

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

здобувача за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»
освітньо-професійної програми «Компресори, пневмоагрегати та вакуумна техніка»
на тему «Проектування гвинтового маслозаповненого
компресора»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Завідувач кафедри

С. М. Ванєєв

Керівник роботи

Є. М. Олада

Здобувач
Група

Б. С. Лічман
ХК-71-9

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 3 |
| ВИХІДНІ ДАНІ | 11 |
| 1 РОЗРАХУНОК ГВИНТОВОГО КОМПРЕСОРА | 12 |
| 1.1 Тепловий розрахунок..... | 12 |
| 1.2 Конструктивний розрахунок..... | 17 |
| 2 ОХОРОНА ПРАЦІ | 24 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 33 |
| ДОДАТОК А..... | 35 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------|------|-------------|--------|------|--|--|--|----------------|-------|---------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | | | | | |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата | Проектування гвинтового маслозаповненого компресора | | | Літ. | Аркуш | Аркушів |
| Розроб. | | Лічман | | | | | | 2 | 36 | |
| Перевір. | | Олада | | | Пояснювальна записка | | | СумДУ, ХК-71-9 | | |
| Н. контр. | | Шарапов | | | | | | | | |
| Затв. | | Ванєєв | | | | | | | | |

ВСТУП

Гвинтові компресори відносяться до класу компресорів об'ємного принципу дії. Підвищення тиску пари (газу) в них досягається за рахунок зменшення замкнутого об'єму, який створюється впадинами гвинтів і стінками корпусу.

Гвинтові компресори є швидкохідними машинами, вони не мають всмоктувальних і нагнітальних клапанів, їх обертові робочі органи – гвинти – працюють, як правило, не торкаючись один одного і корпусу. Взаємне торкання тільки гвинтів допускається при подачі в компресор змащувальної рідини.

Залежно від фазового стану, співвідношення фаз і складу робочої речовини гвинтові компресори поділяються на такі типи:

- 1) гвинтові маслозаповнені компресори (ГМК);
- 2) гвинтові компресори сухого стиснення (ГКС), в яких основні деталі можуть охолоджуватися паром або рідиною;
- 3) гвинтові компресори мокрого стиснення, що працюють з уприскуванням в робочі порожнини порівняно невеликої кількості рідини, головним чином, з метою зниження температури пари (газу), що стискається [1].

У холодильній техніці на даний час застосовуються переважно гвинтові маслозаповнені компресори як в парових, так і в газових компресорних холодильних машинах. Масло в робочі порожнини впорскується в значній кількості. Воно призначене для ущільнення зазорів між робочими органами компресора; для відводу теплоти стиснення пари та від нагрітих деталей; для змащення компресора і для зниження рівня звуку.

За кількістю основних деталей – роторів – гвинтові компресори можуть бути одно-, дво- і багатороторними. Останні не отримали застосування. Деяке застосування знайшли однороторні компресори. Найбільше

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 3 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

поширення набули двороторні гвинтові компресори. На малюнку В1 показана конструктивна схема двороторного гвинтового маслозаповненого компресора (ГМК).

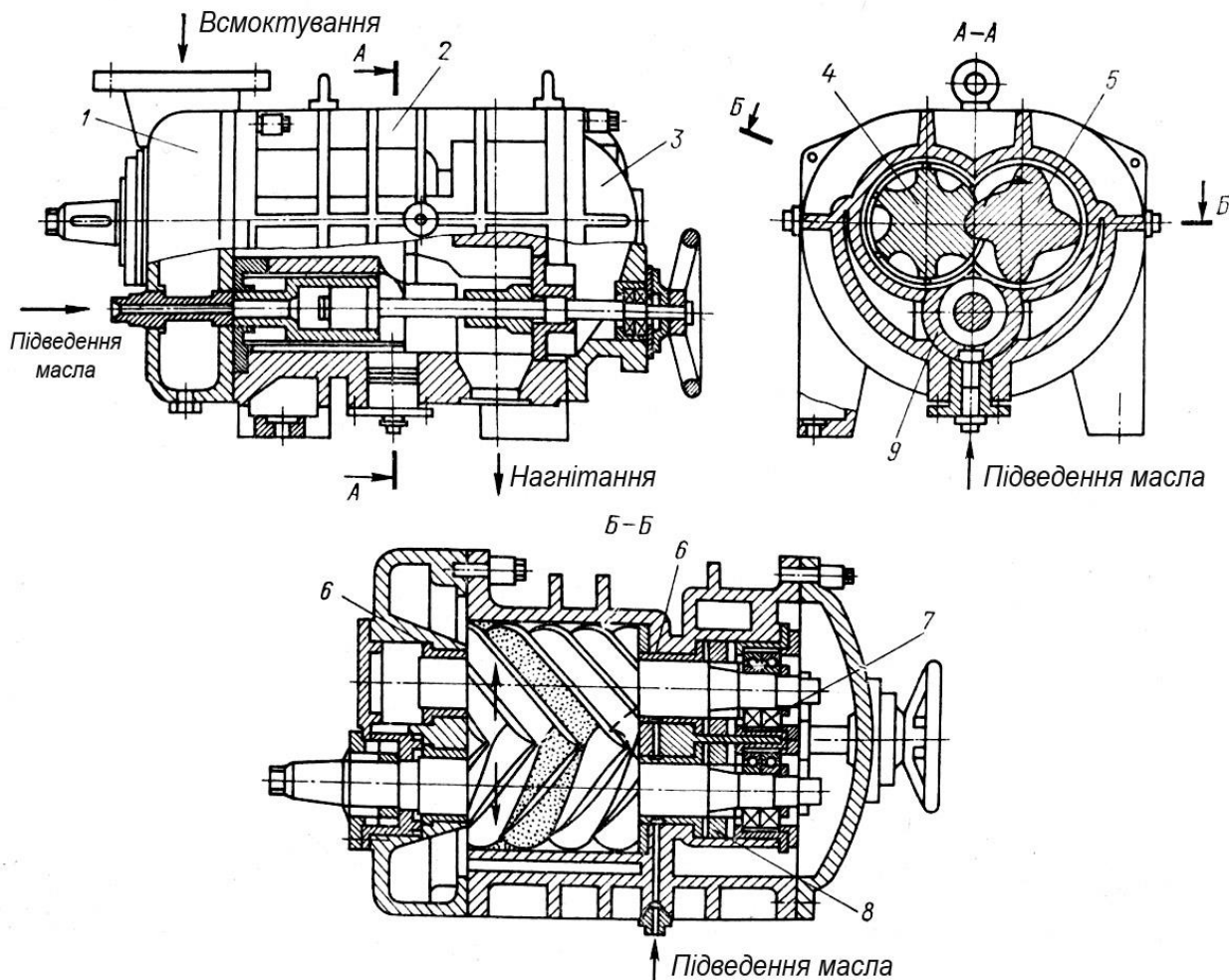


Рисунок В1 – Двороторний гвинтовий маслозаповнений компресор

Компресор складається з корпусу 2, що має вертикальний роз'єм, передньої кришки 1 з камерою всмоктування і задньої кришки 3. В циліндричних розточках корпусу містяться ведучий 5 і ведений 4 ротори, які обертаються в опорних підшипниках ковзання 6 (або кочення). Ведучий ротор з'єднується з двигуном. Він має випуклі широкі зубці. Ведений гвинт має увігнуті і тонкі зубці. На середній потовщеній частині ротора нарізані зубці ведучого і веденого гвинтів, що входять у взаємне зачеплення, подібно

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | 4 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | | | | |

КМ 03.00.00.00 ПЗ

зубчастим колесам. Осьові сили, що діють на ротори, сприймають упорні підшипники 7. Частину осьової сили знімають розвантажувальні поршні 8. У нижній частині корпусу – в області стиснення пара – у циліндричній розточці розміщений золотник 9, який призначений для регулювання продуктивності компресора. Від провертання навколо своєї осі його захищає напрямна шпонка, що дозволяє в той же час вільно переміщатися золотнику уздовж осі.

Наявність золотника є характерною особливістю не тільки холодильних гвинтових компресорів. В останні роки виробники почали випускати також і повітряні (газові) гвинтові маслозаповнені компресори із золотниковим регулюванням продуктивності.

Гвинти можуть мати різне число заходів (зубців), проте практикою встановилося число заходів гвинтів рівне 4 на ведучому і 6 на веденому, що умовно позначається 4/6 (або схема 4/6). Схема гвинтів 4/6 дозволяє мати досить жорсткі вали роторів компресора при однакових зовнішніх діаметрах гвинтів.

З огляду на необхідність дотримання малої величини зазорів між гвинтом і корпусом жорсткість валу повинна бути такою, щоб прогин ротора не перевищував 0,25 зазору між гвинтами і корпусом [2, с. 15].

У компресорах сухого, а також мокрого стиснення взаємний дотик гвинтів не допускається і тому синхронізація їх обертання досягається завдяки наявності пари зубчастих коліс – шестерень зв'язку, розташованих відповідно на валах ведучого і веденого гвинтів. Крім того, шестерні зв'язку передають зазвичай невеликий крутний момент з одного ротора на інший.

У другій половині ХХ століття з'явилися гвинтові компресори, що працюють з уприскуванням масла, які отримали назву маслозаповнених. Їх конструкція порівняно з компресорами сухого стиснення і машинами, що працюють з уприскуванням крапельної рідини, яка не має змащувальних властивостей, дещо спростилася. Виявилися зайвими шестерні зв'язку, так як при наявності мастила допускається взаємний дотик гвинтів компресора, чим

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 5 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

і забезпечується їх кінематичний зв'язок. Спростилися вузли ущільнень і підшипників.

Принцип дії дворотного гвинтового компресора (див. рис. В1). При розгляді принципу дії гвинтового компресора, необхідно мати на увазі таке: корпус компресора має вікно всмоктування і вікно нагнітання, розташовані приблизно по діагоналі, якщо дивитися збоку на циліндричні розточки (отвори) для гвинтів; гвинти представляють собою косозубі крупномодульні циліндричні шестерні постійного осьового кроку із зубцями спеціального профілю. Зубці парних гвинтів при взаємній обкатці утворюють теоретично беззазорне зачеплення. У порожнині (впадини) між зубцями з камери через вікно всмоктування надходить пар.

Вікно всмоктування займає тільки частину (хоча і велику) торцевої площі, що ометається зубцями гвинта. Вікно нагадує грецьку літеру ω , бо має перемичку.

Всмоктування починається в той момент, коли чергові порожнини ведучого і веденого гвинтів підійдуть і потім з'єднаються з вікном всмоктування. До цього моменту лише частина об'єму порожнин звільнилася від зубців. У міру обертання гвинтів об'єм порожнин, що вивільнюється, збільшується, процес всмоктування триває.

У певний момент торці впадин гвинтів підходять до перемички вікна і від'єднуються від камери всмоктування, після чого починається процес перенесення газу, помітно виражений зазвичай у веденого гвинта.

При подальшому обертанні порожнини ведучого і веденого гвинтів, починаючи з порожнини ведучого поступово заповнюються зубцями парного гвинта.

Об'єми порожнин, заповнені парою, поступово зменшуються, оскільки після закінчення процесів всмоктування і перенесення порожнини ще не підійшли до вікна нагнітання, що знаходиться з протилежного торця гвинтів, і не з'єдналися з ним. Пар, рухаючись уздовж порожнин гвинтів в сторону

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 6 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

торця (і камери) нагнітання, одночасно стискається і його тиск підвищується.

Вікно нагнітання, розташоване здебільшого з торця і частково збоку гвинтів в корпусі компресора, має такі розміри, які забезпечують, з одного боку, отримання заданого внутрішнього тиску стиснення пари в порожнинах гвинтів, з іншого – прийнятну швидкість руху пари через вікно нагнітання. У момент з'єднання порожнин з вікном нагнітання закінчується процес внутрішнього стиснення в компресорі і починається процес нагнітання (виштовхування) робочої речовини. Необхідно мати на увазі, що робочі порожнини ведучого і веденого гвинтів, в яких здійснюється в даний момент процес стиснення, в силу своїх геометричних форм завжди з'єднані між собою і утворюють одну парну порожнину. Таким чином, порожнини, які ідуть одна за одною при обертанні гвинтів, заповнюються парою з торця всмоктування і звільняються від неї з протилежного торця – нагнітання, причому жодна парна порожнина не може бути з'єднаною одночасно з камерами всмоктування і нагнітання [1].

У гвинтовому компресорі, як і у всіх машинах об'ємного стиснення, процеси всмоктування, перенесення, стиснення і нагнітання мають циклічний характер, суворо йдучи один за іншим. Їх частота визначається частотою обертання ведучого гвинта n і числом його впадин (зубців) z . При $n = 50 \text{ c}^{-1}$ та $z = 4$ частота циклів в секунду становитиме $nz = 200$, що практично сприймається як безперервна подача робочої речовини.

Робочі зазори в гвинтових компресорах істотно впливають на об'ємні і енергетичні показники машин. У гвинтових компресорах сухого стиснення зазори зазвичай істотно більші, ніж у маслозаповнених.

Важливою перевагою двоторних гвинтових маслозаповнених компресорів є можливість регулювання їх продуктивності в широкому діапазоні: від повної до приблизно 15%. Рухаючись уздовж осі в сторону торця нагнітання, золотник відкриває доступ пари з робочих порожнин в камеру всмоктування, тим самим фактично скорочує робочу довжину гвинтів

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 7 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

отже, і продуктивність компресора. Під час пуску компресора необхідно зменшити до мінімуму споживану їм потужність. З цією метою золотник переміщують в крайнє положення, в сторону нагнітання, тим самим забезпечуючи мінімальну продуктивність компресора і відповідно мінімальну пускову потужність.

Техніко-економічна характеристика ГМК.

Частота обертання ведучого ротора компресора зазвичай становить від 200 с^{-1} (12000 об/хв) до 30 с^{-1} (1500 об/хв) залежно від діаметра гвинтів, забезпечуючи оптимальне значення основного кінематичного показника – окружної швидкості на зовнішньому колу гвинта. Остання для маслозаповнених компресорів повинна знаходитися в межах від 28 до 55 м/с залежно від ступеня підвищення тиску, типу робочої речовини, профілю зубців.

Висока економічна ефективність і технічна доцільність застосування гвинтових компресорних машин визначаються їх наступними основними властивостями:

1) пологі характеристики $\eta_v = f(\varepsilon_n; n)$ і $\eta_{ad} = f(\varepsilon_n; n)$, що дозволяють експлуатувати гвинтові компресорні машини в широкому діапазоні продуктивностей і тисків без істотних відхилень від оптимальних значень ККД;

2) відсутність функціонального зв'язку між числом оборотів компресора і його ступенем стиснення, що дозволяє мати потрібну ступінь стиснення при будь-яких оборотах компресора;

3) швидкохідність, що забезпечує малу вагу і малі габарити гвинтових компресорних машин і дає можливість прямого з'єднання з сучасними швидкохідними двигунами, тобто дозволяє скомпонувати малогабаритну, просту і легку компресорну установку;

4) висока питома продуктивність, яка припадає на одиницю ваги і площі гвинтової компресорної машини, що дає можливість значно підвищити

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 8 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

кількість корисної продукції, яка знімається з одиниці площі приміщення цеху компресії, а також знизити металоємність машини;

5) виключно високий ступінь надійності гвинтових компресорних машин і високий моторесурс завдяки простоті конструкції, відсутності деталей, що здійснюють зворотно-поступальний рух, відсутності клапанів, поршневих кілець або інших деталей, які часто виходять з ладу; відсутність деталей, які легко піддаються вібрації;

6) повна врівноваженість роторів компресора, що дозволяє відмовитися від важких і громіздких фундаментів;

7) висока рівномірність подачі газу, завдяки чому відпадає необхідність у влаштуванні громіздких газозбірників;

8) відсутність помпажа;

9) можливість стиснення вологого газу, що містить крапельну рідину (наприклад, воду, масло і т. ін.) у кількостях, які значно перевищують вагу сухого газу, що стискається, без якого-небудь зниження моторесурсу;

10) можливість стиснення сильно забруднених газів без зниження моторесурсу. Причому і продуктивність, і економічність в цьому випадку з часом не зменшуються, громіздкі і дорогі фільтри стають зайвими;

11) можливість стиснення будь-яких газів, в тому числі з малою питомою вагою (гелій, водень і ін.), завдяки об'ємному принципу дії гвинтової компресорної машини;

12) низькі експлуатаційні витрати – незначні витрати мастила, охолоджувальної води для машин сухого стиснення, нечасті ремонти, можливість переведення на дистанційне або автоматичне керування.

Зазначений перелік переваг гвинтових компресорних машин показує, що ці машини поєднують в собі всі позитивні якості поршневих і відцентрових компресорних машин і позбавлені їх недоліків. Ці переваги в сукупності і забезпечують низьку вартість їх серійного виробництва та експлуатації при виключно високій надійності і довговічності.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

Основні переваги і особливості маслозаповнених гвинтових компресорів.

1. Висока ступінь стиснення газу (повітря) в одному ступені, яка в окремих випадках може досягати 14. Таке високе стиснення в одному ступені стало можливим завдяки подачі великої кількості масла в порожнини компресора, ущільнення маслом щілин, охолодженню їм газу і деталей компресора.

2. Окружні швидкості гвинтів у маслозаповнених гвинтових компресорних машин значно нижче, ніж у машин сухого стиснення, що також стало можливим насамперед завдяки ущільненню щілин маслом і скорочення протікання газу через них.

3. При всмоктуванні і стисненні повітря з атмосфери у маслозаповненого компресора відпадає необхідність в ущільненні валів на стороні всмоктування; в ущільненні валів на нагнітанні, істотно спрощуються і скорочуються їх розміри.

4. Маслозаповнені гвинтові компресорні машини не потребують глушників внаслідок зниження рівня шуму через більш низькі окружні швидкості роторів; через поглинання звукових хвиль маслом, а також тому, що роль глушника на нагнітанні виконують маслозбірник і масловіддільник.

5. Зниження температурного перепаду в компресорі зменшує та стабілізує теплові деформації його деталей, що дозволяє зменшити в порівнянні з машинами сухого стиснення зазори між гвинтами і між гвинтами і корпусом. Цьому сприяє також застосування підшипників кочення.

Високі техніко-економічні показники гвинтових компресорних машин сприяють широкому поширенню і застосуванню гвинтових машин в самих різних галузях промисловості.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 10 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

ВИХІДНІ ДАНІ

Виконати тепловий та конструктивний розрахунок гвинтового маслозаповненого компресора з приводом від зовнішнього електродвигуна.

Параметри:

- робоче тіло – повітря;
- тиск всмоктування 760 мм рт.ст. ;
- тиск нагнітання $p_n = 600 \text{ кПа}$;
- об'ємна продуктивність, зведена до умов всмоктування $V_o = 50 \text{ м}^3/\text{хв}$;
- профілі гвинтів – двосторонні;
- профіль зуба ведучого гвинта – еліптичний симетричний;
- температура всмоктування повітря $t_{вс} = -10 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура масла на вході в компресор $t_{1M} = 36 \text{ }^\circ\text{C}$;
- масло, що подається в ГМК, ХА-30.

Крутний момент з валу приводного двигуна на вал ведучого гвинта передається за допомогою зубчастої передачі з ККД $\eta_{пер} = 0,97$.

Число зубців ведучого гвинта компресора $z_1 = 4$, веденого гвинта $z_2 = 6$ (за умови рівномірності гвинтів). Передаточне відношення від ведучого гвинта до веденого $i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = 1,5$.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 11 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

1 РОЗРАХУНОК ГВИНТОВОГО КОМПРЕСОРА

1.1 Тепловий розрахунок

Принципова схема компресорної установки і процеси стиснення в h,p -діаграмі з подачею масла (м), адіабатний (s) і без подачі масла (сухе стиснення) представлені на рисунку 2.1.

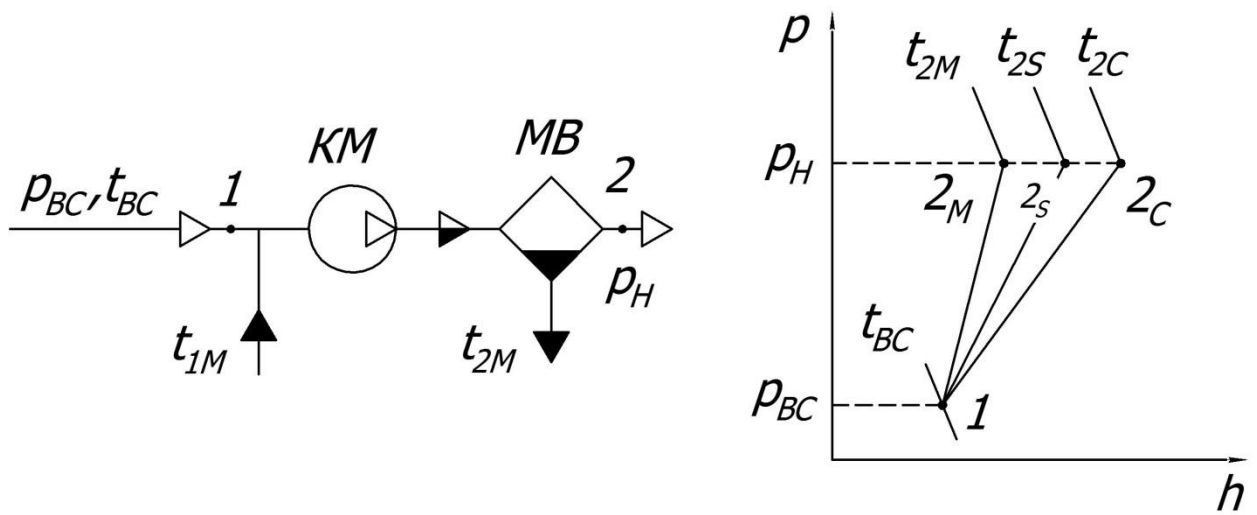


Рисунок 2.1 – Принципова схема компресорної установки і процеси стиснення в h,p -діаграмі

Точка 1, яка відповідає стану повітря на вході в компресор, знаходиться на перетині ізотерми $t_{bc} = \text{const}$ з ізобарою $p_{bc} = \text{const}$, а точки 2_м, 2_с і 2_с, що характеризують стан повітря на нагнітання компресора після його стиснення, відповідно з поданням масла, адіабатного і без подання масла, знаходяться на перетині відповідних ізотерм t_{2m} , t_{2s} і t_{2c} з ізобарою $p_H = \text{const}$.

Температура повітря після його адіабатного стиснення в ГМК

$$T_{2s} = T_1 \left(\frac{p_H}{p_{bc}} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 263 \cdot \left(\frac{600 \cdot 10^3}{101396} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 437 \text{ } ^\circ\text{C},$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 12 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

де тиск всмоктування дорівнює

$$p_{ec} = \rho \cdot g \cdot h_{ec} = 13600 \cdot 9,81 \cdot 0,760 = 101396 \text{ Па},$$

де $\rho = 13600 \text{ кг/м}^3$ – густина ртуті;

температура всмоктування повітря дорівнює

$$T_{ec} = t_{ec} + 273 = -10 + 273 = 263 \text{ К}.$$

Зовнішнє відношення тисків таке

$$\pi_n = \frac{p_n}{p_{ec}} = \frac{600 \cdot 10^3}{101396} = 5,9.$$

Температура масла після стиснення в ГМК [3, с. 6]

$$t_{2M} = t_{1M} + \Delta t_M = 36 + 44 = 80 \text{ }^\circ\text{C},$$

де $\Delta t_M = 30 \dots 50 \text{ }^\circ\text{C} = 44 \text{ }^\circ\text{C}$ – підвищення температури масла в компресорі (більші значення беруться для ГМК з більшим зовнішнім відношенням тисків $\pi_n = p_n / p_{ec}$). У цих температурних межах середні властивості масла ХА-30 можна брати такими [4, с. 177]:

– густина $\rho_M = 830 \text{ кг/м}^3$,

– теплоємність $c_M = 2,18 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$.

Показник політропи стиснення з поданням масла дорівнює

$$n_M = \frac{\lg \pi_n}{\lg \frac{\pi_n \cdot T_1}{T_{2M}}} = \frac{\lg 5,9}{\lg \frac{5,9 \cdot 263}{353}} = 1,2.$$

де $T_{2M} = t_{2M} + 273 = 80 + 273 = 353 \text{ К}$ – температура масла після стиснення в ГМК.

Індикаторний ККД ГМК дорівнює

$$\eta_i = \frac{\eta_e}{\eta_M} = \frac{0,69}{0,93} = 0,74,$$

де $\eta_e = 0,69$ – ефективний ККД, що береться з [4, рис. 2.35, с. 177] залежно від зовнішнього відношення тисків π_n і прийнятого ступеня геометричного стиснення ε_r , який береться зі стандартного ряду: $\varepsilon_r = 2,6$ при $\pi_n \leq 4$; $\varepsilon_r = 4$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 13 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

при $\pi_n \leq 8$; $\varepsilon_T = 5$ при $\pi_n > 8$, і ці знайдені для R717 значення η_e зменшуються на 5%;

$\eta_m = 0,93$ – механічний ККД, що береться з [4, рис. 2.36, с. 177] залежно від π_n .

Процес стиснення в ГМК умовно подається у вигляді процесу «сухого» стиснення повітря 1–2с, а потім – відведенням від нього теплоти маслом, що вприскується, 2с–2м. Температура повітря, у точці 2с визначається за формулою

$$T_{2c} = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta_i} = 263 + \frac{437 - 263}{0,74} = 498 \text{ K},$$

Показник політропи «сухого» стиснення

$$n_c = \frac{\lg \pi_n}{\lg \frac{\pi_n \cdot T_1}{T_{2c}}} = \frac{\lg 5,9}{\lg \frac{5,9 \cdot 263}{498}} = 1,56.$$

Теоретична продуктивність

$$V_T = \frac{V_o}{\lambda} = \frac{50}{60 \cdot 0,76} = 1,096 \text{ м}^3/\text{с}.$$

де $\lambda = 0,76$ – значення коефіцієнту подачі, береться з [1, рис. 5.63, с. 193].

Приймається, що масло, яке подається на вузли механічного тертя (підшипники, ущільнення і т. ін.), не потрапляє потім у робочу порожнину ГМК, а йде на зливання. Тоді масло, що вприскується в ГМК, крім ущільнювальних і змащувальних функцій, повинно відвести таку кількість теплоти, яка б забезпечила прийняте підвищення температури Δt_m робочої суміші масла з повітрям.

Масова витрата повітря в ГМК

$$G = V_o \cdot \frac{P_{ec}}{60 \cdot RT_{ec}} = 50 \cdot \frac{101396}{60 \cdot 287 \cdot 263} = 1,34 \text{ кг/с}.$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 14 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

Кількість теплоти, що відводиться маслом від робочого тіла

$$Q_m = G \cdot c_p \cdot (T_{2C} - T_{2M}) = 1,34 \cdot 1005 \cdot (498 - 353) = 195272 \text{ Вт},$$

де c_p – ізобарна теплоємність повітря, яка дорівнює

$$c_p = \frac{k}{k-1} \cdot R = \frac{1,4}{1,4-1} \cdot 287 = 1005 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

Об'ємна витрата масла, що вприскується

$$V'_m = \frac{Q_m}{c_m \cdot \rho_m \cdot \Delta t_m} = \frac{195272}{2180 \cdot 830 \cdot 44} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Об'ємна витрата масла, що подається в ГМК

$$V_m = K_{nc} \cdot V'_m = 1,05 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с},$$

де $K_{oc} = 1,0 \dots 1,1$ – коефіцієнт, що враховує відведення теплоти в навколишнє середовище [3, с. 8]. Беремо $K_{oc} = 1,05$.

Відносна масова витрата масла, що подається в ГМК

$$q_{mp} = \frac{V_m \cdot \rho_m}{G} = \frac{2,6 \cdot 10^{-3} \cdot 830}{1,34} = 1,61.$$

Згідно [4, рис. 2.37, с. 178] рекомендовані витрати $q_m = 4,2$. Таким чином, отримана величина $q_{mp} = 1,61$ не перевищує рекомендоване значення.

Загальна витрата масла, що циркулює в ГМК, включає, окрім V_m , витрати масла, що подається в підшипники ковзання, ущільнення, розвантажувальні пристрої і т. ін.

Потужність політропного стиснення в ГМК з уприскуванням масла в робочу порожнину

$$\begin{aligned} N_{стис} &= \frac{n_m}{n_m - 1} \cdot p_{вс} \cdot \frac{V_{\partial}}{60} \cdot \left[\left(\frac{p_n}{p_{вс}} \right)^{\frac{n_m-1}{n_m}} - 1 \right] = \\ &= \frac{1,2}{1,2-1} \cdot 101396 \cdot \frac{50}{60} \cdot \left[\left(\frac{600 \cdot 10^3}{101396} \right)^{\frac{1,2-1}{1,2}} - 1 \right] = 161520 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | 15 |

Ефективна потужність ГМК

$$N_e = \frac{N_{смис}}{\eta_e} = \frac{161520}{0,69} = 234087 \text{ Вт.}$$

Потужність приводного електродвигуна ГМК

$$N_{об} = \frac{N_e}{\eta_{пер}} = \frac{234087}{0,97} = 241327 \text{ Вт.}$$

За отриманою потужністю вибираємо асинхронний електродвигун АИР355S2 з потужністю $N_{об} = 250 \text{ кВт}$ та частотою обертання $n = 3000 \text{ об/хв.}$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 16 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

1.2 Конструктивний розрахунок

Відносну довжину нарізаної частини гвинтів ГМК беремо [3, с. 9]

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

Коефіцієнт використання об'єму парної порожнини визначається за формулою

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

де τ_{1np} – граничний кут закрутки гвинта;

τ_{13} – кут закрутки ведучого гвинта.

Для гвинтів з еліптичним профілем зуба ведучого гвинта згідно [3, с. 9] $\tau_{1np} = 220^\circ$. Коефіцієнт C і кут закрутки ведучого гвинта τ_{13} беруться із [3, табл. 3.1, с. 9] залежно від K_l : $C = 5,0$, $\tau_{13} = 304^\circ$.

Коефіцієнт використання площі впадин гвинтів для гвинтів із зубом еліптичного симетричного профілю $K_f = 0,1184$ [1, с. 175].

Зовнішній діаметр ведучого гвинта визначається за формулою

$$D_1 = \sqrt{\frac{\pi V_\sigma}{60 \lambda K_i K_H K_l K_f z_1 u_1}} = \sqrt{\frac{3,14 \cdot 50}{60 \cdot 0,76 \cdot 5,7 \cdot 0,958 \cdot 1,35 \cdot 0,1184 \cdot 4 \cdot 56}} = 0,121 \text{ м},$$

де $u_1 = 56 \text{ м/с}$ – колова швидкість на зовнішньому колі ведучого гвинта, визначається згідно [3, с. 10] та [1, рис. 5.66, с. 195].

Із типорозмірного ряду гвинтів із зубом еліптичного симетричного профілю [1, табл. 5.3, с. 156] приймається найближче більше значення $D_1 = 125 \text{ мм}$.

Уточнена частота обертання ведучого гвинта

$$n_1 = \frac{u_1}{\pi D_1} = \frac{56}{3,14 \cdot 0,125} = 117,3 \text{ с}^{-1}.$$

Довжина нарізаної частини гвинтів

$$l_B = K_l \cdot D_1 = 1,35 \cdot 0,125 = 0,169 \text{ м}.$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 17 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

Міжосьова відстань [4, с. 182]

$$A = 0,8 \cdot D_1 = 0,8 \cdot 125 = 100 \text{ мм} .$$

Діаметри початкових окружностей ведучого та веденого гвинтів

$$d_{1н} = \frac{2 \cdot A}{1 + i_{12}} = \frac{2 \cdot 100}{1 + 1,5} = 80 \text{ мм} ;$$

$$d_{2н} = i_{12} \cdot d_{1н} = 1,5 \cdot 80 = 120 \text{ мм} .$$

Діаметри окружностей впадин ведучого та веденого гвинтів

$$d_{1вн} = d_{2вн} = 0,6 \cdot D_1 = 0,6 \cdot 125 = 75 \text{ мм} .$$

Висота головки зуба ведучого гвинта (номінальна висота ніжки зуба веденого гвинта)

$$a = 0,18 \cdot D_1 = 0,18 \cdot 125 = 22,5 \text{ мм} .$$

Розмір малої напівосі еліпса

$$b = 0,16 \cdot D_1 = 0,16 \cdot 125 = 20 \text{ мм} .$$

Висота ніжки (головки) зуба ведучого (веденого) гвинта

$$r_0 = 0,02 \cdot D_1 = 0,02 \cdot 125 = 2,5 \text{ мм} .$$

Ескіз торцевого перетину гвинтів наведений у додатку рисунок Д1.

Геометричні характеристики зубців ведучого і веденого гвинтів еліптичного симетричного профілю розраховані та вибрані з [1, табл. 5.3, с. 156] наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Геометричні характеристики зубців ведучого і ведомого гвинтів еліптичного симетричного профілю

| Характеристика | Значення |
|---|----------|
| $d_{1н}$ – діаметр початкової окружності ведучого гвинта, мм | 80 |
| $d_{2н}$ – діаметр початкової окружності веденого гвинта, мм | 120 |
| A – міжосьова відстань, мм | 100 |
| $d_{1вн} = d_{2вн}$ – діаметри окружностей впадин ведучого і веденого гвинтів, мм | 75 |

| Характеристика | Значення |
|---|----------|
| r_0 – висота ніжки (головки) ведучого (веденого) гвинта, мм | 2,5 |
| f_{1n} – площа впадин для ведучого гвинта, см ² | 10,78 |
| f_{2n} – площа впадин для веденого гвинта, см ² | 7,71 |
| W_n – корисний максимальний об'єм парної порожнини на момент початку стиснення, см ³ | 300 |

Визначаємо центральні кути вікна всмоктування

Ведучий гвинт:

Половина кутового розміру зуба ведучого гвинта

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

Кутовий розмір впадини ведучого гвинта

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

Ведений гвинт:

Половина кутового розміру впадини веденого гвинта

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

Кутовий розмір зуба веденого гвинта

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

Хід гвинтової лінії ведучого гвинта

$$h_1 = 1,6 \cdot D_1 = 1,6 \cdot 125 = 200 \text{ мм} .$$

Хід гвинтової лінії веденого гвинта

$$h_2 = i_{12} \cdot h_1 = 1,5 \cdot 200 = 300 \text{ мм} .$$

Кут між лінією центра та променем

$$\beta_{02} = \arccos \frac{A^2 + r_{2n}^2 - R_1^2}{2 \cdot A \cdot r_{2n}} = \arccos \frac{100^2 + 60^2 - 62,5^2}{2 \cdot 100 \cdot 60} = 36,1^\circ ;$$

$$\beta_{01} = \arccos \frac{A^2 + R_1^2 - r_{2n}^2}{2 \cdot A \cdot R_1} = \arccos \frac{100^2 + 62,5^2 - 60^2}{2 \cdot 100 \cdot 62,5} = 34,46^\circ .$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 19 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

Кут початку стиснення

$$\alpha_{01} = i_{12} \cdot (\beta_{01} - \theta_2) = 1,5 \cdot (34,46 - 19,37) = 22,64^\circ.$$

Розрахунок вікна всмоктування

Кут вікна всмоктування ведучого гвинта

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

Центральний кут вікна всмоктування веденого гвинта [4, с. 185].

$$\alpha_{2B} = \alpha'_{2B} + \Delta\alpha_{2B},$$

де α'_{2B} – кут всмоктування ведучого гвинта

$$\begin{aligned} \alpha'_{2B} &= i_{12} \cdot \left(0,5 \cdot \tau_{13} + \pi \cdot \frac{z_1 - 1}{z_1} + \frac{2 \cdot \pi}{z_1} \right) - 2 \cdot \theta_2 = \\ &= \frac{4}{6} \cdot \left(0,5 \cdot 304 + 180 \cdot \frac{4 - 1}{4} + \frac{2 \cdot 180}{4} \right) - 2 \cdot 19,37^\circ = 212,59^\circ. \end{aligned}$$

$\Delta\alpha_{2B}$ – кут газодинамічного наддуву

$$\Delta\alpha_{2B} \approx \frac{2 \cdot \pi \cdot l_{2u} \cdot n_2}{a_1 - C_{acr}},$$

де $n_2 = i_{12} \cdot n_1 = \frac{4}{6} \cdot 117,3 = 78,2 \text{ c}^{-1}$.

$$d_{2cp} = \frac{D_2 + d_{2вн}}{2} = \frac{125 + 75}{2} = 100 \text{ мм};$$

$$\text{tg } \beta_H = \frac{\pi \cdot d_{1вн}}{h_1} = \frac{3,14 \cdot 80}{200} = 1,257;$$

$$\beta_{2cp} = \text{arctg} \left(\frac{d_{2cp}}{d_{2н}} \cdot \text{tg } \beta_H \right) = \text{arctg} \left(\frac{100}{120} \cdot 1,257 \right) = 46,33^\circ;$$

$$\cos \beta_{2cp} = \cos 46,33^\circ = 0,7;$$

$$l_{2u} = \frac{l_g}{\cos \beta_{2cp}} = \frac{169}{0,7} = 241 \text{ мм}.$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 20 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

Місцева швидкість звуку

$$\alpha_1 \approx \sqrt{k \cdot R \cdot T_1} = \sqrt{1,4 \cdot 287 \cdot 263} = 325 \text{ м/с},$$

де $k = 1,4$ – показник ізоентропи повітря.

Середня швидкість руху повітря в порожнині гвинта в період її заповнення

$$C_{a.cp} = \frac{2 \cdot \pi \cdot l_{\theta} \cdot n_2}{\alpha'_{2\theta}} = \frac{2 \cdot 180 \cdot 0,169 \cdot 78,2}{212,59^{\circ}} = 22,4 \text{ м/с};$$

$$\Delta\alpha_{2B} = \frac{2 \cdot \pi \cdot l_{2\psi} \cdot n_2}{a_1 - C_{a.cp}} = \frac{360 \cdot 0,241 \cdot 78,2}{325 - 22,4} = 22,4^{\circ}.$$

Центральний кут вікна всмоктування веденого гвинта

$$\alpha_{2B} = \alpha'_{2B} + \Delta\alpha_{2B} = 212,59 + 22,4 = 235^{\circ}.$$

Допустиме значення кута вікна всмоктування

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

Умова $\alpha_{2B} < [\alpha_{2B}]_{\text{ДПР}}$ – виконується.

Площа вікна всмоктування:

$$\begin{aligned} F_{\text{вс}} &= \frac{\pi}{4 \cdot 180} \cdot (D_1^2 - d_{1\text{вн}}^2) \cdot (\alpha_{1\theta} + \alpha_{2\theta}) = \\ &= \frac{3,14}{4 \cdot 180} \cdot (0,125^2 - 0,075^2) \cdot (287^{\circ} + 235^{\circ}) = 0,023 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

Швидкість повітря у вікні всмоктування

$$C_{\text{вс}} = \frac{V_{\theta}}{60 \cdot F_{\text{вс}}} = \frac{50}{60 \cdot 0,023} = 36 \text{ м/с}.$$

Допустима швидкість у вікні всмоктування

$$[C_{\text{вс}}] = 40 \dots 50 \text{ м/с}.$$

Умова $C_{\text{вс}} < [C_{\text{вс}}]$ – виконується.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 21 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

Розрахунок вікна нагнітання

Задаємося геометричним ступенем стиску $\varepsilon_{\Gamma} = 4$.

Визначаємо кут стиснення φ_{1C} .

Заповнений зубцями об'єм парної порожнини гвинтів [4, с. 186]

$$\begin{aligned}W_3 &= W_0 - \frac{W_{II}}{\varepsilon_{\Gamma}} = l_B \cdot (f_{1II} + f_{2II}) - \frac{W_{II}}{\varepsilon_{\Gamma}} = \\ &= 16,9 \cdot (10,78 + 7,71) - \frac{300}{4} = 237,5 \text{ см}^3.\end{aligned}$$

Відношення

$$\left(\frac{W_3}{D_1^3}\right) \cdot 10^3 = \left(\frac{237,5}{12,5^3}\right) \cdot 10^3 = 121,6.$$

В залежності від $\frac{W_3}{D_1^3}$ та K_l із [4, рис. 2.43, с. 186] визначається кут стиснення φ_{1C} : $\varphi_{1C} \approx 290^\circ$.

Центральний кут вікна нагнітання ведучого гвинта

$$\alpha_{1H} = \tau_{13} - \varphi_{1C} + \alpha_{01} = 304^\circ - 290^\circ + 22,64^\circ = 36,64^\circ.$$

Для веденого гвинта

$$\alpha_{2H} = i_{21} \cdot \alpha_{1H} + \theta_2 + 2\gamma_{23} = \frac{4}{6} \cdot 36,64^\circ + 19,37^\circ + 21,25^\circ = 65^\circ.$$

Площа перетину вікна нагнітання в торцевій площині

$$\begin{aligned}F_{HT} &= \frac{\pi}{4 \cdot 180} \cdot (D_1^2 - d_{1BH}^2) \cdot \left(\alpha_{1H} + \alpha_{2H} - \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right) = \\ &= \frac{3,14}{4 \cdot 180} \cdot (0,125^2 - 0,075^2) \cdot \left(36,64^\circ + 65^\circ - \frac{29,06 + 19,37}{2} \right) = 3,38 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.\end{aligned}$$

Площа циліндричної частини вікна нагнітання

$$\begin{aligned}F_{HЦ} &= \frac{h_1 \cdot D_1}{4 \cdot \pi} \cdot [(\alpha_{1H} - \beta_{01}) \cdot \cos \beta_{01} + \sin \beta_{01} - \sin \alpha_{1H}] + \\ &+ \frac{h_2 \cdot D_2}{4 \cdot \pi} \cdot [(i_{21} \cdot \alpha_{1H} + \theta_2 + 2\gamma_{23}) \cdot \cos \beta_{02} + \sin \beta_{02} - \sin (i_{21} \cdot \alpha_{1H} + \theta_2 + 2\gamma_{23})].\end{aligned}$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 22 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

$$F_{\text{нц}} = \frac{0,2 \cdot 0,125}{4 \cdot 3,14} \cdot [(0,64 - 0,6) \cdot \cos 0,6 + \sin 0,6 - \sin 0,64] + \frac{0,3 \cdot 0,125}{4 \cdot 3,14} \times$$

$$\times \left[\left(\frac{4}{6} \cdot 0,64 + 0,34 + 0,37 \right) \cdot \cos 0,63 + \sin 0,63 - \sin \left(\frac{4}{6} \cdot 0,64 + 0,34 + 0,37 \right) \right] = 9,72 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Сумарна площа вікна нагнітання

$$F_H = F_{\text{нт}} + F_{\text{нц}} = 3,38 \cdot 10^{-3} + 9,72 \cdot 10^{-3} = 1,31 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2.$$

Швидкість повітря у вікні нагнітання

$$C_H = \frac{V_d \cdot p_{\text{вс}} \cdot T_{2M}}{60 \cdot F_H \cdot p_H \cdot T_{\text{вс}}};$$

$$C_H = \frac{50 \cdot 101396 \cdot 353}{60 \cdot 1,31 \cdot 10^{-2} \cdot 600 \cdot 10^3 \cdot 263} = 14,4 \text{ м/с}.$$

Допустима швидкість у вікні нагнітання

$$[C_H] = 10 \dots 15 \text{ м/с}.$$

Умова $C_H < [C_H]$ – виконується.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 23 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

2 ОХОРОНА ПРАЦІ

Розвиток сучасного машинобудування йде шляхом розробки нових видів компресорних машин, обладнання самого різного призначення, інтенсифікації їх використання за рахунок раціональних режимів експлуатації, вдосконалення технології, виробничого процесу і поліпшення профілактичного технічного обслуговування і ремонту.

Необхідно, щоб людина працювала в сприятливих умовах, які сприяють розвитку всіх її здібностей і забезпечують високу продуктивність праці. Крім того, в процесі праці людина не повинна отримувати травми або захворіти професійним захворюванням.

Охорона праці – це сформована система законодавчих актів і норм, які спрямовані на забезпечення безпеки праці працівника, а також на відповідні організаційні, соціально-економічні, технічні та санітарно-гігієнічні заходи. Найголовнішим завданням охорони праці – є мінімізація ймовірності ураження або захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Поліпшення умов праці, підвищення безпеки безпосередньо впливає на продуктивність праці, якість та собівартість продукції.

Закон України «Про охорону праці» визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює за участю відповідних органів державної влади відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні [5].

В процесі трудової діяльності на людину можуть впливати небезпечні виробничі фактори, які у деяких випадках призводять до травм або іншого раптового різкого погіршення здоров'я. Також можуть впливати шкідливі

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 24 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

виробничі фактори, які призводять до захворювання або зниження працездатності. В залежності від рівня і тривалості свого впливу шкідливий виробничий фактор може стати небезпечним виробничим фактором.

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [6]) поділяються на чотири групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

До небезпечних і шкідливих виробничих факторів відносяться: забрудненість повітря виробничим пилом і шкідливими речовинами; погане освітлення; шум і вібрація, що перевищують допустимі норми; підвищений рівень іонізуючих випромінювань; рухомі машини і механізми, рухомі частини виробничого обладнання, вироби, які рухаються (матеріали, заготовки), конструкції, що руйнуються, і ряд інших чинників.

Виникненню шкідливих виробничих факторів можна запобігти тільки при строгому дотриманні санітарно-гігієнічних вимог і норм, визначених Санітарними нормами, відповідними главами Будівельних норм і правил (СНіП) і Державними стандартами (ДСТУ та ГОСТ).

Надійність і безпека обладнання закладається при його проектуванні, забезпечується при виготовленні, контролюється при експлуатації і відновлюється при ремонті (ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007. «Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва» [7]).

Обладнання повинно відповідати встановленим вимогам технічної безпеки, загальних правил вибухо- і пожежобезпеки виробничих комплексів, правилам будови і безпечної експлуатації повітряних чи газових компресорів.

Загальна безпека гвинтових компресорів повинна відповідати вимогам ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. «Оборудование производственное. Общие

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 25 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

требования безопасности» [8].

Влаштування і розміщення електроприводу відцентрових компресорів і пускової апаратури повинні відповідати ГОСТ 12.2.007.0-75 ССБТ. «Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» [9] і вимогам «Правил улаштування електроустановок (ПУЕ)».

Електрообладнання гвинтових компресорів, які розміщуються у вибухонебезпечних приміщеннях та на зовнішніх вибухонебезпечних установках, повинно відповідати класу приміщення, категоріям і групам вибухонебезпечних середовищ відповідно до вимог «Правил виготовлення вибухозахищеного і рудникового електрообладнання (ПВВРЕ)», які затверджені Держнаглядом України, та ГОСТ 12.2.020-76 ССБТ. «Электрооборудование взрывозащищенное. Термины и определения. Классификация. Маркировка» [10].

При проектуванні обладнання конструктором передбачається можливість виникнення потенційних небезпек і шкідливостей проектного обладнання. Так само на стадії конструкторської розробки агрегату розробляються заходи щодо можливості уникнення виникнення небезпек і шкідливостей, або, у разі їх виникнення, запобігти їм.

Порядок підготовки компресора до роботи. Після складання компресора потрібно повернути ведучий гвинт і переконатися у відсутності заїдань і стукотів. Синхронізуючі шестерні повинні працювати в масляній ванні. Після масловіддільника на нагнітальному трубопроводі повинен бути встановлений пружинний манометр. Для підшипників ковзання повинна контролюватися температура подаваного масла (не вище 70°C). Рухомі частини повинні мати механічну огорожу. Для захисту від підвищеного рівня шуму персонал, який обслуговує компресор, повинен мати навушники. Приводний електродвигун повинен бути заземленим відповідно до ГОСТ 17494 та ГОСТ 21130. Трубопроводи компресора повинні відповідати вимогам «Правил будови і безпечної експлуатації стаціонарних

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 26 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

компресорних установок, повітропроводів і газопроводів», затверджених Держнаглядохоронпраці СРСР 07.12.1971 р. При роботі компресора в підшипниках ковзання повинна бути використана система термостатування масла.

Облаштування, виготовлення, монтаж, випробування і приймання трубопроводів виконуються відповідно до діючих СНіП. Трубопроводи, що становлять невід'ємну частину апаратів, приймаються в експлуатацію відповідно до «Правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском».

В якості прокладкового матеріалу для з'єднань трубопроводів повинні застосовуватися матеріали, стійкі до впливу вологи, масла, а також температури не менше ніж на 50°C вищої температури газу в трубопроводі.

Для ущільнення фланцевих з'єднань ділянок повітропроводів, прокладених в підземних виробках шахт, слід застосовувати прокладки зі спеціальної тепло- і маслостійкої гуми з температурою займання не нижчої 350°C. Гумові прокладки повинні бути виготовлені в централізованому порядку і мати відмітне клеймо. Застосування гумових прокладок без клейма забороняється.

Будова зовнішніх нагнітальних повітропроводів повинна виключати можливість їх внутрішнього обмерзання.

Повинна бути передбачена можливість вільного температурного розширення трубопроводу, що запобігає його деформації і розладу з'єднань, а також виникненню додаткових зусиль на з'єднанні з ним машини або апарати.

Трубопровід, прокладений поблизу тепловипромінюючих апаратів, повинен бути теплоізований.

Трубопроводи повинні бути прокладені на відстані не менше 0,5 м від електрокабелів, електропроводів і електроустаткування.

Повітропроводи повинні укладатися з ухилом 0,003 в бік лінійних

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 27 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

водовідокремлювачів. Повинно бути забезпечено відсутність мертвих зон, де може накопичуватися конденсат або масло.

На окремих ділянках трубопроводів, де можливе скупчення води і масла, повинні встановлюватися лінійні водороздільники з автоматичною або ручною продувкою. Пристосування для продувки повинні бути доступні для обслуговування.

Всі пристрої необхідні для видалення масла і води, що нагромаджуються в повітропроводі, повинні бути в повній справності і регулярно перевірятися обслуговуючим персоналом. У разі замерзання цих пристроїв відігрівання їх дозволяється проводити гарячою водою, паром або гарячим повітрям. Застосування для цієї мети відкритого джерела вогню забороняється.

На повітропроводах не допускається наявність глухих відводів і заглушених штуцерів, що сприяють накопиченню і самозайманню масляних відкладань.

Арматура, яка встановлюється на трубопроводах, повинна бути доступна для зручного і безпечного обслуговування і ремонту.

Апарати і трубопроводи з температурою поверхні вищою за +45°C, які розташовуються на робочих місцях і в місцях основних проходів, повинні мати теплову ізоляцію.

Вентилі, засувки, клапани повинні бути в повній справності і забезпечувати можливість швидкого і надійного припинення доступу повітря або газу.

Арматура повинна бути пронумерована та мати чітко помітні стрілки, що вказують напрямок обертання маховиків, а також стрілки, що позначають «відкрито» і «закрито».

Пробний тиск при гідравлічному випробуванні трубопроводів повинен витримуватися протягом 5 хв, після чого тиск повинен бути знижений до робочого. При робочому тиску здійснюється огляд трубопроводу і

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 28 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

обстукування зварних швів молотком вагою не більше 1,5 кг.

Результати випробування вважаються задовільними, якщо під час випробування не відбулося падіння тиску на манометрі, а в зварних швах, трубах, корпусах, арматурі і т. ін. не виявлено ознак розриву, протікання і запотівання.

Трубопроводи, що прокладені в непрохідних каналах, випробовуються за падінням тиску. Трубопроводи на тиск понад 100 кгс/см² випробовуються відповідно до ПУГ-69.

При мінусових температурах зовнішнього повітря гідравлічні випробування проводяться на гарячій воді з негайним її зливом після випробування.

Записи проведеної чистки трубопроводів, поточного огляду і ремонту, а також результати пневматичного і гідравлічного випробування трубопроводів повинні заноситися в журнал (формуляр) обліку ремонту компресорної установки, також повинен складатися відповідний акт.

Під час ремонту трубопроводу та його частина, що ремонтується, повинна бути від'єднана від мережі з обох сторін і очищена від накопленого осаду масла.

Після ремонту та очищення необхідно упевнитися в тому, що в трубопроводі не залишилося будь-яких сторонніх предметів.

Шум – це сукупність звуків різної частоти та інтенсивності, що виникає в результаті коливального руху частинок в пружних середовищах (твердих, рідких, газоподібних).

Нормовані параметри шуму на робочих місцях визначено ГОСТ 12.1.003-83 [11] і Санітарними нормами СН 2.2.412.1.8.562-96 [12].

Документи дають класифікацію шумів по спектру (на широкосмугові і тональні) і за часовими характеристиками (на постійні і непостійні).

Вібрація – це малі механічні коливання, що виникають в пружних тілах, що знаходиться під впливом змінного фізичного поля.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 29 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

При підвищенні частот коливань більше 0,7 Гц можливі резонансні коливання в органах людини. Резонанс людського тіла, окремих органів настає під впливом зовнішніх сил при збігу власних частот коливання внутрішніх органів з частотою зовнішніх коливань.

Область резонансу для голови в положенні сидячи при вертикальних вібраціях, розташовується в зоні між 20...30 Гц, при горизонтальних – 1,5...2,0 Гц.

Гігієнічне нормування вібрацій регламентує параметри виробничої вібрації і правила роботи з вібронебезпечним механізмами і обладнанням, ГОСТ 12.1.012-90 [13], Санітарні норми СН 2.2.412.1.8.556-96 [14].

Документи встановлюють класифікацію вібрацій, методи гігієнічної оцінки, нормовані параметри і їх допустимі значення, режими праці осіб вібронебезпечних професій, що піддаються впливу локальних вібрацій, вимоги до забезпечення віробезпеки і до вібраційних характеристик машин.

Для зменшення вібрації і шуму передбачаються такі заходи:

- обмежують колову швидкість обертання робочих коліс вентиляторів і швидкість руху повітря;
- системи повітропроводів забезпечують глушниками, повітроводи звукоізолюють;
- вентилятори, насоси та їх електродвигуни встановлюють на пружні опори або на віброізолюючі фундаменти;
- фундаменти під компресори і їх електродвигуни ставлять окремо від фундаментів стін або колон будівлі машинного відділення;
- вхідні та вихідні патрубки вентиляторів (насосів) з'єднують з повітроводами (трубопроводами) за допомогою гнучких вставок.

Виробниче освітлення відповідно до СНіП II-4-79 [15] має забезпечити психологічний комфорт, попереджати зорову і загальну стомлюваність. Освітленість на робочому місці повинна відповідати характеру зорової роботи, який визначається наступними параметрами:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 30 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

– об’єкт розрізнення – найменший розмір розглянутого предмета, окрема його частина, дефект, який необхідно розрізнити в процесі роботи;

– фон-поверхня, прилегла безпосередньо до об’єкта розрізнення, на якій він розглядається. Характеризується коефіцієнтом відображення (при коефіцієнті відбиття поверхні більше 0,4 фон вважається світлим, 0,2 ... 0,4 – середнім і менше 0,2 – темним);

– контраст об’єкта з фоном. Характеризується відношенням яскравості розглянутого об’єкта і фону (контраст об’єкта з фоном вважається великим при значеннях $k \geq 0,5$, середнім при значеннях $k = 0,2 \dots 0,5$ і малим при значеннях $k < 0,2$).

– необхідно забезпечити достатньо рівномірний розподіл яскравості на робочій поверхні, а також в межах навколишнього простору. Для підвищення рівномірності природного освітлення великих цехів здійснюється комбіноване освітлення.

– на робочій поверхні повинні бути відсутні різкі тіні. Наявність різких тіней створює нерівномірність розподілу поверхонь з різною яскравістю в полі зору, спотворює розміри і форми об’єктів розрізнення, в результаті підвищується стомлюваність, знижується продуктивність праці.

– в полі зору повинна бути відсутньою пряма і відбита блискість. Блискість-підвищена яскравість об’єктів, що світяться, поверхонь, викликає порушення зорових функцій (засліплення), тобто погіршення видимості об’єктів.

Видимість характеризує здатність ока сприймати об’єкт, залежить від освітленості, розміру об’єкта, його яскравості, контрасту об’єкта з фоном.

Величина освітленості мусить бути постійна в часі. Коливання освітленості, розміру об’єкта, його яскравості, контрасту об’єкта з фоном. Коливання освітленості, спричинені різкою зміною напруги в мережі, мають велику амплітуду, кожного разу викликаючи переадаптацію ока, що призводить до значної перевтоми.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 31 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

Слід вибирати оптимальну спрямованість світлового потоку, що дозволяє в одних випадках розглянути внутрішню поверхню деталей, в інших розрізнити рельєфність елементів робочої поверхні.

Необхідно вибирати певний спектральний склад світла. Правильну передачу кольору забезпечують природне і штучне освітлення із спектральною характеристикою близькою до сонячної.

Всі елементи освітлювальних установок - світильники, групові щитки, знижувальні трансформатори, освітлювальні мережі повинні бути досить довговічними, електробезпечними, а також не повинні бути причиною виникнення пожежі або вибуху.

Установка повинна бути зручною та простою в експлуатації, відповідати естетичним вимогам.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | 32 |

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кошкин Н. Н., Сақун И. А. и др. Холодильные машины. – Л. : Машиностроение, 1985. – 510 с.
2. Сақун И. А. Винтовые компрессоры. – Л. : Машиностроение, 1970. – 400 с.
3. Методичні вказівки до виконання індивідуальної роботи «Розрахунок гвинтового маслозаповненого компресора» з курсу «Об'ємні компресори» для студентів напряму підготовки 6.050604 «Енергомашинобудування», спеціальності 090508 «Компресори, пневмоагрегати та вакуумна техніка» / Укладач Ю. М. Вертепов. – Суми : Вид-во СумДУ, 2009. – 13 с.
4. Бамбушек Е. М. и др. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин. – Л. : Машиностроение, 1987. – 423 с.
5. Закон України «Про охорону праці» № 2695-ХІІ від 14.10.1992.
6. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
7. ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва.
8. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
9. ГОСТ 12.2.007.0-75 ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.
10. ГОСТ 12.2.020-76 ССБТ. Электрооборудование взрывозащищенное. Термины и определения. Классификация. Маркировка.
11. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартів безпеки праці. Шум. Загальні вимоги безпеки.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 33 |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | |

12.СН 2.2.412.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

13.ГОСТ 12.1.012-90 Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования

14.СН 2.2.412.1.8.556-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.

15.СНиП II-4-79 Естественное и искусственное освещение. Изменение.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|-------------------|------|
| | | | | | КМ 03.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | | 34 |

ДОДАТОК А

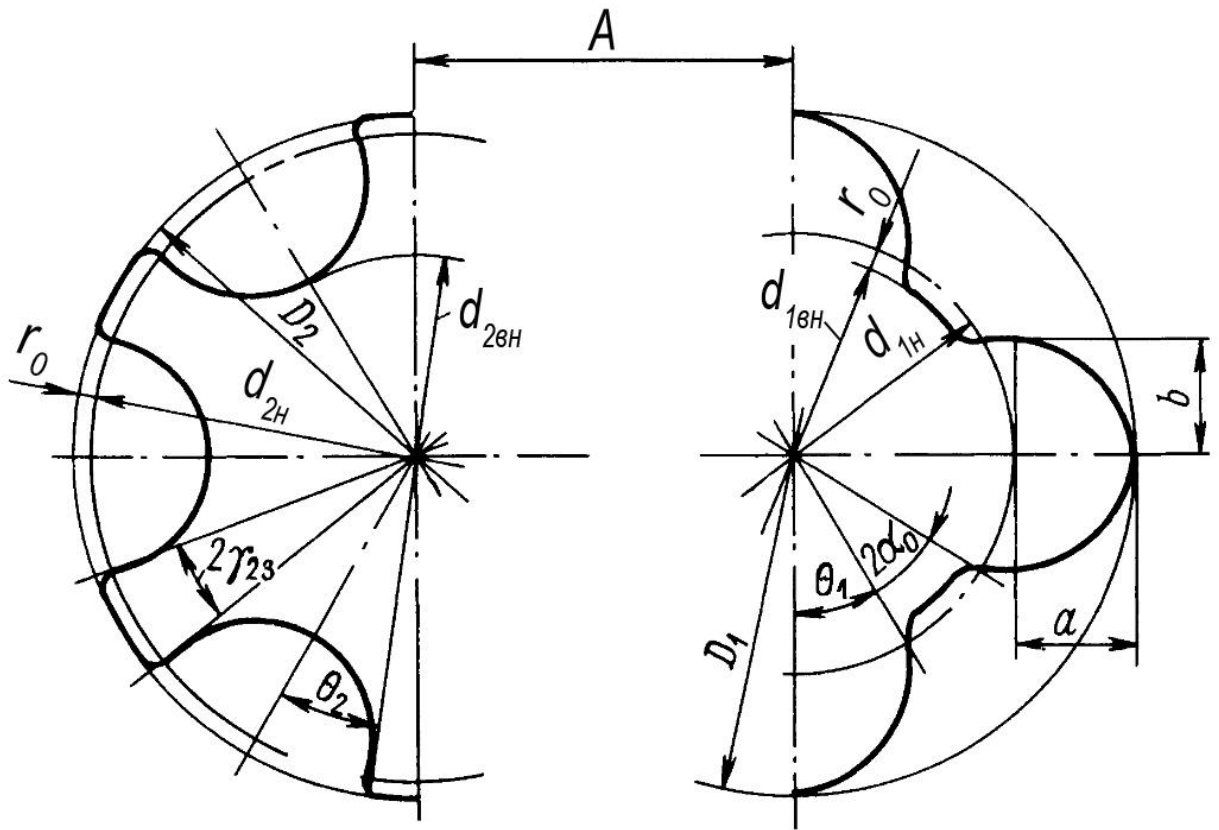


Рисунок Д1 – Торцевий перетин гвинтів

$$\begin{aligned}
 D_2 &= 125 \text{ мм} \\
 d_{2H} &= 120 \text{ мм} \\
 r_0 &= 2,5 \text{ мм} \\
 2\gamma_{23} &\approx 21,25^\circ \\
 \theta_2 &\approx 19,37^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= 100 \text{ мм} \\
 d_{1H} &= d_{2H} = 75 \text{ мм}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_{1H} &= 80 \text{ мм} \\
 2\alpha_0 &\approx 31,88^\circ \\
 \theta_1 &\approx 29,06^\circ \\
 a &= 22,5 \text{ мм} \\
 b &= 20 \text{ мм} \\
 D_1 &= 125 \text{ мм}
 \end{aligned}$$

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

КМ 03.00.00.00 ПЗ

Арк.

35

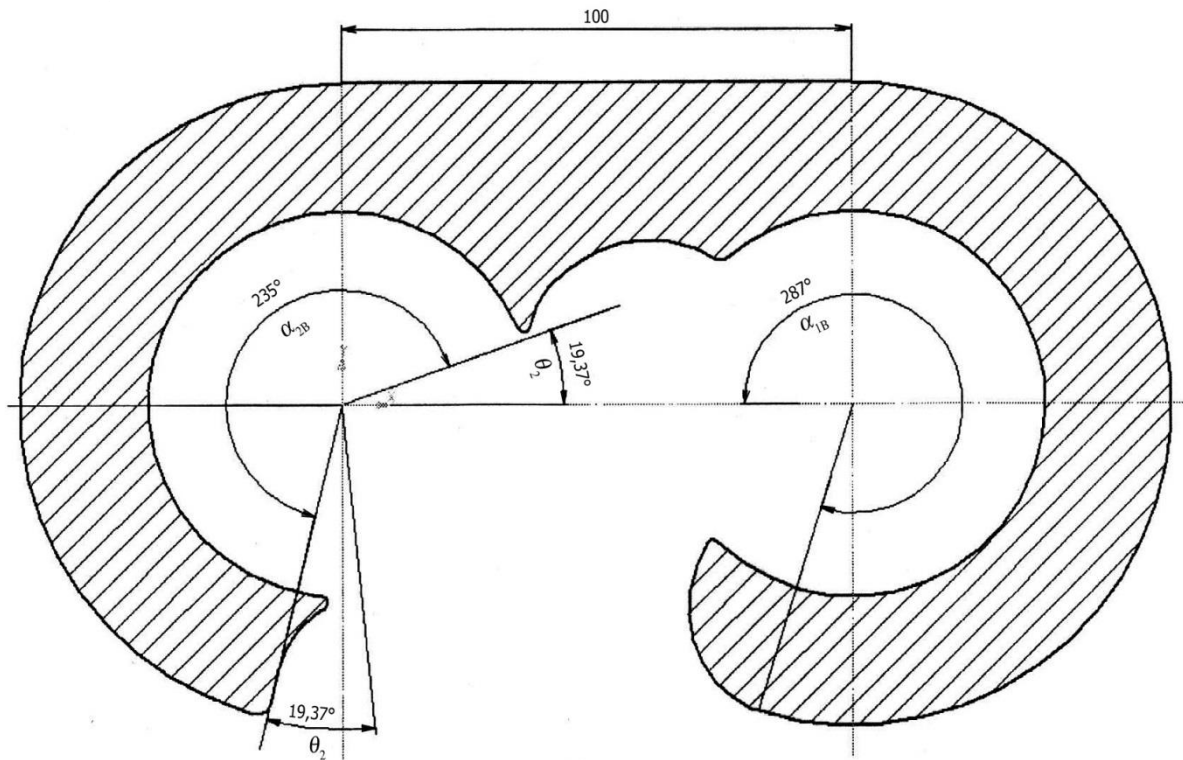


Рисунок Д2 – Вікно всмоктування

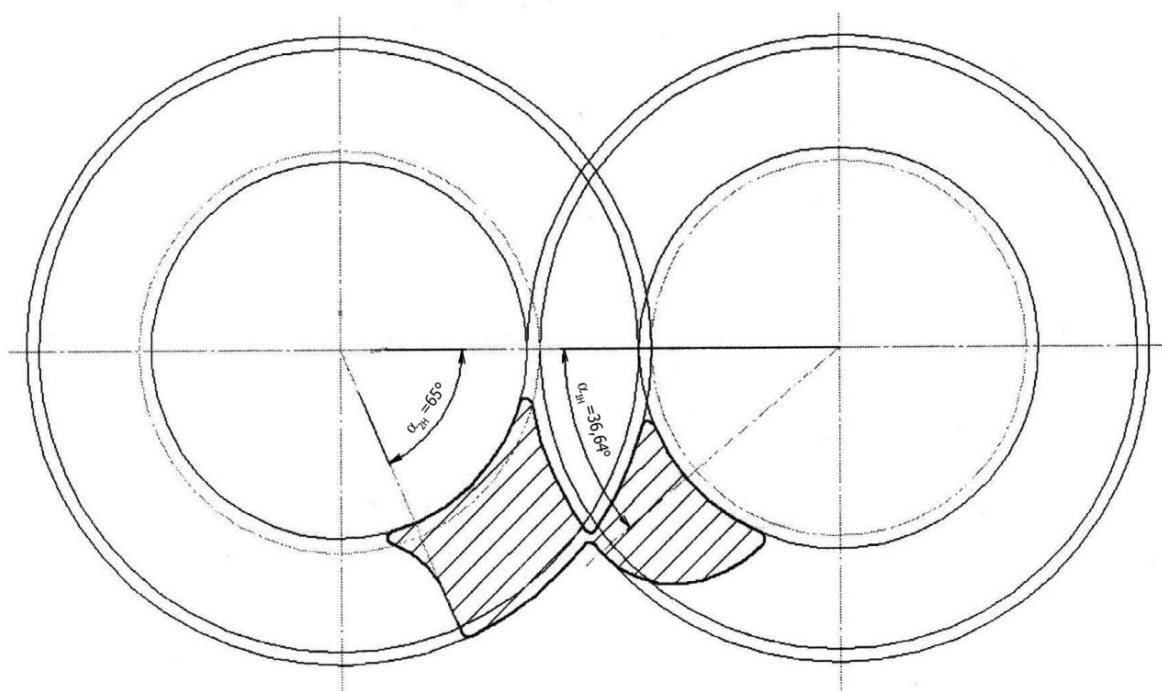


Рисунок Д3 – Вікно нагнітання

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| | | | | |
| Зм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата |

КМ 03.00.00.00 ПЗ

Арк.

36