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"

Тема роботи: Установка осушування природного газу. Розробити абсорбер

Виконав:
студент групи ХМ-61-8

Кормілець Максим Олегович

_____
підпис

Залікова книжка
№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

"___" _____ 20___ р.

Керівник:
д.т.н., проф.

Ляпощенко О. О.

_____
підпис, дата

Підпис голови
(заступника голови) комісії _____

СУМИ 2020

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

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
Освітня програма "_____"

Курс 4 Група ХМ-61 Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

студенту Кормільцю Максиму Олеговичу

1 Тема проекту: Установка осушування природного газу. Розробити абсорбер (контактор) / Natural gas dehydration unit. Design a absorber (contactor)

2 Вихідні дані: Витрата природного газу – 50000 нм^3/год, робочий тиск в апараті - 4,0 МПа, температура газу на вході в апарат – 25 ^{0}С, точка роси осушеної газової суміші – «мінус» 10 ^{0}С, абсорбент – діетиленгліколь (ДЕГ), початкова концентрації ДЕГ в розчині - 0,98 долі (мас.)

3 Перелік обов'язкового графічного матеріалу (4 аркуші А1):

1. Технологічна схема установки - 0,5-1,0 А1 арк.
2. Складальне креслення апарату - 1,0-1,5 А1 арк.
3. Креслення деталей і вузлів апарату - 1,5-2,5 А1 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 : Сумський державний університет, 2019. – 32 с.
2. Жданова, Н. В. Осушка углеводородных газов / Н. В. Жданова, А. Л. Халиф. – М. : Химия, 1984. – 192 с.
3. Кузнецов, А. А. Расчеты основных процессов и аппаратов переработки углеводородных газов [Текст] : справочное пособие / А. А. Кузнецов, Е. Н. Судаков. – М. : Химия, 1983. – 224 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 02 березня 2020 р.
Керівник _____ д.т.н., проф. Ляпощенко О.О.
підпис

ЗМІСТ

1. Технологічна частина …….5

1.1.Опис технологічної схеми 5

1.2.Теоретичні основи теплообмінного процесу 6

1.3. Опис апарату і вибір матеріалів..... 8

2.Технологічні розрахунки процесу і апарату 12

2.1 Матеріальний і тепловий баланс процесу 12

2.2 Технологічні розрахунки 13

2.3.Конструктивні розрахунки 18

2.4.Гідравлічний опір апарату 20

3. Розрахунки на міцність апарату 26

3.1 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки 26

3.2 Розрахунок товщини стінки еліптичні кришки 27

3.3 Розрахунок і вибір опори 28

4. Організація монтажних та ремонтних робіт……..……31

5. Охорона праці ……..……..40

Список літератури

Додаток А - Специфікації до креслень

Додаток Б Розрахунок фланцьового з’єднанняя

					ПОХНП. А.00.00.00 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Кормілець			Абсорбер	Лит.	Лист 4 / Листов 50
Провер.		Ляпощенко					
Реценз.					Пояснювальна записка	СумДУ, ХМ-61	
Н. Контр.							
Утверд.							

ВСТУП

У сучасній промисловості широке застосування знайшли високоефективні технологічні процеси з використанням агрегатів з великої одиничної потужності, засобів механізації та автоматизації.

Осушення вуглеводневих газів - важлива ланка в процесі підготовки природних газів до транспорту по магістральних газопроводах, установок охолодження природних і нефтезаводів газів, циркуляції газів риформінгу, установок отримання етану, етилену, пропілену та т. П. Все гази, що подаються в магістральні газопроводи, піддаються обов'язковій осушення від вологи. Глибина осушки визначається вимогами галузевих стандартам і технологією процесів подальшої переробки газів.

Колонні апарати є основним типом масообміного обладнання хімічних, нафтохімічних, харчових, фармацевтичних та інших виробництв. У колонних апаратах проводяться такі найважливіші масообміні процеси як абсорбція, адсорбція, десорбція, ректифікація, екстракція і ін.

Головною умовою роботи масо обмінних колоних апаратів є ефективна взаємодія фаз, яке визначається величиною створюваної поверхні контакту фаз і гідродинамічними умовами їх взаємодії.

Для реалізації цих функцій необхідні глибокі знання техніки і технології, методику розрахунку технологічного процесу і обладнання. Визначальна роль в цьому належить курсу "Процеси та апарати хімічної технології", який базується на фундаментальних законах природничих наук і становить теоретичну базу хімічної технології.

1. Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми установки

Принципова технологічна схема установки осушки газу диетиленгликолем приведена на рисунку 1.1. Вологий газ 1 надходить в абсорбер 1, де при підвищеному тиску проводиться осушення газу. В якості абсорбенту в верхню частину апарату подається діетиленгліколь (ДЕГ). Відводиться знизу абсорбера відпрацьований розчин 3 (насичений абсорбент) підігрівається в теплообміннику 2 і вводиться в десорбер 3, що працює при тиску, близькому до атмосферного. Тепло, необхідне для випаровування вологи, підводиться в десорбер за допомогою випарника 7.

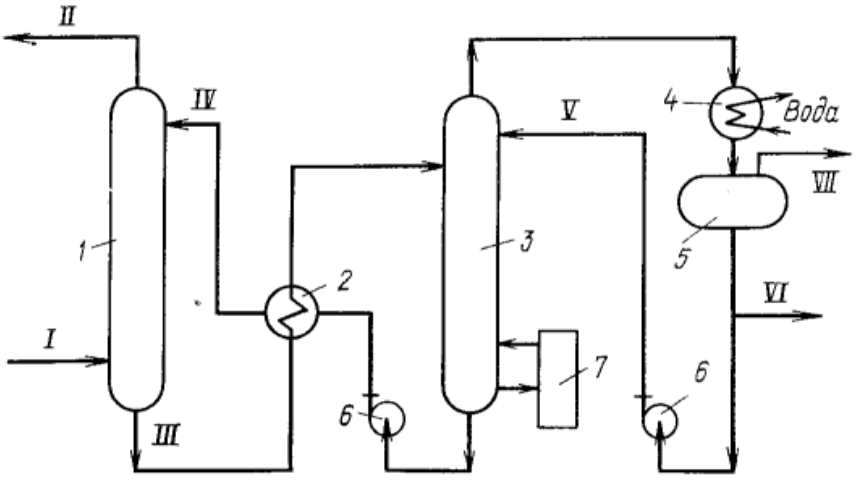

Рисунок 1.1 - Принципова технологічна схема установки абсорбційної осушки газу:

1 - абсорбер; 2 - теплообмінник; 3 - десорбер ; 4 - конденсатор; 5 - ємність зрошення; 6 - насоси; 7 - випарник; I- сирий газ; II- осушений газ; III- насичений розчин ДЕГ; IV - регенерований розчин ДЕГ; V - зрошення; VI - стічна вода; VII - несконденсована суміш.

Осушений газ з верхньої частини абсорбера направляється на технологічні потреби. Виведений зверху десорбера водяна пара потрапляє в конденсатор і ємність зрошення. Для зменшення втрат гліколю частина води V повертається в десорбер як зрошення, а інша її кількість VI скидається в каналізацію. Несконденсована суміш VII направляється в паливну мережу.

1.2 Теоретичні основи процесу [2,3,8]

Абсорбцією називають процес поглинання розчинної компонента газової суміші рідким поглиначем. Абсорбція є типовим масообмінним процесом, в якому поглинається компонент з газової фази переходить в рідку фазу, розчиняючись в ній частково або до повного насичення. Рушійною силою процесу абсорбції є різниця парціальних тисків поглинається компонента в газовій фазі (робочої концентрації) і в рідкій фазі (рівноважної концентрації). Змінюючи умови процесу (температуру і тиск), можна впливати на швидкість процесу і напрям перенесення

Основним законом, що визначає рівновагу в системі газ - рідина, є закон Генрі, згідно з яким парціальний тиск компонента в газовій фазі в умовах рівноваги пропорційно мольної концентрації цього компонента в рідині. Коефіцієнт пропорційності - коефіцієнт Генрі - залежить від температури, природи газу і розчинника. Розчинність газів в рідинах зростає з підвищенням тиску і зниженням температури.

Перебіг абсорбційних процесів характеризується їх статикою і кінетикою.

Статика абсорбції, т. Е. Рівновага між рідкою і газовою фазами, визначає стан, яке встановлюється при досить тривалому зіткненні фаз. Рівновага між фазами визначається термодинамічними властивостями компонента і поглинача і залежить від складу однієї з фаз, температури і тиску.

Кінетика абсорбції, швидкість процесу масообміну, визначається рушійною силою процесу (ступенем відхилення системи від рівноважного стану), властивостями поглинача, компонента і інертного газу, а також способом дотику фаз (пристроєм абсорбційного апарату і гідродинамічним режимом його роботи). У абсорбційних апаратах рушійна сила, як правило, змінюється по їх довжині і залежить від характеру взаємного руху фаз (протитечія, прямоток, перехресний струм і т. Д.). При цьому можливе здійснення безперервного або ступеневої контакту. В абсорбера з безперервним контактом характер руху фаз не змінюється по довжині апарату і зміна рушійної сили відбувається

безперервно. Абсорбери із ступінчастим контактом складаються з декількох ступенів, послідовно з'єднаних по газу і рідини, причому при переході з рівня в рівень відбувається стрибкоподібне зміна рухів сили.

Абсолютна вологість визначається кількістю водяної пари (в кг), що міститься в 1 $м^3$ вологого газу. Відносної вологістю називається відношення маси водяної пари в 1 $м^3$ вологого газу при даних температурі і тиску до максимально можливої масі водяної пари в 1 $м^3$ газу при тих же умовах.

Важливою характеристикою вологих газів є так звана точка роси. Це - температура, охолодження до якої газ при постійному влагозміту стає насиченим водяним паром.

При нормальних умовах вологість вуглеводневих газів вище вологості повітря, однак, з підвищенням температури ця різниця зменшується. Для визначення рівноважної вологості природних газів з відносною густиною, що дорівнює 0,60, що не містять азот і насичених парами води, в інтервалі температур від - 40 до 180 ° С і при різних тисках , складеним за рівнянням Бюкачека :

$$W = A /10.1 P + B$$

A - коефіцієнт, що характеризує вологість ідеального газу:

B - коефіцієнт, що враховує відхилення вологості природного газу відносною щільністю 0,60 від показників ідеального газу;

P - тиск газу, МПа.

Залежність між розчинністю газу і його парціальним тиском характеризується законом Генрі, згідно з яким рівноважний парціальний тиск p * пропорційно вмісту розчиненого газу в розчині X (в кг / кг поглиначами

$$p * = EX$$

де E - коефіцієнт пропорційності, що має розмірність тиску і залежать від властивостей розведеного газу і поглинача.

1.3 Опис об'єкта розробки, вибір матеріалів в об'єкті розробки [3,4,5,]

Абсорбер осушки газу (далі абсорбер) призначений для попереднього очищення природного і попутного нафтового газу від рідини і механічних домішок, осушення його рідкими сорбентами, доулавювання рідкого сорбенту, що буря потоком осушеного газу. Конструкція апарату в цілому і його окремих вузлів передбачає максимальну уніфікацію внутрішніх пристроїв.

Апарат є багатофункціональним агрегатом, який виконує функції абсорбції (масообмінних секціях), остаточного очищення газу (секція остаточного очищення газу). Масообмінна секція складається з 12 ступенів контакту. Кожна ступінь являє собою контактно-сепараційні тарілку з масообмінними елементами. Вологий газ надходить через штуцер входу до вхідної сепараційні секцію, де з газу частково виділяються крапельна рідина і механічні домішки. Відділення рідини відбувається в сітчастих відбійниках - відбійнику у штуцери входу газу і розташованим над ним кільцевому відбійнику. Виділилася з газу рідина відводиться з кубової частини апарату. Потім газ надходить в масообмінних секцію, де відбувається осушення його абсорбцією диетиленгликолем (ДЕГом), що надходять на верхню тарілку.

Осушений газ через штуцер газу виводиться з апарату. Контактна щабель абсорбера характеризується високою ефективністю массопередачі і низьким гідравлічним опором, що дозволяє значно скоротити висоту апарату і зменшити його металоємність. Багатофункціональність і зниження висоти дозволяє значно скоротити займані обладнанням площі і знижує витрати на монтаж обладнання. Зниження висоти абсорбера дозволяє його розміщувати на блок-понтонах. Конструкція ступенів осушки дозволяє при виготовленні абсорбера легко розміщувати його в апараті або замінювати в період експлуатації без будь-яких додаткових технологічних операцій, наприклад, без зварювальних робіт. При експлуатації апарату в разі необхідності, наприклад, при значній зміні навантаження, частина вільного перетину може бути швидко і легко заглушена.

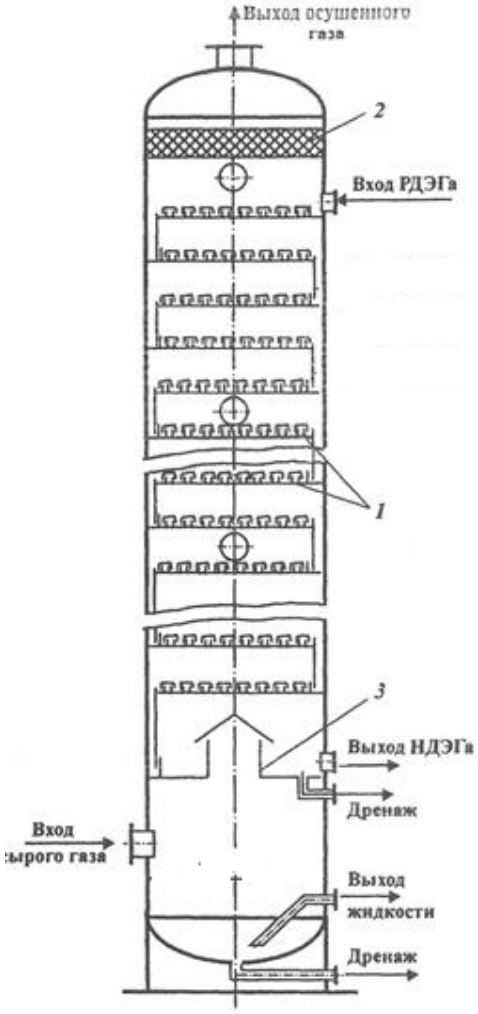

Рисунок 1.2 – 1 .2 - Абсорбер осушки газу:

1 - ковпачкові тарілки (12 шт.); 2 – сітчастий відбійник; 3 - глуха тарілка

Вибір конструкційного матеріалу, який визначається умовою експлуатації проектованого елемента, вузла або апарата (температура, тиск, величина навантаження, характер агресивного впливу середовища, вимоги до якості, що переробляється продукту і т. Д.), Слід виконувати так, щоб при низькій вартості і не дефіцитності матеріалу забезпечувати ефективну технологію виготовлення елемента (вироби).

Так як в апараті здійснюється технологічний процес із застосуванням продукту з утворенням кислого середовища, то для забезпечення умов роботи апарату прийнята корозійностійка сталь аустенітного класу 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-80 . Сталь характеризується гарну корозійну стійкість в середовищі, рекомендується застосовувати в температурному інтервалі - 256 ° С до + 525 ° С

для корпусних елементів, до 600 ° С - для внутрішніх пристроїв без обмеження тиску. Сталь технологічна, добре зварюється, добре деформується в холодному і гарячому стані, добре обробляється всіма видами різання, характеризується задовільними лінійними властивостями. Хімічний склад і механічні властивості представлені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Хімічний склад і механічні властивості стали 12Х18Н10Т

C, %	Mn , %	Si , %	Cr , %	Ni , %	Cu , %	Ti , %	S , %	P , %	E x 10^5 МПа	σ МПа	σ МПа	δ %
0,12	2,0	0,8	17-18	2-11	0,3	0,8	0,02	0,035	2,1	216	530	40

До недоліків цієї стали слід віднести те, через велику в'язкості вона гірше піддається механічній обробці. Однак, з огляду на, що механічна обробка конструктивних елементів апарату здійснюється тільки за місцем стику зварюваних елементів конструкції, то цей фактор не має істотного впливу в цілому на вартість виготовлення апарату.

Матеріал зовнішньої оснастки, арматури, кріпильних елементів і т. Д., Що не мають контакту з переробляється середовищем, приймаємо конструкційну сталь 20 ГОСТ 380-71 . Вибір на користь цієї стали, заснований на її порівняно низької вартості, хорошій оброблюваності і досить високими фізико-механічними властивостями. Хімічний склад і механічні властивості представлені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 - Хімічний склад і механічні властивості стали 20

C, %	Mn , %	Si , %	Cr , %	Ni , %	Cu , %	As , %	S , %	P , %	E x 10^5 МПа	σ МПа	σ МПа	δ %
0,23-0,3	0,5-0,8	0,05-0,19	0,3	0,5	0,3	0,08	0,05	0,04	2,0	280	400	23

2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ І АПАРАТУ

2.1 Технологічний розрахунок апарату [1,7,8]

Вологовміст газу. У разі насичення газу водяною парою вологовміст визначається в залежності від температури і тиску в системі рис 2.1 . Температура контакту вологого газу (або температура при якій слід подавати газову суміш в апарат) дорівнює $t_c = 25^{\circ}C$. Концентрація гліколю в насиченому розчині приймається рівною $x_2 = 0.98$ мас. часткою

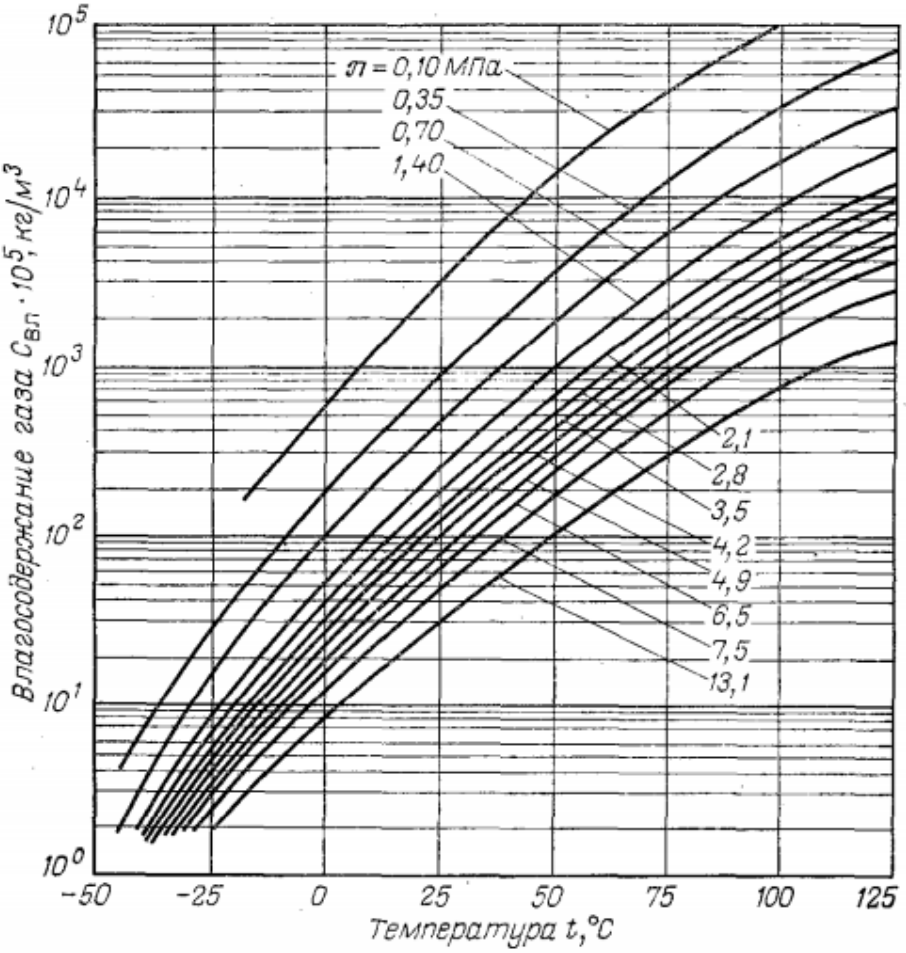

Рисунок 2.1 — Залежність вмісту водяної пари в суміші вуглеводневих газів від температури і тиску

Точка роси вологого газу до контакту [2] :

$$t'_p = t_p + \Delta t = -12 + 16 = 4\ ^{\circ}C$$

де t_p - точка роси осушаемой газової суміші , знаходимо за графіком (рис 2.2) t_p=12°C

де Δt=16 °C зниження точки роси, яке визначається в залежності від температури контакту рис 2.3.

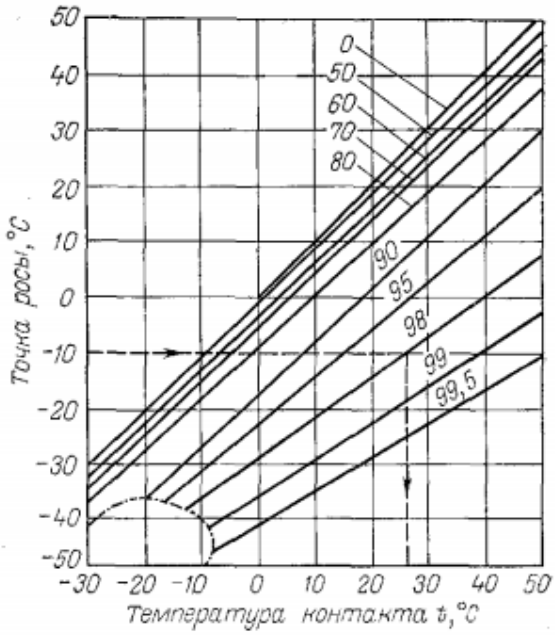

Рисунок 2.2 - Залежність точки роси газу при осушування розчинами ДЕГ від температури контакту.

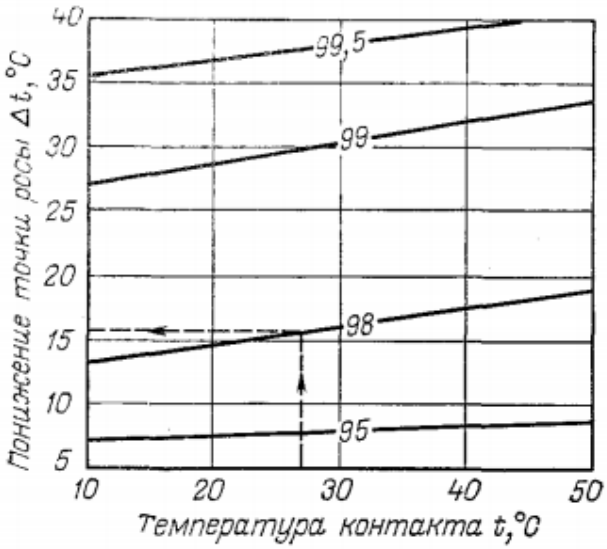

Рисунок 2.3 - Графік, що ілюструє ступінь осушення газу діетиленгліколем

Початковий вологовміст вуглеводневого газу при t с = 2 5 º С і тиску π = 4 МПа одно $C_н$ = 110*10 $^{-5}$ кг / м^3, кінцеве - при температурі $t_р$ = -12º С і тиску π=4 МПа рівно $C_к$=12*10^{-5} кг/ м^3

Температура діетеленгліколя при введенні в апарат приймається рівною $T_{гл}$=25 ºС

Кількість свіжого розчину (кг/год), що подається в поглинальну абсорбційну колону:

$$GГЛ=GВЛ.Пx2/(x1–x2), \quad (2.2)$$

де $G_{ВЛ.П}$ – кількість вологи що поглинається, кг / год; x 1 і x 2 - концентрація ДЕГ в свіжому розчині, мас. частки.

Кількість вологи що поглинається:

$$GВЛ.П=(СН–СК)V, \quad (2.3)$$

де V – об'ємна кількість вуглеводневої сировини, м3/ч.

Об'ємна кількість вуглеводневої сировини:

$$V=(22,4G(tc+273)0,1\cdot106z)/(Мг273π), \quad (2.4)$$

де G=51339 кг/год- кількість газу (табл.2.1); z - коефіцієнт стисливості газового середовища.

Розрахунок кількості газу представлений в таблиці 2.1 .

Таблиця 2.1 - Розрахунок складу вуглеводневої газової суміші

Компонент	Мольна маса М	Кількість V, нм^3/ч	Зміст у/, мольн. долі	М у/	Кількість G, кг/ч	Зміст у/, масс.долі
CH_4	16	37000	0,74	11,8	26429	0,515
C_2H_6	30	5000	0,10	3	6696	0,130
C_3H_8	44	4000	0,08	3,52	7857	0,153
C_4H_{10}	58	4000	0,08	4,64	10357	0,202
Σ	-	50000	1,000	22,96	51339	1,000

Таблиця 2.2 - Розрахунок псевдокрітіческіх параметрів

Компонент	Зміст $У_i$, мольн. долі	Критичні параметри		Псевдокритичні параметри	
		Температура $Т_{КР.i}$ К	*Тиск* $\pi_{КР.i}$, МПа	Температура $Т_{ПС.КР}$, К	Тиск $\pi_{ПС.КР}$, МПа
CH_4	0,74	190,55	4,604	141	3,4
C_2H_6	0,10	305,43	4,880	30,5	0,488
C_3H_8	0,08	369,82	4,249	29,6	0,34
C_4H_{10}	0,08	425,16	3,796	35,6	0,304
Σ	1,000	-	-	237	4,5

Для суміші газів, коефіцієнт стисливості визначається в залежності від наведених температури і тиску::

$$\tau_{ПР}=Т/Т_{ПС.КР}, \quad (2.5)$$

$$\tau_{ПР}=298/237=1,257$$

$$\pi_{ПР}=\pi/\pi_{ПС.КР}, \quad (2.6)$$

$$\pi_{ПР}=\pi/\pi_{ПС.КР}=4/4,5=0,89$$

де $Т_{ПС.КР}$ и $\pi_{ПС.КР}$ – псевдокритичні параметри компонентів відповідно, К и МПа.

$$V=(22,4\cdot 51339\cdot (25+273)\cdot 0,1\cdot 10^6\cdot 0,95)/(23\cdot 273\cdot 4\cdot 10^6)=1296 \text{ нм}^3/\text{ч}.$$

Кількість вологи що поглинається:

$$G_{ВЛ.П}=(110–12)\cdot 10^{-5}\cdot 1296=1,27 \text{ кг/ч},$$

Кількість свіжого розчину

$$G_{ГЛ}=1,27\cdot 0,97/(0,98-0,97)=123,19 \text{ кг/ч}$$

Об'ємна кількість свіжого розчину::

$$V_{ГЛ}=G_{ГЛ}/\rho, \quad (2.7)$$

$$V_{ГЛ}=123,19/1140=0,11 \text{ нм}^3/\text{ч}$$

де ρ– щільність розчину гліколю при температурі t_c=25 ^{0}С, кг/м^3.

Щільність розчину залежить від температури - рисунок 2.4.

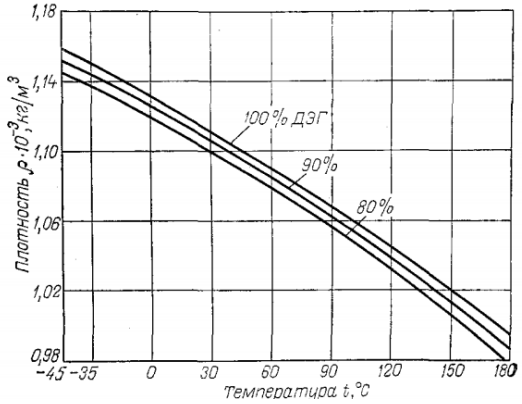

Рисунок 2.4 - Залежність щільності розчинів діетиленгліколю від температури

Кількість циркулюючого гліколю залежить, головним чином, від продуктивності установки осушки з газового сировини, його вмісту вологи і ступеня осушення; в дійсності в промислових системах вона складає 1-10 м3 / год, [8].

Рівняння матеріального балансу абсорбера має вигляд:

$$G_У+G_{ГЛ}=G_О+G_{ГЛ.Н}, \quad (2.8)$$

Його ліва частина відповідає вводиться в апарат матеріальним потокам (кг/год): Gy - з зволоженим газовим сировиною; GГЛ - з розчином гліколю; права - виведеним з апарату матеріальним потокам (в кг / год): go - з висушеним газовим сировиною; GГЛ.Н - з насиченим розчином гліколю.

Кількість увлажненого газового сировини:

$$G_У=G+G_НV, \quad (2.9)$$

$$G_У=G+G_НV=51339+110\cdot10^{-5}\cdot1296=51340 \text{ кг/ч}$$

Кількість осушенної газової сировини::

$$G_О=G_У-G_{ВЛ.П}–G_{Р.У}, \quad (2.10)$$

де $G_{Р.У}$ - кількість вуглеводневих компонентів, розчинних в діетиленгліколі, кг/ч.

Кількість вуглеводневих компонентів, що поглинаються диетиленгликолем в результаті розчинення:

$$G_{Р.У}=V_{Р.У}\,\rho_{Р.У}V_{ГЛ}, \quad (2.11)$$

де $V_{Р.У}$ – розчинність вуглеводневих газів в діетиленгліколі, $м^3/м^3$; $\rho_{Р.У}$ – щільність газової суміші що розчиняється, $кг/м^3$.

Нижче наведена розрахункова схема абсорбера для осушування вуглеводневої газової суміші.

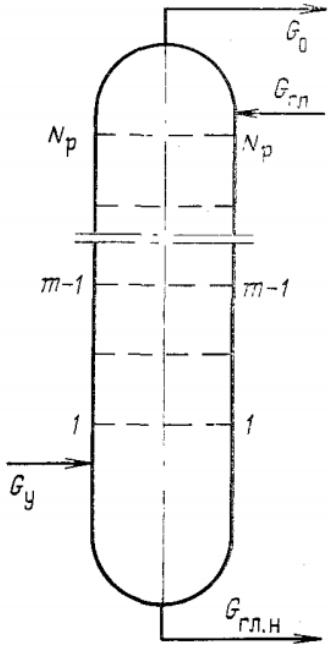

Рисунок 2.5 - розрахункова схема абсорбера для осушування вуглеводневої газової суміші.

Розчинність вуглеводневих газів в діетиленгліколь при тиску р = 4 МПа і прийнятої середній температурі в апараті t=32 ^{0}C, звідки $V_{Р.У}$=4,5 $м^3/м^3$.

Щільність розчиняється газової суміші, або щільність сировини:

$$\rho_{Р.У}=(M_г 273\pi)/(22,4(t_c+273)0,1\cdot z), \quad (2.12)$$

$$\rho_{Р.У}=(22,96\cdot 273\cdot 4)/(22,4(32+273)0,1\cdot 0,95)=38,63 \text{ кг/м}^3$$

Тоді:

$$G_{Р.У}=4,5\cdot 38,63\cdot 0,11=19 \text{ кг/ч}$$

Кількість і-того вуглеводню, що розчиняється в діетиленгліколі

$$g_i=G_{Р.У}x_i, \quad (2.13)$$

де x_i – масова частка і-того вуглеводню, розчинилося в діетиленгліколі.

Масова частка і-того вуглеводню, розчинилося в діетиленгліколь, знаходиться з припущення про одночасне розчиненні вуглеводнів пропорційно їх коефіцієнтам дифузії в розчиннику [8].

Коефіцієнти дифузії вуглеводнів в діетиленгліколь при середній температурі абсорбції t = 33 ^{0}C розраховуються за наближеною формулою:

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

де D_{20} - коефіцієнт дифузії вуглеводнів в діетиленгліколь при температурі 20 ^{0}C, м^2/с; b - коефіцієнт, що враховує вплив температури на дифузію речовини.

Коефіцієнт D_{20} розраховується за формулою:

$$D_{20} = \frac{1\cdot 10^{-4}}{A\cdot B\cdot\sqrt{\mu}\cdot\left(V_A^{1/3}+V_B^{1/3}\right)^2}\cdot\sqrt{\frac{1}{M_A}+\frac{1}{M_B}}, \quad (2.15)$$

де A і B - коефіцієнти, що залежать від властивостей розчиненої речовини і розчинника (для газів A = 1; для гліколю B = 2); m = 25 - динамічний коефіцієнт в'язкості, Па·с; V_A– молярний обсяг розчиненої речовини; V_B = 123,5 - молярний обсяги діетиленгліколю; M_A - молярна маса газу; M_B = 106,12 - молярна маса гліколю.

Рівноважні втрати гліколю при його випаровуванні і віднесенні з колони із виведеним висушеним газом залежить від температури контакту t_c = 25 ºС; і тиску в апараті π=4 МПа; вони рівні Δg = 2,5 * 10^{-3} кг/(м^3 * 10^3)

$$g_{гл} = \Delta g * V / 1000 = 2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 1296 / 1000 = 0.324 \text{ кг/ч}$$

Кількість осушенного газу рівно:

$$G_0 = G_у – G_{вл.п} – G_{р.у} + g_{гл} = 51340 – 1{,}27 – 24 + 0.324 = 51315 \text{кг/ч}$$

Кількість насиченого розчину гліколя рівно:

$$G_{гл.н} = G_{гл} + G_{вл.п} + G_{р.у} - g_{гл} = 123{,}2 + 1{,}27 + 24 – 0.324 = 148{,}2 \text{ кг/ч}$$

Таблиця 1. Матеріальний баланс осушення газу.

Потік надходить в апарат	Кількість кг/год	Потік виведений з апарату	Кількість кг/год
Зволожена парогазова суміш G_y	51340	Осушення газова суміш G_0	51315
Свіжий розчин гліколю $G_{гл}$	123,2	Насичений розчин гліколю $G_{гл.н}$	148,2
Σ	51463,2	Σ	51463,2

вміст ДЕГ в насиченому розчині становить:

$$x_{2р} = x_1 \cdot G_{гл} / G_{гл.н} = 0.98 \cdot 123,2 / 148,2 = 0.915$$

Розрахунки показую що збільшення х2 призведе до помітного зростання кількості ДЕГ і, як наслідок, до збільшення енерговитрат на його перекачування і регенерацію. Тому розбіжність числових значень х2=0.97 и х2р=0.915, рівне 5,4% слід вважати допустимим і перерахунків не робити [8].

2.2 Теплові баланси і розрахунки

В розраховується абсорбере осушення газу повинна протікати при ізотермічних умовах, що практично не матиме значний вплив на температуру ДЕГ.

Рівняння теплового балансу абсорбера має вигляд:

$$Q_{Gy} + Q_{Gгл} + Q_k + Q_p = Q_{Go} + Q_{Gгл.н}$$

Його ліва частина відповідає приходу тепла (кВт); QGy - з газовим сировиною; QGгл - зі свіжим розчином ДЕГ; Qk - від виділення тепла при конденсації водяної пари і розчиненні конденсату в гліколі; права - витраті тепла (кВт): QGo - з висушеним газом; QGгл.н - з еасищенним розчином гліколю.

Кількість тепла що вноситься в апарат вологим газовим сировиною дорівнює:

$$Q_{Gy} = G_y c_p t_c$$

де c_p – теплоємність газової сировини

$$c_p = c_p^0 - \Delta c_p$$

c_p^0 - ізобарна теплоємність газової суміші в розрахунку на ідеальний газ; Δср - поправка на тиск. $\Delta c_p = R(\Delta c_p^0 - \acute{\omega}\Delta c_p') / M$

$$\Delta c_p = 8.315[-0.25 + 0.0458(-0.29)] / 23 = - 0.1$$

Тоді:

$$c_p = 1.98-(-0.1) = 2.08$$

$$Q_{Gy} = 51340 \cdot 2.08 \cdot 25 = 2669680$$

Кількість тепла що вноситься в апарат з розчином ДЕГ становить:

$$Q_{Gгл} = G_{гл} \cdot c_{гл} \cdot t_{гл}$$

$c_{гл}$ = 2.36 кДж/(кг·˚С) при $t_{гл}$=25˚С; отже:

$$Q_{Gгл} = 148,2 \cdot 2.36 \cdot 25 = 8744$$

Кількість тепла що виділяється при конденсації водяної пари і розчиненні конденсату і ДЕГ становит:

$$Qк = Q' + Q''$$

Q' – кількість тепла що виділяється при конденсації водяної пари; Q " - кількість тепла, що виділяється при розчиненні конденсату.

r_{H2O} = 2434 кДж/кг теплота конденсації водяної пари при t_c=25˚С

$$Q' = G_{вл.п} * r_{H2O} = 1,1,27 \cdot 2434 = 3091$$

$$Q'' = G_{вл.п} r_p = 1,27 \cdot 135.2 = 172$$

r_p = 135.2 – теплота розчинення води в ДЕГ

$$Qк = 3091 + 172 = 4162 = 0,91 кВт$$

$$Q_p = 1012205.3$$

Кількість тепла яке виводиться з апарату висушеним газом:

$$Q_{Go} = G_o c_p t_o = 51315 \cdot 2.08 \cdot 25 = 2668380$$

Температура насиченого абсорбенту, що виводиться з апарату:

$$t_н = 3600\ Q_{Gгл.н} / G_{гл.н} c_n = 3600 * 4,16 / 148,2 * 2.3 = 40˚С$$

Тоді середня температура в абсорбере буде дорівнює:

$$t' = t_c + t_н / 2 = 25 + 39 / 2 = 32,5\ ^{\circ}C$$

Розбіжність з прийнятим в умовах поділу середнім значенням температури в апараті t = 32 ºС становить прийнятну величину 1,5%

Таблиця. 2 Тепловий баланс абсорбера

Найменування теплового потоку	Температура °С	Кількіст тепла кВт
Прихід	-	
Газова сировина Q_{Gy}	25	741,5
Свіжий розчин $Q_{Gгл}$	25	2,57
Тепло конденсації і розчинення води Q_k	-	0,96
Тепло розчинення вуглеводнів Q_p	-	0,53
Σ	-	745,76
Витрата	-	
Осушений газ Q_{Go}	25	741,2
Насичений розчин $Q_{Gгл.н}$	39	4,16
Σ	-	745,76

Крива рівноваги зображена на рисунке 2.10.

Таблица 2.10 - Розрахунок координат лінії рівноваги

Концентрація води в розчиніx_i, мас.долі	Мольна маса розчину M_{CPi}	Тиск водяної пари в розчині p_i, Па (рис. 11)	Мольная концентрація води в розчині $x_i^{'} = M_{cpi} \cdot \frac{x_i}{M_B}$	Рівноважна молярна концентрація водяної пари в газі $y_i^{'} = \frac{p_i}{\pi}$
0,01	101,1	48	0,056	0,000027
0,02	96,6	140	0,107	0,000078
0,03	92,5	270	0,154	0,00015
0,05	85,3	480	0,236	0,000267
0,10	71,2	1050	0,395	0,000583
0,20	53,6	1400	0,595	0,000778

Побудовою ступінчастою лінії від точки входу газу в апарат і виходу розчину з апарату (точка В) до точки виходу газу і входу розчину (точка А)

визначається (з деяким запасом) число теоретичних тарілок N_T=2.

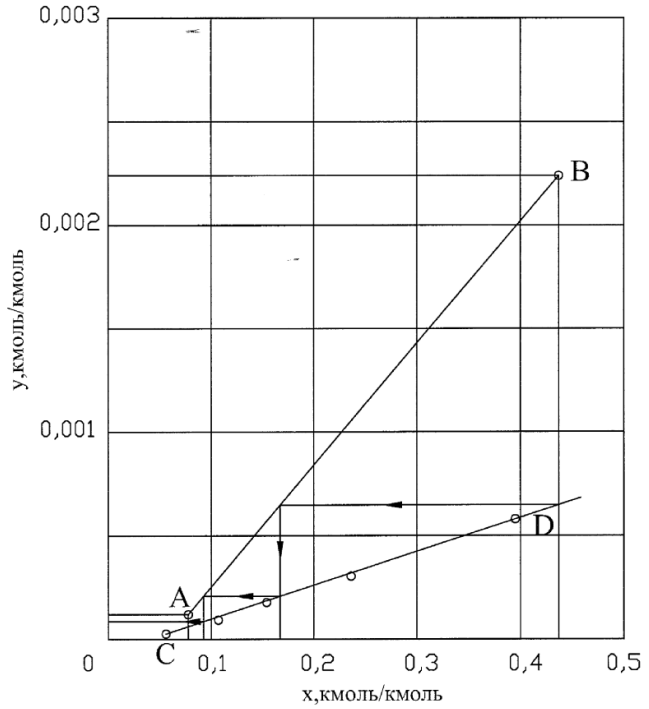

Рисунок 2.10 - Графік для визначення числа теоретичних тарілок в абсорбері

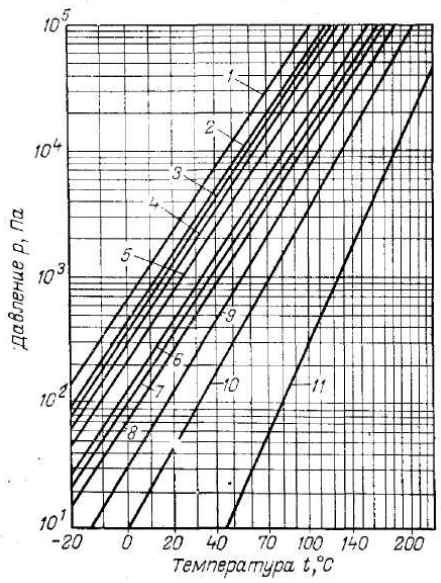

Рисунок 2.11 - Залежність парціального тиску води в розчині діетиленгліколю від температури: 1 - вода; 2 - 25% (мас.) води; 3 - 20% (мас.) води; 4 - 15% (мас.) води; 5 - 10% (мас.) води; 6 - 5% (мас.) води; 7 - 3,8% (мас.) води; 8 - 3% (мас.) води; 9 - 2% (мас.) води; 10 - 1% (мас.) води; 11 – діетиленгліколь

2.3 Конструктивні розрахунки апарату

2.3.1 Розрахунок діаметра апарату

Діаметр абсорбера в найбільш навантаженому нижньому його перетині (під нижньою тарілкою):

$$D_a = \frac{\frac{1800G'_{гл.н}}{\rho_{гл.н}} + \sqrt{\left(K_0C+35\right)\frac{G_y}{\sqrt{\rho_{р.у}\left(\rho_{гл.н}-\rho_{р.у}\right)}}}}{K_0C+35} \qquad (2.43)$$

$$D_a = \frac{\frac{1800\cdot 0,041}{1117} + \sqrt{\left(0,25\cdot 480+35\right)\cdot\frac{51340}{\sqrt{14,67\left(1117-14,67\right)}}}}{0,25\cdot 480+35} = 1,614 \text{ м},$$

де $G^1_{ГЛ.Н}$ – витрата насиченого абсорбенту з апарату, кг/с; $\rho_{ГЛ.Н}$ – щільність розчину гліколю при температурі ре $t_Н=20^0$С, $\rho_{ГЛ.Н}=1115$ кг/м^3 (див. рисунок 2.3); $К_0=0,25$ – коефіцієнт для тарілок, що складаються з S-образних елементів (прийняті відповідно до рекомендацій); С = 480 - коефіцієнт для абсорберів при відстані між тарілками $h_Т=0,6$ м; $G_У$ - витрата газової сировини в апараті, кг/ч; $\rho_{Р.У}$ – щільність газової сировини $\rho_{Р.У}=38,63$ кг/м^3.

При відомої продуктивності по газу можна розрахувати площа поперечного перерізу сітчастого відбійника [2]:

$$S_Г = \frac{V_Г}{8,64\cdot 10^4 W_1 \varphi \frac{P}{P_0}\frac{T_0}{T}\frac{Z_0}{Z}}$$

де W_1 – допустима швидкість газу, м/с

де $V_Г$ – продуктивність сепаратора, м^3/сут;

φ - кривий перетин відбійника, м^2/м^2;

$\rho_Н$, $\rho_Г$ – щільності суміші і газу, відповідно, в робочих умовах, кг/м^3;

Р, $Р_0$ – абсолютний тиск при абсорбції і абсолютне атмосферний тиск, відповідно, кгс/см^2;

T, T_0 – абсолютна температура при абсорбції і абсолютна стандартна температура, відповідно, К;

z, z_0 – коефіцієнти стисливості газу в робочих

Площа поперечного перерізу сітчастого відбійника (φ=0,98 – сітчатий тип відбійника*):*

$$S_г = \frac{50000 * 24}{8{,}64 \cdot 10^4 \cdot 0{,}98 \cdot 1{,}8 \cdot \frac{504000}{101325} \cdot \frac{273}{(25+273)} \cdot \frac{0{,}989}{0{,}999}} \approx 1{,}71 м^2$$

С формулы эффективності уловлення капель виражаемо висоту відбійника

$$\eta = 1-(1-0.2\frac{HS}{n}\eta_a')^n$$

S-формули ефективності уловлення крапель висловлюємо висоту відбійника

- поверхня дроту $м^2$ в $м^3$ насадки. 300 $м^2$ / $м^3$ загального призначення

-ефективність інерційного захоплення крапель, знаходимо за графіком (3) η_a'=0,5

n - число сіток, приймаємо = 2

Н - висота відбійника

Ефективності улавлен крапель приймаємо η=0,99

$$0.99 = 1-(1-0.2\frac{H300}{2}0.5)^2$$

Звідки

Н = 0,06м

Витрата насиченого абсорбенту:

$$G^1_{ГЛ.Н}=G_{ГЛ.Н}/3600, \quad (2.44)$$

$$G^1_{ГЛ.Н}=148{,}2/3600=0{,}041 кг/с.$$

Підставивши всі відомі нам дані в вищеописану формулу, діаметр абсорбера дорівнює: D_a=1,614 м.

Числове значення діаметра абсорбера приймається рівним D_a=1,8 м.

2.3.2 Розрахунок висоти абсорбера

Робоча висота абсорбера дорівнює,*м:*

$$H_P=h_1+h_2+h_3, \quad (2.45)$$

де h1 - висота нижньої камери; h2 - висота частини апарату, зайнятої тарілками; h3 - висота верхньої камери апарату.

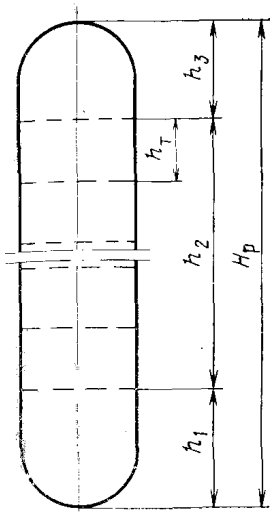

Рисунок 2.12 - Схема для розрахунку висоти абсорбера осушки газу

Висоту нижньої камери апарату приймемо рівної h1 = 1,5 м.

Висота частини апарату, зайнятої тарілками:

$$h_2=(N_P-1)h_T, \quad (2.46)$$

де N_P – исло робочих тарілок; hт - відстань між тарілками, м.

Число робочих тарілок:

$$N_P=N_T/\eta, \quad (2.47)$$

де N_T – число теоретичних тарілок; η - к.п.д. тарілки з S-образных элементов.

Зазвичай к.к.д. тарілок в промислових абсорбера гликолевой осушки лежить в межахη=0,25…0,4. З метою максимальної осушки газу приймається η=0,25.

$$N_P=2/0,25=8.$$

Тоді

$$h_2=(8-1)\cdot 0,5=3,5 \text{ м}$$

Висота верхньої частини h_3 приймається рівною 1,5 м

$$H_P=1,5+3,5+1,5=6,5\text{м}.$$

2.4 Гідравлічний опір апарату

Загальний опір тарілки прийнято розраховувати за рівнянням::

$$\Delta P=\Delta P_c+\Delta P_{ж}+\Delta P_{отб}+\Delta P_{вх}+\Delta P_{вих} \quad (2.48)$$

де ΔP_c-опір сухої тарілки, Па

$\Delta P_ж$-опір шару рідини на тарілці, Па

$\Delta P_{від}$- опір газу на виході з сітчастого відбійника

$\Delta P_{вх}$-опір апарату на вході

$\Delta P_{віх}$-опір апарату на виході

Опір сухої тарілки

$$\Delta P_c=\zeta_c\cdot\rho_г\cdot\omega_o^2/2 \quad (2.49)$$

де $\rho_г$–щільність газу, *кг/м³*

ω_o –швидкість газу в патрубках тарілки, *нм/с*

ζ_c – коефіцієнт опору сухої колпачкової тарілки в такому значенні:

$\zeta_c=1,73\cdot D_к^{-0,25}$

$D_к$ –диаметр колпачка, *м*

$$\zeta_c=1,73\cdot(100\cdot 10^{-3})^{-0,25}=3,2529$$

$$\omega_0=\frac{V_n}{F_0} \quad (2.49)$$

де F_0 –площа проходу газу [6, с. 226, табл. 8.6]

$$\omega_0=\frac{0,11}{0,049}=2.24 \text{ м/с}$$

Таким чином:

$$\Delta P_c=3,2529\cdot 38,63\cdot 2,24^2/2=80,56 \text{ Па}$$

Опір шару рідини на тарілці можна розрахувати за спрощеною залежності

$$\Delta P_{ж} = \left(h_{гб} + \frac{h_{пр} + \Delta h}{2} \right) \cdot \rho_{ж} \cdot g \qquad (2.50)$$

де Δh –перепад рівня рідини на тарілці можна орієнтовно оцінити по залежності

$$\Delta h = 0{,}1\lambda_{э} \cdot \frac{l_{ж} V_{ж}^{2}}{П^{2}(h_{пор} + h_{сл})^{3} \cdot g} \qquad (2.51)$$

де $\lambda_э$ – еквівалентний коефіцієнт опору перетоку рідини по тарілці

$L_ж$ - довжина шляху рідини по тарілці, м

$V_ж$ витрата рідини поточний по тарілці, *м³/с*

$$\Delta h = 0{,}1 \cdot 16 \frac{0{,}52 \cdot (4{,}49 \cdot 10^{-4})^{2}}{0{,}57^{2} \cdot (0{,}0765 + 5{,}45 \cdot 10^{-3})^{3} \cdot 9{,}81} = 9{,}56 \cdot 10^{-5} м$$

Тоді опір шару рідини на тарілці

$$\Delta P_{ж} = \left(5{,}2 \cdot 10^{-2} + \frac{20 \cdot 10^{-3} + 9{,}56 \cdot 10^{-5}}{2} \right) \cdot 1115 \cdot 9{,}81 = 456{,}127\ Па$$

$$\Delta P_{отб} = \lambda \frac{L \cdot \omega^{2} \rho}{D \cdot 2} = 0{,}9 \frac{0{,}14 \cdot 1{,}8^{2} \cdot 38{,}63}{1{,}8 \cdot 2} = 18{,}7 \text{Па}$$

$$\lambda = 0{,}9$$

де -w - допустима швидкість газу, м / с

D- діаметр колони, м

ρ – щільність газового сировини

L-висота відбійника, м

Опір на вході в колону

$$\Delta P_{p} = x \left(\frac{w}{F_{c}} \right)^{2} \times \frac{r_{р.у}}{2} \qquad (2.52)$$

$$\Delta P_{p} = 1 \cdot \left(\frac{2}{0{,}1} \right)^{2} \cdot \frac{14.67}{2} = 1016 \text{ Па}.$$

ω– швидкість газу в патрубках

Опір на виході з колони приймаємо рівним опору на вході в колону.

Загальний опір тарілки дорівнює:

$$\Delta P = 80{,}56 + 456{,}127 + 18{,}7 + 1016 + 1016 = 2587{,}4\ Па$$

3 Розрахунки на міцність апарату

3.1. Розрахунок товщини стінки корпусу [7,8,9]

Вихідні дані для розрахунку товщини стінки корпусу

$$D_в = 1800 мм$$

$$P = 4\ МПа$$

Матеріал корпусу 12Х18Н10Т. напруга, що допускається $[\delta] = \eta[\delta]^*$

де η - поправочний коефіцієнт, що враховує умови експлуатації апарату;

$[\delta]^*$ - номінальне допустиме напруження, МПа.

За [7, табл.1.4] визначаємо, що $[\delta]^* = 160\ МПа$. За рекомендаціями, наведеними в [7, с.408] для вузлів і деталей апаратів, призначених для обробки або зберігання вибухопожежонебезпечних продуктів $\eta = 0{,}9$.

тоді

$$[\delta] = 0{,}9 \cdot 160 = 144\ МПа$$

Зварні шви стикові двосторонні для обичайок $D_в \geq 500$ мм, Зварювання автоматична під шаром флюсу.

За табл. [7, табл.14,7] вибираємо коефіцієнт міцності зварних швів $\varphi_ø = 1$

Під пробним тиском $P_{пр}$, МПа, в посудині або апараті розуміється надмірний тиск, при якому проводиться випробування посудини або апарата на міцність і щільність після його виготовлення і періодично при експлуатації (згідно з ДСТУ 3-17-191-2000)

Пробний тиск при гідравлічному випробуванні згідно [7] визначимо за формулою:

$$P_{пр} = \max\left\{1{,}5 P p [\sigma]_{20} / [\sigma]_t ; 0{,}2\ \right\} \qquad (3.1)$$

$$P_{пр} = \max\left\{1{,}5 \cdot 4 \cdot 160 / 144; 0{,}2\ \right\} = \max\left\{6.66; 0{,}2\right\} = 6.66 МПа.$$

Згідно вимог ГОСТ 74249-89 розрахунок на міцність елементів посудини або апарата для умов випробування проводити не потрібно, тому

що розрахунковий тиск в умовах випробування буде менше, ніж розрахунковий тиск в робочих умовах, помножене на $1{,}35[\sigma]_{20}/[\sigma]$.

Під розрахунковим тиском в робочих умовах Р, МПа, для елементів посудини і апарату розуміється максимальне допустиме робочий тиск, на яке проводиться їх розрахунок на міцність.

Визначаємо відношення визначальних параметрів $[\delta]$ і Р з урахуванням коефіцієнта φ. приймаємо $\varphi = \varphi_ø$ при повністю укріплених отворах.

$$\frac{[\delta]}{P}\varphi_ш = \frac{144}{4}\cdot 1 = 36 > 25$$

Номінальну розрахункову товщину стінки, обичайки для даного значення відносини $\frac{[\delta]}{Ð}$ згідно [7, табл.15,6]

$$S_R = \frac{D_в \cdot P}{2\cdot[\delta]\cdot\varphi} \qquad (3.1)$$

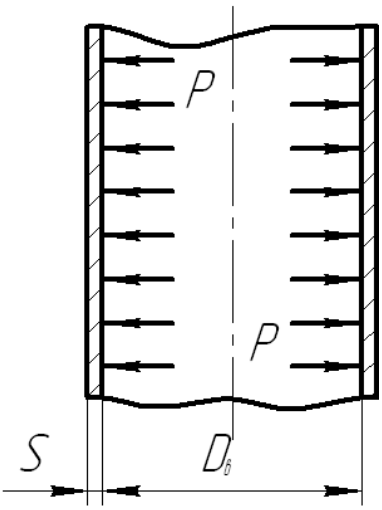

Рисунок 3.1 -Розрахункова схема обичайки

$$S_R = \frac{1.8\cdot 4}{2\cdot 144\cdot 1{,}0} = 0{,}032 = 32.4 \ мм$$

Згідно [7] проникність стали 12Х18Н10Т в даному середовищі $П = 0{,}1 \ мм/рок$.

Тоді при терміні служби апарату $\tau = 10$ років надбавка на компенсацію коррозії складе

$$C_к = n \cdot \tau \tag{3.2}$$

$$C_к = 0,1 \cdot 10 = 1 мм$$

Виконавча товщина стінки корпусу, з урахуванням надбавки на корозію, надбавки на допустиме відхилення по товщині - 0,8 мм [7, табл.2.22] і збільшення на округлення товщини до найближчого великого розміру по сортаменту

$$S = 32.4 + 1 + 0,8 + 0,8 = 35 \ мм$$

Приймаємо товщину стінки апарату 40 мм.

перевіримо умову

$$\frac{S - C_к}{D_в} \le 0,1 \tag{3.3}$$

$$\frac{40 - 1}{1800} = 0,022 < 0,1$$

тобто умови виконуються.

Допустиме тиск в апараті

$$[P] = \frac{2[\delta] \cdot \varphi \cdot (S - C_к)}{D_в + (S - C_к)} \tag{3.4}$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 144 \cdot 1,0(0,04 - 0,001)}{1,8 + (0,04 - 0,001)} = 6.26 МПа$$

$[P] > P$ -Умови виконуються

3.2 Розрахунок товщини стінки еліптичного днища [7,8,9]

Вихідні дані:

$$D_в = 1800 мм$$

$$P = 4 \ МПа$$

Матеріал корпусу 12Х18Н10Т.

Товщину стінки еліптичного днища попередньо приймаємо рівною товщині стінки корпусу апарату $S = 40$ *мм* з умов технологічності виготовлення.

За ГОСТ 6533-78 вибираємо стандартне еліптичне днище $D_в = 1800$ *мм*, $h = 60$ *мм* (Висота відбортовки),. $H_g = 450$ *мм*

Внутрішній радіус кривизни в вершині днища для стандартних днищ $R_в = D_в = 1800$ *мм*.

Перевірочний розрахунок здійснюється по допустимому надмірному тискунию

$$[P] = \frac{2[\delta] \cdot \varphi (S - C_к)}{R_в + (S - C_к)} \tag{3.5}$$

де

$\varphi = 1,0$

$C_к = 1,0$ *мм*

$$[P] = \frac{2 \cdot 144 \cdot 1,0(0,04 - 0,001)}{1,8 + (0,04 - 0,001)} = 6.1 \ МПа$$

Оскільки $[P] > P$ прийняту товщину стінки днища приймаємо остаточно.

Для виготовлення кришки, вибираємо аналогічне днище, для якого перевірочний розрахунок не потрібно.

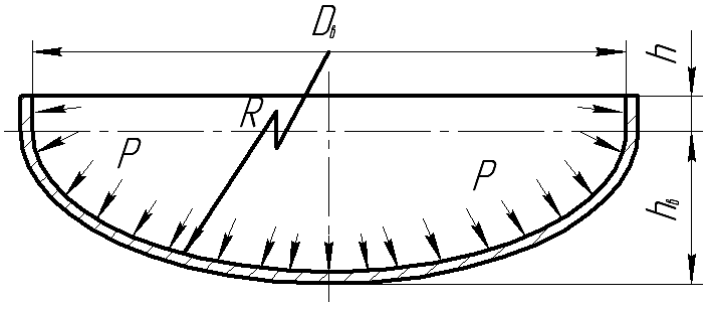

Рисунок 3.2 - Розрахункова схема днища

3.3 Розрахунок і вибір опори

Маса апарату включає масу корпусу, тарілок, днищ

$$M_a = M_к + M_т + 2M_{дн.} \quad (3.7)$$

де

$M_к$ - маса корпусу, кг;

$M_т$ - маса тарілок, кг;

$M_{дн}$ - маса днища, кг [7, табл.16.1];

$M_{дн} = 120$ кг

$$M_к = H_к \frac{\pi}{4}\left(\left(Д + 2S\right)^2 - D^2\right) \cdot \rho_{ст} \quad (3.8)$$

де

$H_к$ - висота циліндричної частини корпусу колони, м,

$H_к = 6.5м$;

$Д$ - діаметр апарату, м; 1,8;

S - товщина стінки корпусу, м;

$\rho_{ст}$ - щільність сталі;

$\rho_{ст} = 7900\ кг/м^3$

$$M_к = 6.5\frac{3,14}{4}\left(\left(1,8 + 2 \cdot 0,04\right)^2 - 1,8^2\right) \cdot 7900 = 11870кг$$

маса тарілок

Із додатка 2 [4] маса однієї тарілки при D = 1800 мм

$m_т$ = 107,8 кг,

$$M_т = 107.4 \cdot 8 = 859.2кг$$

Тоді маса апарату (розрахункова)

$$M_a = 11870 + 859 + 2 \cdot 120 = 12969кг$$

Обсяг колони V = 16,5 м^3, тоді маса при гідравлічних випробуваннях

$$m_3 = V \cdot \rho_в \quad (3.9)$$

$$m_4 = 6.5 \cdot 995 = 16420 \text{ кг.}$$

Наведена навантаження на опору

$$Q = \left(m_a + m_3\right) \cdot g \text{ Н} \qquad (3.9)$$

$$Q = \left(12969 + 16420\right) \cdot 9{,}81 = 2.88 \cdot 10^5 = 288 \text{ кН.}$$

За ОСТ 26-467-78 [6, табл.14.11] по розрахованим навантаженням вибираємо циліндричну опору з кільцевих опорним поясом; число болтів $Z_в = 6;$ $d_б = M20$. Висоту опори з конструктивних міркувань приймаємо рівною $H = 960$ *мм*.

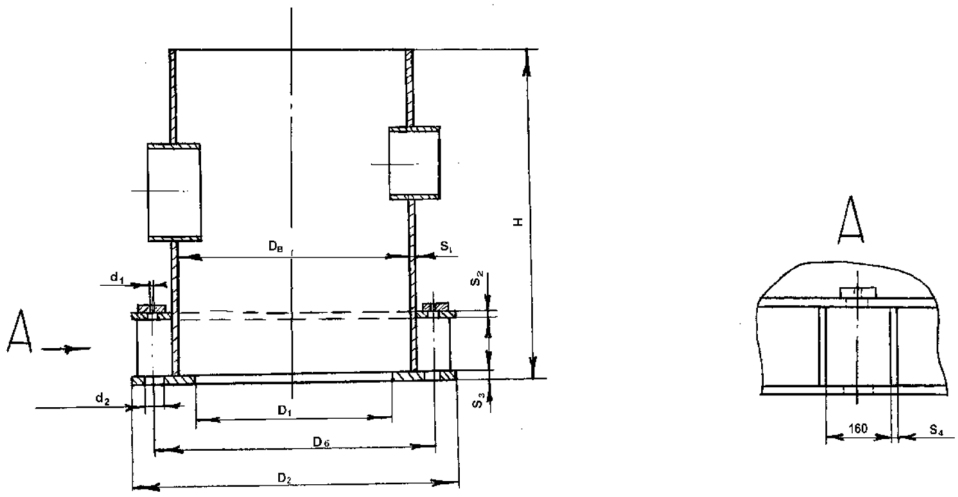

Рисунок 3.3- Ескіз опори

4. Організація монтажних та ремонтних робіт [5,6]

Негабаритні колони, що поставляються блоками, збираються на монтажному майданчику з використанням складальних стендів -роликових або канатних. Роликовий стенд складається з зварної металевої рами, приводу, прорезинених приводних і холостих роликів. Перестановка роликових опор в напрямних дозволяє збирати апарати різного діаметру. Канатний стенд має кілька опор, в яких стикуються блоки підвішуються на канатах.

На складальних стендах здійснюється вивірка блоків з осьовим переміщенням і обертанням, а також зварювання. Для зварювання кільцевих швів стенди забезпечені перекидними містками, на яких розташовується зварювальне обладнання. Шви днищ варяться вручну, кільцеві шви обичайок-вручну або зварювальним автоматом.

Стикування блоків проводиться з застосуванням пристроїв, що забезпечують поєднання кромок. Залежно від прийнятого способу монтажу (укрупненими блоками або повністю зібраного апарату) на стенді здійснюється складання всього апарату або тільки укрупнених блоків, що складаються з 2-3 блоків поставки.

При монтажі укрупненими блоками після установки в проектне положення чергового блоку проводиться монтаж тарілок, металоконструкцій, обслуговуючих майданчиків. Після цього монтується наступний блок.

При монтажі повністю зібраного апарата спочатку апарат збирається з блоків, а потім приварюється опора.

Стикуються частини апарату підтягують один до одного трубоукладачами або тракторами. Для збігу стиків по всьому периметру до крайок однією з стикуються частин приварюють вісім і більше напрямних планок, які після прихватки стику короткими зварними швами зрізають газокисневої різкою. Подібні напрямні планки використовують і при установці одного блоку на інший

в вертикальному положенні (при монтажі блоками). Стикування виробляють строго за заводськими контрольним ризикам або керна, нанесеним на корпусах які ретельно поєднують, а також по маркуванню на деталях. Відхилення розмірів стикуються ділянок повинні бути в межах допустимих норм: зміщення кромок у кільцевих швах не повинно перевищувати 10% товщини листа апарату, а в разі двошарової сталі повинно бути не більше товщини плакуючого шару. Підгонку стиків,

У зварювальних стиках ретельно контролюють зазори, які повинні бути в межах 2-4 мм незалежно від товщини листів обичайок. Зварювані кромки ретельно очищають металевими щітками. Прихватку, як і повну зварювання, виконують електродами, передбаченими проектом. Стики, виконані з двошарової сталі, прихоплюють по основного шару. Технологія зварювання (спосіб і режим зварювання, порядок накладення швів і термообробки) наводиться в проектній документації заводу-виготовлювача. Ділянка території, де проводиться зварювання, повинен бути захищений від атмосферних опадів та вітру для запобігання забруднення шва. Бажано зварювання виконувати на роликовому стенді, на рамі якого встановлюють один або два зварювальних автомата. 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 повинна перевищувати 0,3% від проектної; кривизна утворює циліндра на ділянці 1 м повинна бути не більше 2 мм, а для апаратів вище 10 м-не більше 3 мм.

Вельми важливо правильне розташування на корпусі штуцерів і люків. Для установки і зварювання зручно застосовувати кондуктори та шаблони.

В процесі укрупненої збірки блоків на монтажному майданчику доводиться монтувати частина внутрішніх пристроїв, а іноді і всі внутрішні пристрої. Для цього внутрішню поверхню приладу ретельно очищають від сторонніх предметів, окалини. Потім апарат шляхом кантування або обертання

навколо власної осі встановлюють в положення, що забезпечує найбільш легкий доступ всередину через люк і найбільш просте визначення базових складальних розмірів.

Спосіб монтажу тарілок залежить від їх конструкції і технологічного призначення. Їх можна збирати при вертикальному (робочому) і горизонтальному положенні колони. Другий спосіб дозволяє скоротити загальну тривалість монтажних робіт, але пов'язаний із застосуванням пристосувань великої вантажопідйомності для підйому апарату.

При горизонтальному положенні апарату тарілки встановлюють строго вертикально; їх положення перевіряють по схилу, прикладають в декількох точках, і по заздалегідь нанесеним на внутрішніх стінках апарату мітках, для чого апарат доводиться повертати навколо осі на 90 °. Значно легше забезпечити суворе горизонтальне положення тарілок в уже встановленому, вивіреному і закріпленому на фундаменті корпусі апарату; в цьому випадку достатньої точності добиваються або за допомогою рівня, або заливаючи на поверхню тарілки воду.

Колонні апарати невеликих діаметрів (царгові колони) збирають з окремих ділянок (царг), що з'єднуються один з одним болтами. Розміри царг дозволяють проводити збірку внутрішніх пристроїв, деталі яких вносять в відокремлену від апарату царгу через відкриті торці. Часто поперечні елементи (наприклад, тарілки) затискають між двома суміжними царгами.

Після складання всіх елементів кожна тарілка перевіряється на барботаж. Для цієї мети закриваються всі люки, розташовані нижче контрольованої тарілки тарілка заливається водою. Тарілку заливають водою так, щоб надмірна кількість води зливалося через зливні пристрої. Злив по всьому периметру повинен бути однаковим, тому передбачається можливість його регулювання. Товщина шару води на всіх ділянках тарілки повинна бути також однаковою. Після заповнення гідрозатворів в зливних кишенях під перевіряється тарілку компресором нагнітають повітря. Рівномірність барботажа контролюється візуально.

Монтаж насадки колонних апаратів здійснюється після остаточної вивірки і закріплення апарату фундаментними болтами, установки обслуговуючих майданчиків і сходів, гідравлічного випробування.

При безладної завантаженні кілець Рашига або інших насадок елементів апарат заповнюється водою до верхнього люка і кільця з підйомного бака вивантажуються в воду. У міру наповнення колони зайва вода зливається через нижній штуцер колони.

Установка апаратів в проектне положення.

Технологія підйому апарата є складовою частиною проекту проведення монтажних робіт. Проектом передбачається детальна схема підйому, вказуються місця установки щогл або кранів, їх положення на різних етапах підйому, розташування розчалок, лебідок, що відводяться тросів, поліспастів і т. Д. У цьому ж проекті наводяться технічні характеристики всіх підйомних коштів.

Зусилля, які відчувають елементами такелажного оснащення при підйомі апаратів, змінюються в широкому інтервалі. Розрахунок цих елементів виробляють на максимальне зусилля.

Ступінь складності установки колонних апаратів в проектне положення визначається їх габаритними розмірами (висотою і діаметром), масою, а також висотою фундаменту (постаменту). Підйом апаратів здійснюють кранами або за допомогою щогл. Застосовують два основних способи підйому: ковзання і поворот навколо шарніра.

При підйомі апарату з ковзанням опорної частини по землі щогли встановлюють по обидва боки від фундаменту. Піднімається апарат попередньо підтаскують тракторами можливо ближче до фундаменту так, щоб його вісь була перпендикулярна до площини обох щогл. При підйомі верху апарату його опорна частина наближається до фундаменту, ковзаючи по заздалегідь підготовленій підставі на черевику, що оберігає опорні конструкції від поломки або деформації. Щоб регулювати рух опорної частини і запобігти тим самим ривки або удари по фундаменту, нижню частину апарату страхують відтяжними

тросом. Коли вісь апарату наближається до вертикального положення, його опорну частину відривають від землі. Далі апарат піднімають над фундаментом, за допомогою відтяжних тросів надають йому проектну орієнтацію і опускають на фундамент.

Як поворотного пристрою для підйому апаратів використовується кулянир на розрізний опорі. Опора апарату встановлюється в проектне положення, вивіряється і кріпиться до фундаменту анкерними болтами. Розмічається місце розвантаження опори. Нижче місця розрізу приварюються нижні частини шарніра, вище - верхні частини шарніра. Після цього опора розрізається, кромки різу готуються до наступної зварюванні після завершення монтажу, відрізана частина опори повертається на 90 ° і до неї пристиковується і приварюється встановлюється апарат. До підйому на апарат наноситься ізоляція, встановлюються кожуха, які обслуговують майданчики, трубопроводи. Можлива зворотна послідовність установки шарніра.

В останній момент виведення апарату в вертикальне положення з одночасною посадкою на фундамент він під дією великих сил інерції може обернутися навколо шарніра. Щоб запобігти цьому, до верхньої частини піднімається апарату прив'язують відтяжної трос (гальмівну відтягнення), за допомогою якого здійснюють плавну посадку на фундамент.

Порівнюючи способи ковзання і повороту можна відзначити наступні їхні переваги й недоліки. Підйом способом ковзання з відривом апарату від землі є найбільш простим, які вимагають мінімальних витрат на підготовчі роботи і оснащення. Однак при цьому способі, вантажопідйомність монтажних механізмів повинна бути дорівнює вазі апарату або перевершувати його. Іншим недоліком цього методу є підвищені вимоги до перевірки такелажного оснащення, оскільки максимальне навантаження на оснащення впливає тільки в кінці підйому.

Підйом способом повороту навколо шарніра вимагає більш високих витрат на підготовчі та допоміжні роботи. Ці витрати пов'язані з виготовленням та встановленням шарніра, а також з додатковими заходами для сприйняття

горизонтальних навантажень на фундамент. Однак при цьому способі вантажопідйомність монтажних механізмів може бути значно менше ваги апарату (трохи більше 50% від ваги апарату). Перевагою цього методу є також те, що максимальне навантаження на такелажне оснащення діє в перші моменти підйому, а потім у міру підйому апарату зменшується. Це дозволяє на початку підйому після відриву апарату від землі дати витримку і перевірити перебуваючи-ня оснащення при повному навантаженні.

Випробування колонних апаратів.

Нові колони, а також колони, корпуси яких зазнавали значного ремонту, обпресовують. Опресовування з метою перевірки міцності і щільності апарату проводиться на пробне тиск, величину якого встановлюють залежно від робочого тиску і вказують в паспорті або технологічною картою. При такому тиску апарат витримують протягом 5 хв, після чого тиск повільно знижують до робочого і приступають до огляду корпусу, одночасно оббивають зварні шви молотком.

При гідравлічної обпресування високих колонних апаратів слід враховувати величину гідростатичного стовпа обпресувальна води; тому перед обпресуванням по паспорту або розрахунком перевіряють допустимість гідравлічного випробування в робочому положенні. Воно може проводитися, якщо навантаження на стінку нижнього пояса апарату від суми пробного тиску і тиску стовпа рідини не перевищує 0,8 величини межі текучості металу корпусу при температурі опресування.

У тих випадках, коли зазначена умова не виконується або виникає небезпека перевантаження фундаменту апарату, з дозволу і в присутності інспектора Держнаглядохоронпраці можна виробляти опресовування колон повітрям або інертним газом. До пневматичної опрессовке вдаються також тоді, коли за умов технологічного процесу присутність води в колоні може викликати аварію при виході її на робочий режим.

Апарат, що знаходиться під тиском повітря, обстукувати молотком не можна; зварні шви обстукують до початку опресування. У момент підвищення тиску стояти поблизу апарату заборонено.

Вакуумні колони піддають гідравлічному випробуванню на пробне тиск 0,2 МПа або пневматичної на тиск 0,11 МПа. Колони, що працюють при атмосферному тиску, як правило, випробовують шляхом заливання водою.

При перевірці зварних швів змазуванням їх гасом протягом 20-40 хв (В залежності від товщини кожного шва) стежать за появою плям на змащеній крейдою зворотного (зазвичай зовнішньої) стороні шва.

Ремонт колонних апаратів. Основним видом зносу колон масообмінної апаратури є забивання колони відкладеннями і корозія її елементів. Зміст операцій і їх число при розбиранні колони залежить від її діаметра. Колони діаметром <0,8 робляться царговими на фланцях, колони діаметром> 0,8 м-звареними. Царгові колони розбираються повністю. Вантажопідйомний механізм повинен бути встановлений вище колони, що дозволяє зняти всі царги по черзі. При неможливості встановлення вантажопідіймального механізму вище колони демонтаж починається з нижньої царги при підйомі інших царг.

Суцільнозварні колони при ремонті частіше за все не демонтуються. Демонтуються тільки внутрішні пристрої колон.

Підготовка колонних апаратів до ремонту. Колонні апарати ремонтують при планово-попереджувальних ремонтах технологічної установки. Порядок підготовки апарату до ремонту і проведення ремонтних робіт залежить від особливостей установки.

У більшості випадків колонні апарати готують до ремонту наступним способом. Доводять тиск в колоні до атмосферного, з апарату видаляють робоче середовище, після чого його пропарюють водяною парою, який витісняє залишилися в колоні пари і гази. Після пропарювання колону промивають водою. У деяких випадках пропарку і промивку чергують кілька разів. Час операцій обмовляється у виробничій інструкції (технологічному регламенті) кожної технологічної установки або технологічного блоку.

Промивання колон водою сприяє також більш швидкому їх охолодженню. Не можна приступати до ремонтних робіт, якщо температура промивної води перевищує 50 ° С.

Пропарену і промиту колону від'єднують від всіх апаратів і коммунікацій глухими заглушками, що встановлюються у фланцевих з'єднаннях штуцерів. Установку кожної заглушки і подальше її зняття реєструють в спеціальному журналі.

Технологія ремонту. Ремонт апарату починають з його розтину, яке необхідно проводити, суворо дотримуючись таких правил. Спочатку відкривають верхній люк, причому перед цим в апарат протягом деякого часу подають водяну пару, щоб уникнути можливого підсосу повітря, в результаті якого може утворитися вибухонебезпечна суміш. Далі послідовно (згори вниз) відкривають інші люки. Категорично забороняється одночасно відкривати верхній і нижній люки. Не можна також відкривати спочатку нижній, а потім верхній люк, так як внаслідок різниці температур відбувається сильна притока повітря в колону, що може привести до утворення вибухонебезпечної суміші.

Після відкривання люків колона деякий час провітрюється в результаті природної конвекції повітря.

Після закінчення провітрювання потрібно провести аналіз проб повітря, взятих з колони на різних висотних відмітках. До робіт всередині колони дозволяється приступати тільки тоді, коли аналіз покаже, що концентрація шкідливих газів і парів в ній не перевищує гранично допустимих санітарних норм.

При роботі всередині колони необхідно ретельно дотримуватися правил тихніки безпеки. Робочий повинен надягати запобіжний пояс з мотузкою, кінець якої виводиться назовні і надійно закріплюється; за роботою знаходиться всередині колони робочого постійно спостерігає спеціально виділений для цієї мети робочий. Тривалість безперервної роботи в колоні повинна бути не більше 15 хв. Після цього необхідний такий же за тривалістю відпочинок поза колони (зазвичай робочий і спостерігач міняються місцями).

При перших же ознаках появи всередині ремонтованого апарату вибухонебезпечних, горючих або токсичних рідин, парів і газів всяку роботу слід негайно припинити.

До підготовки колони пред'являють особливо високі вимоги в тому випадку, якщо в ній повинні проводитися вогневі (зварювальні) роботи.

Для освітлення всередині колони застосовують лампи напругою не більше 12 В. Переносне освітлення повинно бути вибухобезпечним.

Корпус колони, а також її внутрішні пристрої піддають ретельному огляду. При необхідності огляду всієї поверхні корпусу розбирають внутрішні пристрої або їх частину.

Здійснити ремонт і внутрішній огляд високих пустотілих колонних апаратів буде дуже складно, оскільки це вимагає споруди спеціальних лісів всередині апарату. Для безпечного та ефективного технічного огляду і ремонту апаратів застосовується спеціальна підвісна платформа, елементи якої вводяться в апарат через люк і збираються всередині апарату. Платформа, що піднімається тросом, дозволяє виконувати огляд і чистку внутрішньої поверхні апарату, огляд зварних швів, ремонт внутрішньої поверхні апарату.

Виявлення дефектів корпусу, що вимагає високої кваліфікації, включає візуальний огляд для визначення загального стану корпусу і ділянок, що піддаються найбільшому зносу; вимір залишкової товщини корпусу за допомогою ультразвукових дефектоскопів, і контрольного просвердлювання отворів; перевірку на щільність зварних швів і рознімних з'єднань і т. д.

За характером виявленого дефекту встановлюють зміст і спосіб ремонту корпусу. Нещільні зварні шви вирубують, зачищають і заварюють відповідним електродом.

Зношені штуцери і люки вирізають і замінюють новими з обов'язковою установка зміцнювальних кілець. Бажано, щоб зміцнюють кільця нових штуцерів мали дещо більший діаметр, ніж старі: це дозволяє приварювати їх в новому місці. Ремонту піддають все штуцери, сигнальні отвори на зміцнювальних кільцях яких під час експлуатації були заглушені пробками.

При кожному ремонті вимірюють фактичну товщину стінки корпусу експлуатіруемого колонного апарату. Найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізують, а на їх місце ставлять нову ділянку, заздалегідь завальцованний по радіусу колони. Зварювання виробляють встик. Вирізання великих ділянок корпусу може привести до ослаблення перетину і порушення стійкості. Тому до вирізання дефектного ділянки його зміцнюють стійками, що встановлюються всередині або зовні. Число й перетин стійок і розміри опорних лап розраховують виходячи з умови рівності їх опорів опору ви різаного перетину.

Проміжні обичайки легко замінюють наступним чином. встановлюють підйомні щогли, які утримують верхню, неушкоджену частину колони, відокремлюють цю частину від пошкодженої ділянки і опускають на землю. Пошкоджену частину колони стропят і за допомогою тих же щогл опускають на землю. Заздалегідь підготовлену нову частину колони піднімають і стикуються з нижньою частиною колони, потім піднімають верхню її частину. Після перевірки монтованих частин заварюють обидва стикових шва.

Дуже часто, з огляду на трудомісткість таких замін ділянок корпусу, визнають доцільною повну заміну зношеної колони. Демонтаж зношеної колони виробляють в порядку, зворотному монтажу. Після відповідних перевірок демонтується колона може бути використана для установки монтажних щогл точно так же, як нова колона-для демонтажу.

При ремонті і обслуговуванні насадок колон основна увага повинна приділятися очищенню внутрішніх пристроїв апарату, його корпусу і заміні насадок кілець.

За допомогою лебідки, цебра і крану верх колони (або до будь-якого люка) подаються нові насадки кільця і опускаються вниз старі або закоксовані. Для завантаження і вивантаження насадки зазвичай використовуються бадді з днищем і змінні переносні лотки, завдяки чому трудомісткі роботи значно скорочуються.

При ослабленні натягу стріли нижній клапан бадді відкривається і насадка висипається в апарат. Нижні секції колони завантажуються аналогічним чином,

тільки попередньо відкриваються отвори, монтується лоток на найближчій майданчику і встановлюється тимчасові огорожі. Верхня частина колони завантажується насадкою після зняття верхньої кришки апарату.

Після ремонту проводиться гідравлічне або пневматичне випробування апарату на щільність і герметичність.

5. Охорона праці [7,8]

Види посудин та установок, що працюють під тиском. Герметизовані системи, у яких під тиском перебувають стиснуті гази і рідини (нерідко токсичні, пожежо- і вибухонебезпечні або ті, що мають високу температуру), широко застосовуються в сучасному виробництві.

Такі системи є джерелом підвищеної небезпеки, і тому при їх проектуванні, виготовленні, експлуатації та ремонті слід строго дотримуватися встановлених правил і норм. До розглянутих установок, посудин і систем належать парові й водогрійні котли, економайзери і пароперегрівники; трубопроводи пари, гарячої води і стиснутого повітря; посудини, цистерни, бочки; балони; компресорні установки; установки газопостачання.

Причини аварій та нещасних випадків при експлуатації систем, що працюють під тиском.

Основними Причинами аварій та нещасних випадків при експлуатації систем, що працюють під тиском є:

- Неякісне виготовлення монтажних чи ремонтних посудин, апаратів трубопроводів.
- Порушення технологічного режиму та правил експлуатації
- Несправність запобіжних пристроїв, контрольно-вимірювальних приладів, корозія металу.

Причинами аварій балонів із зрідженими, стисненими та розчиненими газами є:

- дефекти зварних швів, різьби вентиля, горловини балона;
- перевищення тиску газу в балоні
- нагрівання балона під дією сонячних променів, відкритого вогню, надзвичайно швидкого наповнення газом;
- падіння та удари балонів;
- потрапляння мастила на вентиль кисневого балона

Основними причинами аварій під час експлуатації парових та водогрійних котлів можуть бути:

- різке зниження рівня води внаслідок порушення герметичності системи;
- несправність запобіжних пристроїв та контрольно-вимірювальних
- утворення накипу
- корозія металу

До основних причин аварій та вибухів компресорних установок належать:

- тріщини,
- пропуски у зварних швах
- підвищення температури стисненого повітря або нагрівання частин компресорної установки вище допустимого внаслідок незадовільного охолодження;
- підвищення тиску вище допустимого внаслідок несправності засобів захисту;
- потрапляння пилу, вологи, парів мастильних речовин, гасу, бензину

Причинами розгерметизації в системах трубопроводів для стисненого повітря, газу чи пари можуть бути:

- дефекти при зварюванні труб;
- корозія металу і, як наслідок, зменшення товщини стінок труб;
- підвищення тиску вище допустимого; замерзання конденсату;
- деформації внаслідок теплового розширення; механічні пошкодження трубопроводів.

Безпека при експлуатації установок кріогенної техніки. До основних кріогенних продуктів належить продукти низькотемпературного поділу повітря: азот, кисень, аргон, метан, водень,гелій.

Під час роботи з кріогенними продуктами можливі наступні небезпеки:

- опіки внаслідок потрапляння кріогенних продуктів на відкриті ділянки тіла та в очі, доторкання до предметів, що знаходяться при низьких кріогенних температурах, проникнення низькотемпературної пари кріогенних продуктів у легені;

- обмороження внаслідок глибокого охолодження ділянок тіла у разі контакту з кріогенними продуктами;

- руйнування устаткування внаслідок термічних деформацій та холодноламкості матеріалів;

- витікання кріогенних продуктів унаслідок розгерметизації устаткування через неоднакові термічні деформації його частин;

- вибухове руйнування устаткування внаслідок підвищення тиску через закипання чи випаровування кріогенних рідин у замкнутих об'ємах при зміні режимів роботи або внаслідок природних теплопотоків.

Захист від опіків та обмороження:

- ерметизацію,
- теплоізоляцію,
- огородження устаткування,
- попереджувальні написи

Термічні деформації в устаткуванні для кріогенних продуктів можна зменшити шляхом застосування компенсаційних елементів та матеріалів з однаковими коефіцієнтами лінійного розширення.

Для запобігання руйнування устаткування внаслідок значного підвищення тиску на посудинах та трубопроводах з кріогенними рідинами встановлюються запобіжні пристрої (клапани, мембрани тощо).

Приміщення, в яких використовуються чи зберігаються кріогенні продукти, повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією, причому приплив здійснюється зверху, а витяжка - знизу. Вентиляція повинна автоматично вмикатись у разі перевищення допустимої концентрації кріогенного продукту в приміщенні. Для стікання пролитих кріогенних продуктів необхідно вздовж стін приміщення чи під підлогою встановити канали з нахилом 1:100 або 1: 500 у бік забірного пристрою аварійної вентиляції.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1.Кольман – Иванов Э.Э., Гусев Ю.И., Карасев И.Н. Конструирование и расчёт машин химических производст. – М.: Машиностроение, 1985.- 408 с., ил.

2. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по конструированию.- М.: Машиностроение, 1972.- 272 с., ил.

3.Поникаров И.И., Перелыгин О.А., Доронин В.Н. Машины и аппараты химических производств. – М.: машиностроение, 1989. – 368 с.

4.Доманский И. В., Исаков В. П., Островский Г. Н., Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи.–Л.: Машиностроение, Ленинградское отд- ние, 1982.-384 с., ил.

5. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии.Учебное пособие для вузов / Под ред. П.Р. Романкова. – 9-е изд. перераб.и росш. Л.: Химия.-1981.-650.

6. Лащинский А.А.Конструирование сварных химических аппаратов. Справочник.: Ленинградское отд- ние: Машиностроение. – 1981. – 382 с.

7. Ермаков В.И. и др. Ремонт и монтаж химического оборудования . – Л.: Химия, 1981.

8. Кузнецов А.А., Судаков Е.Н., Расчеты основных процессов и аппаратов переработки углеводородных газов: Справочное пособие. – М.: Химия, 1983 – 224с., ил.