрямних планок, які після прихватки стику обрізають.

Стиковку роблять за заводськими контрольними рисками, нанесеними на корпусах. Відхилення розмірів ділянок, що стикуються, повинні бути в межах допустимих норм: зміщення кромки в кільцевих швах не повинно перевищувати 10 % товщини листа апарата, а у разі двошарової сталі повинно бути не більше товщини шару.

У зварюваних стиках ретельно контролюють зазори, які повинні бути в межах 2–4 мм незалежно від товщини листів обичайок. Кромки зварювальних частин ретельно очищають металевими щітками. Прихватку, як і повне зварювання, виконують електродами, передбаченими проектом. Стики, що виконані з двошарової сталі, прихоплюють на основному шарі. Технологія зварювання (спосіб і режим зварювання, порядок накладення швів і термооброблення) наводиться в проектній документації заводу-виготовлювача.

Ділянка території, де проводиться зварювання, повинна бути захищена від атмосферних опадів та вітру для запобігання забруднення шва. Бажано зварювання виконувати на роликовому стенді, на рамі якого встановлюють один або два зварювальних автомати. Для зварювання внутрішнього шва один автомат розміщують всередині апарату. Після завершення зварювання остаточно перевіряють всі розміри зібраного апарату, які повинні бути в межах допусків. Корпуси відповідальних колонних апаратів повинні відповідати таким вимогам: відхилення довжини не повинно перевищувати 0,3 % від проектного; кривизна циліндра на ділянці 1 м повинна бути не більше 2 мм, а для апаратів вище 10 м – не більше 3 мм.

Тарілка – контактний пристрій в колонній апаратурі, поверхня контакту фаз в яких утворюється в процесі руху взаємодіючих потоків по поверхні тарілки.

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

– перед початком ремонту перевіряють температуру повітряного середовища всередині колони, яка не повинна перевищувати 30°C. Під час очистки і розбирання тарілок в колоні працює по двоє людей в кожному люку: один всередині колони у шланговому протигазі з рятувальним поясом і сигнально рятувальною мотузкою; другий спостерігаючий дублер: зовні, поруч із люком, зі шланговим протигазом.

Очищення стінок міжтарілкового простору, опорних конструкцій тарілок, зливних карманів і стінок кубової частини колони роблять за допомогою металевих скребків і щіток, а також за допомогою механізованих пристосувань і інструментів. Відкладення і бруд видаляють з колони дерев'яними лопатами через люк-лаз і спускають їх в цеберку зі спеціальними жолобами.

Тарілки розбирають в кожному люку послідовно, починаючи з верхньої. Повне розбирання усіх тарілок роблять по секціях (сегментах). Спуск секцій тарілок проводиться за допомогою кран-укосини.

Чистку тарілок проводять на зовнішньому майданчику в захисних окулярах за допомогою металевих скребків і щіток.

Одночасно проводять продування секцій паром і відбраковування дефектних деталей тарілок шляхом легкого обстукування молотком вагою від 0,5 до 1 кг.

Після очищення проводять заміну частини ковпачків. Деталі ковпачків виготовляються заново і збираються. Найбільш відповідальною операцією є приварка шпильки до корпусу ковпачка, оскільки якщо ці деталі не будуть на одній осі – правильне встановлення ковпачка є неможливим. Співвісність деталей забезпечується спеціальною оправкою, яка дозволяє також змінювати висоту шпильки шляхом її часткового розгинання при затягуванні гайки.

При ремонті корпусу колони керуються стандартами, відповідно до яких розробляється технологія усунення дефектів корпусу і його покриття. Ремонт опорних конструкцій тарілок, зливних карманів вогневими методами із використанням ручного дугового електрозварювання (РДЕЗ) і газозварювання проводять після оформлення дозволу на проведення вогневих робіт усередині апарата, дозволу на проведення газонебезпечних робіт і наряду-допуску на проведення робіт підвищеної небезпеки на кожен робочу зону, при позитивних аналізах повітряного середовища всередині колони.

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
						50
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізають, а на їх місце встановлюються нову ділянку, заздалегідь звальцьовану по радіусу колони. Тип зварювання – встик. Вирізання великих ділянок корпусу може призвести до ослаблення перетину і порушення стійкості. Тому до вирізання дефектної ділянки її зміцнюють стійками, що встановлюються всередині або зовні. Число та перетин стійок, розміри опорних лап розраховують, виходячи з умови рівності їх опорів опору вирізаного перетину. За допомогою таких стійок можна замінити весь пошкоджений пояс колони декількома частинами.

Зборку тарілок проводять аналогічно розбиранню, у зворотному порядку, знизу-вгору. При складанні тарілок контролюють горизонтальність установки тарілок за шаблоном або за допомогою лінійки і рівня. Відхилення від горизонтальності має бути в допустимих межах, визначених індивідуально для кожного типу тарілок.

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		51

5 Охорона праці

Фізичні та фізіологічні параметри шуму. Дія на організм людини. Нормування та методи захисту.

У сучасному світі в умовах науково-технічного прогресу шум став одним із суттєвих несприятливих чинників, що впливають на людину. Ріст потужностей сучасного устаткування, машин, побутової техніки, швидкий розвиток усіх видів транспорту призвели до того, що людина на виробництві та в побуті постійно знаходиться під впливом шумів досить високої інтенсивності. Шум – це будь-який небажаний звук, який наносить шкоду здоров'ю людини, знижує його працездатність, а також може сприяти отриманню травми в наслідок зниження сприйняття попереджувальних сигналів. З фізичної точки зору – це хвильові коливання пружного середовища, що поширюються з певної швидкістю в газоподібній, рідкій або твердій фазі [22].

Звук як фізичне явище – це механічні коливання пружного середовища в діапазоні чутних частот. Звук як фізіологічне явище – це відчуття, сприймається органом слуху при впливі на нього звукових хвиль.

Звукові хвилі виникають завжди, якщо в пружному середовищі є нестійке тіло або коли частинки пружного середовища (газоподібної, рідкої або твердої) коливаються внаслідок впливу на них будь збудливою сили. Однак не всі коливальні рухи сприймаються органом слуху як фізіологічне відчуття звуку. Вухом людини може чути лише коливання, частота яких становить від 16 до 20 000 в 1 с. Її вимірюють у герцах (Гц) [23].

Шум буває:

- механічного походження, який виникає внаслідок вібрації при роботі механізмів та устаткування, а також поодиноких чи періодичних ударів у з'єднаннях деталей та конструкцій;
- аеродинамічного походження, який виникає при подачі газу чи повітря по трубопроводах, вентиляційних системах, або їх стравлюванні в атмосферу;
- гідродинамічного походження, який виникає внаслідок процесів, що відбуваються у рідинах (гідравлічні удари, кавітація, турбулентність потоку);

										Лист
										52
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ					

льше наближаються до прямої лінії, а при рівнях понад 80 фон чутність звуку визначається практично лише його силою, незалежно від частоти [22].

Шум – загально біологічний подразник (в деяких умовах може впливати на всі органи та системи людини). Найбільш повно вивченим є вплив на орган слуху. Інтенсивний шум, при регулярній дії, призводить до туговухості (поступової втрати слуху на обидва вуха початково в зоні високих частот (400 Гц) з послідовним поширенням на більш низькі частоти), погіршення сприймання мови (ознакою початку захворювання є головний біль, шум у вухах, втрата рівноваги). При великих Р – розрив барабанної перетинки. Найбільш несприятливим для органа слуху є шум 1000–4000 Гц.

Шум має вплив на різні відділи головного мозку, порушуючи нормальні процеси нервової діяльності. Характерне: стомлювання, апатія, роздратованість, погіршення пам'яті, слабкість).

Шум великої інтенсивності призводить до змін у серцево-судинній системі, що супроводжуються порушеннями тону та ритму серцевих скорочень, та до змін артеріального кров'яного тиснення.

Під впливом шуму порушується нормальне функціонування шлунка (зменшується кількість шлункового соку, змінюється кислотність, виникає гастрит та язва шлунку).

В останні роки було встановлено вплив шуму на орган зору (зменшується стійкість ясного бачення та гострота зору, погіршується кольоросприймання). Шум призводить до порушення процесів обміну. Переривчастий та імпульсний шум порушують точність виконання операцій, погіршують процес сприймання та засвоєння інформації. Найбільш чутливими до шуму є такі операції: складання та збір інформації, мислення.

Під дією шуму відбувається зменшення продуктивності праці на підприємстві, збільшення кількості браку, створення небезпечності. Тому заходи по боротьбі з шумом мають велике економічне та оздоровче значення

Шкідливість шуму, як фактора виробничого середовища і середовища життєдіяльності людини, приводить до необхідності обмежувати його рівні.

лише незначна її частина проходить крізь неї. Для звукоізоляції окремих шумних дільниць у приміщенні чи устаткування застосовують легкі багатошарові звукоізоляційні перегородки з повітряними прошарками. Для звукоізоляції найбільш шумних вузлів та агрегатів (ланцюгові передачі, двигуни, компресори, вентилятори) використовуються звукоізоляційні кожухи, які є засобами, що встановлюються в безпосередній близькості від джерела шуму. В тих випадках, коли неможливо ізолювати шумне устаткування чи його вузли, захист працівника від дії шуму здійснюють шляхом облаштування звукоізольованої kabіни з пультом керування та оглядовими вікнами.

Метод акустичного екранування застосовується в тих випадках, коли інші методи малоефективні або недоцільні з техніко-економічної точки зору. Акустичний екран встановлюється між джерелом шуму та робочим місцем і являє собою певну перешкоду на шляху поширення прямого шуму, за якою виникає так звана звукова тінь. Найбільш поширеними для виготовлення екранів є сталеві чи алюмінієві листи товщиною 1–3 мм, які покриваються з боку джерела шуму звукопоглинальним матеріалом.

Рівень шуму у виробничому приміщенні залежить не лише від прямого, але й відбитого звуку. Тому, якщо в цеху неможливо знизити енергію прямого звуку, то необхідно зменшити енергію звукових хвиль, які відбиваються від внутрішніх поверхонь приміщення. Для цього проводять акустичне оброблення всіх або частини стін та стелі приміщень шумних виробництв за допомогою звукопоглинального облицювання та (або) підвішують до стелі штучні звукопоглиначі.

Процес поглинання звуку відбувається при переході коливної енергії частинок повітря в теплоту внаслідок втрат на тертя в порах звукопоглинального матеріалу. Тому для ефективного звукопоглинання матеріал повинен мати пористу структуру, причому необхідно, щоб пори були відкриті з боку звукової хвилі і мали якнайбільше з'єднань між собою. Штучні звукопоглиначі найдоцільніше розміщувати в зонах, де концентруються звукові хвилі, що відбиваються від внутрішніх поверхонь приміщення.

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60

Звукопоглиначі можуть мати різну форму (куля, куб, ромб, піраміда) і виготовляються з перфорованих листів твердого картону, пластмаси чи металу, які зі середини покриті звукопоглинальним матеріалом.

Глушники шуму – це ефективний засіб боротьби з шумом аеродинамічного походження, який виникає при роботі вентиляційних систем, пневмоінструменту, газотурбінних, дизельних, компресорних та деяких інших установок. За принципом дії глушники поділяють на активного, реактивного та комбінованого типу. У глушників активного типу зниження шуму відбувається внаслідок його затухання в порах звукопоглинального матеріалу. В глушниках реактивного типу шум знижується шляхом відбивання звукових хвиль у системі розширювальних та резонансних камер, що з'єднані між собою за допомогою труб, щілин та отворів. У комбінованих глушниках відбувається як поглинання, так і відбивання шуму [22].

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		61

24. Швидкість звуку [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
http://wikiinfo.mdpu.org.ua/index.php?title=Швидкість_звуку.

25. Звуковий тиск [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Звуковий_тиск.

26. Шум, ультразвук та інфразвук [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
http://moodle.kntu.kr.ua/pluginfile.php/1674/course/section/3707/ЛЕКЦІЯ_9.pdf.

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		64