

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра технічної теплофізики

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Сергій ВАНЄЄВ  
(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня магістр**  
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»,  
освітньо-професійної програми «Компресори, пневмоагрегати та вакуумна  
техніка»

на тему: «Розроблення блоку підготовки газу для автомобільної  
газонаповнювальної компресорної станції»

Здобувача групи К.м-21 Ревенка Руслана Олексійовича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Руслан РЕВЕНКО

Керівник доцент кафедри ТТФ, к.т.н., доц. Сергій ШАРАПОВ \_\_\_\_\_  
(підпис)

## Зміст

	с.
Вступ	3
1 Абсорбційні технології підготовки та очищення газів	7
2 Проектний розрахунок поршневого компресора	11
2.1 Розрахунок теплофізичних властивостей стисненого газу	11
2.2 Попередній термодинамічний розрахунок компресора	13
3 Вибір клапанів	30
4 Перевірочний розрахунок поршневого компресора	31
4.1 Визначаємо відношення тисків газу в циліндрах	31
4.2 Значення величин $A_{C_i}$ та $A_{P_i}$ визначається за формулами	32
4.3 Індикаторна потужність компресора визначається за формулою	33
4.4 Визначаємо потужність, споживану компресором	34
4.5 Ізотермний коефіцієнт корисної дії компресора	35
5 Вибір привода компресора	36
6 Розрахунок абсорбера блоку підготовки та очищення природного газу	37
6.1 Термодинамічний розрахунок	37
6.2 Розрахунок рухомої сили	42
6.3 Розрахунок швидкості газу та діаметра абсорбера	44
6.4 Розрахунки на міцність	50
7 Охорона праці	52
Список використаних джерел	60

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Ревенко</i>				<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перев.</i>	<i>Шарапов</i>				2	60	
<i>Реценз.</i>					<i>СумДУ гр. К.м-21</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Шарапов</i>						
<i>Затв.</i>	<i>Вансєв</i>						
					Теплонасосна установка з використанням пароструминної термокомпресії		

## Вступ

Газонаповнювальна компресорна станція для автомобілів (АГНКС) призначена для заправки газомоторних транспортних засобів природним газом, а саме метаном. Такий вид транспорту оснащений спеціальними газовими двигунами, які працюють на стиснутому (компримованому) природному газі (КПГ) і має систему газобалонного обладнання.

Природний газ надходить на газонаповнювальну компресорну станцію (АГНКС) через газопровід. На станції газ пройде процес осушення, а за допомогою компресора йому буде надано тиск, стискаючи його до 20 МПа (200 атмосфер), після чого газ буде накачано під високим тиском в газові акумулятори або безпосередньо в газові балони транспортних засобів.

За ступенем мобільності розрізняють два види автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій:

1) АГНКС, що є стаціонарними або класичними, як описано у даній статті, розташовані на спеціально обладнаній ділянці та потребують зведення постійних споруд. Такі станції виключають можливість транспортування;

2) Мобільні АГНКС або портативні автомобільні газові заправники (ПАГЗ) перевозяться до місць експлуатації за допомогою тягача або на тралі, і не потребують зведення постійних споруд. Вони можуть легко переміщуватися на нове місце розташування;

Історія становлення компресорних станцій для заправки автомобілів газом почалася в 1930-х роках минулого століття. Концепція розбудови мережі АГНКС вперше виникла в Італії і отримала подальший розвиток у всьому світі. На сьогоднішній день у світі більше 10 мільйонів автомобілів працюють на стиснутому природному газі. Всього побудовано близько 9000 газонаповнювальних компресорних станцій в різних країнах.

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		3

АГНКС включає наступні блоки:

- Блок підключення (блок вхідних кранів) - забезпечує подачу з газопроводу і його облік.
- Блок попередньої очистки газу - забезпечує підготовку параметрів газу до рівня, що вимагає застосовуваної технологією стиснення.
- Блок компримування (компресорний блок) - здійснює підвищення тиску газу з газопроводу до необхідних 250 атм.
- Блок підготовки КПГ - доводить параметри стисненого газу до якості по ГОСТ 27577.
- Блок акумуляції - накопичує запас КПГ, що йде на заправку автотранспорту до моменту включення компресора і виходу на режим.
- Блок редукування - знижує тиск газу до 200 атм.
- За паливними колонки - здійснює заправку автотранспортного засобу і враховує кількість газу, відпущеного споживачеві.

Переваги АГНКС

*Економічні.* При однаковій витраті на 100 км подорожі вартість газу в 2-3 рази нижче, ніж вартість бензину або дизельного пального. Термін служби двигуна і моторного масла збільшується вдвічі. Робота двигуна на метані стає більш плавною, не відбувається детонація в жодному режимі, октанове число газу - 110. Термін служби свічок запалювання збільшується на 40%. Переключення автомобіля на стиснений газ не вимагає структурних змін в двигуні.

*Екологічні.* Токсичність викидів газів зменшується: випадків оксиду вуглецю на 5-10 разів, вуглеводню - в 3 рази, оксиду азоту - на 1,5-2,5 рази. Рівень шуму робочого двигуна зменшується вдвічі.

*Безпека.* Метан легше повітря в 1.6 рази і при витоку відразу випаровується, не створюючи вибухонебезпечної суміші.

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		4

Компресор ЗГШ1,6-0,15 / 0,4-230 призначений для стиснення природного газу.

Корпус компресора виготовлений з литого чавуну тунельного типу. Доступ до картеру забезпечується через кришки, розташовані на бічній поверхні, при цьому одна з них оснащена показником. Вал колінчастий - це двохопорний, одноколінчастий вал, виготовлений з високоміцного чавуну. Два радіально-сферичних підшипника служать опорами. На шийці вала монтується шатун, оснащений тонкостінними вкладишами, які використовуються в двигуні СМД-20.

Для забезпечення маслом тонкостінних вкладишів шатунів, вал має внутрішні клапани та отвори в шатунній шийці. Сапун тарільчастого типу використовується для вирівнювання тиску в картері.

Отвір, розташований через хвостовик колінчастого вала та його противагу, з'єднує внутрішню порожнину картера з атмосферою. Цей отвір виконує роль додаткового сапуна.

Поршень першого ступеня і крейцкопф першої, другої-четвертої і третьої-п'ятої ступенів виготовлені з литого алюмінієвого сплаву АК5М7, відповідно до ГОСТ 1583-93. Циліндри всіх ступенів виготовлені з литого чавуну. Поршні другого-четвертого і третього-п'ятого ступенів виконані зі сталі.

Ущільнення між поршнями і циліндрами реалізується наступним чином:

- На першому ступені використовуються три ущільнювальних кільця і одне напрямне кільце.
- На другому ступені застосовано три ущільнювальних кільця і одне напрямне кільце.
- На третьому ступені використовуються три ущільнювальних кільця і одне напрямне кільце.
- На четвертому ступені використовуються сім кілець ущільнювачів.
- На п'ятому ступені використовуються одинадцять кілець ущільнювачів.

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

На всіх ступенях компресора є крейцкопфи, які з'єднані з верхньою головкою шатуна за допомогою поршневих пальців. Поршні ступенів прикріплені до штоків і пов'язані з шатунами через серезки, розташовані на поршневих пальцях. Крейцкопфи на всіх ступенях є циліндричними порожнинами і мають зрізи в двох площинах, які паралельні площині гойдання шатуна. Циліндри крейцкопфів на всіх ступенях виготовлені разом з картером.

Сальник складається з чотирьох камер, обладнаних самоущільнювальними графіто-фторопластовими елементами. В трьох камерах розташовані по два кільця, що оточені браслетними пружинами. Перше кільце в напрямку руху газу поділене на три частини і призначене для забезпечення щільності на місцях з'єднання з другим (ущільнюючим) кільцем, яке в свою чергу розрізане на шість частин. Їх взаємне положення фіксується за допомогою штифта. У першій камері, в напрямку до поршня, встановлено дросельне кільце. Торці всіх камер допасовані один до одного. Камери сальника затягуються шпильками. Для забезпечення герметизації сальника в місцях його установки в циліндрах використовується прокладка.

Знімач мастила складається із корпусу, кришки та кільця для утримання мастила, які забезпечують щільність. Взаємне розташування цих кілець зафіксовано за допомогою штифта відбивача, який прикріплений до корпусу за допомогою гвинтів. Мастилоз'ємні кільця, виготовлені з бронзи, розрізні і обладнані браслетними пружинами.

Клапани для всмоктування та нагнітання першого ступеня, а також для всмоктування та нагнітання другого і третього ступенів, представлені індивідуальними полосами з гнучкими обмежувачами. Матеріал, використаний для клапанних дошок, є сталлю 30X13. Пластини і пружини виготовлені зі сталеві стрічки 08X15H5Д2Т-Ш. Відкриття клапана відбувається за наявності різниці тисків, в той час як його закриття відбувається, коли різниця тисків над і під пластиною відсутня. Це здійснюється завдяки пружинам, які діють на

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

пластини. Клапан на четвертій ступені є комбінованим кільцевим. Деталі корпусу з'єднані за допомогою шпильки з двома гайками. У сідлах клапана вирізані кільцеві канавки для розміщення робочих елементів клапанів, а саме - кільцевих пластин. Кільцеві пластини утримуються за допомогою пружин. Клапан оснащений двома всмоктуючими каналами і одним нагнітаючим. Клапан на п'ятій сходинці має форму тарільчастого. Це односідельний клапан, що відчиняється завдяки використанню кулачків і важелів, а закривається за рахунок пружин.

Передача обертання від двигуна до валу компресора здійснюється через втулочно-пальцеву муфту. Напівмуфти компресора і двигуна виготовлені з литого чавуну. Напівмуфта на валу компресора одночасно виконує роль маховика. Кільця виготовлені з гуми.

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

## 1 Абсорбційні технології підготовки та очищення газів

Абсорбція знаходить широке застосування в техніці, головним чином для розділення газоподібних сумішей на складові частини шляхом розчинення одного чи декількох компонентів цієї суміші в рідині, яка називається аб- рідин з Використанням сорбентом. Абсорбція газів широко застосовується в тих випадках, коли очищенню з НСІ, підлягають великі газові потоки, наприклад, аміаком, SO<sub>2</sub> і CO<sub>2</sub>.

Якщо концентрація розчинного компонента в газоподібній суміші менша його рівно вагової концентрації над рідиною, дифузія відбувається у зворотному напрямку. В цьому випадку замість поглинання компоненту відбувається виділення його з розчину в розчиненого газоподібному стані. Такий процес називається десорбцією речовин з абсорбенту. Типові схеми промислових і застосовується в техніці для видалення поглинених абсорберів. Звичайний абсорбер, який називають також скрубєром, - це металева чи керамічна колона діаметром до 6 м і висотою до 40 м з декількома горизонтальними решітками, на яких розміщена насадка, що збільшує поверхню контакту рідини і газу. Найбільш розповсюдженими насадками є куски коксу, каміння та металеві чи керамічні кільця. Суміш газів подається в нижню частину колони і піднімається вгору.

Назустріч їй насадками стікає вниз внаслідок чого один або декілька газів цієї суміші розчиняються в рідині. Нерозчинені складові частини газової суміші видаляються з абсорбера через вихідний патрубок, а рідина витікає трубопроводом.

Для видалення з технологічних викидів таких газів, як аміак, хлористий чи застосовувати в якості поглинальної рідини воду, фтористий водень доцільно що розчинність їх у воді складає сотні грамів на 1 кг H<sub>2</sub>O.

					К 13М.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8



При поглинанні ж з газів сірчаного ангідриду чи хлору витрати води будуть значними, тому що розчинність їх складає соті частки грама на 1 кг води. В деяких спеціальних випадках замість води застосовують водні розчини таких хімічних речовин, як сірчана кислота (для вловлювання водяних парів), в'язкі тирла (для вловлювання ароматичних вуглеводнів із коксового газу) тощо.

Контакт здійснюється газу через газового потоку з рідким розчинником газового потоку через пропусканням насадкову колону або розпиленням рідини чи барботажем шар абсорбуючої рідини. Залежно від рідини, розрізняють: реалізованого способу контакту газ – форсункові та відцентрові скрубери; барботажно-пінні скрубери; скрубери Вентурі та інші.

Для активізації процесу внутрішню контактну поверхню абсорбційних установок збільшують за рахунок застосування різноманітних насадок.

Існують адсорбери періодичної та безперервної дії. В адсорберах періодичної дії газова суміш, з якої повинні бути витягнуті деякі патрубок компоненти, надходить через в адсорбер, проходить через прошарок пористого адсорбенту, розташованого на горизонтальній решітці, і видаляється з апарата через патрубок.

Після насичення проводиться яке адсорбенту, десорбція. Визначається початком проскакування компоненту, що поглинається, Прошарок адсорбенту прогрівається паром, який надходить через патрубок 5. При цьому з адсорбенту відганяються пари витягнутих речовин, які відводяться через патрубок 6 на конденсацію і наступну переробку. Потім адсорбент сушать гарячим і після охолодження його повторно завантажують в паром апарат.

В промисловості, за звичай, застосовують установки безперервної дії. Вони складаються з адсорберів, які по чергово включаються для

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		9

адсорбції газів. Після насичення адсорбенту в першому адсорбері подачу газу переключають на другий, а в першому в цей час проводять десорбцію, сушку і охолодження, після чого його переключають на цикл поглинання, а другий адсорбер - на десорбцію, сушку і охолодження.

В адсорберах безперервної дії (гіперсорбери) адсорбент зернистий такі вертикальною колоною, у верхній частині якої проходить адсорбери адсорбція, а в нижній — десорбція під дією нагрівання. застосовують гіперсорберів Крім безперервної дії з киплячим шаром адсорбенту. В корпусі 1 одноступеневого адсорбера встановлена розподільна решітка, через яку знизу подається газ, що приводить дрібнозернистий адсорбент в стан киплячого шару. Адсорбент безперервно надходить зверху і видаляється через трубу на десорбцію. нансов адсорбентів пред'являють До промислових вони повинні бути з великою динамічною питомою поверхнею, вибірністю ємністю, великою адсорбції, термічною і механічною стійкістю, здібністю до регенерації, простотою виготовлення, дешевизною.

Для очищення газів в промисловості частіше всього застосовують такі пористі адсорбенти: активоване вугілля, силікагелі, цеоліти, глинисті матеріали, пористе скло тощо. Одним із основних параметрів при виборі адсорбенту е адсорбційна здатність до компоненту, який вилучається. Адсорбційна здатність, чи Маса речовини а поглинається одиницею маси адсорбенту в довільний момент часу, залежить від концентрації адсорбованої речовини (парціального тиску Р,Па) біля поверхні адсорбенту, загальної площі цієї поверхні, фізичних, хімічних та електричних властивостей адсорбованої речовини і адсорбенту, температурних умов та наявності інших домішок.

Адсорбцію широко застосовують при видаленні парів розчинників при фарбуванні, органічних смол і парів розчинників В системі вентиляції підприємств для виробництва скловолокон і склотканин, а також парів

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

ефіру, ацетону та інших розчинників у виробництві нітро- целюлози і бездимного пороху. Адсорбенти також Використовують для

очищення вихлопних газів автомобілів;

видалення отруйних компонентів (наприклад, сірководню з газових потоків), які викидаються в атмосферу через лабораторні витяжні шафи;

видалення радіоактивних газів при експлуатації

ядерних реакторів, зокрема радіоактивного йоду.

Залежно від характеру взаємодії адсорбцію прийнято поділяти на фізичну адсорбцію і хемосорбцію. Фізична адсорбція обумовлена силами міжмолекулярної взаємодії, які зв'язують молекули в рідинах і деяких кристалах, та проявляється в поведінці сильно стиснутих газів. При фізичній адсорбції властивості компонентів практично не змінюються. При хемосорбції молекули адсорбату і адсор бенту утворюють хімічні з'єднання що обумовлює зміну властивостей компонентів. Часто адсорбція обумовлюється як фізичними так і хімічними силами, тому не існує чіткої границі між фізичною адсорбцією і хемосорбцією.

Хемосорбція застосовується в техніці при поглинанні двоокису вуглецю, окислів азоту, сірчаного ангідриду, аміаку тощо.

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

## 2 Проектний розрахунок поршневого компресора

### 2.1 Розрахунок теплофізичних властивостей стисненого газу

#### 2.1.1 газова стала і показник адіабати:

Для багатоконпонентного робочого тіла, яким є природний газ, газову сталу і показник адіабати визначаємо за формулами ([1], с. 3):

$$R_{cm} = \frac{8314}{\mu_{cm}} \quad (1.1)$$

де  $\mu_{cm}$  – молярна маса суміші,

$$\mu_{cm} = \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot \Gamma_i ;$$

$\mu_i$  – молярна маса і-го компоненту;

$\Gamma_i$  – об'ємна частка і-го компоненту

$$\mu_{cm} = 0,900 \cdot 16,0 + 0,040 \cdot 30,0 + 0,015 \cdot 44,0 + 0,010 \cdot 58,0 + 0,003 \cdot 72,0 + 0,010 \cdot 28,0 + 0,010 \cdot 44,0 + 0,012 \cdot 32 = 18,28 \text{ (кг/моль)}$$

$$R_{cm} = \frac{8314}{18,28} = 457,84 \left( \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right)$$

$$K_{cm} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\Gamma_i}{K_i - 1} \right)} + 1 \quad (1.2)$$

де  $K_i$  – показник адіабати і-го компоненту

					К 13М.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

$$K_{CM} = \frac{1}{\left( \frac{0,900}{1,32-1} + \frac{0,040}{1,20-1} + \frac{0,015}{1,16-1} + \frac{0,010}{1,10-1} + \frac{0,003}{1,08-1} + \frac{0,010}{1,04-1} + \frac{0,010}{1,31-1} + \frac{0,012}{1,40-1} \right)} + 1 = 1,30$$

2.1.2 Густина стисненого газу:

$$\rho = \frac{P_H}{\zeta \cdot R \cdot T_H} \quad (1.3)$$

де  $P_H$  – початковий тиск стисненого газу,  $P_H = 1,5 \text{ кгс/см}^2 = 0,15 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ;

$\zeta$  – коефіцієнт стисненості, який визначається за  $\zeta, \pi$ -діаграмою

$T_H$  – початкова температура стисненого газу,  $T_H = -20^\circ\text{C} = 253 \text{ К}$ .

$$\pi = \frac{P}{P_{KP}} = \frac{P}{\sum_{i=1}^n y_i \cdot P_{KPi}} \quad (1.4)$$

$$\tau = \frac{T}{T_{KP}} = \frac{T}{\sum_{i=1}^n y_i \cdot T_{KPi}} \quad (1.5)$$

$$\pi = \frac{0,15}{0,900 \cdot 4,64 + 0,040 \cdot 4,86 + 0,015 \cdot 4,27 + 0,010 \cdot 3,80 + 0,003 \cdot 3,27 + 0,010 \cdot 3,39 + 0,010 \cdot 7,38 + 0,012 \cdot 5,08} = 0,032$$

$$\tau_1 = \frac{253}{0,900 \cdot 190,5 + 0,040 \cdot 305,3 + 0,015 \cdot 369,8 + 0,010 \cdot 425,0 + 0,003 \cdot 467,0 + 0,010 \cdot 126,0 + 0,010 \cdot 304,0 + 0,012 \cdot 154,0} = 1,259$$

З розрахунків отримуємо, що  $\zeta_1 = 0,99$

$$\rho_1 = \frac{0,15 \cdot 10^6}{0,99 \cdot 457,84 \cdot 253} = 1,31 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

					К 13М.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

### 2.1.3 Масова продуктивність компресора:

$$\bar{M} = \rho \cdot V \quad (1.6)$$

де  $V$  – об'ємна витрата за умовами всмоктування,  $V = 1,0 \text{ м}^3/\text{хв}$ .

$$\bar{M}_1 = \frac{1,31 \cdot 1,0}{60} = 0,0218 \text{ (кг/с)}$$

## 2.2 Попередній термодинамічний розрахунок компресора

### 2.2.1 Число ступенів компресора:

$$z_p = \frac{\ln \Pi_0}{\ln \Pi_{CT}} \quad (1.7)$$

де  $\Pi_0$  – загальне відношення тисків в компресорів;

$\Pi_{CT}$  – відношення тисків в ступені компресора, знаходиться в межах  $\Pi_{CT} = 2 \div 7$  ([1]), приймаємо  $\Pi_{CT} = 3,0$

$$\Pi_0 = \frac{P_K}{P_H} \quad (1.8)$$

де  $P_H$  – абсолютний тиск всмоктування,  $P_H = 1,5 \text{ кгс/см}^2 = 0,15 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ;

$P_K$  – абсолютний тиск нагнітання,  $P_K = 231 \text{ кгс/см}^2 = 23,1 \cdot 10^6 \text{ Па}$

$$\Pi_0 = \frac{23,1 \cdot 10^6}{0,15 \cdot 10^6} = 154,0$$

					К 13М.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

$$z_p = \frac{\ln 154,0}{\ln 3,0} = 4,58$$

Приймаємо число ступенів компресора, яке дорівнює  $z_p = 5$ .

2.2.2 Розрахунок параметрів стисненого газу в ступенях компресора:

Відношення тисків всмоктування і нагнітання в ступенях

$$\pi_i = \sqrt[z]{\pi_0} \quad (1.9)$$

$$\pi_i = \sqrt[5]{154} = 2,75$$

Номінальні стики всмоктування і нагнітання в ступенях компресора

$$P_{H1} = P_H = 0,15 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$P_{K1} = P_{H1} \cdot \pi_i = 0,15 \cdot 10^6 \cdot 2,75 = 0,41 \cdot 10^6 \text{ (Па)}$$

$$P_{H2} = P_{K1} = 0,41 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$P_{K2} = P_{H2} \cdot \pi_i = 0,41 \cdot 10^6 \cdot 2,75 = 1,13 \cdot 10^6 \text{ (Па)}$$

$$P_{H3} = P_{K2} = 1,13 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$P_{K3} = P_{H3} \cdot \pi_i = 1,13 \cdot 10^6 \cdot 2,75 = 3,11 \cdot 10^6 \text{ (Па)}$$

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

$$P_{H4} = P_{K3} = 3,11 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$P_{K4} = P_{H4} \cdot \Pi_i = 3,11 \cdot 10^6 \cdot 2,75 = 8,55 \cdot 10^6 \text{ (Па)}$$

$$P_{H5} = P_{K4} = 8,55 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$P_{K5} = P_{H5} \cdot \Pi_i = 8,55 \cdot 10^6 \cdot 2,75 = 23,52 \cdot 10^6 \text{ (Па)}$$

Показники політроп стиснення в ступенях компресора

$$n_i = n_1 + 0,015 \cdot (i - 1) \cdot K \quad (1.10)$$

де  $n_1 = \alpha K$  – показник політропи стиснення першого ступеня;

$\alpha$  - коефіцієнт, який враховує продуктивність та відношення тисків в ступені,  $\alpha = 0,92 \div 1,0$ . Приймаємо  $\alpha = 0,94$ , тоді  $n_1 = 0,94 \cdot 1,30 = 1,22$

$$n_2 = 1,22 + 0,015 \cdot (2 - 1) \cdot 1,30 = 1,24$$

$$n_3 = 1,22 + 0,015 \cdot (3 - 1) \cdot 1,30 = 1,26$$

$$n_4 = 1,22 + 0,015 \cdot (4 - 1) \cdot 1,30 = 1,28$$

$$n_5 = 1,22 + 0,015 \cdot (5 - 1) \cdot 1,30 = 1,30$$

Показники політроп розширення

$$m_1 = (0,92 \div 0,98) \cdot 1,22 = 1,122 \div 1,196 \quad \text{приймаємо } m_1 = 1,150$$

					<i>K 13M.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16



$$m_2 = (0,92 \div 0,98) \cdot 1,24 = 1,141 \div 1,215 \quad \text{приймаємо } m_2 = 1,225$$

$$m_3 = (0,92 \div 0,98) \cdot 1,26 = 1,159 \div 1,235 \quad \text{приймаємо } m_3 = 1,264$$

$$m_4 = (0,92 \div 0,98) \cdot 1,28 = 1,178 \div 1,254 \quad \text{приймаємо } m_4 = 1,264$$

$$m_5 = (0,92 \div 0,98) \cdot 1,30 = 1,196 \div 1,274 \quad \text{приймаємо } m_5 = 1,300$$

Температура газу в кінці стиснення в ступенях компресора.

Температури в кінці стиснення знаходимо з розрахунку, що вони не повинні перевищувати граничних значень  $[T_{ki}] = 430 \div 450 \text{ K}$

$$T_{K1} = T_{H1} \cdot \Pi_i^{\frac{n_1-1}{n_1}} \quad (1.11)$$

де  $T_{H1}$  – температура газу на всмоктуванні в перший ступінь,  $T_{H1} = 253 \text{ K}$ ;

$$T'_{K1} = 253 \cdot 2,75^{\frac{1,22-1}{1,22}} = 304 (\text{K})$$

$$T'_{K2} = T_{H2} \cdot \Pi_i^{\frac{n_2-1}{n_2}} \quad (1.12)$$

де  $T_{H2}$  – температура газу на всмоктуванні в другий ступінь;

$$T_{H2} = 273 + t_B + \Delta t$$

					<i>K 13M.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

де  $t_B$  – температура охолоджуючого повітря, приймаємо  $t_B = 20^\circ\text{C}$ ;

$\Delta t$  – недоохолодження газу після проміжного теплообмінника. Т. як компресор з повітряним охолодження, приймаємо  $\Delta t = 15^\circ\text{C}$  ([1], с. 5)

$$T_{H2} = 273 + 20 + 15 = 308 \text{ (K)}$$

$$T'_{K2} = 308 \cdot 2,75^{\frac{1,24-1}{1,24}} = 375 \text{ (K)}$$

$$T'_{K3} = T_{H3} \cdot \Pi_i^{\frac{n_3-1}{n_3}} \quad (1.13)$$

де  $T_{H3}$  – температура газу на всмоктуванні в третій ступінь;

$$T_{H3} = 273 + 20 + 15 = 308 \text{ (K)}$$

$$T'_{K3} = 308 \cdot 2,75^{\frac{1,26-1}{1,26}} = 380 \text{ (K)}$$

$$T'_{K4} = T_{H4} \cdot \Pi_i^{\frac{n_4-1}{n_4}} \quad (1.14)$$

де  $T_{H4}$  – температура газу на всмоктуванні в четвертий ступінь;

$$T_{H4} = 273 + 20 + 15 = 308 \text{ (K)}$$

$$T'_{K4} = 308 \cdot 2,75^{\frac{1,28-1}{1,28}} = 384 \text{ (K)}$$

					<i>K 13M.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18

$$T'_{K5} = T_{H5} \cdot \prod_i^{\frac{n_5-1}{n_5}} \quad (1.15)$$

де  $T_{H5}$  – температура газу на всмоктуванні в п'ятий ступінь;

$$T_{H5} = 273 + 20 + 15 = 308 (K)$$

$$T'_{K5} = 308 \cdot 2,75^{\frac{1,30-1}{1,30}} = 388 (K)$$

Густина стисненого газу на всмоктуванні у ступені компресора

$$\rho_{H1} = \frac{P_{H1}}{\zeta \cdot R \cdot T_{H1}} \quad (1.20)$$

де  $\zeta$  – коефіцієнт стиснення,  $\zeta_1 = 0,99$ ,  $\zeta_1' = 0,99$ ,  $\zeta_2 = 0,98$ ,  $\zeta_3 = 0,97$ ,  
 $\zeta_4 = 0,96$ ,  $\zeta_5 = 0,96$

$$\rho'_{H1} = \frac{0,15 \cdot 10^6}{0,99 \cdot 457,84 \cdot 253} = 1,31 (кг/м^3)$$

$$\rho'_{H2} = \frac{0,41 \cdot 10^6}{0,98 \cdot 457,84 \cdot 375} = 2,44 (кг/м^3)$$

$$\rho'_{H3} = \frac{1,13 \cdot 10^6}{0,97 \cdot 457,84 \cdot 380} = 6,70 (кг/м^3)$$

$$\rho'_{H4} = \frac{3,11 \cdot 10^6}{0,96 \cdot 457,84 \cdot 384} = 18,43 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

$$\rho'_{H5} = \frac{8,55 \cdot 10^6}{0,96 \cdot 457,84 \cdot 388} = 50,14 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

2.2.3 *Визначення коефіцієнта продуктивності ступенів компресора:*

Коефіцієнти продуктивності ступенів

$$\lambda_i = \lambda_{oi} \cdot \lambda_{pi} \cdot \lambda_{Ti} \cdot \lambda_{Gi} - v_{Ki} \quad (1.21)$$

де  $\lambda_{oi}$  – об'ємний коефіцієнт;

$\lambda_{pi}$  – коефіцієнт дроселювання ступеня компресора;

$\lambda_{Ti}$  – коефіцієнт підігріву ступеня компресора;

$\lambda_{Gi}$  – коефіцієнт герметичності ступенів компресора,  $\lambda_{Gi} = 0,95 \div 0,98$ ;

$v_{Ki}$  – відносна величина втрати продуктивності при конденсації водяних парів у теплообміннику після ступеня

Об'ємний коефіцієнт

$$\lambda_{oi} = 1 - a_i \cdot \left[ \frac{\zeta_{Hi}}{\zeta_{Ki}} \cdot \Pi_i^{\frac{1}{m_i}} - 1 \right] \quad (1.22)$$

де  $a_i$  – відносна величина мертвого об'єму ступеня  $a_1 = 0,11$ ,  $a_2 = 0,18$ ;  
 $a_3 = 0,26$ ;  $a_4 = 0,14$ ;  $a_5 = 0,16$ ;

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		20

$\zeta_{Hi}$  та  $\zeta_{ki}$  – коефіцієнти стиснення при початковому та кінцевому тисках

$$\lambda_{01} = 1 - 0,11 \cdot \left[ \frac{0,99}{0,98} \cdot 2,75^{\frac{1}{1,150}} - 1 \right] = 0,842$$

$$\lambda_{02} = 1 - 0,18 \cdot \left[ \frac{0,98}{0,97} \cdot 2,75^{\frac{1}{1,225}} - 1 \right] = 0,765$$

$$\lambda_{03} = 1 - 0,26 \cdot \left[ \frac{0,97}{0,96} \cdot 2,75^{\frac{1}{1,264}} - 1 \right] = 0,675$$

$$\lambda_{04} = 1 - 0,14 \cdot \left[ \frac{0,96}{0,96} \cdot 2,75^{\frac{1}{1,264}} - 1 \right] = 0,828$$

$$\lambda_{05} = 1 - 0,16 \cdot \left[ \frac{0,96}{0,95} \cdot 2,75^{\frac{1}{1,300}} - 1 \right] = 0,808$$

Коефіцієнт дроселювання ступеня компресора

$$\lambda_{Pi} = 1 - \frac{1 + a_i}{n_1 \cdot \lambda_{0i}} \quad (1.23)$$

де  $n_1$  – показник політропи на початку процесу стиснення,  $n_1 = 1,5$ ;

$\alpha_{1i}$  – відносні втрати тиску на всмоктуванні в ступінь,  $\alpha_{11} = 0,03 \div 0,07$   
(приймаємо  $\alpha_{11} = 0,050$ ),

$$\alpha_{12} = 0,8^{(2-1)} \cdot \alpha_{11} = 0,8 \cdot 0,05 = 0,040$$

					<i>K 13M.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$\alpha_{13} = 0,8^{(3-1)} \cdot \alpha_{11} = 0,8^2 \cdot 0,05 = 0,032$$

$$\alpha_{14} = 0,8^{(4-1)} \cdot \alpha_{11} = 0,8^3 \cdot 0,05 = 0,026$$

$$\alpha_{15} = 0,8^{(5-1)} \cdot \alpha_{11} = 0,8^4 \cdot 0,05 = 0,021$$

$$\lambda_{p1} = 1 - \frac{1 + 0,11}{1,5 \cdot 0,842} \cdot 0,050 = 0,956$$

$$\lambda_{p2} = 1 - \frac{1 + 0,18}{1,5 \cdot 0,765} \cdot 0,04 = 0,959$$

$$\lambda_{p3} = 1 - \frac{1 + 0,26}{1,5 \cdot 0,675} \cdot 0,032 = 0,960$$

$$\lambda_{p4} = 1 - \frac{1 + 0,14}{1,5 \cdot 0,828} \cdot 0,026 = 0,976$$

$$\lambda_{p5} = 1 - \frac{1 + 0,16}{1,5 \cdot 0,808} \cdot 0,021 = 0,979$$

Коефіцієнт підігріву ступеня компресора

$$\lambda_{Ti} = 0,985 - C_i \cdot (\Pi_i - 1) \quad (1.24)$$

де  $C_i$  – емпірична величина, яка має менші значення для ступенів компресора з більшою продуктивністю з водяним охолодженням  
 $C_i = 0,007 \div 0,015$

					К 13М.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$\lambda_{T1} = 0,985 - 0,01 \cdot (2,75 - 1) = 0,968$$

$$\lambda_{T2} = 0,985 - 0,009 \cdot (2,75 - 1) = 0,969$$

$$\lambda_{T3} = 0,985 - 0,009 \cdot (2,75 - 1) = 0,969$$

$$\lambda_{T4} = 0,985 - 0,008 \cdot (2,75 - 1) = 0,971$$

$$\lambda_{T5} = 0,985 - 0,008 \cdot (2,75 - 1) = 0,971$$

Відносна величина втрати продуктивності при конденсації водяних парів у теплообміннику після ступеня

$$v_{Ki} = \frac{\psi \cdot P_{HP}}{P_{HI} - \psi \cdot P_{HP}} \cdot \frac{R}{R_{ВП}} \quad (1.25)$$

де  $\psi$  - відносна вологість стисненого газу за умовами всмоктування,  $\psi = 1,0$ ;

$P_{HP}$  - тиск насичених парів води за температури води з температурою всмоктування в перший ступінь  $T_{H1}$ ,  $P_{HP} = 2332$  Па ([2]);

$R_{ВП}$  - питома газова стала водяної пари,  $R_{ВП} = 462$  кДж/(кг · К) ([2])

$$v_{K1} = \frac{1,0 \cdot 2332}{0,15 \cdot 10^6 - 1,0 \cdot 2332} \cdot \frac{457,84}{462} = 0,0182$$

$$v_{K2} = \frac{1,0 \cdot 2332}{0,41 \cdot 10^6 - 1,0 \cdot 2332} \cdot \frac{457,84}{462} = 0,0060$$

					К 13М.00.00.00 ПЗ	Лист
						23
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{K3} = \frac{1,0 \cdot 2332}{1,13 \cdot 10^6 - 1,0 \cdot 2332} \cdot \frac{457,84}{462} = 0,0021$$

$$V_{K4} = \frac{1,0 \cdot 2332}{3,11 \cdot 10^6 - 1,0 \cdot 2332} \cdot \frac{457,84}{462} = 0,0007$$

$$V_{K5} = \frac{1,0 \cdot 2332}{8,55 \cdot 10^6 - 1,0 \cdot 2332} \cdot \frac{457,84}{462} = 0,0003$$

$$\lambda_1 = 0,842 \cdot 0,956 \cdot 0,968 \cdot 0,98 - 0,0182 = 0,745$$

$$\lambda_2 = 0,765 \cdot 0,959 \cdot 0,969 \cdot 0,97 - 0,0060 = 0,684$$

$$\lambda_3 = 0,675 \cdot 0,960 \cdot 0,969 \cdot 0,97 - 0,0021 = 0,607$$

$$\lambda_4 = 0,828 \cdot 0,976 \cdot 0,971 \cdot 0,96 - 0,0007 = 0,753$$

$$\lambda_5 = 0,808 \cdot 0,979 \cdot 0,971 \cdot 0,95 - 0,0003 = 0,729$$

#### 2.2.4 Визначення розмірів та вибір бази компресора:

Вибираємо W-подібну базу марки W16 для якої:

- величина граничного навантаження  $P_{\text{доп}} = 16$  кН;
- число рядів  $i = 3$ ;
- частота обертання колінчастого вала  $n = 12,25$  1/с;
- хід поршня  $S = 0,09$  м;
- діаметр штока  $d_{\text{шт}} = 0,032$  м

					К 13М.00.00.00 ПЗ	Лист
						24
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Діаметр циліндра першого ступеня компресора. Перший ступінь – подвійної дії

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot \bar{M}}{\pi \cdot S \cdot n \cdot \rho_{H1} \cdot (2 - F_0^2) \cdot \lambda_1 \cdot j_1}} \quad (1.26)$$

де  $\bar{M}$  - масова продуктивність компресора, яка визначена за заданими початковими даними,  $\bar{M}_1 = 0,0218$  кг/с;

$S$  – хід поршня,  $S = 0,09$  м;

$n$  – частота обертання колінчастого вала компресора,  $n = 12,25$  1/с;

$\rho_{H1}$  – густина газу на всмоктуванні в ступінь компресора,  $\rho'_{H1} = 1,31$  кг/м<sup>3</sup>;

$F_0^2$  – відносна площа штоку, для попередніх розрахунків вибираємо в діапазоні 0,04÷0,05, приймаємо  $F_0^2 = 0,05$ ;

$\lambda_1$  – коефіцієнт продуктивності ступеня,  $\lambda_1 = 0,745$ ;

$j_1$  – число циліндрів ступеня,  $j_1 = 1$

$$D'_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0218}{3,14 \cdot 0,09 \cdot 12,25 \cdot 1,31 \cdot (2 - 0,05) \cdot 0,745 \cdot 1}} = 0,131 \text{ (м)}$$

Вибираємо діаметр циліндра першого ступеня  $D_1 = 140$  мм.

Діаметр циліндра другого ступеня компресора

$$V_{III} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_2^2 - d_{шм}^2) \cdot S \cdot n \quad (1.27)$$

звідки

					К 13М.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{hII}}{\pi \cdot S \cdot n} + d_{шт}^2} \quad (1.28)$$

де  $V_{hII}$  – об'ємна продуктивність другого ступеня;

$d_{шт}$  – діаметр штока,  $d_{шт} = 0,032$  м

$$V_{hII} = \frac{\bar{M}}{\lambda_2 \cdot \rho_{H2}} \quad (1.29)$$

$$V_{hII}' = \frac{0,0218}{0,684 \cdot 2,44} = 0,0145 \text{ (м}^3/\text{с)}$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0145}{3,14 \cdot 0,09 \cdot 12,25} + 0,032^2} = 0,129 \text{ (м)}$$

Вибираємо діаметр циліндра другого ступеня  $D_2 = 130$  мм.

Діаметр циліндра другого ступеня компресора. Третя ступінь – простої дії.

$$D_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot \bar{M}}{\pi \cdot S \cdot n \cdot \rho_{H3} \cdot \lambda_3 \cdot j_3}} \quad (1.30)$$

де  $\bar{M}$  - масова продуктивність компресора, яка визначена за заданими

початковими даними,  $\bar{M}_1 = 0,0218$  кг/с;

$S$  – хід поршня,  $S = 0,09$  м;

$n$  – частота обертання колінчастого вала компресора,  $n = 12,25$  1/с;

$\rho_{H3}$  – густина газу на всмоктуванні в ступінь компресора,  $\rho_{H3} = 6,70$  кг/м<sup>3</sup>;

					К 13М.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

$\lambda_3$  – коефіцієнт продуктивності ступеня,  $\lambda_3 = 0,607$ ;

$J_3$  – число циліндрів ступеня,  $j_3 = 1$

$$D_3' = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0218}{3,14 \cdot 0,09 \cdot 12,25 \cdot 6,70 \cdot 0,607 \cdot 1}} = 0,079 \text{ (м)}$$

Вибираємо діаметр циліндра третього ступеня  $D_3 = 80$  мм.

Діаметр циліндра четвертого ступеня компресора

$$V_{hIV} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_4^2 - d_{шт}^2) \cdot S \cdot n \quad (1.31)$$

звідки

$$D_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{hIV}}{\pi \cdot S \cdot n} + d_{шт}^2} \quad (1.32)$$

де  $V_{hIV}$  – об'ємна продуктивність четвертого ступеня;

$d_{шт}$  – діаметр штока,  $d_{шт} = 0,032$  м

$$V_{hIV} = \frac{\bar{M}}{\lambda_4 \cdot \rho_{H4}} \quad (1.33)$$

$$V_{hIV}' = \frac{0,0218}{0,753 \cdot 18,43} = 0,0016 \text{ (м}^3/\text{с)}$$

$$D_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0016}{3,14 \cdot 0,09 \cdot 12,25} + 0,032^2} = 0,054 \text{ (м)}$$

					К 13М.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

Вибираємо діаметр циліндра четвертого ступеня  $D_4 = 55$  мм.

Діаметр циліндра п'ятого ступеня компресора. П'ятий ступінь – простої дії.

$$D_5 = \sqrt{\frac{4 \cdot \bar{M}}{\pi \cdot S \cdot n \cdot \rho_{H5} \cdot \lambda_5 \cdot j_5}} \quad (1.34)$$

де  $\bar{M}$  – масова продуктивність компресора, яка визначена за заданими початковими даними,  $\bar{M}_1 = 0,0218$  кг/с;

$\rho_{H5}$  – густина газу на всмоктуванні в ступінь компресора,  $\rho_{H5} = 50,14$  кг/м<sup>3</sup>;

$\lambda_5$  – коефіцієнт продуктивності ступеня,  $\lambda_5 = 0,729$ ;

$j_5$  – число циліндрів ступеня,  $j_5 = 1$

$$D_5' = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0218}{3,14 \cdot 0,09 \cdot 12,25 \cdot 50,14 \cdot 0,729 \cdot 1}} = 0,0264 \text{ (м)}$$

Вибираємо діаметр циліндра п'ятого ступеня  $D_3 = 28$  мм.

Максимальні газові сили в першому ступені компресора

$$P_{MAX1} = P_{K1} \cdot F_{K1} - P_{H1} \cdot F_{B1} \quad (1.35)$$

де  $P_{K1}$  – тиск нагнітання першого ступеня,  $P_{K1} = 0,41 \cdot 10^6$  Па;

$F_{K1}$  – площа поршня ступеня;

$P_{H1}$  – тиск всмоктування ступеня,  $P_{H1} = 0,15 \cdot 10^6$  Па;

$F_{B1}$  – площа поршня з боку вала ступеня

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$P_{MAX1} = P_{K1} \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} - P_{H1} \cdot \frac{\pi \cdot (D_1^2 - d_{ум}^2)}{4} =$$

$$= 0,41 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,14^2}{4} - 0,15 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot (0,14^2 - 0,032^2)}{4} = 14,2 \cdot 10^3 \text{ (Н)}$$

Умова  $14,2 \cdot 10^3 = (0,9 \div 1,1) \cdot 16,0 \cdot 10^3 \text{ (Н)}$  виконується, значить розрахунок виконано вірно.

Максимальні газові сили в другому та четвертому ступенях компресора

$$P_{MAX2-4} = P_{K4} \cdot \frac{\pi \cdot D_4^2}{4} + P_{H2} \cdot \frac{\pi \cdot (D_2^2 - D_4^2)}{4} - P_{H2} \cdot \frac{\pi \cdot (D_2^2 - d_{ум}^2)}{4} \quad (1.36)$$

де  $P_{K4}$  – тиск нагнітання четвертого ступеня,  $P_{K4} = 8,55 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ;

$P_{H2}$  – тиск всмоктування другого ступеня,  $P_{H2} = 0,41 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ;

$$P_{MAX2-4} = 8,55 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,055^2}{4} + 0,41 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot (0,13^2 - 0,055^2)}{4} -$$

$$- 0,41 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot (0,055^2 - 0,032^2)}{4} = 16,5 \cdot 10^3 \text{ (Н)}$$

Умова  $16,5 \cdot 10^3 = (0,9 \div 1,1) \cdot 16,0 \cdot 10^3 \text{ (Н)}$  виконується, значить розрахунок виконано вірно.

Максимальні газові сили в третьому та п'ятому ступенях компресора

$$P_{MAX3-5} = P_{K5} \cdot \frac{\pi \cdot D_5^2}{4} + P_{H3} \cdot \frac{\pi \cdot (D_3^2 - D_5^2)}{4} - P_{H3} \cdot \frac{\pi \cdot (D_3^2 - d_{шм}^2)}{4} \quad (1.37)$$

де  $P_{K5}$  – тиск нагнітання п'ятого ступеня,  $P_{K5} = 23,52 \cdot 10^6$  Па;

$P_{H3}$  – тиск всмоктування п'ятого ступеня,  $P_{H3} = 1,13 \cdot 10^6$  Па;

$$P_{MAX3-5} = 23,52 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,028^2}{4} + 1,13 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot (0,08^2 - 0,028^2)}{4} - 1,13 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot (0,08^2 - 0,032^2)}{4} = 15,2 \cdot 10^3 \text{ (Н)}$$

Умова  $15,2 \cdot 10^3 = (0,9 \div 1,1) \cdot 16,0 \cdot 10^3 \text{ (Н)}$  виконується, значить

розрахунок виконано вірно.

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		30

### 3 Вибір клапанів

Клапани є перекриваючими органи в газовому тракті циліндрів поршневого компресора, що складаються з запірних елементів, поміщених між сідлом і обмежувачем підйому. Клапани повинні забезпечувати: герметичність в закритому стані, мінімальний опір протіканню газів, малий обсяг мертвого простору, своєчасність відкриття і закриття. Для цього необхідно, щоб маси рухомих частин клапанів були якомога меншими, зусилля пружини оптимальним, а газодинаміка найбільш досконалою. Разом з тим клапани повинні бути взаємозамінні і довговічні.

Клапани є найбільш відповідальним елементом компресора, що визначає надійність і економічність їх роботи. Тому при проектуванні компресора особлива увага приділяється вибору раціонального типу клапанів і визначенню їх параметрів.

Вибір клапанів проводиться в залежності від величини  $\Phi_{\text{екв}}$ .

Для першої, другої і третьої ступенів приймаємо смугові клапани з пружним обмежувачем, для четвертої ступені - кільцеві комбіновані клапани, для п'ятому ступені - тарілчасті клапани.

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31

## 4 Перевірочний розрахунок поршневого компресора

### 4.1 Визначаємо відношення тисків газу в циліндрах

$$P_{цi} = \frac{P_{Ki} \cdot (1 + \epsilon_{2i})}{P_{Hi} \cdot (1 - \epsilon_{1i})} \quad (4.1)$$

де  $\epsilon$  – відносні втрати тиску у всмоктувальних та нагнітальних клапанах,

$$\epsilon_{1I} = 0,05, \epsilon_{1II} = 0,04,$$

$$\epsilon_{2I} = 0,8 \cdot \epsilon_{1I} = 0,04, \epsilon_{2II} = 0,8 \cdot \epsilon_{1II} = 0,032;$$

$$\epsilon_{3I} = 0,8 \cdot \epsilon_{2I} = 0,032, \epsilon_{3II} = 0,8 \cdot \epsilon_{2II} = 0,026;$$

$$\epsilon_{4I} = 0,8 \cdot \epsilon_{3I} = 0,026, \epsilon_{4II} = 0,8 \cdot \epsilon_{3II} = 0,021;$$

$$\epsilon_{5I} = 0,8 \cdot \epsilon_{4I} = 0,021, \epsilon_{5II} = 0,8 \cdot \epsilon_{4II} = 0,017$$

$$P_{цI} = \frac{0,41 \cdot 10^6 \cdot (1 + 0,04)}{0,15 \cdot 10^6 \cdot (1 - 0,05)} = 2,99$$

$$P_{цII} = \frac{1,13 \cdot 10^6 \cdot (1 + 0,032)}{0,41 \cdot 10^6 \cdot (1 - 0,04)} = 2,96$$

$$P_{цIII} = \frac{3,11 \cdot 10^6 \cdot (1 + 0,026)}{1,13 \cdot 10^6 \cdot (1 - 0,032)} = 2,92$$

$$P_{цIV} = \frac{8,55 \cdot 10^6 \cdot (1 + 0,021)}{3,11 \cdot 10^6 \cdot (1 - 0,026)} = 2,88$$

					К 13М.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32



$$\Pi_{\text{ЦV}} = \frac{23,52 \cdot 10^6 \cdot (1 + 0,017)}{8,55 \cdot 10^6 \cdot (1 - 0,021)} = 2,86$$

#### 4.2 Значення величин $A_{\text{CI}}$ та $A_{\text{PI}}$ визначається за формулами

$$A_{\text{CI}} = \frac{n_I}{n_I - 1} \cdot \left[ \Pi_{\text{ЦИ}}^{\frac{n_I - 1}{n_I}} - 1 \right] = \frac{1,22}{1,22 - 1} \cdot \left[ 2,99^{\frac{1,22 - 1}{1,22}} - 1 \right] = 1,211$$

$$A_{\text{CII}} = \frac{n_{II}}{n_{II} - 1} \cdot \left[ \Pi_{\text{ЦII}}^{\frac{n_{II} - 1}{n_{II}}} - 1 \right] = \frac{1,24}{1,24 - 1} \cdot \left[ 2,96^{\frac{1,24 - 1}{1,24}} - 1 \right] = 1,208$$

$$A_{\text{CIII}} = \frac{n_{III}}{n_{III} - 1} \cdot \left[ \Pi_{\text{ЦIII}}^{\frac{n_{III} - 1}{n_{III}}} - 1 \right] = \frac{1,26}{1,26 - 1} \cdot \left[ 2,92^{\frac{1,26 - 1}{1,26}} - 1 \right] = 1,199$$

$$A_{\text{CIV}} = \frac{n_{IV}}{n_{IV} - 1} \cdot \left[ \Pi_{\text{ЦIV}}^{\frac{n_{IV} - 1}{n_{IV}}} - 1 \right] = \frac{1,28}{1,28 - 1} \cdot \left[ 2,88^{\frac{1,28 - 1}{1,28}} - 1 \right] = 1,190$$

$$A_{\text{CV}} = \frac{n_V}{n_V - 1} \cdot \left[ \Pi_{\text{ЦV}}^{\frac{n_V - 1}{n_V}} - 1 \right] = \frac{1,30}{1,30 - 1} \cdot \left[ 2,86^{\frac{1,30 - 1}{1,30}} - 1 \right] = 1,189$$

$$A_{\text{PI}} = \frac{m_I}{m_I - 1} \cdot \left[ \Pi_{\text{ЦИ}}^{\frac{m_I - 1}{m_I}} - 1 \right] = \frac{1,150}{1,150 - 1} \cdot \left[ 2,99^{\frac{1,150 - 1}{1,150}} - 1 \right] = 1,177$$

$$A_{\text{PII}} = \frac{m_{II}}{m_{II} - 1} \cdot \left[ \Pi_{\text{ЦII}}^{\frac{m_{II} - 1}{m_{II}}} - 1 \right] = \frac{1,225}{1,225 - 1} \cdot \left[ 2,96^{\frac{1,225 - 1}{1,225}} - 1 \right] = 1,201$$

$$A_{P_{III}} = \frac{m_{III}}{m_{III} - 1} \cdot \left[ \Pi_{\zeta_{III}}^{\frac{m_{III}-1}{m_{III}}} - 1 \right] = \frac{1,264}{1,264 - 1} \cdot \left[ 2,92^{\frac{1,264-1}{1,264}} - 1 \right] = 1,201$$

$$A_{P_{IV}} = \frac{m_{IV}}{m_{IV} - 1} \cdot \left[ \Pi_{\zeta_{IV}}^{\frac{m_{IV}-1}{m_{IV}}} - 1 \right] = \frac{1,264}{1,264 - 1} \cdot \left[ 2,88^{\frac{1,264-1}{1,264}} - 1 \right] = 1,184$$

$$A_{P_V} = \frac{m_V}{m_V - 1} \cdot \left[ \Pi_{\zeta_V}^{\frac{m_V-1}{m_V}} - 1 \right] = \frac{1,300}{1,300 - 1} \cdot \left[ 2,86^{\frac{1,300-1}{1,300}} - 1 \right] = 1,189$$

**4.3 Індикаторна потужність компресора визначається за формулою**

$$N_{\text{иi}} = P_{\text{Hi}} \cdot (1 - \eta_i) \cdot \bar{V}_{\text{hi}} \cdot \left[ (1 + a_i) \cdot A_{\zeta_i} - a_i \cdot \Pi_{\zeta_i}^{\frac{1}{m_i}} \cdot A_{P_i} \right] \quad (4.2)$$

де  $P_{\text{Hi}}$  – тиск на всмоктуванні,  $P_{\text{H1}} = 0,15 \cdot 10^6$  Па,  $P_{\text{H2}} = 0,41 \cdot 10^6$  Па,  $P_{\text{H3}} = 1,13 \cdot 10^6$  Па,  $P_{\text{H4}} = 3,11 \cdot 10^6$  Па,  $P_{\text{H5}} = 8,55 \cdot 10^6$  Па;

$\bar{V}_{\text{hi}}$  – секундна теоретична продуктивність ступеня;

$a_i$  – дійсна величина мертвого об'єму ступеня (береться з креслення),

$a_1 = 0,1150$ ,  $a_2 = 0,1880$ ,  $a_3 = 0,2625$ ,  $a_4 = 0,1425$ ,  $a_5 = 0,1725$

$$\bar{V}'_{h1} = \frac{\bar{M}}{\rho_{\text{H1}} \cdot \lambda_{\gamma}} = \frac{0,0218}{1,31 \cdot 0,745} = 0,0223 (\text{м}^3/\text{с}); \quad \bar{V}''_{h1} = \frac{0,0178}{1,07 \cdot 0,745} = 0,0223 (\text{м}^3/\text{с})$$

$$\bar{V}_{h2} = \frac{0,0218}{2,44 \cdot 0,684} = 0,0131 (\text{м}^3/\text{с}); \quad \bar{V}_{h3} = \frac{0,0218}{6,70 \cdot 0,607} = 0,0054 (\text{м}^3/\text{с})$$

$$\bar{V}_{h4} = \frac{0,0218}{18,43 \cdot 0,753} = 0,0016 (\text{м}^3/\text{с}); \quad \bar{V}_{h5} = \frac{0,0218}{50,14 \cdot 0,729} = 0,0006 (\text{м}^3/\text{с})$$

					К 13М.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$N_{И1} = 0,15 \cdot 10^6 \cdot (1 - 0,05) \cdot 0,0223 \cdot \left[ (1 + 0,1150) \cdot 1,211 - 0,1150 \cdot 2,99^{\frac{1}{1,150}} \cdot 1,177 \right] = 3176 \text{ (Вт)}$$

$$N_{И2} = 0,41 \cdot 10^6 \cdot (1 - 0,04) \cdot 0,0131 \cdot \left[ (1 + 0,1880) \cdot 1,208 - 0,1880 \cdot 2,96^{\frac{1}{1,225}} \cdot 1,201 \right] = 4576 \text{ (Вт)}$$

$$N_{И3} = 1,13 \cdot 10^6 \cdot (1 - 0,032) \cdot 0,0054 \cdot \left[ (1 + 0,2625) \cdot 1,199 - 0,2625 \cdot 2,92^{\frac{1}{1,264}} \cdot 1,201 \right] = 4594 \text{ (Вт)}$$

$$N_{И4} = 3,11 \cdot 10^6 \cdot (1 - 0,026) \cdot 0,0016 \cdot \left[ (1 + 0,1425) \cdot 1,190 - 0,1425 \cdot 2,88^{\frac{1}{1,264}} \cdot 1,189 \right] = 4693 \text{ (Вт)}$$

$$N_{И5} = 8,55 \cdot 10^6 \cdot (1 - 0,1725) \cdot 0,0006 \cdot \left[ (1 + 0,1725) \cdot 1,189 - 0,1725 \cdot 2,86^{\frac{1}{1,300}} \cdot 1,189 \right] = 3964 \text{ (Вт)}$$

$$N_{ИК} = N_{И1} + N_{И2} + N_{И3} + N_{И4} + N_{И5} = 3176 + 4576 + 4594 + 4693 + 3964 = 21003 \text{ (Вт)}$$

#### 4.4 Визначаємо потужність, споживану компресором

$$N_K = \frac{N_{ИК}}{\eta_{мех}} \quad (4.3)$$

де  $\eta_{мех}$  – механічний коефіцієнт корисної дії компресора (за статистичними даними складає 0,85÷0,95 залежно від схеми компресора), приймаємо

$$\eta_{мех} = 0,90$$

$$N_K = \frac{21003}{0,90} = 23337 \text{ (Вт)}$$

					К 13М.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

#### 4.5 Ізотермний коефіцієнт корисної дії компресора

$$\eta_{из} = \frac{N_{из}}{N_K} \quad (4.4)$$

де  $N_{из}$  – ізотермна потужність компресора

$$N_{из} = \sum_{i=1}^n N_{изi} = \sum_{i=1}^n \bar{M} \cdot R \cdot T_{Hi} \cdot \ln \Pi_{cmi} \quad (4.5)$$

$$N_{из} = 5 \cdot 0,0218 \cdot 457,84 \cdot 308 \cdot \ln 2,75 = 15550 \text{ (Дж)}$$

$$\eta_{из} = \frac{15550}{23337} = 0,67$$

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		36

## 5 Вибір привода компресора

Двигун вибираємо по каталогах в залежності від номінальної потужності компресора і швидкості обертання валу компресора. Запас потужності становить 15-25%.

При потужності компресора 47773 Вт  $\approx$  47,8 кВт вибираємо двигун асинхронний вибухозахищений, кліматичне виконання У2, призначений для приводів стаціонарних машин і механізмів вугільної, хімічної, газової, нафтової та інших галузей промисловості ([2], с. 205, додаток Б). Характеристика двигуна зведена в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Характеристика двигуна

Типорозмір двигуна	P, кВт	$n_2$ , об/хв	$\eta$ , %	Напруга, В	$\cos\varphi$
2B280S8Y2	55,0	900	92,4	380/660	0,83

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		37

## 6 Розрахунок абсорбера блоку підготовки та очищення природного газу

### 6.1 Термодинамічний розрахунок

У насадочному абсорбері чистою водою поглинається цільовий компонент з його суміші з повітрям за тиску  $P$  і температури  $t$ . Витрата газу  $V_0$  (за нормальних умов:  $0^\circ\text{C}$ ,  $760$  мм.рт.ст.), початковий вміст компонента  $A$  в газі  $y_H$ , ступінь вилучення  $A$  дорівнює  $\eta$ . Коефіцієнт надлишку зрошення  $\phi$ , коефіцієнт змочування  $\psi$ . Поставивши за мету коефіцієнт масопередачі  $K$ , визначити діаметр і висоту абсорбера, гідравлічний опір.

Цільовий компонент: природний газ

$P=25$  МПа;

$t = 100^\circ\text{C}$

$V_0=1000\text{м}^3/\text{с};$

$y_H = 14 \%$ ;

$\eta=95\%$ ;

$\phi = 1,6;$

$\psi = 0,9;$

$K = 0,75 \cdot 10^6$  Кмоль/( $\text{м}^2$ -год-Па)

Вид насадки кільця фосфорні кільця;

Розміри елемента насадки,  $8 \times 8 \times 1,5$  мм;

Число елементів  $y^3$  1 м об'єму, заповненого насадкою 1465000;

Вільний об'єм,  $0,64$  м / $\text{м}^3$  ;

Питома поверхня,  $570\text{м} / \text{м}^2$  ;

Маса  $1\text{м}^3$  насадки,  $600\text{кг}$

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		38

Перерахуємо концентрації та навантаження за фазами для отримання потрібної розмірності

$$Y_H = \frac{y_H}{(1-y_H)} \frac{M_A}{M_B},$$

де  $M_A$  ,  $M_B$  - відповідно мольні маси компонента, що поглинається, та інертного газу, кг/кмоль.

$M_A = 16$  кг/кмоль - молярна маса природного газу (метан);

$M_B = 29$  кг/кмоль - молярна маса повітря;

$$Y_H = \frac{0,14}{(1-0,14)} \frac{16}{29} = 0,146 \text{ кмоль газу/кмоль повітря,}$$

Кінцевий вміст компонента, що поглинається, в газовій фазі можна визначити з урахуванням ступеня поглинання за формулою:

$$Y_K = Y_H (1 - c_{II}) = 0,146(1 - 0,95) = 0,0073 \text{ кмоль паров газу /кг воздуха.}$$

де  $\eta$  - ступінь поглинання компонента.

2) Масу компонента  $M$ , що переходить із газової суміші в поглинач,  $M$  знаходять із рівняння матеріального балансу:

$$M = G(Y_H - Y_K) = L(X_k - X_H)$$

де  $L$ ,  $G$  - витрати відповідно чистого поглинача та інертної частини газу, кмоль/с;

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						39
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$X_H$  ,  $X_k$  - початкова і кінцева концентрації компонента, що поглинається, в рідкому поглиначі, кмоль А/кмоль С;

$Y_H$  .  $Y_k$  - початкова і кінцева концентрації компонента, що поглинається, в газі, кмоль А/кмоль В.

Кінцева концентрація речовини в поглиначі  $X_k$  обумовлює його витрата, яка, своєю чергою, впливає на розміри абсорбера і частину енергетичних витрат, пов'язаних із перекачуванням рідини та її регенерацією. Тому  $X_k$  вибирають, виходячи з оптимальної витрати поглинача. У хімічних виробництвах витрату абсорбенту  $L$  приймають на 30-50% більшою за мінімальну  $L_{min}$  . У цьому випадку кінцеву концентрацію  $X_k$  визначають із рівняння матеріального балансу, використовуючи дані щодо рівноваги (рисунок 6.1).

У разі вираження складу фаз у відносних мольних концентраціях рівняння рівноваги можна записати у вигляді:

$$\frac{Y^*}{1+Y^*} = \frac{m \cdot X}{1+X}$$

$$Y^* = \frac{m \cdot X}{1+X-m \cdot X} = \frac{m \cdot X}{1+(1-m) \cdot X}$$

Отже, при вираженні закону Генрі у відносних концентраціях рівновага в системі газ-рідина зображується також кривою лінією. Однак для сильно розбавлених розчинів (малі концентрації  $X$  газу в рідині) можна прийняти (1 - т)  $X \approx 0$ . Тоді знаменник рівняння бертається в одиницю, і рівняння набуває вигляду:



$$Y^* = m \cdot X$$

Кінцевий рівноважний вміст компонента, що поглинається, в рідині:

$$X_k^* = \frac{Y_H}{m - Y_H \cdot (1 - m)}$$

де  $m$  - коефіцієнт розподілу;

$$m = \frac{E}{P}$$

де  $E$  - коефіцієнт Генрі для компонента, що поглинається, в рідкому поглиначі за температури абсорбції (Додаток, таблиця П4), МПа;

$$E = 0,73 \cdot 10^{-6} \text{ мм.рт.ст. Переведення } 1 \text{ мм.рт.ст } 133,3 \text{ Па}$$

$$E = 0,73 \cdot 10^{-6} \cdot 133,3 = 97,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па} = 97,3 \text{ МПа}$$

$P$  - абсолютний тиск в апараті, МПа.

$$m = \frac{97,3}{1,2} = 81,1$$

У разі якщо на зрошення подається чистий поглинач, то приймають  $X_H = 0$ .

$$X_k^* = \frac{0,146}{81,1 - 0,146 \cdot (1 - 81,1)} = 0,0016 \text{ кмоль газу/кмоль води}$$

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

Мінімальну питому витрату поглинача можна знайти, використовуючи умову перетину робочої лінії з рівноважною:

$$l_{\min} = \frac{Y_H - Y_K}{X_K^*}$$

$$l_{\min} = \frac{0,146 - 0,0073}{0,0016} = 88,2$$

Питома витрата абсорбенту з урахуванням коефіцієнта надлишку зрошення.

$$l = l_{\min} \cdot \varphi$$

$$l = 88,2 \cdot 1,6 = 141$$

Кінцевий вміст компонента, що поглинається, в рідині, що відповідає оптимальній витраті абсорбенту:

$$X_K = \frac{Y_H - Y_K}{l} = \frac{0,146 - 0,0073}{141} = 0,001 \text{ кмоль газу/кмоль води}$$

Масова витрата інертної частини газу

$$G = V_0 \cdot \rho_z (1 - Y_H)$$

где  $V_0$  – витрата газової суміші за нормальних умов, м<sup>3</sup>/год;

$\rho_z$  - густина інертного газу (повітря) за робочих умов, кг/м<sup>3</sup>.

$$G = V_0 \cdot \rho_{0y} (1 - Y_H)$$

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		42

где  $\rho_0$  -- густина повітря за нормальних умов  $\rho_0 = 1,29 \text{ кг/м}^3$ ,

$$G = 1000 \cdot 1,29(1 - 0,146) = 1101,7 \text{ кг/год}$$

Продуктивність абсорбера за компонентом, що поглинається, кмоль/год:

$$M = \frac{V_0 \cdot y_H \cdot \eta}{(1 - y_H) \cdot 22,4} = \frac{1000 \cdot 0,146 \cdot 0,95}{(1 - 0,146) \cdot 22,4} = 7,25 \text{ кмоль/год}$$

Витрата поглинача, кмоль/год:

$$L = \frac{M}{X_K - X_H} = \frac{7,25}{0,001 - 0} = 7250,5 \text{ кг/ч/3600} = 2 \text{ кг/с}$$

Перераховуємо витрату газу за умовами в абсорбері:

$$\rho_2 = \rho_0 \frac{T_0}{T_H} \cdot \frac{P}{P_0} = 1,29 \frac{273}{(273 + 10)} \cdot \frac{1,2}{0,1} = 14,93 \text{ кг/м}^3$$

$$G = V_0 \cdot \rho = \frac{1000}{3600} \cdot 14,93 = 4,15 \text{ кг/с.}$$

## 6.2 Розрахунок рухомої сили

Визначаємо рушійну силу внизу апарата:

$$\Delta Y_k = Y_H - m \cdot x_k = 0,146 - 81,1 \cdot 0,001 = 0,0649 \text{ кмоль газу/кмоль повітря,}$$

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		43

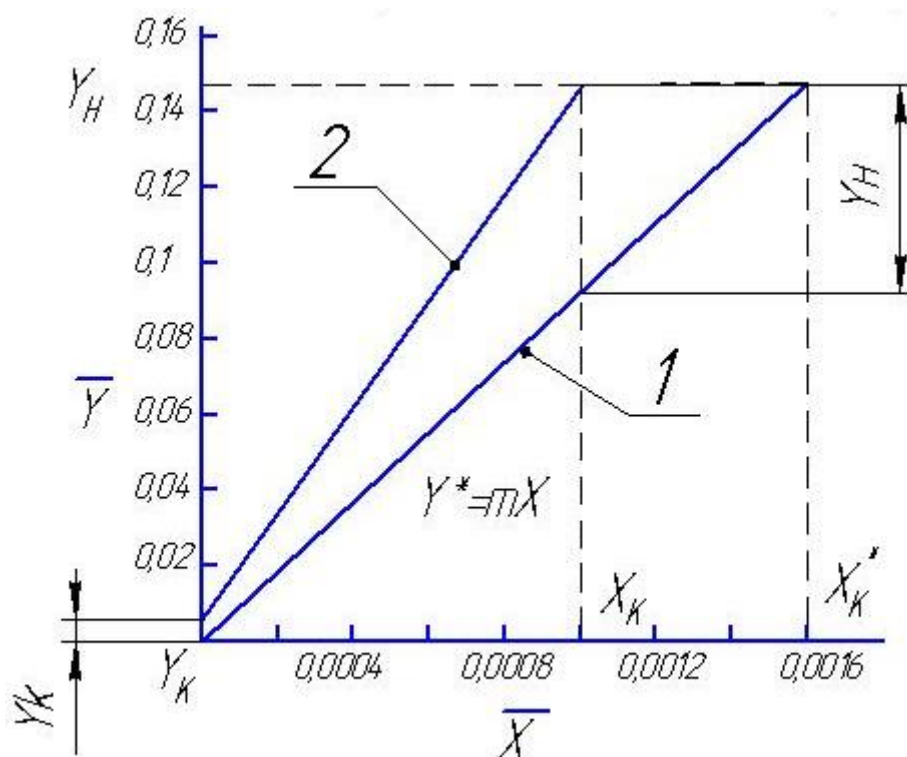
Визначаємо рушійну силу вгорі апарата:

$$\Delta Y_H = Y_k - m \cdot x_H = 0,0073 - 81,1 \cdot 0 = 0,0073 \text{ кмоль газу/кмоль повітря,}$$

Середня рушійна сила визначиться:

$$\Delta Y_{cp} = \frac{\Delta Y_\sigma - \Delta Y_m}{2,31 \cdot \lg(\Delta Y_\sigma / \Delta Y_m)} = \frac{0,0649 - 0,0073}{2,31 \cdot \lg\left(\frac{0,0649}{0,0073}\right)} = 0,0264 \text{ кмоль газу/кмоль повітря,}$$

Робоча та рівноважна лінія абсорбції



1 - рівноважна лінія; 2 - робоча лінія

Рисунок 6.1 – Залежність між вмістом компонента, що поглинається, в газовій суміші  $\bar{Y}$  і абсорбенті -  $\bar{X}$

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

К 13М.00.00.00 ПЗ

Лист

44

### 6.3 Розрахунок швидкості газу та діаметра абсорбера

Кільця Рашига

Вид насадки кільця фосфорні кільця;

Розміри елемента насадки, 8x8x1,5 мм;

Вільний об'єм насадки  $a = 570 \text{ м}^2 / \text{м}^3$

Питома поверхня насадки  $\varepsilon = 0,64 \text{ м}^2 / \text{м}^3$

Насипна щільність  $\rho_H = 600 \text{ кг} / \text{м}^3$

Згідно з [2 с. 105] швидкість газу визначиться за формулою:

$$\lg \left( \frac{w_{np}^2 a \rho_y}{g \varepsilon^3 \rho_x} \mu_x^{0,16} \right) = A - B \left( \frac{L}{G} \right)^{1/4} \left( \frac{\rho_y}{\rho_x} \right)^{1/8}$$

где  $\rho_x$  - густина води  $\rho_x = 999 \text{ кг} / \text{м}^3$  при 10°C [2 с.537 т. XXXIX]

$A = -0,022$ ,  $B = 1,75$  [1с. 195 табл. 5.1]

$\mu_x = 1 \text{ Па} \cdot \text{с}$  – динамічна винамічна в'язкість води при 10°C [2 с.537 т. XXXIX]

$$\lg \left( \frac{w_{np}^2 570 \cdot 14,93}{9,81 \cdot 0,64^3 \cdot 999} (1)^{0,16} \right) = -0,022 - 1,75 \cdot \left( \frac{4,15}{2} \right)^{1/4} \left( \frac{14,93}{999} \right)^{1/8}$$

$w = 0,2 \text{ м} / \text{с}$ .

Фактична швидкість в апараті

$$w_{\phi} = 0,8 \cdot w = 0,8 \cdot 0,2 = 0,16 \text{ м} / \text{с}$$

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

Діаметр апарата дорівнюватиме:

$$D_{расч} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot w \cdot \rho_2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,15}{3,14 \cdot 0,15 \cdot 14,93}} = 1,09 \text{ м}$$

Приймаємо два абсорбери  $D = 0,6 \text{ м}$  кожний

Уточнення швидкості газової суміші в апараті:

$$w = w \left( \frac{D}{D_c} \right) = 0,15 \left( \frac{1,09}{2 \cdot 0,6} \right)^2 = 0,136 \text{ м/с}$$

Площа поперечного перерізу

$$S = 0,785 \times D_c^2 = 2 \cdot 0,785 \times 0,6^2 = 0,585 \text{ м}^2 \quad [1с. 197]$$

Поверхня масопередачі

$$F = \frac{M \cdot \Pi}{K \cdot \Delta Y_{cp}} = \frac{7,25 \cdot 1,2 \cdot 10^6}{0,75 \cdot 10^6 \cdot 0,0264} = 439,4 \text{ м}^2 \quad [1с. 201]$$

Визначаємо висоту насадки

$$H = \frac{F}{S \cdot a \cdot \psi_a} = \frac{439,4}{2 \times 540 \times 0,9} = 0,45 \text{ м} \quad [1с. 201]$$

Загальну висоту абсорбційної колони визначають за рівнянням:

$$H_k = Z \cdot n + Z_b + Z_n,$$

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		46

де  $Z$  - висота насадки в одній секції, м;

$n$  - число секцій;

$h_p$  - висота проміжків між секціями насадки, в яких встановлюють розподільники рідини, м;

$Z_v$  и  $Z_n$  - відповідно висота сепараційного простору над насадкою і відстань між дном колони і насадкою, м.

Відстань між дном абсорбера і насадкою визначається необхідністю рівномірного розподілу газу по поперечному перерізу колони. Зазвичай цю відстань приймають рівною 1-1,5d.

Відстань від верху насадки до кришки абсорбера залежить від розмірів розподільного пристрою для зрошення насадки і від висоти сепараційного простору, в якому часто встановлюють краплевідбійні пристрої для запобігання бризговідносу з колони.

Значення  $Z_v = 1000$ м и  $Z_n = 2000$ м обирають відповідно до рекомендацій [5]:

$$H_k = 450 + 1000 + 2000 = 3450 \text{ мм,}$$

Визначення гідравлічного опору сухої насадки:

$$\Delta P_{\text{сух}} = \lambda \frac{H}{d_{\text{екв}}} \cdot \frac{\rho_y \omega_{\text{раб}}^2}{2 \cdot \varepsilon^2} \text{ Па}$$

де  $\lambda$  – ефективний коефіцієнт тертя;

$d_{\text{екв}}$  – еквівалентний діаметр насадки.

$$d_{\text{екв}} = \frac{4 \cdot \varepsilon}{a} = \frac{4 \cdot 0,64}{570} = 0,0045 \text{ м}$$

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						47
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт опору насадки

Визначаємо критерій Рейнольдса

$$Re = \omega \frac{d_s \cdot \rho_2}{\mu_2}$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості парів ацетону при 0 градусів

$$\mu_{ac}^0 = 9,35 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с при } t = 0^\circ \text{C}$$

Постійна Сатерленда  $C=198$

Динамічний коефіцієнт в'язкості парів ацетону при  $t$

$$\mu_{ac} = \mu_{ac}^0 \frac{273+C}{T+C} \left( \frac{T}{273} \right)^{1,5} = 9,35 \cdot 10^{-6} \frac{273+198}{283+198} \left( \frac{283}{273} \right)^{1,5} = 9,66 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с} [2. \text{ с.567}$$

рис.6]

Динамічний коефіцієнт в'язкості повітря при 0 градусів

$$\mu_v^0 = 17,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с при } t = 0^\circ \text{C} \text{ таблиця П4}$$

Постійна Сатерленда  $C=124$

Динамічний коефіцієнт в'язкості повітря при  $t$

$$\mu_v = \mu_v^0 \frac{273+C}{T+C} \left( \frac{T}{273} \right)^{1,5} = 17,3 \cdot 10^{-6} \frac{273+124}{283+124} \left( \frac{283}{273} \right)^{1,5} = 17,8 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с} [2. \text{ с.567}$$

рис.6]

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						48
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



Динамічний коефіцієнт в'язкості суміші

$$\mu_{см} = \frac{M_y}{\frac{y_H M_{aц} + (1 - y_H) M_{г} }{V_{aц} + V_{г}}} \quad [3с. 193]$$

$$\mu_{см} = \frac{28,6}{\frac{0,146 \times 26}{9,66 \cdot 10^{-6}} + \frac{(1 - 0,146) \times 29}{17,8 \cdot 10^{-6}}} = 16 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Молекулярна маса газової суміші

$$M_y = y_H M_a + (1 - y_H) M_{г} \quad [3с. 193]$$

$$M_y = 0,146 \times 26 + (1 - 0,146) \times 29 = 28,6 \text{ кг/кмоль}$$

$$Re = 0,13 \frac{0,0045 \cdot 14,93}{16 \cdot 10^{-6}} = 545,9$$

Кільця Рашига неупорядковані  $Re_y > 40$

$$\lambda_y = 16 / Re_y^{0,2} = 16 / 545,9^{0,2} = 4,54$$

Швидкість газу у вільному перерізі насадки:

$$w_0 = w / \varepsilon = 0,13 / 0,64 = 0,2 \text{ м/с}$$

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		49

Гідравлічний опір сухої насадки

$$\Delta P_{\text{сх}} = 4,54 \frac{0,45}{0,0045} \cdot \frac{14,93 \cdot 0,2^2}{2 \cdot 0,64^2} = 331 \text{ Па}$$

Гідравлічний опір насадочного абсорбера зі змоченою насадкою  $\Delta P_{\text{см}}$ , Па, можна розрахувати за формулою:

$$\Delta P = \Delta P_c \cdot 10^{b \cdot U},$$

де  $b = 126$ -коефіцієнт стор. 32

$U$  - щільності зрошення (швидкості рідини)

$$U = \frac{L}{\rho_x S} = \frac{2}{999 \cdot 14,93} = 1,34 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / \text{м}^2 \text{ с} \quad [1\text{с. 198}]$$

$$\Delta P = 331 \cdot 10^{126 \cdot 1,34 \cdot 10^{-4}} = 344,2 \text{ Па}$$

## 6.4 Розрахунок на міцність

### 6.4.1 Розрахунок обичайки

Обичайка виготовляється з листової сталі, зварена, поздовжній стиковий шов двосторонній, виконаний ручним електродуговим зварюванням. Коефіцієнт міцності зварного з'єднання  $\varphi = 0,9$  [2]. Допустимі напруги:

Нормативна для сталі ВСтЗсп  $\sigma^* = 140 \text{ МПа}$  [3];

Для робочого стану  $[\sigma] = \eta_3 \cdot \eta \cdot \sigma^*$ ;  
 $[\sigma] = 1 \cdot 1 \cdot 140 = 140 \text{ МПа}$ .

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		50

При гідравлічних випробуваннях

$$[\sigma]_u = \frac{\sigma_{T20}}{1,1};$$

$$[\sigma]_u = \frac{210}{1,1} = 191 \text{ МПа.}$$

Розрахунковий тиск  $p_p = 25 \text{ МПа}$ , тиск випробування  $p_u = 1,5 p_p$ .

Виконавча товщина  $\delta$  стінки обичайки:

$$\delta = \delta_p + \sum c = \frac{p_p \cdot D_{\text{вн}}}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p_p} + \sum c;$$

$$\delta = \frac{1,5 \cdot 25 \cdot 0,6}{2 \cdot 0,9 \cdot 140 - 1,8} + 0,0037 = 0,01 \text{ м} = 10 \text{ мм.}$$

де  $\sum c = 0,0037$  – сума всіх прибавок товщини обичайки.

Допустимий тиск в робочому стані:

$$[p]_д = 2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] \frac{\delta - \sum c}{D_{\text{вн}} + \delta - \sum c};$$

$$[p]_д = 2 \cdot 0,9 \cdot 140 \cdot \frac{0,01 - 0,0037}{0,6 + 0,01 - 0,0037} = 26,82 \text{ МПа.}$$

Допустимий тиск при гідравлічних випробуваннях:

$$[p]_{и.г} = 2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{и} \frac{\delta - \sum c}{D_{\text{вн}} + \delta - \sum c};$$

$$[p]_{и.г} = 2 \cdot 0,9 \cdot 191 \cdot \frac{0,01 - 0,0037}{0,6 + 0,01 - 0,0037} = 42,45 \text{ МПа.}$$

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		51

#### 6.4.2 Розрахунок сферичного днища

Расчетное давление  $p_{mp} = 25 \text{ МПа}$ .

В днищі немає отворів, які б ослаблювали конструкцію. Значить, коефіцієнт ослаблення дорівнює 1.

Виконавчу товщину днища з технологічних причин приймаємо рівною товщині обичайки  $\delta_{дн} = 0,01 \text{ м}$ .

Допустимий тиск в робочому стані:

$$[p]_{д} = 2 \cdot \varphi_0 \cdot [\sigma] \frac{\delta_{дн} - \sum c}{D_{вн} + 0,5(\delta_{дн} - \sum c)};$$
$$[p]_{д} = 2 \cdot 0,89 \cdot 140 \cdot \frac{0,01 - 0,0037}{0,6 + 0,5(0,01 - 0,0037)} = 26,64 \text{ МПа},$$

Допустимий тиск при гідравлічних випробуваннях:

$$[p]_{и.г} = 2 \cdot \varphi_0 \cdot [\sigma]_{и} \frac{\delta_{дн} - \sum c}{D_{вн} + 0,5(\delta_{дн} - \sum c)};$$
$$[p]_{и.г} = 2 \cdot 0,89 \cdot 191 \cdot \frac{0,01 - 0,0037}{0,6 + 0,5(0,01 - 0,0037)} = 43,87 \text{ МПа}$$

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		52

## 7 Охорона праці

Відповідно до вказівок заводу-виробника та інших чинних нормативних документів, що стосуються техніки безпеки, на підприємстві-користувачі повинні розроблятися інструкції з безпечної експлуатації та технічного обслуговування кожного насосу та компресорної установки. Зазначені інструкції повинні отримати схвалення головного інженера підприємства. Працівники, які мають відношення до експлуатації установок, повинні бути ознайомлені (засвідчені підписом) з відповідною інструкцією. Інструкція повинна бути розміщена в місці, легкодоступному для всіх. Суворе дотримання всіх положень інструкції гарантує безпечну експлуатацію обладнання [8].

Особи, які мають не менше 18 років, відповідну освіту та підтвердження кваліфікації від комісії, мають право на самостійну роботу на насосних і компресорних установках. Комісія перевіряє їх знання техніки безпеки та пожежної безпеки не рідше одного разу на рік. Особи, які не пройшли успішно екзамени з цих правил, вилучаються з роботи.

На робочих місцях працівники повинні перебувати в спецодязі з довгими рукавами (засукання рукавів не допускається). Голову слід захищати головним убором. Промивання вузлів і деталей слід проводити в гумових рукавичках і фартуху.

В машинному залі обов'язково повинна бути аптечка, яка містить перев'язочний матеріал і необхідні медикаменти. Весь персонал повинен бути знайомий з методами надання першої допомоги при ураженні електричним струмом та інших надзвичайних ситуаціях.

Будь-які зміни, спрямовані на удосконалення, модернізацію, або в ході ремонтних та монтажних робіт, повинні бути попередньо узгоджені з інспекцією Держнаглядохоронпраці. Пуск в експлуатацію обладнання може

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

здійснюватися лише за наявності дозволу від місцевої інспекції Держгіртехнагляду.

За правильну експлуатацію обладнання після його запуску відповідає черговий машиніст. Під час роботи установки черговий машиніст повинен усвідомлювати, що можливими причинами аварій можуть бути: перевищення температури та тиску газу або рідини понад допустимі значення; утворення іскор у вибухонебезпечному середовищі; використання матеріалів низької якості; зношення або недостатня міцність обладнання і приладів; використання неспеціалізованого обладнання, арматури та деталей під час роботи під тиском; відсутність або несправність приладів контролю і автоматичного блокування; повітряні та гідравлічні удари; проблеми в роботі систем мастила і охолодження.

Надзвичайні ситуації можуть виникнути у наступних випадках:

- низька якість монтажу та порушення правил експлуатації, такі як порушення послідовності та правил проведення операцій при запуску та зупинці;
- недбалість при контролі технічного стану та низька якість виконаних ремонтних робіт;
- наявність неусунутих несправностей в обладнанні установки;
- тривала вібрація обладнання.

У додаток до заходів, спрямованих на уникнення вже згаданих причин, що можуть призвести до виникнення аварійних ситуацій при функціонуванні компресорних і насосних установок, слід дотримуватися таких визначених правил.

Перед кожним запуском обладнання, машиніст повинен провести огляд установки, переконатися в її справності, перевірити стан мастильної системи і системи охолодження, а також здійснити запуск відповідно до інструкції.

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		54

Залишення без нагляду компресорних установок (за винятком тих, що повністю автоматизовані), заборонено без присутності обслуговуючого персоналу.

Кожна зміна повинна контролювати лубрикатори щодо витрати масла, регулярно оглядати зовнішній стан обладнання, проводити очищення від пилу та бруду, а також вживати заходів щодо негайного усунення причин витоків, особливо коли пальне або масло потрапляє на фундамент.

Допускається використання тільки бавовняних або лляних ганчірок як обтиральних матеріалів.

Ремонт і очищення обладнання і трубопроводів, які знаходяться під тиском, заборонено.

При температурі +2°C в приміщенні станції неактивного обладнання необхідно виконати процедуру спуску охолоджувальної води з систем охолодження, а також ретельно продуті повітряні або інші газові порожнини.

Заборонено зберігання бензину, газу та інших легкозаймистих рідин в приміщенні машинного залу компресорної установки.

Куріння на всій території компресорної установки заборонене.

Підлога всіх приміщень установки повинна бути вільна від калюж масла та інших рідин. Проходи і запасні виходи не повинні бути переповнені або захарашені. Засоби протипожежного захисту мають бути у справному стані і розташовані на видному місці.

Перед розбиранням компресора та відкриттям міжступенчатої апаратури необхідно дотримуватися наступних заходів безпеки [6-9]:

- відключення компресора від діючих колекторів;
- переконання в повній відсутності надлишкового тиску в компресорі та міжступенчатій апаратурі;

- переконання в відсутності напруги в електрообладнанні та повному відключенні від системи енергопостачання (на пусковому пристрої повинен бути вивішений плакат: "Не вмикати! Працюють люди»);
- встановлення заглушок на всмоктуючій і нагнітальній лініях, відключення продувних і пробовідбірних ліній у компресорів, що працюють на небезпечних і токсичних газах;
- підтвердження якості продувки компресора та міжступенчатої апаратури;
- обгородження ділянки роботи та всіх отворів;
- встановлення необхідних лісів і помостів.

Відключення усіх судин та іншого обладнання під тиском слід виконувати за допомогою двох послідовно встановлених засувок, при цьому наявність дренажного пристрою (діаметром не менше 20 мм), який має пряме сполучення з атмосферою, є обов'язковою умовою.

При розбиранні та проведенні ремонтних робіт на устаткуванні необхідно використовувати справний інструмент. Гайкові ключі повинні відповідати розміру гайок і не мати спрацьованих країв. Поверхня бойків, кувалд і молотків повинна бути гладкою, трохи випуклою, без косини, відколів, вибоїн і тріщин. Заборонено використовувати ключі для нарощування труби або інший ключ, а також працювати із замасленими ключами.

Під час виконання робіт у вибухонебезпечному приміщенні слід використовувати лише інструмент, який не виробляє іскри [6]. При обслуговуванні обладнання на висоті понад 1,8 метра від рівня підлоги, необхідно користуватися стаціонарними, знімними, або відкидними площадками, а також драбинами.

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		56



Заборонено розміщувати важкі деталі на краю верстату, використовувати нестійкі підставки і ящики, а також залишати інструмент на компресорному агрегаті.

Деталі вагою понад 50 кг слід переміщувати двома робітниками, а найбільш безпечними методами є використання носилок або підвішення на ломиках. При транспортуванні довгих труб на плечах робітники повинні ставитися з одного боку відносно стійкого вантажу. Піднімання та опускання вантажу слід проводити за командою відповідального за проведення робіт. Вузли та деталі, вагою більше 80 кг або які піднімаються на висоту більше 3 метрів, повинні переміщатися виключно за допомогою механізованих засобів.

При проведенні ремонтних робіт на обладнанні важливо враховувати, що найбільш небезпечними операціями є різка та обпилювання металу, робота на точильних верстатах, використання електричного та пневматичного інструменту. Виконання зазначених завдань допускається лише кваліфікованими робітниками, які мають відповідну підготовку та дотримуються всіх необхідних правил техніки безпеки [6-9].

При проведенні ремонтних робіт важливо дотримуватися заборон, визначених у [10, 11]:

- заборонено ставати на бар'єри, запобіжні огороження, а також на трубопроводи та інші конструкції, не призначені для проходу по них;
- необхідно утримуватися від робіт на нерухомому обладнанні та механізмах, а також здійснювати чистку, обтірку, змащення тощо лише на обладнанні, яке не обертається або не рухається, а також на інструменті;
- важливо виконувати ремонтні роботи, вживаючи заходів проти помилкового включення обладнання в роботу;
- заборонено захаращувати проходи, проїзди та ремонтні майданчики.

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		57

Перед проведенням внутрішнього огляду, очищення або ремонту апаратів, важливо надійно відключити їх від комунікацій та повністю видалити робочий продукт.

Під час виконання робіт всередині апарату необхідно відкрити всі люки, а сам апарат повинен постійно вентилюватися.

На зовнішній стороні апарату обов'язково повинен перебувати напарник, який зобов'язаний неперервно контролювати стан працюючого всередині апарату.

Виконання робіт всередині апаратів можливе лише за наявності дозволу від особи, відповідальної за безпечну експлуатацію, яка повинна видачувати спеціальний наряд, особливо якщо це пов'язано з небезпечними операціями. На апаратах, які знаходяться в ремонті або очищенні, повинен бути розміщений попереджувальний плакат.

Заборонено використовувати виробленням очищення апаратів.

Роботи з кислотами, лугами, корозивними і отруйними речовинами, а також демонтаж теплоізоляційних покриттів вважаються небезпечними. Їх можуть виконувати лише робітники, які пройшли необхідний інструктаж.

### ***Розрахунок штучного освітлення***

Нормоване значення освітлення для економічного відділу при загальному освітленні згідно СНиПІІ-4-79 складає при використанні газорозрядних ламп – 300 лк.

Значення фактичного освітлення, лк, у відділі можна знайти за допомогою методу коефіцієнта використання ствілового потоку за формулою:

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		58

$$F_{л} = \frac{E_{min} \cdot S \cdot k \cdot z}{\eta_{в} \cdot N \cdot n}$$

звідки

$$E_{\phi} = \frac{F_{л} \cdot \eta_{в} \cdot N \cdot n}{S \cdot k \cdot z}, \text{ лк}$$

де  $F_{л}$  – світлової потік однієї лампи, *лм*. Для лампи ЛБ 40  
 $F_{л} = 3120$  лм;

$\eta_{в}$  – коефіцієнт використання світлового потоку. Для світильників, які використовуються у адміністративних приміщеннях для традиційних розмірів приміщення і кольорового оздоблення, може набувати значень у межах  $\eta_{в} = 0,4 \div 0,6$ , приймаємо  $\eta_{в} = 0,5$ ;

$N$  – кількість світильників, *шт*. Задане у початкових даних кількість світильників розміщуємо рівномірно по площі приміщення, за сторонами прямокутника, виконуючи такі умови: сторони прямокутника 1,8x3,0 м, відстань від світильників до стіни складає приблизно половину від відстані між світильниками (ширини чи довжини прямокутника):  $l_1 = 1$  м,  $l_2 = 1,5$  м (див. рис. 5.1); висоту підвішування світильника над робочою площиною  $H_p$  визначаємо як різницю між висотою приміщення і стандартною висотою розміщення над підлогою робочої площини, яка дорівнює 0,8 м, та висотою підвішування світильника (приймаємо  $h_{под} = 0,1$  м):  $H_p = 4,5 - 0,8 - 0,1 = 3,6$  (м)

$n$  – кількість ламп у світильнику,  $n = 4$ ;

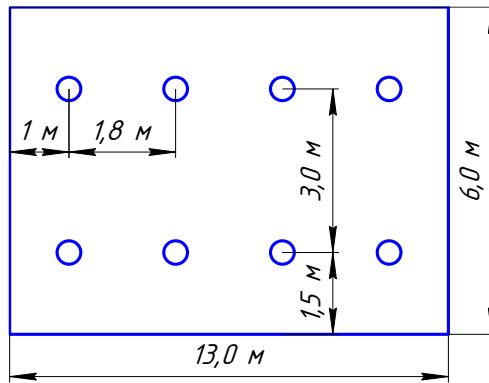
$S$  – площа приміщення,  $S = 13,0 \cdot 6,0 = 78,0$  (м<sup>2</sup>);

$k$  – коефіцієнт запасу,  $k = 1,5 \div 2,0$ , приймаємо  $k = 1,7$ ;

$z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення, для люмінесцентних ламп

$z = 1,1$

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						59
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



**Рис. 7.1** – Схема розташування світильників

Фактичне значення освітленості:

$$E_{\phi} = \frac{3120 \cdot 0,5 \cdot 8 \cdot 4}{78,0 \cdot 1,7 \cdot 1,1} = 342,25 \text{ (лк)}$$

Таким чином фактичне значення освітленості (342,25 лк) приблизно дорівнює нормативному (300 лк), а відхилення значення фактичного освітлення від нормативного менше 20%:

$$\eta = \frac{342,25 - 300}{300} \cdot 100 = 14,08 (\%),$$

тобто штучне освітлення у відділі є ефективним.

## Список використаних джерел

1. Бондаренко Г. А. Компресорні станції : підручник / Г. А. Бондаренко, Г. В. Кирик. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 385 с.
2. Холоменюк, М.В. Компресорні установки [Текст]: навч. посібник / М.В. Холоменюк – Д.:Національний гірничий університет, 2013. – 51 с.
3. Василега П. О., Муріков Д. В. «Електропривод робочих машин: Навчальний посібник»/За ред. П. О. Василеги. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. – 228 с.
4. Бондаренко Г. А. Технологія використання стиснутих газів : підручник / Г. А. Бондаренко, В. І. Мілованов, В. М. Ярошенко. – Одеса : Зовнішрекламсервіс, 2015. – 449 с.
5. Безпека життєдіяльності та охорона праці [Електронний ресурс] : довідник у 2-х ч. Ч.1 : (А – Н) / Ю. В. Буца, О. І. Богатов, О. Г. Зима та ін.; за заг. ред. Ю. В. Буца. — Х. : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2020. — 182 с.
6. Безпека життєдіяльності та охорона праці [Електронний ресурс] : довідник у 2-х ч. Ч.2 : (О – Я) / Ю. В. Буца, О. І. Богатов, О. Г. Зима та ін.; за заг. ред. Ю. В. Буца. — Х. : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2020. — 179 с.
7. Безпека життєдіяльності та охорона праці [Електронний ресурс] : підручник / В. В. Сокурєнко, О. М. Бандурка, С. М. Бортник та ін. ; за ред. В. В. Сокурєнка. — Харків : Харківський нац. ун-т внутр. справ, 2021. — 308 с.
8. Охорона праці в галузі та цивільний захист [Електронний ресурс] : навч. посіб. / В. М. Курєпін, К. М. Горбунова, В. М. Курєпін та ін. — Полтава : МНАУ, 2020. — 266 с.
9. «Правила улаштування електроустановок».
10. «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів».
11. «Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів».

					<i>К 13М.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		61