

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра технічної теплофізики

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

здобувача за другим (магістерським) рівнем вищої освіти  
за освітньо-професійною програмою  
«Компресори, пневмоагрегати та вакуумна техніка»  
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»  
на тему «Проектування стаціонарної  
азотно-мембранної компресорної станції»

## **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

Завідувач кафедри

С. М. Ванєєв

Керівник роботи

Г. А. Бондаренко

Консультант з охорони праці

С. В. Сидоренко

Здобувач

Я. О. Олійник

## ЗМІСТ

	С.
ВСТУП .....	4
1 СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ОДЕРЖАННЯ АЗОТУ .....	6
2 МЕМБРАННА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗДІЛЕННЯ ПОВІТРЯ .....	9
3 СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ ПОВІТРЯ .....	13
3.1 Склад повітря.....	13
3.2 Підготовка стисненого повітря.....	15
3.3 Принцип дії вологомасловідділювача.....	17
3.4 Конструктивні схеми сепараторів .....	18
3.5 Очищення повітря від твердих домішок (фільтрація).....	22
3.6 Охолодження стиснутого повітря .....	23
3.7осушування повітря.....	24
4 РОЗРАХУНОК ГВИНТОВОГО КОМПРЕСОРА .....	38
4.1 Тепловий розрахунок .....	38
4.2 Конструктивний розрахунок .....	43
5 ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ .....	54
5.1 Вибір пневмогідравлічної схеми станції .....	54
5.2 Вибір та розрахунок обладнання та апаратів .....	55
5.3 Пневмогідравлічний розрахунок пневмосистеми компресорної станції ..	64

					<b>КМ 02.00.00.00 ПЗ</b>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Олійник				Проектування стаціонарної азотної мембранної компресорної станції	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Бондаренко					2	88	
Н. контр.	Шарапов				СумДУ, гр. К.м-01			
Затв.	Ванесв							

6 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	75
6.1 Вибухонебезпека (ГОСТ 12.1.010-76 «Вибухонебезпека. Загальні вимоги»)	76
6.2 Пожежонебезпека (ГОСТ 12.1.004-91 «Система стандартів безпеки праці. Пожежна безпека. Загальні вимоги»	78
6.3 Ураження електричним струмом Вимоги з електробезпеки регламентовані ГОСТ 12.1.030 - 81 «Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення ».	78
ВИСНОВКИ.....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	87

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						3
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

## ВСТУП

У світовій практиці видобування вуглеводнів (природного газу, газового конденсату, нафти, попутного нафтового газу, шахтного метану, вугілля) все більше поширюється використання технічного азоту.

Особливі властивості азоту як нейтрального газу використовуються для створення нейтральних середовищ у технологіях видобування вуглеводнів, для інтенсифікації видобування вуглеводнів шляхом впливу на пласти, запобігання пожежам та вибухам, що завдають значні матеріальні збитки, а також є загрозою для здоров'я і життя персоналу.

Азот має велику сферу використання, що з наявністю в нього інертних властивостей. Важливою перевагою цього газу є його конкурентоспроможна вартість. Застосування азоту різноманітне, він затребуваний у таких областях:

- електроніка;
- металургія;
- фармацевтика;
- нафтохімічна промисловість;
- обробка відходів.

Відзначимо основні переваги та характеристики азоту:

- вибухова та пожежна безпека;
- нетоксичність;
- здатність перешкоджати гниттю, утворенню корозії та окиснення;
- мінімальна теплоємність.

Найчастіше азот застосовують для наступних потреб:

- очищення, а також продування систем трубопроводів. Пов'язано це про те, що азот добре витісняє кисень;

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

- для пожежогасіння. Особливо актуальним є використання азоту в умовах низьких температур, наприклад, на Крайній Півночі. Крім цього, за його допомогою можна гасити пожежі у вугільних шахтах, тобто на об'єктах, де немає можливості застосовувати інші протипожежні засоби;

- в умовах коксохімічних виробництв для створення інертних середовищ. Також азот використовують при загартуванні, проведенні процедур з лазерного різання металів та при відпалі.

**МЕТА РОБОТИ** - розробка стаціонарної азотномембранної компресорної станції багатоцільового призначення на основі сучасних технологій і обладнання.

**ЗАДАЧІ РОБОТИ:**

1. Виконати огляд і аналіз літературних джерел по темі роботи.
2. Розробити та обґрунтувати схему станції з трьохпоточним розподілом азоту.
3. Виконати розрахунки конструкції повітряного компресора.
4. Виконати розрахунки апаратів підготовки повітря.
5. Виконати розрахунок пневмомережі станції.

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

# 1 СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ОДЕРЖАННЯ АЗОТУ

Головним чинником, що стримує використання азоту, є економічно доцільні технології та обладнання для одержання азоту з повітря. Існують три головних способи для одержання азоту:

- розподіл повітря;
- адсорбція;
- мембранний спосіб.

В установках розподілу повітря застосовується низькотемпературний розподіл за допомогою турбодетандерів. Цей спосіб дуже енерговитратний і складний апаратно, потребує значних капітальних витрат.

Адсорбційний метод забезпечує низьку собівартість отримання азоту. Такі установки мають обмежену продуктивність і потребують значної кількості адсорбентів.

Мембранна технологія активно розвивається у світі завдяки високій економічності та порівняно простій технічній реалізації. В Україні такого досвіду не було.

Головною умовою всіх газових технологій є необхідність одержання та збереження достатньої кількості азоту безпосередньо на родовищі. Для цього було створено низку азотних компресорних станцій, які належать до систем генерування інертного газового середовища на основі азоту для забезпечення технологічних процесів у нафтовидобувній, газовій, нафтопереробній, нафтохімічній промисловості. Застосування нових конструктивних елементів установки, нового характеру зв'язку складових частин установки, зокрема застосування для охолоджувачів станції додаткової лінії подання охолоджувальної рідини компресорної станції, підвищує ефективність роботи охолоджувачів та зменшує габарити стації.

Застосування ресиверів поліпшує надійність роботи конструктивних елементів станції, рівномірність навантаження на конструктивні елементи та

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

ефективність роботи адсорбційного газорозподільного модуля, забезпечуючи ефективний процес його регенерації.

На рис. 1.1 наведена схема азотної компресорної станції для приготування азотної захисної атмосфери, а на рис. 2 – схема мокрої комбінованої градирні з розміщеним у збірнику охолодженої води градирні проміжним охолоджувачем охолоджувальної рідини лінії подання охолоджувальної рідини.

Під час роботи станції повітря послідовно стискається в ступенях блока стискання повітря 1 нагнітачами 3, охолоджується охолоджувачами 4 між ступенями нагнітання і звільняється від вологи у вологовідділювачах 5. У випадку порушення стійкості режиму роботи відкривається пропускний клапан 9 і стиснене повітря після третього ступеня стискання повітря накидається по лінії 8 на вхід блока стискання повітря 1. При штатній роботі повітря після третього ступеня стискання направляється в ресивер 10, після якого скеровується на вхід блока фільтрів 11, де воно очищається і охолоджується в охолоджувачі 12, зокрема із застосуванням холодильної машини 13, що забезпечує глибокий рівень охолодження. Охолоджувальні станції 14 і 4, які приєднано до лінії 15, охолоджуються рідиною, яка, у свою чергу, охолоджується у проміжному охолоджувачі 16; охолоджуваний бік розміщений у збірнику 17 охолодженої води градирні 18. Оброблене в блоці 11 повітря спрямовується у газорозподільний модуль 19 і в адсорбери 20, які за сигналом керуючого блока 21 працюють навперемінно, від повітря відділяється азот. Проміжний ресивер 23 забезпечує рівномірне завантаження устаткування й забезпечує ефективний процес продування і регенерації адсорберів 20 за сигналом керуючого блока 21. Збагачений у газорозподільному модулі 19 азотом газ через проміжний ресивер 23 спрямовується в блоки стискання азоту 22. Для забезпечення необхідної продуктивності азотної компресорної станції може бути введено в роботу кілька паралельно з'єднаних блоків стискання азоту 22.

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

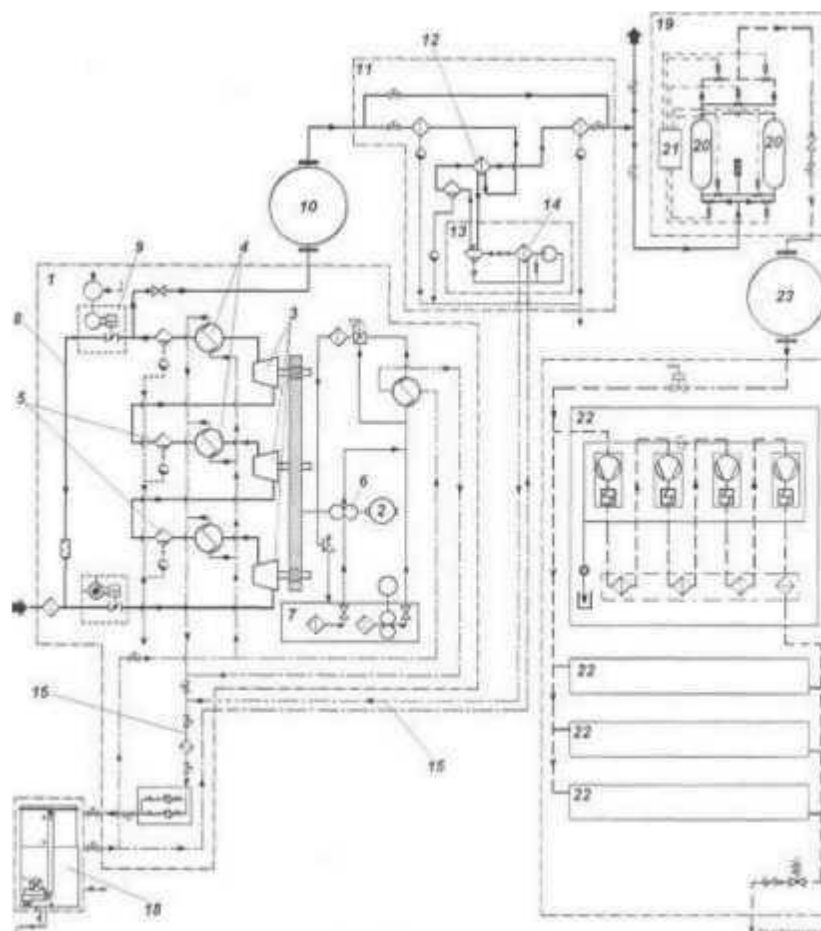


Рисунок 1.1 – Схема азотної компресорної станції

Застосування технологій розроблення із використанням методів підтримки пластового тиску може забезпечити підвищення газовіддачі на 10–15 %, а конденсатовіддачі – на 20–30 %. Гостра актуальність проблеми поточного стану енергоресурсів в Україні обумовила визначення шляхів підвищення інтенсифікації пластового тиску з використанням сучасних вторинних технологій активного впливу на свердловини. Зокрема, на Котелевському родовищі Полтавської області погоджено застосування газоподібного азоту, одержаного з атмосферного повітря безпосередньо на місці його використання.

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		8



## 2 МЕМБРАННА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗДІЛЕННЯ ПОВІТРЯ

Одним з найбільш успішних технічних рішень для підвищення безпеки ведення гірничих робіт в шахтах є застосування азотних установок. Азотні установки використовують:

- при ізоляції пожежних ділянок, а також при ізоляції в поєднанні з різними способами прискорення процесу охолодження вогнища пожежі (рециркуляція, періодична зміна напрямку руху пожежних газів і т.д.), для попередження вибухів і припинення горіння;

- при ліквідації пожеж в горизонтальних тупикових виробках будь-якої довжини, в разі подачі азоту в тупикову частину по трубопроводу (можливий варіант подачі азоту через вентилятори місцевого провітрювання та вентиляційні трубопроводи);

- під час проведення підричних робіт в гірничих виробках для створення інертного середовища в місці виробництва вибуху;

- для попередження ендогенних пожеж в скупченнях вугілля, які утворилися в результаті раптових викидів або з інших причин.

Конструктивно станція (рис. 2.1) складається з модуля компресорного агрегату, модуля підготовки стисненого повітря, модуля газороздільних, модуля системи автоматики та управління, напівпричепа-контейнерова.

Принцип роботи станції наступний. Атмосферне повітря, пройшовши очищення в повітряному фільтрі, всмоктується гвинтовим компресором і стискується до оптимального тиску газорозділення в модулі компресорного агрегату. Після цього стиснене повітря подається в блок підготовки повітря для очищення, осушення і охолодження. Підготовлений повітря далі надходить в газорозподільний мембранний блок, в якому на молекулярному рівні відбувається розподіл повітря на азот споживачеві і пермеат (повітря з підвищеним вмістом кисню) скидається в атмосферу.

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.1 – Станція азотна мембранна гвинтова пересувна

Перевагами мембранних газороздільних установок є

- низькі початкові капіталовкладення, низька вартість обслуговування; невеликі енерговитрати в процесі експлуатації, простота в обслуговуванні,
- надійність, автоматизація, гнучкість у виборі режимів роботи, можливість
- відстеження основних робочих параметрів станції з центрального комп'ютера через Інтернет.

Основною перевагою застосування азотної станції є відсутність необхідності прив'язки до джерел будь-якого вогнегасної кошти, мобільність і висока маневреність. Азотна станція, перш за все, розрахована на застосування в умовах утрудненого доступу до осередку пожежі. Це є гарантією того, що при гасінні пожежі буде забезпечена безперервна подача інертного середовища.

Азотними станціями укомплектовані більшість гірничорятувальних загонів України. Вони успішно використовуються при пожежогасіння на шахтах.

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

В даний час для зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу в промисловості і забезпечення безпеки газонебезпечних і вогневих робіт на промислових об'єктах, магістральних і технологічних трубопроводах все частіше застосовують азотні технології.

Азот використовується для заповнення і витіснення газу з технологічного обладнання та ділянок трубопроводів. Як джерела азоту на промислових об'єктах на сьогоднішній день успішно застосовуються стаціонарні і пересувні азотні установки, засновані на технології мембранного виділення азоту з повітря.

Принцип мембранного розділення повітря складається в тому, що «швидкі» гази, такі як  $O_2$ ,  $CO_2$ , і  $H_2O$ , пропускаються матеріалом непористій полімерної мембрани краще ніж  $N_2$  (рис. 2.2).

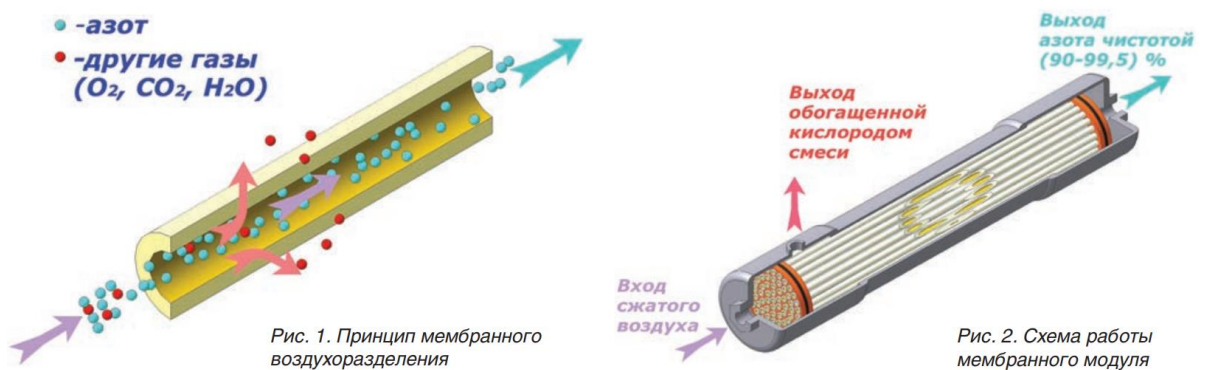


Рисунок 2.2 – Принцип мембранної технології розділення

Повітродозподільну ефективність мембрани визначається параметрами трансмембранного газопереносу матеріалу робочого селективного шару (0,1-0,01 мкм) мембрани: газопроникненість і селективність.

Залежно від співвідношення газопроникненості і селективності полімеру, використаного при отриманні мембрани, а також від наявності мембран різної конфігурації (плоска, поволоконна), можна вибрати інженерне рішення при виборі схеми повітродозподільного процесу.

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		11

На молекулярному рівні на процес мембранного поділу газу суттєво впливає величина питомої поверхні мембрани, в зв'язку з чим в промисловості застосовуються переважно порожнисті волокна, оскільки порожнисті волокна мають більш високу ефективну площу поверхні на одиницю об'єму мембранного модуля в порівнянні з іншими.

Щільність упаковки волокон (питома площа на одиницю об'єму) для половолоконних мембранних керування  $> 10000 \text{ м}^2/\text{м}^3$ . Площа мембрани в кожному модулі орієнтовно становить 300 - 600  $\text{м}^2$ .

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

### 3 СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ ПОВІТРЯ

Типова схема установки підготовки атмосферного повітря до подачі його в мембранний блок наведена на рис.3.1 [4].

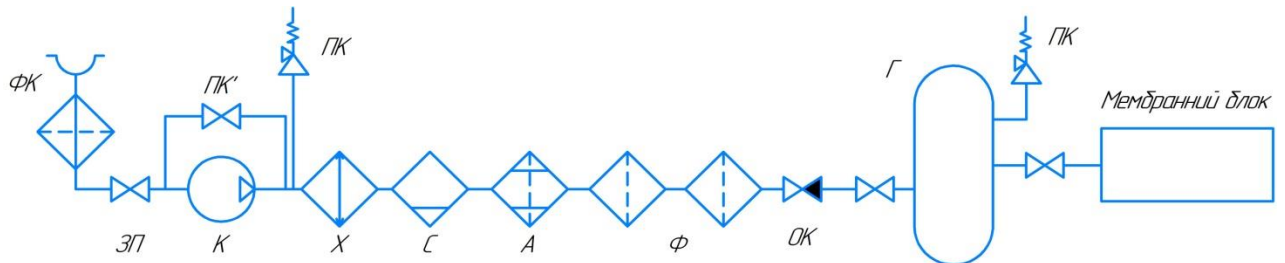


Рисунок 3.1 – Схема системи підготовки повітря для азотної мембранної компресорної станції: ФК – фільтр компресора, ЗП – запірна арматура, К – компресор, ПК – запобіжний клапан, ПК – пусковий клапан, Х – охолоджувач, С – збір конденсату, Ф – фільтр, ОК – зворотний клапан, Г – ресивер

#### 3.1 Склад повітря

«Сировиною» для виробництва стисненого технічного повітря є повітря, що забирається з навколишнього середовища. Цей так званий атмосферне повітря, яке, строго говорячи, у різних географічних зонах має різні характеристики: хімічний склад, тиск, температура, вологість, наявність домішок у вигляді пари і суспензій різних рідин, запиленість. Звичайний склад атмосферного повітря: 78% азоту, 21% кисню і 1% інших газів, в основному інертних. В індустриальних зонах, в великих містах, поблизу підприємств металургійної та хімічної промисловості склад повітря може включати вуглекислий газ і інші газоподібні викиди, агресивні домішки, наприклад, пари кислот, механічні домішки, які призводять до корозії деталей компресорів і апаратів. Практично завжди повітря в тій чи іншій мірі містить вологу у вигляді рівномірно розподілених за обсягом частинок рідини різних розмірів. Рідини можуть бути різноманітними залежно від

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		13

наявності контакту з ними повітря, що стискається. Найчастіше це вода або машинне масло. Наприклад, частинки води потрапляють в компресор з всмоктуваним повітрям з атмосфери або внаслідок прямого контакту в компресорах з уприскуванням води. Масло проникає в стискається газ через масляні ущільнення поршнів або внаслідок впорскування масла в гвинтових маслозаповнених компресорах. Вміст рідин в повітрі характеризується як вологістю - масою рідини, що міститься в одиниці об'єму повітря, так і фракційним складом, тобто розмірами частинок рідини. Залежно від розмірів частинок вміст рідини в газах може бути у вигляді крапельної вологи, аерозолі, туману, пари, великих молекул (рис. 3.2).

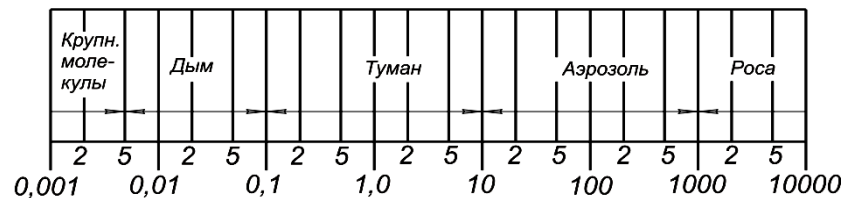


Рисунок 3.2 – Классификация влагосодержания в газах в зависимости от размеров частиц жидкости, мкм

У загальному випадку повітря містить і тверді частинки різних матеріалів, які потрапляють в стиснене повітря двома шляхами - разом зі всмоктуваним атмосферним повітрям і в процесі проходження повітря через робочі частини і порожнини машин, апаратів, арматури, трубопроводи і т. П. Разом з атмосферним повітрям всмоктуються продукти ерозії ґрунту, виробнича пил, частинки органічного і синтетичного походження. Залежно від характеру підприємства в повітря можуть потрапляти шкідливі гази, пари кислот і лугів.

При проходженні через компресорну установку і систему трубопроводів в стиснене повітря можуть потрапляти металеві частинки і продукти зносу, іржа, окалина, частки ущільнювачів і прокладок матеріалів, лаки і фарби, смоли і нагар і ін.

Зміст в повітрі твердих частинок характеризується їх концентрацією - масою частинок в одиниці об'єму повітря і розміром частинок.

У більшості випадків пневматичні пристрої, інструменти та прилади допускають обмежену кількість вологи, масла і твердих частинок в стислому повітрі. Але в деяких випадках вимоги до чистоти повітря дуже жорсткі. Для відділення вологи і масла з стисненого повітря служать спеціальні апарати - вологомастиловідділювачі, часто звані сепараторами, а для відділення твердих частинок застосовують фільтри.

### **3.2 Підготовка стисненого повітря**

Підготовка стисненого повітря - це очищення його від механічних домішок, вологи і масел. Ступінь очищення характеризується класом чистоти повітря. Клас чистоти визначається призначенням повітря (технічне, медичне і т. П.) І типом пневмоінструменту і пневмопристроїв. Норми механічних домішок і вологи для кожного класу чистоти повітря призначаються відповідно до стандартів.

Підготовка повітря проводиться в кілька етапів. Спочатку за допомогою різних фільтрів очищають усмоктуване повітря від механічних частинок (пилу, органічних речовин). Потім, у міру стиснення повітря в компресорі, видаляють випала в проміжних холодильниках-сепараторах вологу. Далі в залежності від вимог замовника до чистоти повітря виробляють власне підготовку стисненого повітря. У загальному випадку підготовки стисненого повітря включає наступні процеси: кінцеве охолодження, зволоження, осушення і фільтрацію.

Для цих цілей застосовують ряд технічних пристроїв. Наприклад, для найпростішої поршневої КС принципова схема обладнання виглядає так (без осушення повітря).

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

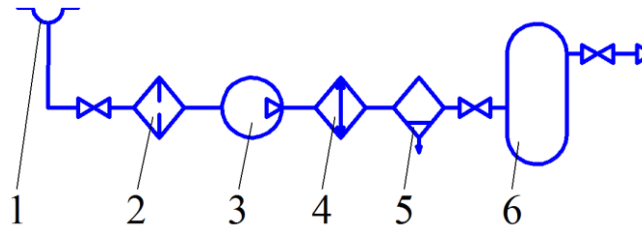


Рисунок 3.3 – Принципова схема компресорної станції:

1 – забірник атмосферного повітря; 2 – фільтр-камера; 3 – компресор;  
4 – кінцевий повітроохолоджувач; 5 – вологомасловідділювач; 6 – ресивер

Іноді ті чи інші елементи можуть бути відсутніми або можуть поєднуватися (заборник з фільтром - безпосередньо на вході в компресор; охолоджувач з сепаратором).

Якщо використовується схема станції без кінцевого охолоджувача, то гаряче сухе повітря спрямовується прямо до споживача. Однак якщо протяжність пневмопроводів велика, повітря в ньому охолоджується і в трубах випадає певна кількість вологи, яке потрібно відвести, щоб уникнути утворення гідравлічних пробок, корозії труб і устаткування.

У разі якщо застосовується кінцевий повітроохолоджувач, то повітря в ньому охолоджується до 40-60 °С і в сепараторі осідає і видаляється волога. При подальшому русі по трубах повітря буде продовжувати охолоджуватися і з нього буде додатково виділятися волога. Якщо кількість цієї вологи неприпустимо велика, то встановлюються додаткові апарати, тип яких визначається заданою точкою роси. У цьому випадку говорять про осушення повітря до заданої точки роси.

Для осушення повітря застосовуються спеціальні апарати: адсорбер, холодильні осушувачі і теплообмінні осушувачі.

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		



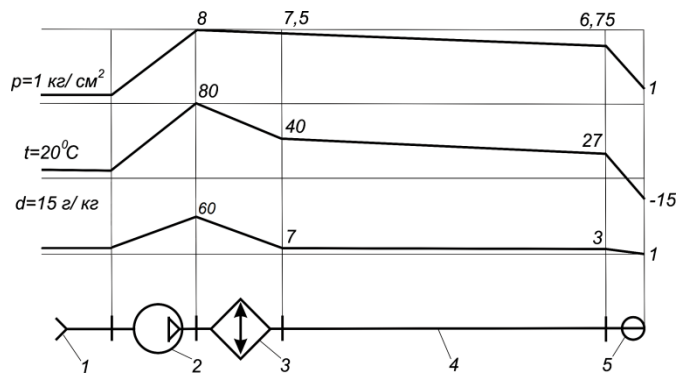


Рисунок 3.4 – Зміна параметрів вологого повітря

Користуючись діаграмою на рис. 6.2, можна задати вимоги по глибині осушення повітря. Наприклад, якщо в стислому до  $7 \text{ кгс/см}^2$  повітрі допускається вміст вологи не більше  $0,8 \text{ г / кг}$ , то осушення повинна бути проведена до точки роси, рівної  $+ 3 \text{ }^\circ\text{C}$ , що відповідає точці роси  $\square 21^\circ\text{C}$  при атмосферному тиску.

На закінчення зазначимо, що обидва процеси - і зволоження, і осушення - це видалення вологи з повітря. Однак принципова їх відмінність полягає в тому, що зволоження - це видалення вже сконденсованої рідини, а осушення - це видалення вологи, яка може сконденсуватися в подальшому.

### 3.3 Принцип дії вологомасловідділювача

Способи відділення частинок рідини з газів і конструктивну будову апаратів для їх реалізації прямо пов'язані з розмірами частинок. Чим більше розмір часток, тим легше їх виділити з газу, т. К. Гравітаційні сили і сили інерції, що діють на частинки рідини, на кілька порядків вище, ніж для газів. Дрібні частинки відокремлювати надзвичайно складно. Тому звичайні технічні пристрої дозволяють відокремлювати частинки рідини з розміром не менше  $0,1-0,5 \text{ мкм}$ . Більш тонке очищення може бути виконана в спеціальних і лабораторних установках.

Існує три способи відділення краплинної вологи з повітряного потоку: відділення під дією сили тяжіння частинок розміром  $30-100 \text{ мкм}$ , інерційний

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

осадження частинок розміром 25-30 мкм і відцентрове відділення частинок розміром до 5 мкм.

Якщо змусити потік різко змінити напрямок, то більш важкі частинки рідини, що мають більший момент кількості руху, ніж легкі, отсепаріуються (рис. 6.5 а) і вздовж стінки судини стекут в піддон. Це інерційний спосіб відділення вологи.

Найбільш поширеним є гравітаційний спосіб осадження частинок вологи (рис.6.5 б). Потік повітря зі зваженими частками направляєється знизу вгору в ємність, де потік розширюється, і швидкість його стає малою. Важкі частинки вологи виділяються з повітря і починають падати вниз, прискорюючись до швидкості, при якій встановлюється рівновага сил, що діють на частинку: сили тяжіння, сили виштовхування (сили Архімеда) і сили опору руху частки.

### **3.4 Конструктивні схеми сепараторів**

Вологомастиловідділювачі, або, для стислості, сепаратори, бувають вертикальні і горизонтальні. Принципова відмінність їх полягає у взаємному напрямку руху потоку газу, що містить вологу, і напрямки дії сил гравітації, т. К. Від цього залежать процес влагоотделения і протяжність робочої порожнини апарату.

Незалежно від форми сепаратор включає чотири головних секції та необхідні засоби контролю. Ці секції показані на рис. 3.5.

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

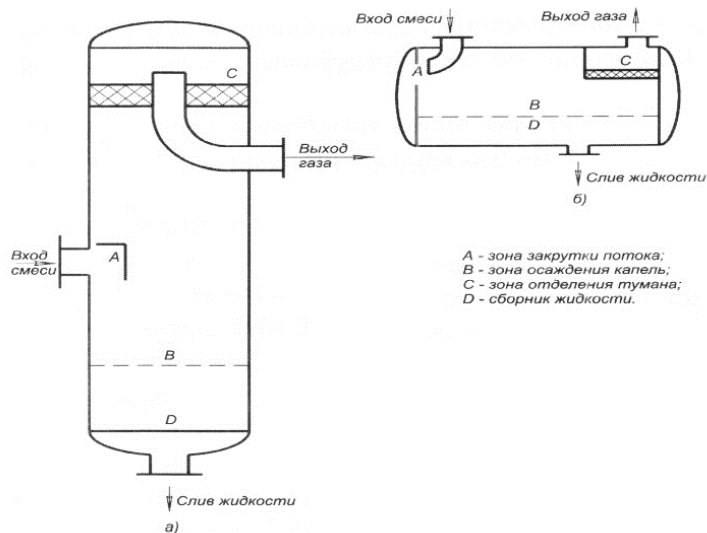


Рисунок 3.5 – Типи сепараторів: а) – вертикальний; б) – горизонтальний

Перша секція А служить для відділення основної кількості рідини, що знаходиться у вхідному газі у вільному стані. Вона включає патрубок, який може бути тангенціальним, для закрутки потоку з використанням інерційного ефекту впливу відцентрових сил на частинки рідини, або відбивач для раптової зміни напрямку потоку, щоб відокремити рідину з газового потоку інерційним способом.

Друга секція В розрахована на використання сил гравітації для осадження крапельної вологи. Потік з вмістом крапельної вологи, рухаючись всередині ємності великих розмірів, має низьку швидкість з малою турбулентністю, завдяки чому і відбувається випадання крапельної вологи.

У деяких конструкціях використовують спеціальні вирівнюючі пристрої для зниження турбулентності потоку.

У секції С встановлюється так званий туманоотделитель - дрібнопористий тканинний або металеві сітки або циклони. Тут при контакті з поверхнею сіток осідають ще містяться в газі найдрібніші частинки вологи, які злипаються в більші краплі, що стікають в відстійник. Це - завершальна стадія очищення газу від вологи.

Секція D є збіркою рідини, що відділяється у всіх трьох попередніх секціях, з якого безперервно або періодично проводиться злив рідини.

Вертикальний сепаратор (рис. 6.6 а) зазвичай застосовується у випадках, коли вміст рідини в газі велике, або коли загальна витрата газу малий. У вертикальному сепараторі частки вологи при вході в порожнину вдаряються об відбивач, який ініціює первинне відділення рідини. При русі газу вгору з нього під дією сил гравітації відбувається подальше відділення краплинної вологи. Здатність рідини до осадження визначається її щільністю і розміром частинок. Пройшовши через густу сітку - туманоотделитель, газ, вже «сухий», виходить з апарату. Рівень рідини в посудині може змінюватися в деяких межах, не впливаючи на ефективність роботи апарату.

Розміри туманоотделителя визначають необхідний діаметр вертикального сепаратора.

Переваги вертикального сепаратора:

- немає необхідності в підтримці рівня рідини;
- рівень рідини швидко реагує на вміст рідини в газі на вході, що може бути сигналом для автоматичного скидання або зливу рідини;
- сепаратор займає невелику площу.

Основні розміри вертикального сепаратора можуть бути прийняті з рис. 3.6.

*Горизонтальні сепаратори ефективні, коли загальна витрата газу великий і велике кількість розчиненої в ньому рідини. Велика поверхня рідини (дзеркало) в такому сепараторі сприяє створенню оптимальних умов для уловлювання рідини.*

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

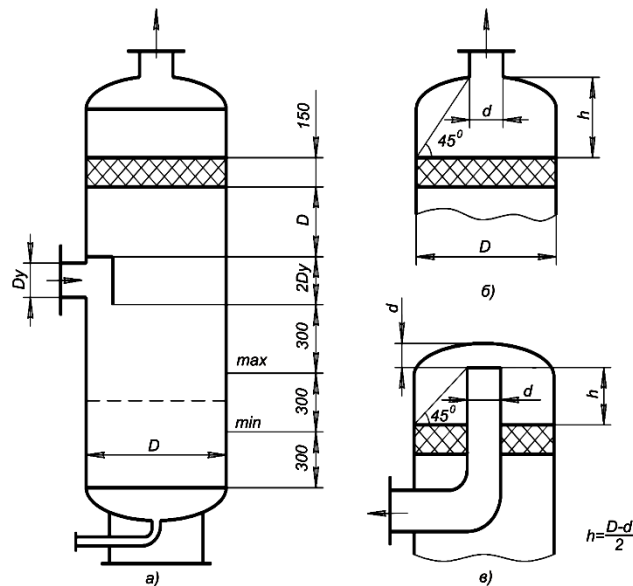


Рисунок 3.6 – Основные размеры вертикального сепаратора (а) и варианты исполнения (б) (цифровые значения линейных размеров, минимально рекомендуемые)

У горизонтальному сепараторі (рис. 6.6 б) рідина, яка виділяється з газу, рухається уздовж поверхні дна у напрямку до зливного патрубку, поступово осідаючи в піддон. Газ і рідина розташовуються шарами, поперечний переріз яких пропорційно до витрат газу і рідини.

Переваги горизонтального сепаратора:

- допускаються відносно великі коливання об'єму рідини протягом тривалого часу;
- велика поверхню дзеркала рідини сприяє кращій дегазації рідини;
- горизонтальна конфігурація апарату сприяє зменшенню спінювання рідини;
- рівень рідини повільно реагує на зміну кількості рідини.

уманоотделітелі

Для уловлювання туману в сепараторах зазвичай використовуються дротові сітки. Сітки є ініціатором осадження дрібних крапель вологи, не випали під дією сил тяжіння. У сітках можливо уловлювання частинок рідини розміром 10 мкм і менше. Сітки завжди встановлюють горизонтально, а потік газу направляють через них знизу вгору. Їх ефективність різко погіршується при нахилі сіток на 30о і більше до горизонту. Дротові сітки ефективні тільки тоді, коли швидкість газового потоку така, що рідина встигає осісти на дроту

і коагулювати, т. Е. Утворити краплі, які падають вниз через рухомий назустріч потік.

Іншими словами, потік газу не повинен здувати вологу з поверхні сіток і забирати її з собою. Щоб ці умови виконувалися, слід встановлювати сітки відповідно рис. 6.7 (б, в).

Необхідно забезпечення міцності ґратчастої набивання, щоб вона не була видавлена газовим потоком. У більшості випадків використовується набивка товщиною 100-150 мм з об'ємною щільністю 150-200 кг / м<sup>3</sup>. Гідравлічні втрати потоку при проходженні через сітковий набивання зазвичай не великі, не більше 25 мм вод. ст. і в більшості випадків застосування цілком припустимі.

Для апаратів великої продуктивності з високим рівнем швидкостей замість дротяної набивання використовуються багатоканальні решітки, утворені рифленими звивистими стінками. При русі через такі вузькі канали потік газу стикається з великою поверхнею стінок і багаторазово змінює напрямок, за рахунок чого і відбувається випадання рідини з газу.

Існує безліч конструктивних виконань сепараторів, проте дія всіх засноване на принципах, викладених вище.

У вертикальних сепараторах іноді для досягнення такого ж ефекту застосовують тарілчасту конструкцію у вигляді безлічі розташованих один над одним круглих тарілок, встановлених з невеликими проміжками. При русі вологого газу через ці зазори відбуваються осадження рідини і стікання її до периферії тарілок, а потім злив в піддон - накопичувач.

### **3.5 Очищення повітря від твердих домішок (фільтрація)**

Зміст твердих домішок в атмосферному повітрі залежить від місця установки, пори року, метеоумов, а також від викидів промислових підприємств, будівництва, транспорту та ін. Попадання забрудненого повітря до робочих органів компресорів неприпустимо, т. К викликає підвищений

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		22

знос поверхонь тертя, нагарообразование, тверді відкладення, зниження герметичності клапанів і т. п., що спричиняє зменшення к.к.д. і ресурсу компресорів.

Пил буває органічного та неорганічного походження.

Умовно пил класифікують:

- за розміром пилинок: дрібні (до 100 мк), середні (до 200 мк), великі (понад 200 мк);
- за характером пилинок: суха пил (пісок, кварц, ґрунт), волога (сажа), волокниста (текстиль, азбест, пір'я);
- по ваговій кількості: мале вмістом пилу (до 5 мг / м<sup>3</sup>), середнє (до 100 мг / м<sup>3</sup>), високе - понад 100 мг / м<sup>3</sup>.

У звичайних умовах кількість пилу в навколишньому повітрі становить 0,5-4 г / м<sup>3</sup>. Пил містить до 50-80% діоксиду кремнію SiO<sub>2</sub>, кристали якого тверді з гострими крайками - небезпечні для зносу деталей.

### 3.6 Охолодження стиснутого повітря

Питанням розрахунку і конструювання апаратів охолодження газів присвячена досить велика кількість технічної літератури, вони вивчаються в обсязі спеціальних дисциплін різних галузей техніки. Нижче будуть розглянуті деякі питання, пов'язані з вибором, конструкцією, основними експлуатаційними характеристиками теплообмінників, що застосовуються в повітряних компресорних установках.

У компресорних установках застосовуються повітряні і масляні охолоджувачі різних типів. При стисненні повітря його температура значно підвищується внаслідок термодинамічної нагріву і незворотного переходу втрат в тепло (дисипативний нагрів). Для здійснення ефективного процесу стиснення необхідно це тепло відводити. Для цього служать проміжні повітроохолоджувачі, які в поршневих компресорах називаються міжступенчатом, а в відцентрових - міжсекційними (секція - це зазвичай 2, 3

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

або 4 ступені). Така відмінність пояснюється тим, що ступінь підвищення тиску в одному шаблі поршневого компресора дорівнює  $\pi_k = 2-3$ , а в відцентровій ступені  $\pi_k = 1,2-1,4$ , що визначає для компресорів загального призначення (кінцевий тиск до 0,9 МПа) пристрій для поршневих компресорів 1-2 ступенів, а для відцентрових - 6-8 ступенів.

Проміжні охолоджувачі, як правило, є складовою частиною компресора.

Власне до систем підготовки стисненого повітря відносяться так звані кінцеві охолоджувачі. Незважаючи на міжступенчатом охолодження, температура стисненого повітря при виході з компресора досягає 140-170°C. Пари вологи і масла несуться в збірники повітря і далі в мережу, що призводить до:

- 1) підвищеної небезпеки для обслуговуючого персоналу;
- 2) накопичення парів масла в повітрозбірнику і утворенню вибухонебезпечної суміші;
- 3) уносу дорогих масел;
- 4) зменшення перетину трубопроводів через нагарообрання;
- 5) скупченню сконденсованої вологи на низьких ділянках трубопроводів, що створює небезпеку гідравлічного удару;
- 6) заморожування труб і арматури мережі в зимовий час;
- 7) наявність вологи негативно позначається на роботі споживачів.

Щоб уникнути перерахованих негативних проявів, стиснене повітря необхідно охолоджувати, т. К. При цьому значно зменшується вміст в ньому вологи (води і масла).

### 3.7осушування повітря

Повітря завжди містить вологу, абсолютно сухим він може бути лише при температурі -273°C. Стиснене повітря вважається сухим, якщо в необхідному діапазоні зміни його параметрів відносна вологість  $\leq 100\%$ , т. Е. Стан вище лінії насичення [4].

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		



У процесі використання стисненого повітря можуть виникати умови, при яких його стан зміниться до насичення і почне конденсуватися і випадати крапельна волога. Ця волога може викликати погіршення працездатності пневмомеханізмів і приладів. Для уникнення шкідливих явищ повітря необхідно осушувати.

Процеси осушки повітря спрямовані на зниження вмісту вологи повітря шляхом видалення зайвої вологи. Якщо мірою вологості повітря є влагосодержание, то мірою осушки повітря є температура точки роси - температура, при якій відбувається конденсація парів вологи. Наприклад, якщо осушення повітря проведена до температури точки роси 40оС, це означає, що використання стисненого осушеного повітря можливо без випадання вологи аж до температури, рівної якій точці роси. З іншого боку, що призначаються вимоги з осушення повітря повинні виходити з величини мінімально можливої температури робочого процесу. Так, для стисненого повітря, що використовується в технічних системах в умовах крайньої Півночі, повинна бути призначена осушення до точки роси -55оС, в умовах помірного клімату - до 35оС. У разі використання повітря для механізмів всередині опалювальних приміщень температура точки роси приймається рівною + 4оС. У деяких випадках потрібно дуже висока осушення - до -80оС.

Існує багато способів видалення води з вологого повітря. Осушення буває неглибока і глибока. Відповідно використовують різні способи і пристрої. Одні з них ґрунтуються на охолодженні повітря до необхідної точки роси. Це може бути холодильний апарат (рис. 2.7 а), в якому повітря стикається з охолодженої твердою поверхнею і волога конденсується. Існують апарати, де в висхідний з невеликою швидкістю потік вологого повітря впорскується холодна вода (рис. 2.7 б). Поверхні холодних крапельок води є конденсатором і поглиначем вологи з повітря. Ці способи енерговитратних і не можуть служити для глибокого осушення повітря.

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

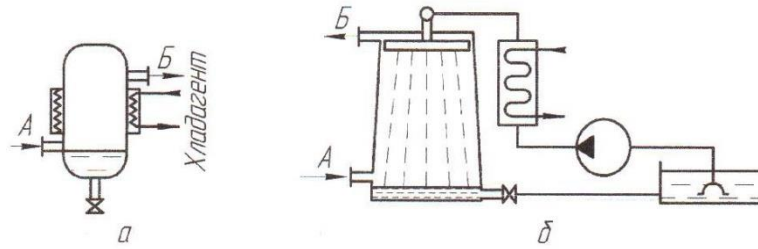


Рисунок 3.7 – Схемы аппаратов для неглубокой осушки влажного воздуха методом охлаждения (а) и методом впрыскивания холодной воды (б);

А – влажный воздух, Б – осушенный воздух

У промислових системах підготовки стисненого повітря найбільш широке застосування отримали два методу осушення повітря:

- адсорбція води;
- виморожування води.

Адсорбція - це властивість деяких матеріалів вбирати вологу, що міститься в повітрі, при контакті з ним, не вступаючи в хімічну взаємодію. Такі матеріали називаються адсорбентами. Адсорбенти бувають поверхневого дії, в яких волога осідає на поверхні гранул у вигляді плівки, і об'ємного дії - волога заповнює пори частинок адсорбенту.

Адсорбенти характеризуються різною поглинальною здатністю - кількістю вбирає вологи в одиниці об'єму. Найбільш поширеними адсорбентами є силікогелем і цеоліт. Силікагель - речовина (гель), що отримується при обробці силікату натрію (рідкого скла) мінеральними кислотами. Цеоліт - штучно одержуваний алюмосилікат, що володіє більш високою поглинальною здатністю.

Поглиналина здатність адсорбентів не безмежна. Існує межа насичення його вологою, який характеризується вологоємністю адсорбенту:

$$a = \frac{\text{максимальное количество поглощенной влаги}}{\text{масса адсорбента}} \cdot 100\% .$$

Для силікагелю:  $a = 12-14\%$  для цеоліту  $a = 18-21\%$ . Адсорбент масою  $G$  може поглинути максимальну кількість вологи, рівне. При цьому можна досягти глибокого осушення.

Видалення вологи з адсорбентів - десорбція - відбувається шляхом

підвищення температури, наприклад, прокачуванням через адсорбент гарячого повітря або пара. Процес відновлення поглинальних властивостей адсорбенту називається регенерацією.

Застосовуються також абсорбція осушувачі, в яких відбувається хімічний процес поглинання парів вологи агентом (деякими солями, гліколем, гліцерином і т. П.). Середнє досягне значення точки роси на 15оС менше, ніж температура повітря, що поступає, т. Е. Такі апарати менш ефективні ніж адсорбер, а експлуатація їх складніше.

Метод виморожування заснований на відведенні теплоти від осушувачого повітря при його охолодженні. При цьому відбувається випадання вологи у вигляді крапель або снігу. Охолодження повітря проводиться в теплообмінних апаратах з використанням холодоагентів - аміаку або фреону.

Для реалізації зазначених методів осушення служать спеціальні апарати-сушитель.

### **3.7.1 Будова та принцип дії адсорберів**

Адсорбери служать для глибокого осушення вологого повітря, аж до точки роси - 50-80°С.

Апарати являють собою металевий циліндричний посудину з конічними або еліптичними кришками (рис. 3.8), всередину якого завантажуються адсорбент. Адсорбент утримується за допомогою кругової або циліндричних решіток, створюючи порожнини підведення і відведення повітря. Адсорбер обладнаний патрубками і штуцерами для підведення і відведення повітря, для відведення конденсату, люками для завантаження і вивантаження адсорбенту. Залежно від розташування адсорбер бувають з вертикальним, горизонтальним і кільцевих шаром.

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

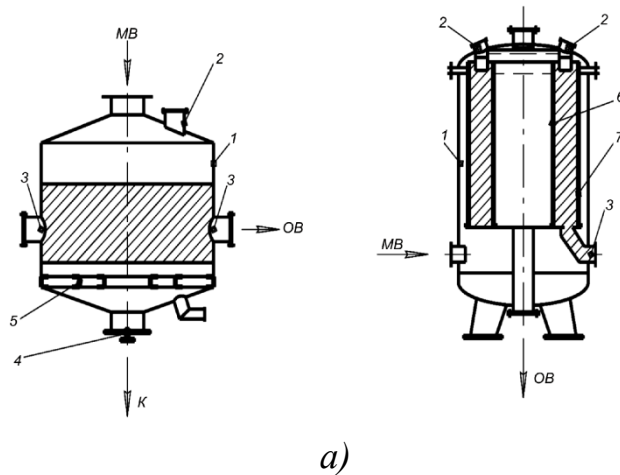


Рисунок 3.8 – Адсорберы с вертикальным (а)  
и кольцевым (б) слоем адсорбента:

1 – корпус; 2 – люки для загрузки адсорбента; 3 – люки для выгрузки адсорбента; 4 – штуцер для отвода конденсата; 5, 6, 7 – решетки; МВ – мокрый воздух; ОВ – осушенный воздух; К – конденсат

Осушення повітря проводиться шляхом прокачування мокрого повітря зазвичай зверху вниз через шар адсорбенту, де з повітря витягується волога. Через певний період часу настає насичення адсорбенту вологою, адсорбер повинен бути відключений на регенерацію. Витяг вологи проводиться шляхом нагрівання адсорбенту і зниження тиску в апараті. Нагрівання відбувається гарячим повітрям, потім виробляються охолодження і осушення адсорбенту. Утворився при регенерації конденсат відводять. Після цього апарат готовий до включення в режим осушення.

Таким чином, адсорбер по суті своїй є апаратом періодичної дії. Його робота відбувається в чотири стадії:

- поглинання адсорбентом вологи з повітря;
- видалення вологи з адсорбенту при його нагріванні;
- сушка адсорбенту гарячим повітрям;
- охолодження адсорбенту холодним повітрям.

Тому адсорбційні осушувальні установки виконуються з двома адсорберами, один з яких працює в режимі адсорбції, а інший - в режимі регенерації. Почергове перемикання режимів проводиться автоматично за допомогою спеціальних електромагнітних або пневматичних клапанів. Схема такої установки представлена на рис. 3.9.

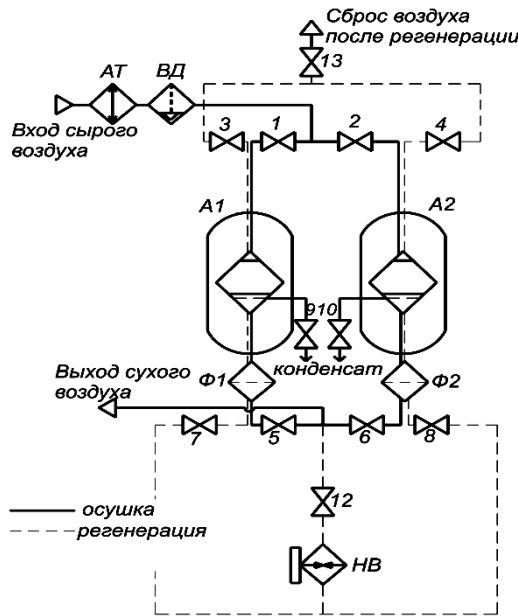


Рисунок 3.9 – Схема функціональна адсорбційної осушувальної установки:

АТ – воздухоохладитель; ВД – влагоотделитель; А1, А2 – адсорберы; НВ – нагреватель воздуха; Ф1, Ф2 – фильтры; 1,2,...,13 – клапаны

Установка працює в такий спосіб. Вологий стиснене повітря від компресора охолоджується в охолоджувачі, потім у вологомастиловідділювача відбувається відділення конденсату. Періодично проводиться продування вологомастиловідділювача для видалення конденсату. Охолоджений і очищений повітря надходить на осушку через клапан 1 в адсорбер А1. Клапан 2 закритий, т. К. Адсорбер А2 працює в режимі регенерації. Пройшовши через шар адсорбенту, повітря віддає йому свою вологу і осушується. Захоплені потоком повітря частинки адсорбенту затримуються фільтром, який також періодично продувається. Після фільтра

береться відбір повітря на вимірювач вологості. Через вентиль 5 сухе повітря спрямовується до споживача.

Частина повітря (до 20%) після адсорбера А1 через вентиль 12 надходить в електричний обігрівач НВ і нагрівається там до температури 350-400оС. Далі гаряче повітря через вентиль 8 входить в адсорбер А2 і регенерує його адсорбент. Ввібрав в себе вологу гаряче повітря з адсорбера А2 направляється через регулюючий вентиль 4, дросселирується і через вентиль 13 викидається в атмосферу. Регулюючий вентиль налаштований таким чином, щоб повітря, проходячи через підігрівач, нагрівався до температури 350 □ 400оС. Контроль за цією температурою ведеться візуально по ртутним термометрам, встановленим між підігрівачем і адсорбером.

При досягненні температури регенеруючого повітря 120оС на виході з адсорбера А2 підігрівач ВН відключається.

Тепер уже холодне повітря продувається через адсорбер і охолоджує його. Ємність з адсорбентом остигає і при досягненні температури повітря продувки на виході 60оС продування повітря припиняється, і перемиканням відповідних вентилів адсорбер з режиму регенерації переводиться в режим готовності до роботи на осушку. Тривалість циклів перемикання складає в середньому близько 5 годин. Перемикання відбувається автоматично.

Адсорбційна установка обладнана щитом контролю і управління. За величиною виміряного вмісту вологи, користуючись табл. 6.2, визначають ступінь осушення повітря, що виражається в температурі точки роси.

Загальний вигляд адсорбційної установки показаний на фото рис. 3.10.

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

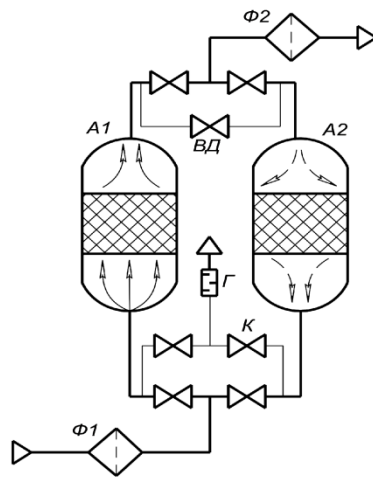


Рисунок 3.10 – Схема и общий вид адсорбционной установки:

A1, A2 – адсорберы; Φ1, Φ2 – фильтры; Г – глушитель; ВД – вентиль дросселирующий; К – клапан сброса

У сучасних конструкціях адсорбційних установок деяких зарубіжних фірм не застосовується нагрівання повітря, що подається на регенерацію. Для цих цілей використовується частина стисненого осушеного повітря, який дросселирується до атмосферного тиску і прямує зверху вниз для просушки адсорбенту, як показано на схемі рис. 6.26, адсорбер А2.

Розширення повітря дозволяє відібрати вологу у адсорбера. Після цього повітря скидається в атмосферу через випускний клапан і глушник. У такій схемі виключаються додаткові витрати енергії на нагрів повітря.

Другою особливістю даної схеми є застосування вхідного і вихідного повітряних фільтрів. Вхідний фільтр призначений для очищення стисненого повітря від твердих і рідких включень розміром понад 0,01 мкм. Вихідний фільтр служить для уловлювання пилу адсорбенту, яка може утворюватися при декомпресії, т. Е. Різкому зниженні тиску при переході на режим регенерації.

Існують схеми адсорбційної осушення з використанням тепла стисненого повітря після компресора. У цьому випадку кінцевий повітроохолоджувач не встановлюють. Гаряче повітря направляють в перший адсорбер, що знаходиться

на регенерації, потім, додатково охолодивши в теплообміннику, повітря направляють на осушку в другій адсорбер.

### 3.7.2 Наближений розрахунок адсорбера

Нехай необхідно осушити повітря в кількості  $V$  м<sup>3</sup>/час. Параметри повітря, що поступає  $p_1, t_1$ . Потрібно осушити повітря до точки роси  $t_s$  при тому ж тиску  $p_1$  і заданій температурі навколишнього повітря  $t_a$ . %. Відносну вологість повітря  $\varphi$  вважаємо рівної 100%.

Влагосодержание воздуха  $d_1$  г/кг, поступающего в блок осушки, определяем по  $t-d$  диаграмме влажного воздуха. Заданная точка росы  $t_s$  по диаграмме определяет содержание влаги в воздухе –  $d_2$  г/кг на выходе из адсорбера.

Требуемое уменьшение влагосодержания равно

$$d = d_1 - d_2, \text{ г/кг.}$$

Масса адсорбента  $G$  (кг) может осушать заданный расход влажного воздуха  $V$  (м<sup>3</sup>/час) лишь в течение определенного времени  $\tau$  (ч). Эти величины связаны соотношением

$$G = V \rho d \tau / a,$$

где  $V$  – объемный расход воздуха, м<sup>3</sup>/час,

$\rho$  – плотность воздуха,  $\rho = P/RT$  кг/м<sup>3</sup>;

$\tau$  – длительность цикла осушки, час;

$a$  – коэффициент поглотительной способности адсорбента, кг/кг.

Основными характеристиками адсорбента являются поглотительная способность  $a$  кг/кг и время до насыщения  $\tau_n$ .

Зависимость поглотительной способности адсорбента от времени представлена на рис. 3.11.

Вологовміст повітря  $d_1$  г/кг, що надходить в блок осушки, визначаємо по  $t-d$  діаграмі вологого повітря. Задана точка роси  $t_s$  по діаграмі визначає

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		



вміст вологи в повітрі -  $d_2$  г / кг на виході з адсорбера.

Необхідну зменшення вмісту вологи одно

$$d = d_1 - d_2, \text{ г/кг.}$$

Маса адсорбенту  $G$  (кг) може осушувати задану витрату вологого повітря  $V$  (м<sup>3</sup> / год) лише протягом певного часу  $\tau$  (ч). Ці величини пов'язані співвідношенням

$$, (6.23)$$

де  $V$  - об'ємна витрата повітря, м<sup>3</sup> / год,

$\rho$  - щільність повітря, кг / м<sup>3</sup>;

$\tau$  - тривалість циклу осушення, годину;

$a$  - коефіцієнт поглинальної здатності адсорбенту, кг / кг.

Основними характеристиками адсорбенту є поглинальна здатність  $a$  кг / кг і час до насичення  $\tau_n$ .

Залежність поглинальної здатності адсорбенту від часу представлена на рис. 3.11.

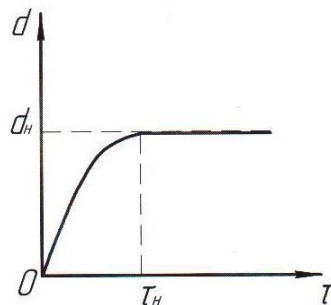


Рисунок 3.11 – Графік насичення адсорбента

Времением  $\tau_n$  обычно задаются (5–6 часов).

Количество влаги, которое может поглотить адсорбент, находится из соотношения

$$G_a = G_a$$

Если плотность адсорбента  $\rho_u$ , то необходимый расчетный загрузочный объем емкости

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$V_p = \frac{G}{\rho_{\psi}}, \text{ м}^3.$$

Реально принимается некоторый запас по емкости  $V_{\partial} = (1,2-1,3) V_p$ .

После насыщения адсорбера, через время  $\tau_n$  следует производить регенерацию, т. е. удаление влаги из адсорбера (сушку его). Осушка адсорбера производится горячим воздухом, продуваемым через слой адсорбента. Количество тепла, поступающего в емкость баллона осушки с горячим воздухом, равно

$$Q_p = V_p \rho c_p (T_2 - T_{\text{вых}}), \text{ ккал/год},$$

$V_p$  – расход регенерирующего горячего воздуха;  $T_2$  – его температура (350–400);  $T_{\text{вых}}$  – температура регенерируемого воздуха на выходе из адсорбера (120°C). Общее количество теплоты необходимой, чтобы нагреть баллоны, нагреть адсорбент, произвести испарение и поглощение влаги, покрыть потери в окружающую среду, равно  $Q = \Sigma Q_i$ , ккал.

Время, необходимое для проведения регенерации,

$$\tau_p = \frac{Q}{Q_p}, \text{ час.}$$

Должно соблюдаться условие  $\tau_p < \tau_n$ .

Часом  $\tau_n$  зазвичай задаються (5-6 годин).

Кількість вологи, що може поглатіла адсорбент, знаходиться зі співвідношення

$$G_{\bar{a}} = G_a$$

Якщо щільність адсорбенту  $\rho_{\psi}$ , то необхідний розрахунковий завантажувальний об'єм ємності

$$V_p = \frac{G}{\rho_{\psi}}, \text{ м}^3.$$

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Реально приймається деякий запас по місткості

$$V_0 = (1,2-1,3) V_p.$$

Після насичення адсорбера, через час  $\square$ н слід проводити регенерацію, тобто. Е видалення вологи з адсорбера (сушку його). Осушення адсорбера проводиться гарячим повітрям, що продувається через шар адсорбенту. Кількість тепла, що надходить в ємність балона осушки з гарячим повітрям, так само

$$Q_p = V_p \rho c_p (T_2 - T_{\text{вих}}), \text{ Ккал / год,}$$

$V_p$ .- витрата регенеруючого гарячого повітря;  $T_2$  - його температура ( $35^0-40^0$ );  $T_{\text{вих}}$  - температура регенованого повітря на виході з адсорбера ( $120^0\text{C}$ ). Загальна кількість теплоти необхідної, щоб нагріти балони, нагріти адробент, зробити випаровування і поглинання вологи, покрити втрати в навколишнє середовище, так само, ккал.

Час, необхідний для проведення регенерації,

$$\tau_p = \frac{Q}{Q_p}, \text{ година.}$$

Необхідно, щоб дотримувалася умова.

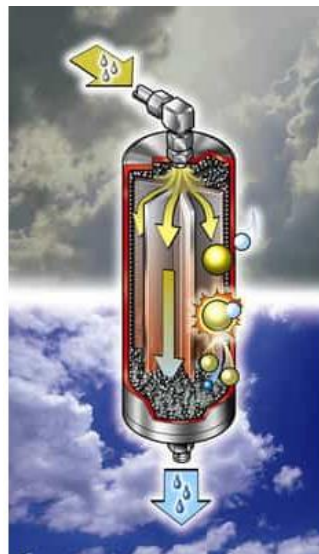
### **3.8 Система EcoTec Converter для очищення від домішок вуглеводнів**

Стиснене повітря, абсолютно вільне від слідів масла, в ряді випадків є обов'язковою умовою для підприємств харчової та медичної галузей. Класичним вирішенням цієї проблеми є застосування системи вугільних фільтрів, або використання компресора на основі гвинтового блоку безмасляного стиснення. Обидва рішення мають ряд недоліків у використанні, як в технічній частині, так і з позицій експлуатаційних витрат [5].

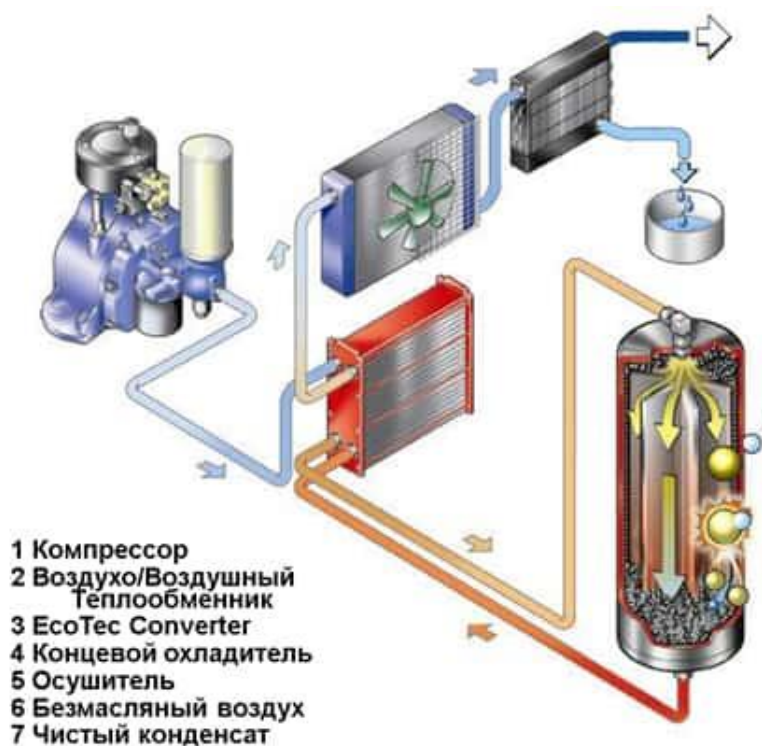
Технічною інновацією для отримання безмасляного повітря є система

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

ЕсоТес Converter (рис. 3.12) – блок очищення стисненого повітря від домішок вуглеводнів, розроблений компанією RotorcompVerdichter.



а)



б)

Рисунок 3.12 – Система EcoTec Converter:

а) – загальний вигляд, б) схема

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

За рахунок енергозберігаючого окисного процесу і відсутності необхідності утилізації відходів система EcoTec є економічно та екологічно обґрунтованою альтернативою вугільним фільтрам і безмасляним компресорам.

Розщеплення вуглеводнів в системі EcoTec відбувається за допомогою каталізатора, через який пропускається стиснене повітря.

Каталізатор являє собою тверду високопористу систему, що має велику активну площу, на якій досягається повне розщеплення молекул вуглеводнів. Молекули повітря і масла, потрапляючи на активні центри робочої поверхні каталізатора, утримуються, розбиваються на частини і негайно вступають в реакцію з киснем.

Цей процес повторюється до тих пір, поки молекули масла повністю не будуть розщеплені на двоокис вуглецю і воду, які залишають блок очищення як природні складові стисненого повітря.

Гарантований термін служби конвертера при одночасному збереженні якості повітря на рівні класу 1 по нормах ISO 8573-1 протягом усього періоду експлуатації – не менше 15 000 годин.

Конденсат повністю вільний від масла і має якість питної води.

За рахунок постійного окислення і одночасного “оновлення” каталізатора поточне погіршення ефективності роботи і якості повітря виключається.

Інші вуглеводні, що потрапляють в систему з навколишнього середовища, також окислюються до води і вуглекислого газу.

Каталізатор працює рівномірно протягом всього терміну служби, незалежно від вологості повітря, температури на виході з компресора і концентрації масла на вході в компресор.

Система EcoTec може застосовуватися для компресорів будь-яких типів.

Система Ecotec може бути встановлена в будь-який момент до існуючої компресорної системи.

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

## 4 РОЗРАХУНОК ГВИНТОВОГО КОМПРЕСОРА

Вихідні дані:

Робоче середовище – повітря

Тиск всмоктування,  $p_{вс}$ , мм рт. ст. – 760

Профілі гвинтів – двосторонні

Об'ємна продуктивність,

Віднесена до умов всмоктування  $V_d$ , м<sup>3</sup>/хв – 60

Тиск нагнітання  $p_n$ , МПа – 0,6

Профіль зуба ведучого гвинта – еліптичний симетричний

Температура повітря, що всмоктується,  $t_{вс}$ , °С = 0

Температура мастила на вході до компресора  $t_{1м}$ , °С = 34

Мастило, що подається у компресор – ХА-30

Обертальний момент з валу привідного двигуна на вал ведучого гвинта передається через клинопасову передачу з ККД  $\eta_{пер} = 0,97$ . Число зубців ведучого гвинта  $z_1 = 4$ , веденого гвинта  $z_2 = 6$  (за умови однакової міцності гвинтів). Передаточне відношення від ведучого гвинта до веденого

$$i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = 1,5.$$

### 4.1 Тепловий розрахунок

Принципова схема компресорної установки і процесу стиснення у  $p,i$ -діаграмі з подаванням мастила, адіабатне та без подавання мастила (сухе стиснення) подані на рис. 1.1.

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		38

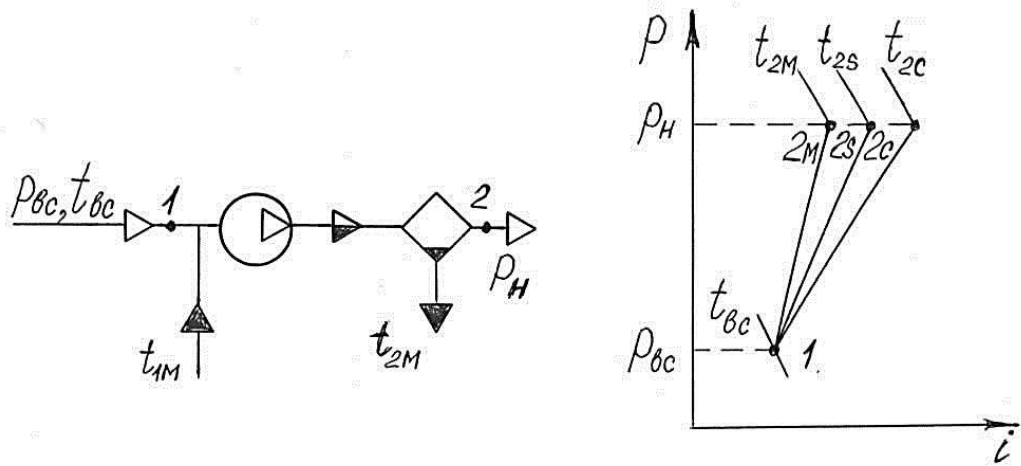


Рис. 4.1. Принципова схема компресорної установки та процесу стиснення у і-р діаграмі.

Точка 1, яка відповідає стану повітря повітря на вході до компресора, знаходиться на перетині ізотерми  $t_{bc} = \text{const}$  з ізобарою  $p_{bc} = \text{const}$ , а точки 2<sub>М</sub>, 2<sub>с</sub> та 2<sub>с</sub>, які характеризують стан повітря на нагнітанні компресора після його стиснення відповідно з подаванням мастила, адіабатного і без подачі мастила, знаходиться на перетині відповідних ізотерм  $t_{2М}$ ,  $t_{2s}$  і  $t_{2c}$  з ізобарою  $p_{н} = \text{const}$ .

Температура повітря після його адіабатного стиснення у ГМК дорівнює:

$$T_{2s} = T_1 \cdot \left( \frac{p_{н}}{p_{bc}} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 273,15 \cdot \left( \frac{0,6 \cdot 10^6}{0,101325 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 454 (K).$$

Температура мастила на вході до ГМК дорівнює  $t_{1М} = 34^{\circ}\text{C}$ .

Температура мастила після стиснення у ГМК дорівнює:

$$t_{2М} = t_{1М} + \Delta t_{М} = 34 + 42 = 76^{\circ}\text{C}$$

У вказаних температурних границях середні властивості мастила ХА-30 приймаємо наступні:

- густина  $\rho_m = 830 \text{ кг/м}^3$ ; - теплоємність  $c_m = 2,18 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$ .

Показник політропи стиснення з мастилом дорівнює:

$$n_m = \frac{\lg \pi_n}{\lg \frac{\pi_n \cdot T_1}{T_{2,m}}} = \frac{\lg 5,92}{\lg \frac{5,92 \cdot 273,15}{343,15}} = 1,16,$$

де  $\pi_n = \frac{p_n}{p_{вс}} = \frac{0,65 \cdot 10^6}{0,101325 \cdot 10^6} = 6,4$  – зовнішнє відношення тисків

Індикаторний ККД ГМК дорівнює:

$$\eta_i = \frac{\eta_e}{\eta_m} = \frac{0,7}{0,94} = 0,745,$$

де  $\eta_e = 0,7$  – ефективний ККД, вибирається з ([1], рис. 2.35, с. 177) в залежності від зовнішнього відношення тисків і прийнятого ступеня геометричного стиснення  $\varepsilon_r = 4$  при  $\leq 8$ , а знайдені для R717 значення  $\eta_e$  зменшуються на 5%;

$\eta_m = 0,94$  – механічний ККД, вибирається з ([1], рис. 2.36, с. 177) в залежності від  $\pi_n$ .

Процес тиснення у ГМК умовно представляється у вигляді процесу «сухого» стиснення повітря 1-2с, а потім – відводом від нього теплоти мастилом, що вприскується 2с-2м. Температура повітря в точці 2с визначається за формулою:

$$T_{2c} = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta_i} = 273,15 + \frac{454 - 273,15}{0,745} = 516,1(K)$$

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		



Показник політропи «сухого» стиснення дорівнює:

$$n_c = \frac{\lg \pi_n}{\lg \frac{\pi_n \cdot T_1}{T_{2c}}} = \frac{\lg 5,92}{\lg \frac{5,92 \cdot 273,15}{516,1}} = 1,56$$

Теоретична продуктивність ГМК:

$$V_T = \frac{V_\partial}{\lambda} = \frac{1,167}{0,703} = 1,66 (\text{м}^3/\text{с})$$

де  $\lambda = 0,703$ , значення коефіцієнту подачі приймається з ([2], рис.5.63, с. 193).

Приймається, що мастило, яке подається на вузли механічного тертя (підшипники, ущільнення і т. д.), не потрапляє потім у робочу порожнину ГМК, а йде на зливання. Тоді мастило, яке впорскується у ГМК, окрім ущільнюючих і змащувальних функцій, повинно відвести таку кількість теплоти, яка б забезпечила прийняте підвищення температури  $\Delta t_m$  робочої суміші мастила з повітрям.

Масова витрата повітря у ГМК дорівнює:

$$G = V_\partial \cdot \frac{P_{вс}}{60 \cdot R \cdot T_{вс}} = 60 \cdot \frac{0,101325 \cdot 10^6}{60 \cdot 287 \cdot 273,15} = 1,35 (\text{кг}/\text{с}).$$

Кількість теплоти, яка відводиться мастилом від робочого тіла:

$$Q_m = G \cdot c_p \cdot (T_{2c} - T_{2m}) = 1,35 \cdot 1004,5 \cdot (516,1 - 349,15) = 216,94 (\text{кВт}),$$

де  $c_p = \frac{k}{k-1} \cdot R = \frac{1,4}{1,4-1} \cdot 287 = 1004,5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$  – теплоємність повітря.

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Об'ємна витрата мастила, яке впорскується:

$$V'_m = \frac{Q_m}{c_m \cdot \rho_m \cdot \Delta t_m} = \frac{216936}{2180 \cdot 830 \cdot 42} = 0,00285 \text{ (м}^3/\text{с)}.$$

Об'ємна витрата мастила, яке подається у ГМК:

$$V_m = K_{oc} \cdot V'_m = 1,05 \cdot 0,00285 = 0,003 \text{ (м}^3/\text{с)},$$

де  $K_{oc} = 1,05$  – коефіцієнт, який враховує відведення теплоти в оточуюче середовище [2].

Відносна масова витрата мастила, яке подається у ГМК:

$$q_{mp} = \frac{V_m \cdot \rho_m}{G} = \frac{0,003 \cdot 830}{1,29} = 1,92 \text{ (м}^3/\text{с)}.$$

З ([2] рис. 5.58, с. 188) –  $q_{mp} = 3,8$  – рекомендована найбільша витрата.

Загальна витрата мастила, яке циркулює у ГМА, включає, окрім  $V_m$ , витрату мастила, яке подається у підшипники ковзання, ущільнення, розвантажувальні пристрої.

Потужність політропного стиснення у ГМК, з впорскуванням мастила у робочу порожнину, дорівнює:

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$N_{сжс} = \frac{n_M}{n_M - 1} \cdot p_{вс} \cdot \frac{V_d}{60} \cdot \left[ \left( \frac{p_H}{p_{вс}} \right)^{\frac{n_M - 1}{n_M}} - 1 \right] =$$

$$= \frac{1,16}{1,16 - 1} \cdot 0,101325 \cdot 10^6 \cdot \frac{60}{60} \cdot \left[ (5,92)^{\frac{1,16 - 1}{1,16}} - 1 \right] = 204,26 (\kappa Bm).$$

Ефективна потужність ГМК дорівнює:

$$N_e = \frac{N_{сжс}}{\eta_e} = \frac{204,26}{0,7} = 291,81 (\kappa Bm).$$

Потужність привідного двигуна ГМК дорівнює

$$N_{дв} = \frac{N_e}{\eta_{пер}} = \frac{291,8}{0,97} = 300,83 (\kappa Bm).$$

За отриманою потужністю електродвигуна, обираємо асинхронний електродвигун 4А355S2 У3 потужністю 315 кВт з частотою обертання  $n_c = 3000$  об/хв., враховуючи клинопасову передачу [3].

## 4.2 Конструктивний розрахунок

Відносна довжина нарізаної частини гвинтів ГМК:

$$K_l = \frac{l_B}{D_1} = 1,35.$$

Коефіцієнт використання об'єму парної порожнини визначається за формулою:

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$K_H = 1 - c \cdot 10^{-4} \cdot (\tau_{13} - \tau_{1np}) = 1 - 5,0 \cdot 10^{-4} \cdot (304 - 220) = 0,958,$$

де  $\tau_{13}$  – кут закрутки ведучого гвинта,  $\tau_{13} = 304^0$ ;

$\tau_{1np}$  – граничний кут закрутки гвинта,  $\tau_{1np} = 220^0$  для гвинтів з еліптичним симетричним профілем [2];

$$c = 5,0.$$

Коефіцієнт використання площі западин гвинтів для гвинтів з зубом еліптичного симетричного профіля  $K_f = 0,1184$  [3].

Зовнішній діаметр ведучого гвинта визначається за формулою:

$$D_1 = \sqrt{\frac{\pi \cdot V_d}{60 \cdot \lambda \cdot K_H \cdot K_l \cdot K_f \cdot z_1 \cdot U_1}} =$$

$$= \sqrt{\frac{3,14 \cdot 60}{60 \cdot 0,741 \cdot 0,958 \cdot 1,35 \cdot 0,1184 \cdot 4 \cdot 52,5}} = 0,363(м),$$

де  $U_1 = 52,5$  м/с – колова швидкість на зовнішньому колі ведучого гвинта ([2], рис. 5.66, с. 195).

З типорозмірного ряду гвинтів приймається найближче більше значення  $D_1 = 400$  мм.

Частота обертання ведучого вала визначається за формулою:

$$n_1 = \frac{U_1}{\pi \cdot D_1} = \frac{52,6}{3,14 \cdot 0,4} = 42(c^{-1}) = 2508(об/хв.).$$

Передаточне число клинопасової передачі:

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$i = \frac{n_1}{n_{\text{дв}}} = \frac{2508}{3000} = 0,84.$$

Довжина нарізаної частини гвинтів:

$$l_B = K_l \cdot D_1 = 1,35 \cdot 0,4 = 0,54(\text{м}).$$

Міжосьова відстань:

$$A = 0,8 \cdot D_1 = 0,8 \cdot 0,4 = 0,32(\text{м}) = 320(\text{мм}).$$

Діаметри початкових кіл ВЧ и ВН гвинтів:

$$d_{1н} = \frac{2 \cdot A}{1 + i_{12}} = \frac{2 \cdot 320}{1 + 1,5} = 256(\text{мм}),$$

$$d_{2н} = i_{12} \cdot d_{1н} = 1,5 \cdot 201,6 = 384(\text{мм}).$$

Діаметри кіл западин ВЧ и ВН гвинтів:

$$d_{1вн} = d_{2вн} = 0,6 \cdot D_1 = 0,6 \cdot 400 = 240(\text{мм}).$$

Висота ніжки (головки) зуба ВЧ (ВН) гвинта:

$$r_0 = 0,02 \cdot D_1 = 0,02 \cdot 400 = 8,0(\text{мм}).$$

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		45

Геометричні характеристики зубців ведучого та веденого гвинтів еліптичного симетричного профіля наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Геометричні характеристики зубців ведучого та веденого гвинтів еліптичного симетричного профіля

$d_{1н}$ – діаметр початкового кола ведучого гвинта, мм	256
$d_{2н}$ – діаметр початкового кола веденого гвинта, мм	384
$A$ – міжосьова відстань, мм	320
$d_{1вн} = d_{2вн}$ – діаметр кіл западин ведучого та веденого гвинтів, мм	240
$r_0$ – висота ніжки (головки) ведучого (веденого) гвинта, мм	8,0
$f_{1п}$ – площа западин для ведучого гвинта, см	110,45
$f_{1п}$ – площа западин для веденого гвинта, см	78,94
$W_{п}$ – корисний максимальний об'єм парної порожнини на момент початку стиснення, см <sup>3</sup>	9770

Профіль зуба ведучого гвинта будується за його координатами.

Визначаємо центральні кути вікна всмоктування

Ведучий гвинт:

- кутовий розмір колової частини зуба ВЧ гвинта:

$$\theta_1 = 29^{\circ}03'45,8385'' \approx 29,06^{\circ}.$$

$$2\alpha_0 = 31^{\circ}52'28,323'' \approx 31,875^{\circ}.$$

Ведений гвинт:

- кутовий розмір циклоїдної частини зуба ВЧ гвинта:

$$\theta_2 = 19^{\circ}22'30,559'' \approx 19,37^{\circ}.$$

$$2\gamma_{23} = 21^{\circ}14'58,882'' \approx 21,25^{\circ}.$$

Хід гвинтової лінії ВЧ гвинта ([2], табл. 2.17, с. 181) при  $K_1 = 1,35$ :

$$h_1 = 1,6 \cdot D_1 = 1,6 \cdot 400 = 640 \text{ (мм)}.$$

Хід гвинтової лінії ВН гвинта:

$$h_2 = i_{12} \cdot h_1 = 1,5 \cdot 640 = 960 (\text{мм}).$$

Кут між лінією центру та променем:

$$\beta_{01} = \arccos \frac{A^2 + R_1^2 - r_{2H}^2}{2 \cdot A \cdot R_1} = \arccos \frac{320^2 + 192^2 - 200^2}{2 \cdot 320 \cdot 192} = 36,12^\circ \approx 36^\circ 7',$$

$$\beta_{02} = \arccos \frac{A^2 + r_{2H}^2 - R_1^2}{2 \cdot A \cdot r_{2H}} = \arccos \frac{320^2 + 200^2 - 192^2}{2 \cdot 320 \cdot 192} = 30,81^\circ \approx 30^\circ 49'.$$

Кут початку стиснення:

$$\alpha_{01} = i_{12} \cdot (\beta_{01} - \theta_2) = 1,5 \cdot (36,12 - 19,37) = 22,125^\circ \approx 22^\circ 8'.$$

Вікно всмоктування

-Кут вікна всмоктування ВЧ гвинта:

$$\alpha_{16} = 0,5 \cdot \tau_{13} + \pi \cdot \frac{z_1 - 1}{z_1} = 0,5 \cdot 304 + 180 \cdot \frac{4 - 1}{4} = 287^\circ.$$

- центральний кут вікна всмоктування ВН гвинта:

$$\alpha_{26} = \alpha'_{26} + \Delta\alpha_{26},$$

де  $\alpha'_{26}$  - кут всмоктування ВЧ гвинта ([2], с. 167),

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		47

$$\alpha'_{2\epsilon} = i_{21} \cdot \left( 0,5 \cdot \tau_{13} + \pi \cdot \frac{z_1 - 1}{z_1} + \frac{2 \cdot \pi}{z_1} \right) - 2 \cdot \theta_2 =$$

$$= \frac{4}{6} \cdot \left( 0,5 \cdot 304 + 180 \cdot \frac{4-1}{4} + \frac{2 \cdot 180}{4} \right) - 2 \cdot 19,713 = 212^{\circ}$$

$\Delta\alpha_{2\epsilon}$  - кут газодинамічного наддуву ([2], с. 167)

$$\Delta\alpha_{2\epsilon} \approx \frac{2 \cdot \pi \cdot l_{2\epsilon} \cdot n_2}{a_1 - C_{a.c.p.}},$$

де  $n_2 = i_{21} \cdot n_1 = \frac{4}{6} \cdot 42 = 28 (c^{-1})$ .

$$d_{2cp} = \frac{D_2 + d_{2\epsilon H}}{2} = \frac{400 + 240}{2} = 320 (мм),$$

$$\tan \beta_H = \left( \frac{\pi \cdot d_{1H}}{h_1} \right) = \frac{3,14 \cdot 256}{640} = 1,256,$$

$$\beta_{2cp} = \arctg \left( \frac{d_{2cp}}{d_{2H}} \cdot \operatorname{tg} \beta_H \right) = \arctg \left( \frac{320}{384} \cdot 1,256 \right) = 48,86^{\circ},$$

$$\cos \beta_{2cp} = 0,66,$$

$$l_{2\epsilon} = \frac{l_{\epsilon}}{\cos \beta_{2cp}} = \frac{540}{0,66} = 821 (мм).$$

- місцева швидкість звуку:

$$a_1 \approx \sqrt{k \cdot R \cdot T_1} = \sqrt{1,4 \cdot 287 \cdot 273,15} = 331 (м/с),$$

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		



де  $k = 1,4$  – показник ізоентропи.

- середня швидкість руху повітря у порожнині гвинта у період заповнення:

$$C_{a.c.p.} = \frac{2 \cdot \pi \cdot l_g \cdot n_2}{\alpha'_{2g}} = \frac{2 \cdot 180 \cdot 0,54 \cdot 28}{212} = 25,6 \text{ (м/с)}.$$

$$\Delta\alpha_{2g} \approx \frac{2 \cdot 180 \cdot 0,821 \cdot 25,6}{337 - 24,2} = 26,8^\circ.$$

- центральний кут вікна всмоктування ВН гвинта:

$$\alpha_{2g} = 212 + 26,8 = 238,8^\circ.$$

- допустиме значення кута вікна всмоктування:

$$[\alpha_{2g}] = 2 \cdot \pi \cdot \frac{z_2 - 1}{z_2} \cdot 2 \cdot 180 \cdot \frac{6 - 1}{6} = 300^\circ.$$

$$\alpha_{2g} < [\alpha_{2g}].$$

- площа вікна всмоктування:

$$F_{вс} = \frac{\pi}{4 \cdot 180} \cdot (D_1^2 - d_{1вн}^2) \cdot (\alpha_{1g} + \alpha_{2g}) =$$
$$= \frac{3,14}{4 \cdot 180} \cdot (0,4^2 - 0,24^2) \cdot (287 + 238,8) = 0,499 \text{ (м}^2\text{)}.$$

- швидкість повітря у вікні всмоктування:

$$C_{вс} = \frac{V_\delta}{60 \cdot F_{вс}} = \frac{60}{60 \cdot 0,499} = 2 \text{ (м/с)} \leq (40 \div 50) \text{ м/с}.$$

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

### Вікно нагнітання

- кут стиснення ([1], с. 186):

$$W_3 = W_0 - \frac{W_n}{\varepsilon_2} = l_g \cdot (f_{1II} + f_{2II}) - \frac{W_n}{\varepsilon_2} = 50 \cdot (111,09 - 79,51) - \frac{9770}{4} = 7784,6 (\text{см}^3).$$

З рис. 2.43 ([1], с. 186):

$$\left( \frac{W_3}{D_1^3} \right) \cdot 10^3 = \left( \frac{7784,6}{0,4^3} \right) \cdot 10^3 = 122^\circ.$$

- кут вікна нагнітання ВЧ гвинта:

$$\alpha_{1H} = \tau_{13} - \varphi_{1c} + \alpha_{01} = 304 - 290 + 25,125 = 39,125^\circ \approx 39^\circ 8'.$$

- для ВН гвинта:

$$\alpha_{2H} = i_{21} \cdot \alpha_{1H} + \theta_2 + 2 \cdot \gamma_{23} = \frac{4}{6} \cdot 39,125 + 19,37 + 21,25 = 66,7^\circ.$$

- площа перерізу вікна нагнітання у торцевій площині:

$$F_{н.т.} = \frac{\pi}{4 \cdot 180} \cdot (D_1^2 - d_{1вн}^2) \cdot \left( \alpha_{1H} + \alpha_{2H} - \frac{\theta_2 + \theta_3}{2} \right) = \\ = \frac{3,14}{4 \cdot 180} \cdot (0,4^2 - 0,24^2) \cdot \left( 39,8 + 66,7 - \frac{29,06 + 19,37}{2} \right) = 0,0781 (\text{м}^2).$$

- площа циліндричної частини вікна нагнітання:

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\begin{aligned}
F_{н.ц.} &= \frac{h \cdot D_1}{4 \cdot \pi} \cdot [(\alpha_{1н} - \beta_{01}) \cdot \cos \beta_{01} + \sin \beta_{01} - \sin \alpha_{1н}] + \\
&+ \frac{h \cdot D_2}{4 \cdot \pi} \cdot \left[ (i_{21} \cdot \alpha_{1н} + \theta_3 + \theta_4 + 2 \cdot \gamma_{23}) \cdot \cos \beta_{02} + \right. \\
&\left. + \sin \beta_{02} - \sin (i_{21} \cdot \alpha_{1н} + \theta_3 + \theta_4 + 2 \cdot \gamma_{23}) \right] = \\
&= \frac{0,64 \cdot 0,4}{4 \cdot 180} \cdot [(0,68 - 0,54) \cdot \cos 0,54 + \sin 0,54 - \sin 0,68] + \\
&+ \frac{0,96 \cdot 0,4}{4 \cdot 180} \cdot \left[ \left( \frac{4}{6} \cdot 0,68 + 0,37 + 0,32 + 2 \cdot 0,338 \right) \cdot \cos 0,54 + \right. \\
&\left. + \sin 0,54 - \sin \left( \frac{4}{6} \cdot 0,68 + 0,37 + 0,32 + 2 \cdot 0,338 \right) \right] = 0,032.
\end{aligned}$$

- сумарна площа нагнітання:

$$F_n = F_{н.т.} + F_{н.ц.} = 0,0781 + 0,032 = 0,11 (\text{м}^2).$$

- швидкість повітря у вікні нагнітання:

$$C_{a.ср.} = \frac{V_d \cdot p_{вс} \cdot T_{2м}}{60 \cdot F_n \cdot p_n \cdot T_{вс}} = \frac{60 \cdot 0,101325 \cdot 10^6 \cdot 349}{60 \cdot 0,11 \cdot 0,6 \cdot 10^6 \cdot 273,15} = 1,96 (\text{м/с}) \leq (10 \div 15) \text{м/с}.$$

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		51

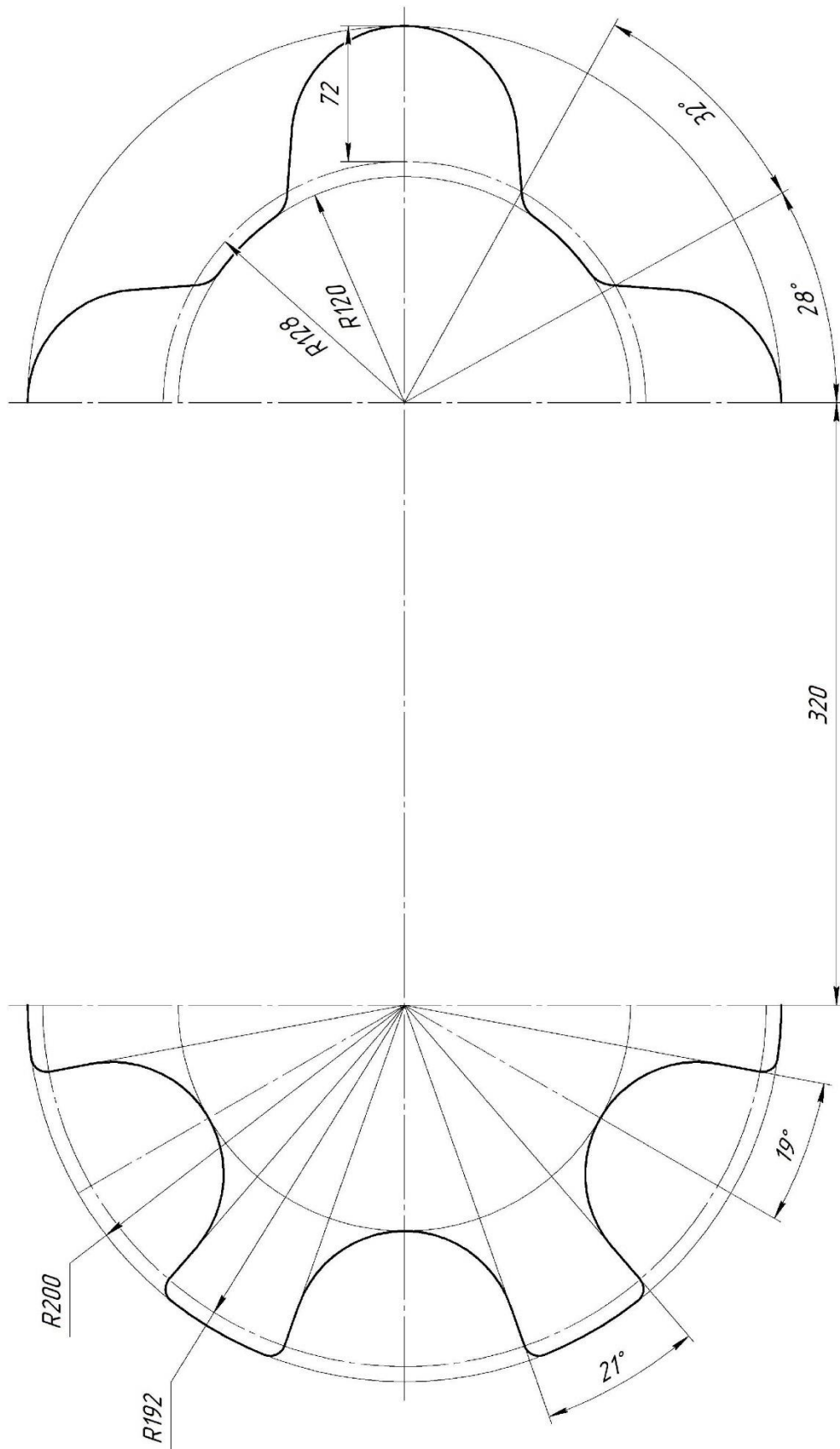


Рис. 4.2. Торцеві перерізи гвинтів

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		52

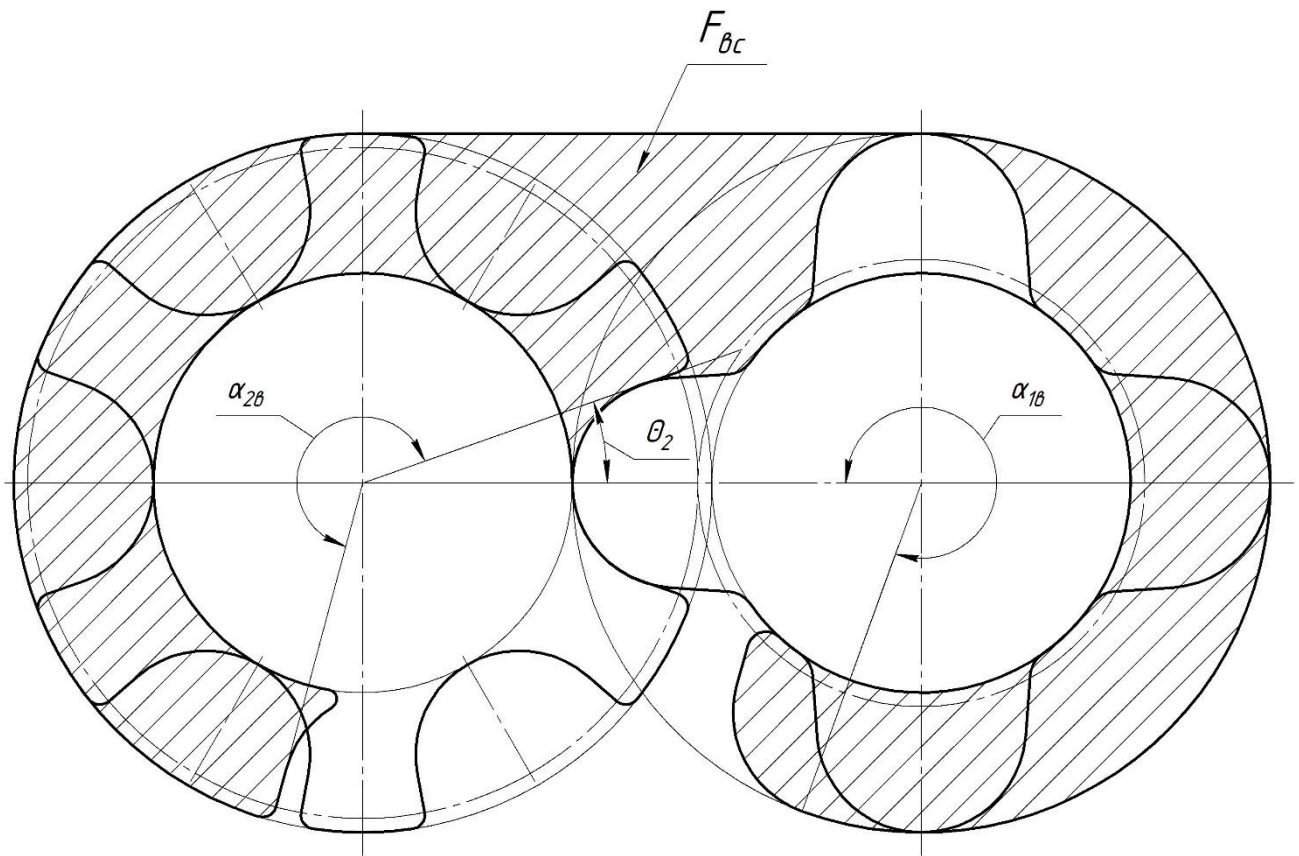


Рис. 4.3. Вікно всмоктування

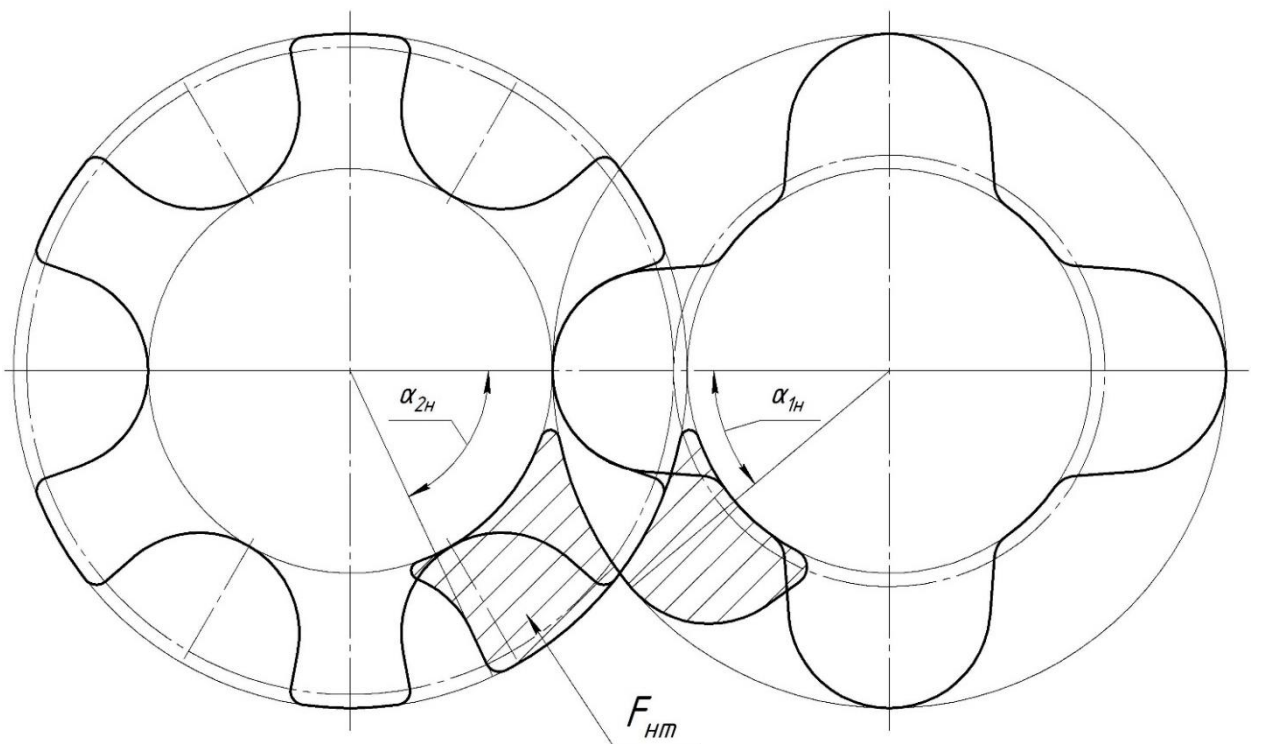


Рис. 4.4. Вікно нагнітання

## 5 ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ

Вихідні дані на проектування пневмосистеми.

Максимальна продуктивність  $2 \times 60 = 120$  м<sup>3</sup>/хв

Тиск на вході 0,6 МПа

Температура на вході 20 град.С

Гідравлічні втрати тиску не більше 10%

Клас забруднення повітря згідно ISO 8571.3

1-й потік 5кл

2-й потік 3кл

3-й потік 1кл

### 5.1 Вибір пневмогідролічної схеми станції

Для розрахунку вибираємо схему компресорної станції, яка складається з трьох ліній – лінії технічного азоту, лінії підвищеної очистки та лінії глибокої очистки (рис. 5.1).

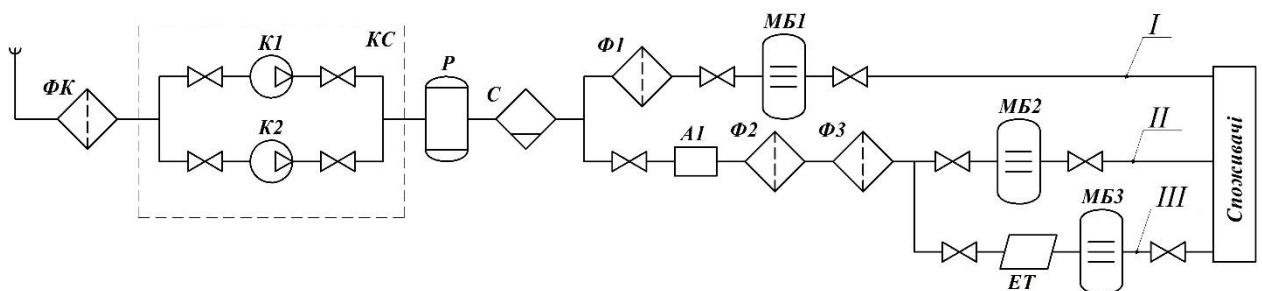


Рисунок .5.1 – Схема пневмережі: ФК – фільтр-камера; К1, К2 – гвинтові компресори; Р – ресивер; С – сепаратор; МБ1, МБ2, МБ3 – мембранні блоки; А1, А2 – осушувач-абсорбер; ЕТ – EcoTech-конвертор; СБ – збиральна камера; I – лінія технічного азоту; II – лінія підвищеної очистки; III – лінія глибокої очистки

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		54

## 5.2 Вибір та розрахунок обладнання та апаратів

Розрахункова схема сепаратора для механічного розділення потоку змішування на виході з компресорної станції представлена на рисунку 5.2.

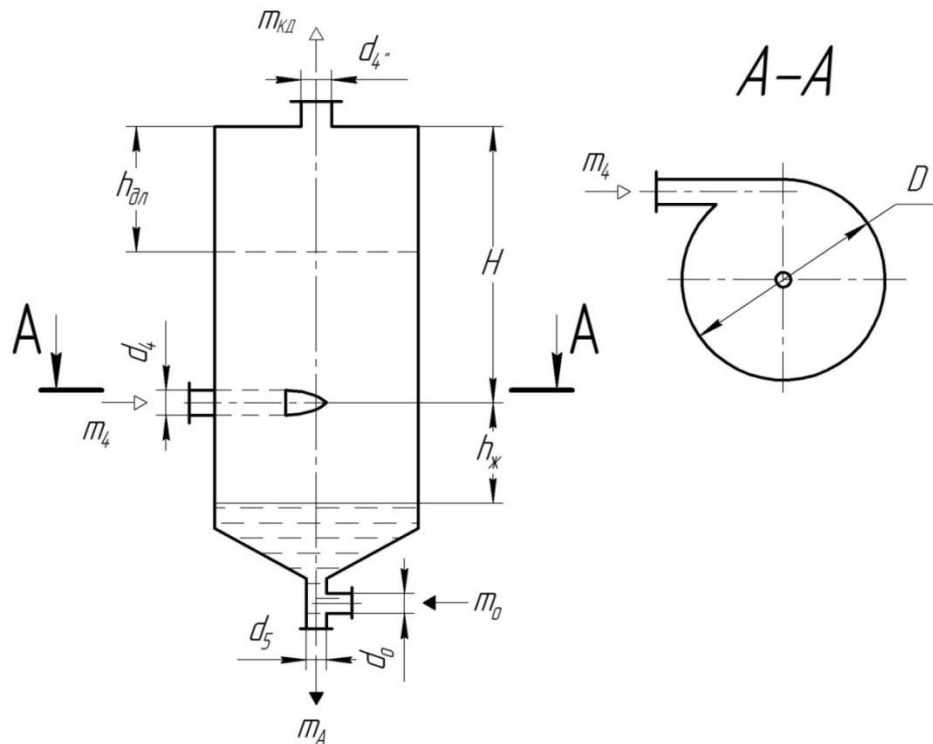


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема сепаратора

Позначення режимних і конструктивних параметрів на рис. 5.2:

$\dot{m}_4$  – масова витрата потоку змішування на виході з КС;

$\dot{m}_{BA}$  – масова витрата парової фази, яка йде на технологічну лінію;

$\dot{m}_0$  – масова витрата конденсату;

$\dot{m}_A$  – масова витрата нерозділеного потоку на вході в сепаратор;

$d_4, d_4'', d_5, d_0$  – внутрішні діаметри патрубків підведення і відведення робочого середовища в різних фазових станах;

$D$  – внутрішній діаметр сепаратора;

$H$  – висота апарату від рівня введення паро-рідинної суміші;

$h_{ж}$  – відстань рівня рідини щодо введення потоку на сепарацію;

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$h_{\text{дл}}$  – висота установки дірчастого листа або жалюзі.

### Визначення теплофізичних властивостей робочого середовища

З відповідних інформаційних джерел [5, 6] визначаємо нижченаведені параметри:

$$v'_4 = 0.00103 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}, v''_4 = 3,993 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \text{— питомих об'єм рідкої і парової фаз;}$$

$$\rho'_4 = 974,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \rho''_4 = 0.250 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \text{— густина рідкої і парової фази;}$$

$$\nu'_4 = 0.385 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}, \nu''_4 = 45,6 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \text{— кінематична в'язкість рідкої і парової фаз;}$$

$$\mu'_4 = 375 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}, \mu''_4 = 11,4 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с} \text{— динамічна в'язкість рідкої і парової фаз;}$$

$$\sigma = 630 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Н}}{\text{м}} \text{— поверхневий натяг рідкої фази;}$$

Вибір наведених величин проводиться при температурі  $t_4 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$  і тиском  $P_4 = 0,2 \text{ бар}$ .

Теплофізичні властивості потоку змішування, що надходить на сепарацію який визначається за такими розрахунковими залежностями.

Питома об'єм і густина:

$$v_4 = \frac{(1 - x_4)}{\rho'_4} + \frac{x_4}{\rho''_4} = \frac{(1 - 0.127)}{9742} + \frac{0.127}{0.250} = 0,5$$

або

$$\rho_4 = \frac{1}{v_4} = \frac{1}{0.5} = 2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Кінематична в'язкість (з допущенням правила адитивності):

$$\begin{aligned} \nu_4 &= (1 - x_4) \cdot \nu'_4 + x_4 \cdot \nu''_4 = (1 - 0.127) \cdot 0.385 \cdot 10^{-6} + 0.127 \cdot 45,6 \cdot 10^{-6} \\ &= 6.12 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \end{aligned}$$

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		56



динамічна в'язкість:

$$\mu_4 = \frac{\nu_4}{\nu_4} = \nu_4 \cdot \rho_4 = 6.12 \cdot 10^{-6} \cdot 2 = 12.24 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Згідно [6] розділювальна здатність циклонного сепаратора характеризується наступним критерієм:

$$C_y = \frac{D^2 \cdot w_{\text{окр}}^2}{\nu^2} \cdot \frac{(\rho'_4 - \rho''_4)}{\rho''_4}$$

де  $D$  – внутрішній діаметр сепаратора;

$w_{\text{окр}}$  – окружна складова швидкості розділювального потоку насиченої пари (парокапельного середовища).

При розрахунку приймається умова:

$$w_{\text{окр}} = w_4$$

де  $w_4$  – середня швидкість потоку у вхідному патрубку сепаратора.

З огляду на те, що діаметр сепаратора на даній стадії розрахунку невідома, вводимо в розгляд параметр співвідношення площ:

$$\bar{f} = \frac{F_c}{F_4} = \left( \frac{D}{d_4} \right)^2$$

де  $F_c$  і  $F_4$  – площі вільних перерізів сепаратора і вхідного патрубка.

Рекомендовані значення співвідношення площ:  $\bar{f} = 4 \dots 16$ , приймаємо  $\bar{f} = 4$

Задавшись величиною  $\bar{f}$  і знаючи діаметр  $d_4$  отримаємо:

$$D^2 = \bar{f} \cdot d_4^2$$

У свою чергу швидкість  $w_4$ , визначається залежністю:

$$w_4 = \frac{\dot{m}_4 \cdot 4}{\rho_4 \cdot \pi \cdot d_4^2} = 17,53 \text{ м /с}$$

Після підстановки отримаємо:

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$C_y = \frac{16 \cdot \bar{f} \cdot \dot{m}_4^2}{\pi^2 \cdot \mu_4^2 \cdot d_4^2} \cdot \frac{(\rho_4' - \rho_4'')}{\rho_4''} = \frac{16 \cdot 4 \cdot 0.39^2}{3.14^2 \cdot 12.24^2 \cdot 10^{-12} \cdot 0.119^2} \cdot \frac{974,2 - 0.250}{0.250}$$

$$= 1.813 \cdot 10^{15} = 18.130 \cdot 10^{14}$$

де  $\dot{m}_4$  - масова витрата потоку змішування на виході з КС:

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_A \cdot (1 + u) = 0.3261 \cdot (1 + 0.1993) = 0.39 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

При:

$C_y < 1.8 \cdot 10^{14}$  - має місце ламінарний режим сепарації;

$1.8 \cdot 10^{14} < C_y < 2.75 \cdot 10^{14}$  - зона перехідного режиму;

$C_y > 2.75 \cdot 10^{14}$  - область турбулентного режиму.

Тоді  $C_y = 18.130 \cdot 10^{14} > 2.75 \cdot 10^{14}$  - зона перехідного режиму

Залежно від режиму сепарації перенесення крапельної рідини з паровим потоком розраховується за такими формулами:

Для ламінарного режиму:

$$S = 0.23 \cdot 10^{-8} \cdot C_y^{0.87} \cdot K_p^{-0.63}, \frac{\text{МГ}}{\text{КГ}}$$

Для перехідного режиму:

$$S = B \cdot C_y^{3.71} \cdot K_p^{-0.73} \cdot \left( \frac{\sigma}{\sqrt{g \cdot (\rho_4' - \rho_4'')}} / H \right)^{1.32}, \frac{\text{МГ}}{\text{КГ}}$$

Для турбулентного режиму:

$$S = 0.525 \cdot 10^{-7} \cdot C_y^{0.87} \cdot K_p^{-0.27} \cdot \left( \frac{\sigma}{\sqrt{g \cdot (\rho_4' - \rho_4'')}} / H \right)^{0.91}, \frac{\text{МГ}}{\text{КГ}}$$

У даних рівняннях величиною  $K_p$  позначений критерій, який характеризує відношення абсолютного тиску в системі до скачка тиску на межі поділу фаз. Його вираз записується у вигляді:

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$K_p = \frac{P}{\sqrt{\sigma \cdot g \cdot (\rho' - \rho'')}} = \frac{P_4}{\sqrt{\sigma \cdot g \cdot (\rho'_4 - \rho''_4)}} =$$

$$= \frac{40000}{\sqrt{630 \cdot 10^{-4} \cdot 9.81 \cdot (9742 - 0.250)}} = 515,5$$

де  $P_4$  береться в Па, а  $\sigma$  в  $\frac{Н}{м}$ .

Тоді для турбулентного режиму перенесення краплинної рідини буде дорівнювати:

$$S = 0.525 \cdot 10^{-7} \cdot (23.950 \cdot 10^{14})^{0.87}$$

$$\cdot 2314^{-0.27} \cdot \left( \frac{\sqrt{\frac{630 \cdot 10^{-4}}{9.81 \cdot (968.5 - 0.250)}}}{1,5} \right)^{0.91} = 472.324 \frac{мг}{кг}$$

Отримане значення перенесення порівнюємо з допустимим значенням, представленим у вихідних даних. За умови  $S > S_{\text{дод}}$  виконується перерахунок критеріїв з прийняттям нового значення  $\bar{f}$ .

$$S = 472.324 \frac{мг}{кг} < S_{\text{доп}} = 25 \frac{г}{кг} - \text{умова виконується.}$$

Діаметр сепаратора:

$$D = d_4 \sqrt{\bar{f}} = 0.119 \cdot \sqrt{4} = 0.238 = 0,24 \text{ м}$$

Висота апарата від рівня введення паро-рідинної суміші:

$$H = 5D = 5 \cdot 0.24 \cong 1,2 \text{ м}$$

Відстань рівня рідини щодо введення потоку на сепарацію:

$$h_{\text{ж}} = D \approx 0.24 \text{ м}$$

Висота установки дірчастого листа або жалюзі.

$$h_{\text{дл}} = D \approx 0.24 \text{ м}$$

Внутрішній діаметр патрубків відводу робочого середовища в рідкому стані:

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$d_5 = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}_A}{\pi \cdot \rho'_4 \cdot w_5}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.3261}{3.14 \cdot 974.2 \cdot 3}} = 0,012 \text{ м}$$

де  $w_5$ - швидкість відводу рідкої робочого середовища, приймаємо  $w_5 = 3 \text{ м/с}$

Масова витрата конденсату дорівнює:

$$\dot{m}_0 = \dot{m}_A \cdot u \cdot (\psi_4 - 1) = 0.3261 \cdot 0.199 \cdot (1.171 - 1) = 0,011 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

де  $\psi_4 = 1.171$ —коефіцієнт перевиробництва пара.

Масова витрата парового потоку, що йде на випарний апарат:

$$\dot{m}_{BA} = \dot{m}_A \cdot u \cdot \psi_4 = 0.3261 \cdot 0.199 \cdot 1.171 = 0,076 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Внутрішній діаметр патрубку відводу робочого середовища в паровому стані:

$$d_{4''} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}_{BA}}{\pi \cdot \rho''_4 \cdot w_{BA}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.076}{3.14 \cdot 0.250 \cdot 50}} = 0.084 \text{ м}$$

де  $w_{BA}$ - швидкість парового потоку, що йде на ВА, приймаємо  $w_{BA} = 50 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Розрахунок фільтру необхідний для визначення необхідної площі фільтрації, за якою вибираємо механічний фільтр (рис. 5.3)

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

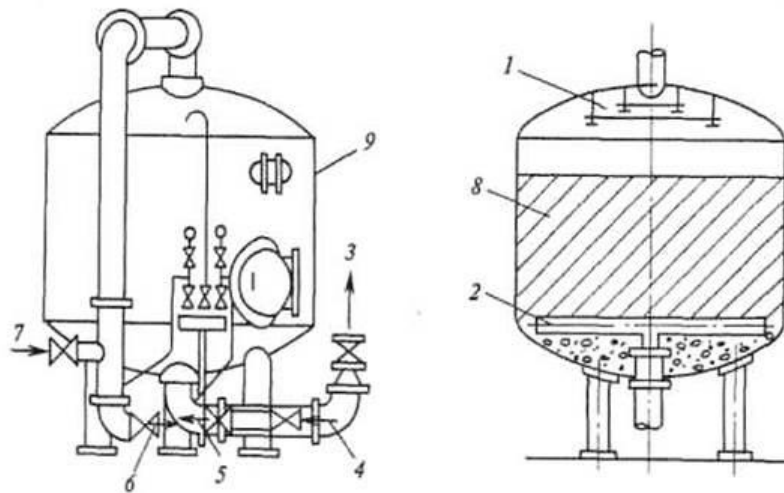


Рисунок 5.3 – Механічний фільтр:

1 – верхній розподільний пристрій; 2 – нижній дренажно-розподільний пристрій; 3 – фільтрат; 4 – стиснене повітря, промивна вода; 5 – спуск перших порцій фільтрату; 6 – спуск промивної води; 7 – вихідна вода; 8 – фільтруючий шар; 9 – корпус фільтра

1. Розраховуємо допоміжні величини:

- густина вологого осаду

$$\rho_{oc} = \frac{\rho_t \cdot \rho_{ж}}{\rho_{ж} + (\rho_m - \rho_{ж}) \cdot \omega} = \frac{2400 \cdot 998}{998 + (2400 - 998) \cdot 0,002} = 2393 \text{ кг/м}^3$$

- густина суспензії

$$\rho_c = \frac{1}{\frac{x_c}{\rho_m} + \frac{1-x_c}{\rho_{ж}}} = \frac{1}{\frac{0,2}{2400} + \frac{1-0,2}{998}} = 1130 \text{ кг/м}^3$$

- відношення об'єму відфільтрованого осаду до об'єму отриманого осаду

$$X_{oc} = \frac{X_c \cdot \rho_{ж}}{\rho_{oc} \cdot (1 - \omega - X_c)} = \frac{0,2 \cdot 998}{2393 \cdot (1 - 0,002 - 0,2)} = 0,104 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

- об'ємна витрата фільтрату

$$V\phi = Vc/(1+X_{oc}) = 114/((1+0.104)*24) = 4,3 \text{ м}^3/\text{год},$$

- маса твердої фази, яка відкладається при проходженні 1 м<sup>3</sup> фільтрату:

$$X_T = \frac{Xc \cdot \rho_{ж} \cdot (1-\omega)}{(1-\omega - Xc)} = \frac{0,2 \cdot 998(1-0,002)}{1-0,002-0,2} = 249,6 \text{ кг/ м}^3$$

Комплекси  $b_1$  и  $v_0$ :

$$b_1 = \frac{\mu_{жс} \cdot r_{oc} \cdot x_m}{2\Delta P}; v_0 = \frac{R_{\phi.n.}}{r_{oc} \cdot x_m}$$

$$b_1 = 180680 \text{ с/м}^2$$

$$v_0 = \frac{60,4 \cdot 10^9}{97 \cdot 10^9 \cdot 249,6} = 0,0025 \text{ м}$$

Час фільтрації

$$\tau_{\phi} = \frac{b_1 \cdot h_{oc} \cdot (h_{oc} + 2 \cdot X_{oc} \cdot \vartheta)}{X_{oc}^2} = \frac{180680 \cdot 0,01(0,01 + 2 \cdot 0,104 \cdot 0,0025)}{0,104^2} = 1757 \text{ с}$$

Значение комплексу  $N_{пр}$ :

$$N_{пр} = \frac{V_{пр} \cdot \rho_{oc} \cdot r_{oc} \cdot X_T \cdot \mu_{пр}}{\Delta P} = \frac{1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 2393 \cdot 97 \cdot 10^9 \cdot 249,6 \cdot 10^{-3}}{0,67 \cdot 10^5} = 1210632 \text{ с/м}^2$$

бЧас, необхідний на промивання осаду:

$$\tau_{пр} = \frac{N_{пр} \cdot h_{oc} \cdot (h_{oc} + \vartheta \cdot X_{oc})}{X_{oc}} = \frac{1210632 \cdot 0,01(0,01 + 0,104 \cdot 0,0025)}{0,104} = 1194 \text{ с}$$

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Питомий об'єм фільтрату:

$$v_{ф.уд} = h_{ос}/x_{ос} = 0,01/0,104 = 0,096 \text{ м}^3/\text{м}^2$$

Приймаємо час сушіння осаду  $\tau_{об} = 120 \text{ с}$ .

Попередній час циклу:

$$\tau_{ц} = \tau_{ф} + \tau_{пр} + \tau_{об} = 1757 + 1194 + 120 = 3071 \text{ с}$$

Орієнтовна поверхня фільтрування:

$$F_{OP} = \frac{V_{ф} \cdot \tau_{ц}}{V_{ф.уд} \cdot Kn}$$
$$F_{OP} = \frac{4,3 \cdot 3071}{3600 \cdot 0,096 \cdot 0,8} = 47,7 \text{ м}^2$$

Кутова швидкість, виходячи з існуючого кута сектора зони фільтрування та розрахованого часу фільтрування:

$$\omega_1 = \frac{\varphi_{ф} \cdot \pi}{\tau_{ф} \cdot 180} = \frac{135 \cdot 3,14}{1757 \cdot 180} = 0,00134 \text{ рад/с}$$

Кутова швидкість, виходячи з необхідного часу на промивання та просушування осаду:

$$\omega_2 = \frac{(\varphi_{пр} + \varphi_{с2}) \cdot \pi}{(\tau_{пр} + \tau_{об}) \cdot 180} = \frac{103 \cdot 3,14}{1314 \cdot 180} = 0,00136 \text{ рад/с}$$

Остаточню приймаємо:  $\omega = \min\{\omega_1, \omega_2\} = \omega_1 = 0,00134 \text{ рад/с}$ .

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Час повного циклу:

$$\tau_{\text{ц}} = \frac{360 \cdot \tau_{\phi}}{\varphi_{\phi}} = \frac{360 \cdot 1757}{135} = 4685 \text{ с}$$

Загальна площа фільтрування:

$$F_{\text{обц}} = \frac{V_{\phi} \cdot \tau_{\text{ц}}}{\nu_{\phi} \cdot K_n}$$

$$F_{\text{обц}} = \frac{4,3 \cdot 4685}{3600 \cdot 0,096 \cdot 0,8} = 33 \text{ м}^2$$

Необхідна кількість фільтрів:

$$n = \frac{F_{\text{обц}}}{F_{\text{ст}}} = 33/40 = 0,825$$

Приймаємо 1 фільтр.

$$V_{\phi} = \frac{2 \cdot F_{\text{ст}} \cdot \nu_{\phi} \cdot K_n}{\tau_{\text{ц}}} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 0,096 \cdot 0,8}{4685} = 4,7 \text{ м}^3/\text{ч} > 4,3 \text{ м}^3/\text{ч}, \text{ тобто даний фільтр}$$

задовольняє умовам роботи.

### 5.3 Пневмогідравлічний розрахунок пневмосистеми компресорної станції

Розрахунковою потребою системи у стисненому повітрі є сума витрат повітря усіма працюючими споживачами (лініями) і сумарних витрат повітря у трубопроводах, арматурі та непрацюючих лініях.

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		



$$V_{i, \text{расч}} = \sum_{i=1}^n V_i + \sum_{i=1}^n q_i \quad (5.1)$$

де  $V_i$  – середні витрати стисненого повітря по лінії;

$q_i$  – втрати стисненого повітря,  $q_i = K_y \cdot V_y$ ;

$K_y$  – коефіцієнт втрат;

$$q_i = 0,25 \cdot 2260,65 = 565,16 \text{ (м}^3 \text{ / час)}$$

$$V_{i, \text{расч}} = 2260,65 + 565,16 = 2825,81 \text{ (м}^3 \text{ / час)}$$

Для забезпечення можливих режимів максимальних витрат стисненого повітря приймають:

$$V_{i, \text{max}} = K_{\text{max}} \cdot V_i \quad (5.2)$$

де  $K_{\text{max}}$  – коефіцієнт максимального навантаження

$$V_{i, \text{max}} = 1,4 \cdot 2825,81 = 3956,13 \text{ (м}^3 \text{ / час)}$$

При визначенні максимальних витрат по схемі в цілому використання останньої формули може привести до невиправдано завищеним результату, оскільки ймовірність того, що одночасно всі лінії пневмосистеми будуть споживати максимальну витрату невелика. В цьому випадку рекомендується сумарну максимальну витрату обчислювати як суму максимальної витрати однієї лінії з найбільшим споживанням стислого повітря і середніх витрат всіх інших ліній:

$$V_{\text{м.д.}} = V_{\text{max}} + \sum_{i=1}^n V_{i, \text{расч}} \quad (5.3)$$

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

де  $K_{\max}$  – коефіцієнт максимального навантаження

$$V_{\text{м.д}} = 3956,13 + 1683,04 + 1559,67 = 7198,86 \text{ (м}^3 \text{ / год)}$$

Ця величина називається максимально тривалим навантаженням і повинна бути використана як розрахункова для схеми під час вибору компресорів. Результати розрахунків зводимо до таблиці 5.1.

Режим роботи станції: 1-а зміна – 1 потік, 100 м<sup>3</sup>/хв, 2-а зміна – 2 потік, 50 м<sup>3</sup>/хв, 3-я зміна – 3-й потік, 32 м<sup>3</sup>/хв.

**Таблиця 5.1** – Результати визначення максимально тривалого навантаження (потреби) по схемі

Цех	$V_i$ , м <sup>3</sup> /год	$q_i$ , м <sup>3</sup> /год	$V_{i \text{ расч}}$ , м <sup>3</sup> /год	$V_{i \text{ тах}}$ , м <sup>3</sup> /год	$V_{\text{м.д.}}$ , м <sup>3</sup> /год
Лінія технічного азоту	2260,65	565,16	2825,81	3956,13	3956,13
Лінія підвищеної очистки	1463,51	219,52	1683,04	1756,22	1683,04
Лінія глибокої очистки	1336,98	218,47	1559,67	1738,08	1559,67
Всього:	5061,15	1007,38	6068,53	8003,37	7198,86

$$V_{\text{м.д.1}} = V_{\text{м.д.}} = 7198,86 \text{ м}^3/\text{год} = 120 \text{ м}^3/\text{хв}$$

$$V_{\text{м.д.2}} = 3956,13 + 1683,04 = 5648,17 \text{ (м}^3/\text{год)} = 94 \text{ (м}^3/\text{хв)}$$

$$V_{\text{м.д.3}} = 3956,13 \text{ м}^3/\text{час} = 65 \text{ м}^3/\text{хв}$$

Виходячи з заданого навантаження на схему (максимально тривалого навантаження  $V_{\text{м.д.}}$ ) вибираємо тип та кількість компресорів. При цьому розглядаються кілька варіантів підбору компресорів з різною їх одиничною продуктивністю.

Для кожного варіанта проводиться визначення встановленої і резервної продуктивності компресорної станції.

**Варіант 1.**  $V_K = 100 \text{ м}^3/\text{хв}$

Встановлена продуктивність компресорної станції є сумою номінальних продуктивностей всіх компресорів, встановлених на станції, включаючи резервні:

$$V_{уст} = \sum_{i=1}^n V_{ki} + V_{рез} \quad (5.4)$$

де  $V_{ki}$  – номінальна продуктивність компресора за всмоктуючим повітрям,  $\text{м}^3/\text{хв}$  (паспортна);

$V_{рез}$  – продуктивність резервних компресорів,  $\text{м}^3/\text{хв}$

$$V_{уст} = \sum_{i=1}^n V_{ki} + V_{рез}$$

$$V_{уст} = 3 \cdot 95 + 95 = 380 (\text{м}^3 / \text{мин})$$

Покриття максимального навантаження на компресорну станцію при виході з ладу найбільшого за продуктивністю компресора:

$$\eta = \frac{V_{уст} - V_K}{V_{м.д.}} \quad (5.5)$$

де  $V_K$  – продуктивність найбільшого компресора, який підлягає ремонту чи знаходиться в резерві,  $V_K = 95 \text{ м}^3/\text{хв}$

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						67
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\eta = \frac{380 - 95}{284,475} = 1,002$$

Кількість працюючих машин

$$m = \frac{V_{м.д.}}{V_K} \quad (5.6)$$

$$m = \frac{284,475}{95} = 2,99$$

Приймаємо  $m = 3$  шт.

**Варіант 2.**  $V_K = 50 \text{ м}^3/\text{хв}$

Встановлена продуктивність компресорної станції є сумою номінальних продуктивностей всіх компресорів, встановлених на станції, включаючи резервні:

$$V_{уст} = \sum_{i=1}^n V_{ki} + V_{рез} \quad (5.7)$$

де  $V_{ki}$  – номінальна продуктивність компресора за всмоктуючим повітрям,  $\text{м}^3/\text{хв}$  (паспортна);

$V_{рез}$  – продуктивність резервних компресорів,  $\text{м}^3/\text{хв}$

$$V_{уст} = \sum_{i=1}^n V_{ki} + V_{рез}$$

$$V_{уст} = 6 \cdot 50 + 2 \cdot 50 = 400 (\text{м}^3 / \text{мин})$$

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						68
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Покриття максимального навантаження на компресорну станцію при виході з ладу найбільшого за продуктивністю компресора:

$$\eta = \frac{V_{уст} - V_K}{V_{м.д.}} \quad (5.8)$$

де  $V_K$  – продуктивність найбільшого компресора, який підлягає ремонту чи знаходиться в резерві,  $V_K = 50 \text{ м}^3/\text{хв}$

$$\eta = \frac{400 - 50}{284,475} = 1,230$$

Кількість працюючих машин

$$m = \frac{V_{м.д.}}{V_K} \quad (5.9)$$

$$m = \frac{284,475}{50} = 5,69$$

Приймаємо  $m = 6$  шт.

**Варіант 3.**  $V_K = 32 \text{ м}^3/\text{хв}$

Встановлена продуктивність компресорної станції є сумою номінальних продуктивностей всіх компресорів, встановлених на станції, включаючи резервні:

$$V_{уст} = \sum_{i=1}^n V_{ki} + V_{рез} \quad (5.10)$$

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						69
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

де  $V_{ki}$  – номінальна продуктивність компресора за всмоктуючим повітрям,  $m^3/xв$  (паспортна);

$V_{рез}$  – продуктивність резервних компресорів,  $m^3/xв$

$$V_{уст} = \sum_{i=1}^n V_{ki} + V_{рез}$$

$$V_{уст} = 9 \cdot 32 + 3 \cdot 32 = 384 (m^3 / мин)$$

Покриття максимального навантаження на компресорну станцію при виході з ладу найбільшого за продуктивністю компресора:

$$\eta = \frac{V_{уст} - V_K}{V_{м.д}} \quad (5.11)$$

де  $V_K$  – продуктивність найбільшого компресора, який підлягає ремонту чи знаходиться в резерві,  $V_K = 32 m^3/xв$

$$\eta = \frac{384 - 32}{284,475} = 1,237$$

Кількість працюючих машин

$$m = \frac{V_{м.д}}{V_K} \quad (5.12)$$

$$m = \frac{284,475}{32} = 8,890$$

Приймаємо  $m = 9$  шт.

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Розрахунок об'єму ресивера

$$Q_p \geq 1,6 \sqrt{V_{мд}} \quad (5.13)$$

$$Q_p \geq 1,6 \sqrt{284,475} \geq 26,99 (\text{м}^3)$$

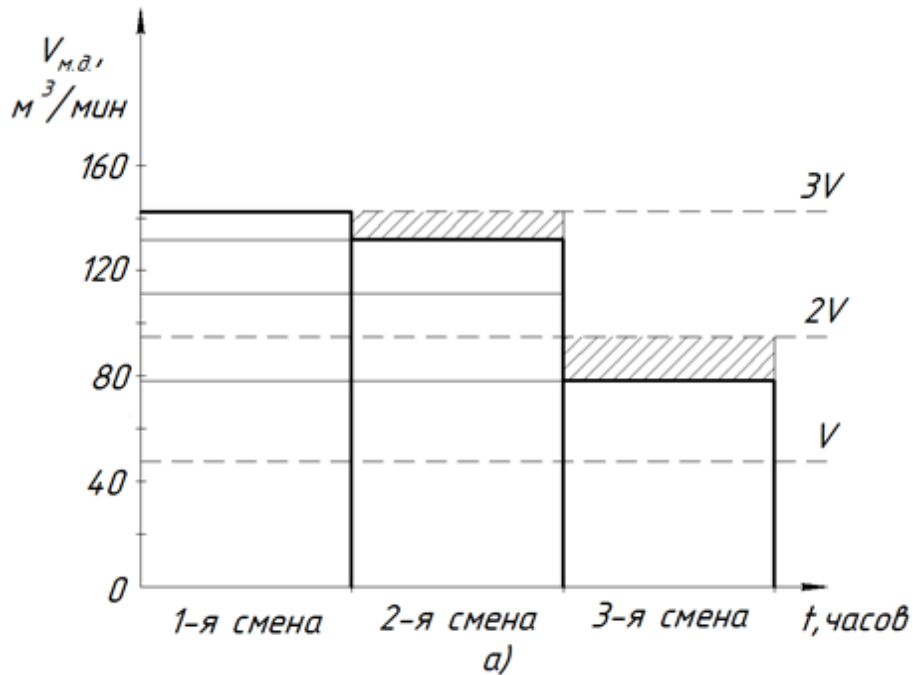
Приймаємо об'єм ресивера  $Q_p = 27 \text{ м}^3$ .

Результати розрахунку зводимо до таблиці 5.2.

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		71

Для графоаналітичної оцінки необхідно побудувати ступінчасті графіки добового навантаження на компресорну станцію, виходячи з такого сумарного споживання цехами:

- лінія технічного азоту - 3-х змінна робота;
- лінія підвищеної очистки - 2-х змінна робота;
- лінія глибокої очистки - однозмінній робота.



**Рисунок 5.4** – Графік добового навантаження компресорної станції з трьома компресорами. Споживання схем: 1 - лінія технічного азоту, 2 - лінія підвищеної очистки, 3 - лінія глибокої очистки

Розрахунок витрат на ділянках системи проводиться з кінця найдовшої з них.

Об'ємна витрата  $V_{cd} = 120 \text{ м}^3/\text{хв}$

$$\text{Масова витрата } m_{cd} = \frac{V_{cd} \cdot \rho_n}{60} = \frac{120 \cdot 1,293}{60} = 2,586 \text{ (кг/с)}$$



## Визначення внутрішніх діаметрів ділянок труб

$$d_{вн cd} = \sqrt{\frac{4 \cdot m_{cd}}{\pi \cdot \rho_{cp} \cdot v_{cd}}} \quad (5.14)$$

де  $\rho_{cp}$  – середня густина стиснутого повітря, при  $p = 7,0$  кгс/см<sup>2</sup> и  $t_{cp} = 20^{\circ}\text{C}$   
 $\rho_{cp} = 8,16$  кг/м<sup>3</sup>;

$v_{cd}$  – швидкість стиснутого повітря на ділянці с-d,  $v_{cd} = 4$  м/с

$$d_{вн cd} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,586}{3,14 \cdot 8,16 \cdot 4,0}} = 0,318 \text{ (м)}$$

Приймаємо  $d_{вн cd} = 0,30$  м

## Визначення сумарних втрат тиску на ділянці

$$\Delta p_{n cd} = \frac{\lambda_{cd}}{d_{cd}} \cdot \rho_{cd} \cdot \frac{v_{cd}^2}{2} \cdot (l_i + \sum l_e) \quad (5.15)$$

де  $\lambda_{cd}$  – коефіцієнт тертя на ділянці;

$\sum l_e$  – еквівалентні довжини, які замінили місцеві опори ділянки,  
 $\sum l_e = 4,0$  мм

$$\lambda_{cd} = 0,11 \cdot \left( \frac{K_e}{d_{cd}} \right)^{0,25} \quad (5.16)$$

де  $K_e$  – еквівалентна шорсткість труби,  $K_e = 0,16$  мм

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						73
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\lambda_{cd} = 0,11 \cdot \left( \frac{0,16}{3000} \right)^{0,25} = 0,0094$$

$$\Delta p_{n\ cd} = \frac{0,0094}{30} \cdot 8,16 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{400^2}{2} \cdot (17000 + 0,4) = 0,348 \text{ (кгс/см}^2\text{)}$$

Сумарні втрати тиску найдовшої ділянки трубопроводу

$$\Delta p_{ad} = \sum \Delta p_i \quad (5.17)$$

$$\Delta p_{ad} = 0,921 + 0,409 + 0,618 = 1,948 \text{ (кгс/см}^2\text{)}$$

Кінцевий тиск у найвіддаленішій точці трубопроводу

$$p_d = p_K - \Delta p_{ad} \quad (5.18)$$

де  $p_K$  – тиск нагнітання компресорів ВВ-100/8,  $p_K = 8$  кгс/см<sup>2</sup>

$$p_d = 8,0 - 1,948 = 6,052 \text{ (кгс/см}^2\text{)}$$

Так як  $p_d > 5,0$  кгс/см<sup>2</sup>, то значить розрахунок виконаний вірно.

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						74
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Продуктивність праці підвищується завдяки економії живого праці, економії суспільної праці шляхом підвищення якості продукції, поліпшення використання основних виробничих фондів, зменшення кількості аварій. Розвиток сучасного машинобудування йде по шляху розробки нових видів компресорних машин, верстатів, обладнання самого різного призначення, інтенсифікація їх використання за рахунок раціональних режимів експлуатації, вдосконалення технології, виробничого процесу і поліпшення профілактичного технічного обслуговування і ремонту. Необхідно, щоб праця людини протікала в сприятливих умовах, що сприяють розвитку всіх його здібностей і забезпечують високу продуктивність праці. Крім того, в процесі праці людина не повинна отримувати травми або захворіти професійним захворюванням.

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів компресорного виробництва У ГОСТ 12.0.002-1999 "ССБТ. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Класифікація» наводиться класифікація елементів умов праці, які виступають в ролі небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Вони підрозділяються на чотири групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізичні. До небезпечних і шкідливих виробничих факторів відносяться: незадовільні метеорологічні умови; забрудненість повітря виробничої пилом і шкідливими речовинами; несприятливий освітлення; шум і вібрація, що перевищують допустимі норми; підвищений рівень іонізуючих випромінювань; рухомі машини і механізми, рухомі частини виробничого обладнання, пересуваються вироби (матеріали, заготовки), що руйнуються конструкції і ряд інших чинників. Шкідливими називаються речовини, які при контакті з організмом людини в разі порушень вимог безпеки можуть викликати виробничі травми, професійні захворювання або відхилення в стані здоров'я, що визначаються сучасними методами, як в процесі роботи, так і у віддалені строки життя теперішнього і

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		75

наступних поколінь. Основними потенційними небезпеками при роботі проектного компресора можуть бути: - Вибухонебезпечність; - Пожежонебезпека; - Ураження електричним струмом. До потенційних шкідливостей відносять: - Шум при роботі агрегату; - Вібрація; - Підвищена запиленість, і загазованість повітря робочої зони; - Підвищена або знижена температура поверхонь обладнання, матеріалів; - Підвищена або знижена температура повітря робочої зони; - Підвищена або знижений барометричний тиск у робочій зоні і його різка зміна; - Підвищена або знижена вологість повітря; - Підвищена або знижена рухливість повітря.

### **6.1 Вибухонебезпека (ГОСТ 12.1.010-76 «Вибухонебезпека. Загальні вимоги»)**

Джерелами виникнення вибуху може бути: недоброякісна мастило, гідропневмоудари, знаходження агрегату в зоні пожежі і вибухонебезпечних матеріалів. Виробничі процеси повинні розроблятися так, щоб ймовірність виникнення вибуху на будь-якому вибухонебезпечному ділянці протягом року не перевищувала в розрахунку на окремий пожежонебезпечний вузол (елемент) даного об'єкта (ГОСТ 12.1.004-91 «Пожежна безпека. Загальні вимоги») або вибухонебезпечний ділянку (ГОСТ 12.1.010-76 «Вибухонебезпека. Загальні вимоги»). У разі технічної або економічної недоцільності забезпечення зазначеної ймовірності виникнення вибуху виробничі процеси повинні розроблятися так, щоб ймовірність впливу небезпечних чинників вибуху на людей протягом року не перевищував на людину (ГОСТ 12.1.010- 76). При цьому прийняте значення ймовірності виникнення вибуху на будь-якому вибухонебезпечному ділянці повинно забезпечуватися і бути погоджено в установленому порядку з органами держнагляду. Вибухонебезпечне середовище можуть утворити: - Суміші речовин (газів, парів, пилу) з повітрям і іншими окислювачами (кисень, озон, хлор, оксиди азоту та ін.); - Речовини, схильні до вибухового перетворення

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						76
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

(ацетилен, озон, гідразин та ін.). Джерелом ініціювання вибуху є: - Відкрите полум'я, палаючі і розпечені тіла; - Електричні розряди; - Теплові прояви хімічних реакцій і механічних впливів; - Іскри від удару і тертя; - Ударні хвилі; - Електромагнітний і інші випромінювання. Запобігання утворенню вибухонебезпечного середовища та забезпечення в повітрі виробничих приміщень, гірничих виробок і т. п, змісту вибухонебезпечних речовин, що не перевищує нижньої концентраційної межі займання з урахуванням коефіцієнта безпеки, повинно бути досягнуто: - застосуванням герметичного виробничого устаткування; - застосування робочої і аварійної вентиляції; - відводити, видаленням вибухонебезпечного середовища і речовин, здатних привести до її підривання; - контролем складу повітряного середовища і відкладень вибухонебезпечного пилу. Вимоги до вибухозахисту. Запобігання впливу напрацювати небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що виникають в результаті вибуху, і збереження матеріальних цінностей забезпечуються: - Встановленням невеликої кількості вибухонебезпечних речовин, які застосовуються в даних виробничих процесах; - Застосуванням вогнеперепинювачів, гідрозатворів, водяних і пилових заслонів, інертних що не підтримують горіння газових або парових завіс; - Застосуванням обладнання, розрахованого на тиск вибуху; - Обвалування і бункерування вибухонебезпечних ділянок виробництва або розміщення їх в захисних кабінах; - Захистом обладнання від руйнування під час вибуху за допомогою пристроїв аварійного скидання тиску (запобіжні мембрани і клапани); - Застосуванням швидкодіючих відсічних і зворотних клапанів; - Застосуванням систем активного придушення вибуху; - Застосуванням засобів попереджувальної сигналізації.

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						77
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

## **6.2 Пожежонебезпека (ГОСТ 12.1.004-91 «Система стандартів безпеки праці. Пожежна безпека. Загальні вимоги»**

Протипожежний захист має забезпечуватися: - Засобами пожежогасіння, а) вогнегасники за способом спрацьовування: • автоматичні (самоспрацьовують) - зазвичай стаціонарно монтуються в місцях можливого виникнення пожежі; • ручні (приводяться в дію людиною) - розташовуються на спеціально оформлених стендах; • універсальні (комбінованої дії) - поєднують в собі переваги обох вищеописаних типів. за принципом дії на осередок вогню: • газові (вуглекислотні), ПЕРЕНОСНІ: ОУ-1Всі; ОУ-2Всі; ОУ-3Всі; ОУ-5Всі, ПЕРЕСУВНІ: ОУ-10Всі; ОУ-20Усі; ОУ-40ВСЕ; ОУ-80ВСЕ • пінні (хімічні, хімічні повітряно-пінні, повітряно-пінні, повітряноемульсійні), • порошкові, ПЕРЕНОСНІ: ВП-1 (б) -АВС; ОП-1 (з) -АВС; ОП-2 (з) -АВС; ОП-3 (з) -АВС; ОП-4 (з) -АВС; ОП-4 (г) -АВС; ОП-8 (з) -АВС; ОП-8 (г) -АВС Пересувні: ВП-50 (з) -ВСІ ОП-100 (з) -ВСІ • водні. ПЕРЕНОСНІ: ОВП-4 (з) АВ; ОВП-8 (з) АВ, ПЕРЕСУВНІ: ОВП-50 (з) АВ; ОВП-100 (з) АВ - Автоматичними установками пожежної сигналізації та пожежогасіння; - Засобами індивідуального та колективного захисту людей від небезпечних факторів пожежі (щити, бори, пісок) Основними вогнетривкими речовинами є вода, хімічна і повітряно-механічна піни, водні розчини солей, інертні і негорючі гази, водяна пара, галоїдноуглеводородні вогнегасні склади і сухі вогнегасні порошки , У виробничому приміщенні застосовуються, головним чином, вуглекислотні вогнегасники, перевагою яких є висока ефективність гасіння пожежі, схоронність електронного устаткування. Діелектричні властивості, дозволяють використовувати дані вогнегасники в разі неможливості знеструмлення агрегату.

## **6.3 Ураження електричним струмом Вимоги з електробезпеки регламентовані ГОСТ 12.1.030 - 81 «Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення ».**

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						78
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Основними джерелами ураження електричним струмом є: - Випадкове дотик до токонесучих частин, що знаходяться в даний момент під напругою; - Несправність захисних засобів, за допомогою яких відбувається контакт робочого з струмоведучими частинами; - Поява напруги на металевих частинах виробничого обладнання (огорожах, корпусах і ін.) Нормально не знаходяться під напругою. Останнє відбувається в результаті пошкодження ізоляції струмоведучих частин електрообладнання; - Контакт металевого обладнання з приводом, що знаходяться під напругою Результат впливу електричного струму на людину може призводити до наступного: виникають порушення діяльності життєво важливих органів людини (мозок, серце, легені); опіки окремих ділянок тіла; нагрів кровоносних судин, а також, що супроводжують перебіг по тілу електричного струму, судомні скорочення м'язів серця і легень, аж до повного припинення діяльності органів дихання і кровообігу. Захисне заземлення або занулення електроустановок слід виконувати: - При номінальній напрузі і вище змінного струму і вище постійного струму в усіх випадках; - При номінальній напрузі від до змінного струму і від до постійного струму при роботах в умовах з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних по ГОСТ 12.1.013-78 «Система стандартів безпеки праці. Будівництво. Електробезпека. Загальні вимоги ». Заходи, що запобігають вплив електричного струму на людину передбачені ПУЕ. Для забезпечення захисту від випадкового дотику до струмоведучих частин необхідно застосовувати: - Захисні огорожі; - Ізоляція струмоведучих частин; - Захисні відключення; - Засоби індивідуального захисту; - Захисне заземлення (при пошкодженні ізоляції).

4.5 Шум при роботі агрегату (ГОСТ 12.1.003-83 «Шум») Характеристики та допустимі рівні шуму на робочому місці. Характеристикою постійного шуму на робочих місцях є рівні звукового тиску в в октавних смугах з середньгеометричними частотами. Для орієнтовної оцінки можна користуватися величиною рівня звуку в децибелах за шкалою А. Характеристикою непостійного шуму на робочих

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						79
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

місцях є інтегральний критерій - еквівалентний (по енергії) рівень звуку в А, який визначається відповідно до довідковим додатком. Додатково для коливного в часі і переривчастого шуму обмежують максимальні рівні звуку в А, виміряні на тимчасовій характеристиці «повільно», а для імпульсного шуму - максимальний рівень звуку в А1, виміряний на тимчасовій характеристиці «імпульс». Допускається як характеристики непостійного шуму використовувати дозу шуму або відносну дозу шуму. Допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях слід приймати: для широкосмугового постійного та непостійного (крім імпульсного) шуму - по таблиці. Захист від шуму. При розробці технологічних процесів, проектуванні, виготовленні та експлуатації машин, виробничих будівель і споруд, а також при організації робочого місця мають бути вжиті всі необхідні заходи щодо зниження шуму, що діє на людину на робочих місцях, до значень, що не перевищують допустимі: - Розробкою шумобезопасной техніки; - Застосуванням засобів і методів колективного захисту по ГОСТ 12.1.029-80 "Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація »; - Застосуванням засобів індивідуального захисту по ГОСТ 12.4.051-78 «Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні вимоги та методи випробувань». Зони з рівнем звуку або еквівалентним рівнем звуку повинні бути позначені знаками безпеки за ГОСТ 12.4.026-76 «Кольори сигнальні і знаки безпеки». Працююча в цих зонах адміністрація зобов'язана забезпечувати засобами індивідуального захисту згідно з ГОСТ 12.4.051-78 На підприємствах, в організаціях та установах повинен бути забезпечений контроль значень шуму на робочих місцях не рідше одного разу на рік. Загальні вимоги безпеки »при тривалій безперервній роботі компресорів не повинен перевищувати 85 за шкалою« А ». Якщо рівень звуку перевищує цей рівень, необхідно вжити заходів до зниження виробничого шуму до встановленої величини. Це можна здійснити шляхом: - Розміщення компресорів в звукоізоляційній камері; - Застосування

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						80
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		



віброізолюючих підстав будівельних конструкцій будівлі компресорної станції; - Застосування звукоізолюючих прокладок в місцях з'єднання компресора з повітропроводами і іншими частинами, а також спеціальних глушників па повітропроводах продувки судин і вихлопу повітря в атмосферу; - Установки металевих щитів у фільтрів всмоктування повітря; - Покриття глушників, стін і дахів в приміщенні компресорної станції звукопоглинальними матеріалами; - Машиністам рекомендується застосовувати спеціальні шоломи. Шумові характеристики машин або граничні значення шумових характеристик повинні бути вказані в паспорті на них, керівництві (інструкції) з експлуатації або іншій супровідній документації.

4.6 Вібрація регламентуються ГОСТ 12.1.012-96 «Вібраційна безпека. Загальні вимоги» Характерною шкідливістю для багатьох видів обладнання є вібрація. Вона виникає при роботі агрегату, при наявності в ньому неврівноважених силових взаємодій (найчастіше вони періодичні). Джерелами виникнення вібрації є: - Неврівноважені обертові маси агрегату; - Удари деталей (зубчасті зачеплення, підшипникові вузли); - Дефекти і розпушеності з'єднань окремих частин машини. Основним способом забезпечення віробезпечного має бути створення і застосування віробезпечних машин. Віробезпечного праці повинна забезпечуватися: - Дотриманням правил та умов експлуатації; - Підтримкою належного технічного стану машини; - Своєчасним проведенням планово-попереджувальних ремонтів; - Застосуванням засобів індивідуального захисту від вібрацій. Найбільш небезпечним діянням вібрації є вплив її на людину обслуговуючого обладнання. Вплив вібрації на людину-оператора, тобто людини більшу частину часу перебуває в безпосередній близькості з машиною, класифікується: - За способом передачі вібрації на людину; - У напрямку дії вібрації; - По тимчасовій характеристиці вібрації. Як фактори, що впливають на ступінь і характер несприятливого впливу, повинні враховуватися: - Ризик (імовірність) прояви різних патологій, аж до

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						81
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

професійної вібраційної хвороби; - Показники фізичного навантаження і нервово-емоційної напруги; - Вплив супутніх чинників посилюють вплив вібрації (охолодження, вологість, шум і т.п.); - Тривалість і уривчастість впливу вібрацій; - Тривалість робочої зміни. 4.7 Запобіжні пристрої від підвищення тиску ГОСТ 12.2.085-2002. «Судини, що працюють під тиском. Клапани запобіжні. Вимоги безпеки» Як запобіжні пристрої застосовуються:

- 1) Пружинні запобіжні клапани;
- 2) Важільно -вантажні запобіжні клапани;
- 3) імпульсні запобіжні пристрої (ІЗП), що складаються із головного запобіжного клапана (ГЗК) і керуючого імпульсного клапана (ІПК) прямої дії
- 4) Запобіжні пристрої з руйнівними мембранами (мембранні запобіжні пристрої);
- 5) Інші пристрої, застосування яких узгоджено з Держнаглядохоронпраці України. Конструкція пружинного клапана повинна виключати можливість затягування пружини понад встановлену величин, а пружина має бути захищена від недопустимого нагріву (охолодження) і безпосередньо дії робочого середовища, якщо вона погано впливає на матеріал пружини. Конструкція пружинного клапана повинна передбачати пристрій для перевірки справності дії клапана в робочому стані способом прінудительноо відкривання його під час роботи. Посудина, розрахована на тиском менше тиску яке її живить, повинна мати на підвідному трубопроводі автоматичний редуцирующие пристрій з манометром і запобіжним пристроєм, установленим на боці меншого тиск після пристрій для редукування тиску. У разі встановлення обвідної лінії (байпаса) вона також повинна бути оснащена редуцирующим пристроєм. Для групи посудин, що працюють при одному і тому ж тиску, допускається встановлювати один пристрій для редукування тиску з манометром і запобіжним клапаном на загальному підводящим трубопроводі до першого відгалуження до однієї з посудин. У цьому випадку встановлювати запобіжні пристрої на самих посудинах не обов'язкова, якщо в них виключена можливість підвищення тиску. Кількість запобіжних клапанів, їх розміри і пропускна здатність

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						82
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

повинні бути вибрані за розрахунком так, щоб в посудині не міг утворитися тиск, який перевищує надмірний робочий тиск більш ніж на 0,05 МПа (0,5 кгс/см<sup>2</sup>) для посудин тиском до 0,3 МПа (3 кгс/см<sup>2</sup>), на 15% - для судин з тиском від 3 до 6,0 МПа (30 ... 60 кгс/см<sup>2</sup>), на 10 і% - для судин з тиском вище 6,0 МПа (60 кгс/см<sup>2</sup>). Якщо працюють запобіжні клапани, то допускається перевищення тиску в посудині не більше як на 25% робочого за умови, що це перевищення передбачене проектом і відображене в паспорті посудини. Запобіжні пристрої повинні встановлюватися на патрубках або трубопроводах, безпосередньо до посудини. Приєднувальні трубопроводи запобіжних пристроїв (підвідні, відвідні, дренажні) мають бути захищені від замерзання в них робочого середовища. При установці на одному патрубку (трубопроводі) встановлюють кілька запобіжних клапанів площею поперечного перерізу патрубка (трубопроводу) повинна бути не менше 1,25 сумарної площі перетину клапанів, встановлених на ньому. При визначенні перетину приєднувальних трубопроводів довжиною понад 1000 мм необхідно також враховувати величину їх опорів. Відбір робочого середовища з патрубків (і на ділянках приєднувальних трубопроводів від посудини до клапанів), на яких встановлені запобіжні клапани, не допускається. Арматура перед (за) запобіжним клапаном може бути встановлена за умови монтажу двох запобіжних клапанів і блокування, що виключає можливість одночасного їх відключення. У цьому випадку кожен з них повинен мати пропускну здатність, передбачену ст. цих Правил. При встановленні групи запобіжних клапанів та арматури перед (за) ними блокування повинна бути виконана таким чином, щоб при будь-якому передбаченому проектному варіанті відключення клапанів залишені включеними запобіжні клапани мали сумарну пропускну здатність передбачені пунктами цих правил. Відвідні труби запобіжних пристроїв та імпульсні лінії ІПУ в місцях можливого скупчення конденсату повинні бути обладнані, дренажними пристроями для видалення конденсату. Встановлення

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						83
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

запірних органів або іншої арматури на дренажних трубопроводах не допускається. Середовище, що виходить із запобіжних пристроїв і дренажів, повинна відводиться в безпечне місце. Мембранні запобіжні пристрої встановлюються: 1) замість важільно-вантажних і пружинних запобіжних клапанів. Коли вони в робочих умовах конкретного середовища не можуть бути застосовані внаслідок їх інерційності або інших причин; 2) перед запобіжними клапанами у випадках коли запобіжні клапани не можуть надійно працювати внаслідок шкідливої дії робочого середовища (корозія, ерозія, полімеризація, кристалізація, прилипання, замерзання) або можливих витікань через закритий клапан вибухо- і пожежонебезпечних, токсичних, екологічно шкідливих речовин. У цьому випадку повинен бути передбачений пристрій, що дозволяє контролювати мембрани; 3) паралельно із запобіжним клапаном для збільшення пропускної здатності систем скидання тиску; 4) на вихідній стороні запобіжних клапанів для запобігання шкідливої дії робочих середовищ з боку скидної системи і для виключення впливу коливання протитиску з боку цієї системи на точність спрацювання запобіжних клапанів. Необхідність і місце установки мембранних запобіжних пристроїв і їх конструкцію визначає проектна організація. На виготовлення мембран підприємство повинно мати дозвіл органів Держнаглядохоронпраці. Кожна запобіжна мембрана повинна мати заводське клеймо із зазначенням тиску спрацювання, допустимої робочої температури експлуатації. Паспорт видається на всю партію однотипних мембран, направляємих одному споживачеві. До паспорта має бути докладено технічна документація на противакуумні опори, на живі леза, що затискають інші елементи, в зборі з якими допускається в експлуатацію мембрани даної партії. Паспорт повинен бути підписаний керівником підприємства - виробника, підпис якого скріплюється печаткою. Мембранні запобіжні пристрої повинні розміщуватися в місцях, відкритих і доступних для огляду і монтажу і демонтажу, приєднувальні трубопроводи повинні бути захищені від

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						84
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

замерзання в них робочого середовища, а пристрій повинен встановлюється на патрубках. Порядок і терміни перевірки справності дії клапанів, запобіжних і мембранних пристроїв в залежності від умов технологічного процесу повинні бути вказані в інструкції з експлуатації запобіжних пристроїв, розроблений відповідно до вказівки підприємства-виробника і затверджений в установленому порядку.

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		85

## ВИСНОВКИ

1. Виконаний аналітичний огляд джерел інформації по азотно-мембранним технологіям.
2. Розроблена і обґрунтована загальна схема системи забезпечення підприємства з трьома потоками азоту різного класу забруднення.
3. Виконано проектний розрахунок повітряного гвинтового компресора для станції.
4. Виконано вибір типів сучасних апаратів для підготовки повітря до мембранного блоку і азоту на розподільчих лініях.
5. Виконано гідравлічний розрахунок пневмосистеми компресорної станції.

					КМ 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		86

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин/ Е.М. Бамбушек и др. –Л.: Машиностроение, 1987.– 423с.
2. Холодильные машины/ Н.Н. Кошкин и др. –Л.: Машиностроение, 1985. –510с.
3. Холодильные компрессоры: справочник из серии “Холодильная техника”/ за ред. А.В. Быкова. –М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981.- 280с.
4. Бондаренко, Г. А. Компресорні станції [Текст] : підручник / Г. А. Бондаренко, Г. В. Кирик. – Суми : СумДУ, 2016. – 385 с.
5. Жарков, П. Е. Газовые компрессорные станции: опыт разработки [Текст] : монография / П. Е. Жарков, Г. А. Бондаренко, В. Н. Радзиевский. – Сумы : Университетская книга, 2015. – 285 с.
6. Охорона праці: Конспект лекцій/ Укладач А.Ф. Денисенко.– Суми: Вид-во СумДУ, 2007.– Ч.2.– 130с.
7. Юдин Е.Я. Охрана труда в машиностроении.– М.: Машиностроение, 1983.– 427с.
8. НПАОП 0.00-1.69-13 "Правила охорони праці під година експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій, теплових ятерів і тепловикористовувальних установок".

					KM 02.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						87
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		