

УДК 662.92

Ю.Г. СТРЕМБОВСЬКИЙ, В.О. ГОРОХОВ, О.П. КОСТОГРИЗ
Херсонський національний технічний університет**ОБГРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ГЕОМЕТРІЇ ПРОФІЛЯ
НАВАНТАЖЕНОЇ ПОВЕРХНІ АГРЕГАТУ ГВИНТОВИХ ХОЛОДИЛЬНИХ
КОМПРЕСОРИВ**

Розробка конструктивних рішень навантажених поверхонь агрегатів для досягнення заходів з енергозбереження, за рахунок встановлення обгрунтованого профілю з'єднань навантажених поверхонь та системи рекуперації тепла, на технологічні цілі, на базі конструкції гвинтового компресора.

Ключеві слова: агрегати, система координат, профіль навантаженої поверхні, рекуперація тепла, енергозбереження, коефіцієнт тертя, зношування, підвищення ресурсу, критерій працездатності.

Ю.Г. СТРЕМБОВСЬКИЙ, В.А. ГОРОХОВ, А.П. КОСТОГРЫЗ
Херсонский национальный технический университет**ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ ПРОФИЛЯ
НАГРУЗОК ПОВЕРХНОСТИ АГРЕГАТА ВИНТОВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ
КОМПРЕССОРОВ**

Разработка конструктивных решений нагруженных поверхностей агрегатов для достижения мероприятий по энергосбережению, за счет установки обоснованного профиля соединений нагруженных поверхностей и системы рекуперации тепла, на технологические цели, на базе конструкции винтового компрессора.

Ключевые слова: агрегаты, система координат, профиль нагруженной поверхности, рекуперация тепла, энергосбережения, коэффициент трения, изнашивания, повышение ресурса, критерий работоспособности.

Y.G. STREMBOVSKYI, V.O. HOROKHOV, O.P. KOSTOHRYZ
Kherson National Technical University**THE REALIZATION OF THE OPTIMAL GEOMETRY OF THE PROFILE
OF THE LOADED SURFACE OF THE GREEN REFRIGERATING
COMPRESSOR**

Development of constructive solutions of loaded surfaces of aggregates for achievement of energy saving measures, by establishing a grounded profile of connections of loaded surfaces and heat recovery system, for technological purposes, based on the design of a screw compressor.

Keywords: aggregates, coordinate system, profile of loaded surface, heat recovery, energy saving, coefficient of friction, wear, resource increase, performance criterion.

Постановка проблеми

Для інвесторів один з пріоритетних напрямків удосконалення агрегатів сприяє розвитку Півдня України - це оснащення овочесховищ самим сучасним обладнанням і клімат-контролем, для зберігання свіжих овочів, фруктів та ін. продуктів харчування.

Херсонщина відрізняється теплим кліматом, який сприяє активному вирощуванню великої кількості фруктів та ягід. Так, в нашій країні відзначаються високі урожаї яблук (близько 55% від загального обсягу збору фруктів та ягід), груш, слив та вишень (в середньому вони займають по 8% виробництва). З географічної точки зору, найвища врожайність припадає на Херсонську, Вінницьку, Хмельницьку та Черновицьку області.

Рішення завдання досить довготривалого зберігання овочів і фруктів, таким чином, може розвиватися двома основними шляхами:

- зберігання в безпосередній близькості від місця збирання врожаю;
- і зберігання в регіоні споживання.

Регіонами найбільш концентрованого споживання є мегаполіси, де вартість зберігання досить велика за рахунок високих ставок оренди складських площ. Тим не менше, цей варіант цілком можна розглядати для імпортованих фруктів і овочів, що закуповуються великими, в тому числі судовими,

партіями. Однак найбільш цікавим з комерційної точки зору представляється варіант територіального об'єднання процесу вирощування, збирання урожаю та подальшого зберігання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Зберігання свіжих овочів і фруктів неможливо без створення середовища з температурою нижче температури навколишнього середовища. При цьому, обсяги збережених та охолоджених овочів, фруктів і ягід дуже великі, і вимагають виробництва та застосування промислового холоду, тобто штучного холоду в великих, промислових об'ємах, а також отримання низьких температур для охолодження та заморожування свіжих ягід, фруктів, овочів.

Використання холодильного устаткування дає можливість овочесховищам охолоджувати, заморожувати та зберігати переносну плодоовочеву продукцію. Звичайно, створення необхідного мікроклімату для збереження овочів та фруктів у свіжому вигляді залежить не тільки від температури, але й від вологості, а також від складу повітря в приміщеннях. Усі ці фактори визначають, так звану "Регульовану атмосферу - РА" (Controlled Atmosphere, CA), або "Регульоване Газове Середовище - РГС". [1]

В спеціально створеному повітряному середовищі можна значно довше і ефективніше зберігати швидкопсувні продукти садів і полів, так як кисень (O_2) і вуглекислий газ (CO_2) мають великий вплив на хід процесів зберігання органічних продуктів. Наприклад, сьогодні використовуються такі методи та технології:

- зберігання плодоовочевої продукції, в середовищі с ультра низьким вмістом кисню (вміст кисню менше 1,5%, вміст вуглекислого газу до 2%), для зберігання твердості, кислотності, свіжості плодів;

- зберігання в середовищі з традиційним вмістом кисню (вміст кисню до 4%, вміст вуглекислого газу до 5%) для зберігання плодоовочевої продукції.

Для зменшення вірогідності загнивання плодів та збереження їх свіжими, застосовують технологію шокового оброблення вуглекислим газом (вміст у атмосфері CO_2 до 30%) плодоовочевої продукції до початку процесу зберігання.

На ринку холодильного обладнання найвизначніші місця займають відомі виробники: ALCO Controls, Alfa Laval, Bitzer, Bristol Compressors, Embraco Aspera, Climaveneta, Copeland, Daikin, Danfoss, Frascold, ECO, Tecumseh, Maneurop, Guntner. [1].

Для регуляції газового середовища користується попитом наступне устаткування

- С.А. (Controlled Atmosphere) - регульована середовище (РС).
- RCA (Rapid Controlled Atmosphere) - швидке зниження концентрації кисню.
- U.L.O. (Ultra Low Oxygen) – з ультра низьким вмістом кисню в камері.
- ILOS (Initial Low Oxygen Stress) - швидкісне зниження рівня кисню в камері за короткий проміжок часу.
- LECA (Low Ethylene Controlled Atmosphere) - зниження рівня етилену в камері за допомогою каталітичного конвертера [1]

Формулювання мети дослідження

На ефективність і працездатність холодильної установки впливає безліч факторів.

1. Холодильне обладнання повинно відповідати тепловому навантаженні.

Якщо холодильна установка має холодопродуктивність, яка набагато перевищує теплове навантаження, то компресор буде дуже часто вмикатися і вимикатися. Для будь-якого обладнання з потужним електроприводом є обмеження числа запусків на годину. При кожному пуску холодильна установка працює в максимально несприятливому режимі. Пускові струми можуть перевищувати номінальний струм до 10 разів. При кожному пуску відбувається динамічний удар по муфтам, підшипникам та валу компресора із-за підвищення крутного моменту. В таких умовах, навіть найнадійніше промислове холодильне обладнання довго не попрацює. Крім того, вартість споживаної енергії підвищується в рази.

2. Безперервний режим роботи обладнання протягом всієї робочої зміни.

Промислове холодильне обладнання повинно працювати в безперервному режимі роботи протягом всієї робочої зміни. Підбір обладнання потрібно робити так, щоб воно покривало максимальний тепловий потік з невеликим запасом. Можливо використання акумулятора холоду - додаткової ємності з холодоагентом, що збільшує теплову інерцію в системах оборотного водопостачання. Це дозволить збільшити часовий інтервал між пусками.

3. Варіанти викиду тепла.

Холодильне обладнання, відібравши тепло від охолоджувальної рідини, має це тепло кудись викинути. Причому викид тепла, в залежності від потужності установки може бути дуже значним. Тут є три варіанти:

а) - Викид тепла на вулицю (холодильна установка без конденсатора). Для установки такого типу необхідно передбачити систему зимового пуску в разі роботи підприємства в холодну пору року;

б) - Викид тепла безпосередньо в цех (холодильна установка у виконанні моноблок). Можна використовувати, якщо виділене тепло в змозі розсіюватися по об'єму приміщення, не викликаючи сильного підвищення температури;

в) - Рекуперация енергії, тобто відведення тепла в будь-яке місце, де воно необхідне (наприклад, відведення тепла в систему опалення приміщень). Якщо це можливо, то слід використовувати саме цей варіант відведення тепла від холодильної установки, так як він найбільш економічно ефективний і екологічний.

Метою роботи було вивчення можливості зменшення енергоспоживання холодильним обладнанням, а

також використання тепла від холодильного обладнання.

Викладення основного матеріалу дослідження

Гвинтовий холодильний компресор, який застосовують в складі середньо-, високо- і низькотемпературних холодильних установок і користується популярністю у виробників обладнання завдяки своїй надійності і високій ефективності.

Принцип роботи гвинтового холодильного компресора заснований на безперервному переміщенні і

стисненні парів холодоагенту, завдяки роботі гвинтової пари. Робочими органами гвинтового холодильного компресора є гвинти, так звані ротори.

В основному поширені компресори з двома роторами в конструкції. Один з них є провідним, другий - веденим. Вони обертаються відносно один одного в закритому корпусі і «зачіпляються» між собою зубами, виконаними у формі спіралей. Крутний момент ведучому ротору передає електродвигун, який може розташовуватися в одному корпусі компресора, або з'єднаний з ним через муфту або іншу передачу.

На рис.1 представлена конструкція гвинтового холодильного компресора фірми Bitzer. Основні елементи гвинтового компресора вказані на малюнку.

Форми профілів зубців роторів підібрані так, що в процесі стиснення між гвинтами зберігався постійний контакт, для запобігання перетоків газу з області високого тиску в область низького.

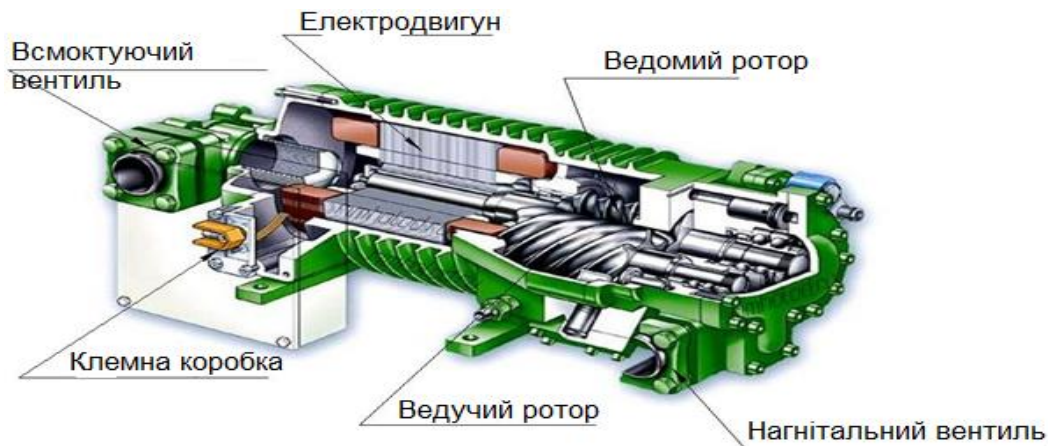


Рис. 1. Конструкція гвинтового холодильного компресора

Сучасні напрямки вдосконалення холодильної обробки засновані на доведенні температури продуктів в промислових холодильниках до рівня, несприятливого для розвитку мікрофлори і забезпечення їх збереження та зменшення втрати маси. Конкретні режими охолодження в холодильних камерах для кожної групи продуктів визначають з урахуванням криоскопічної температури і відповідно до особливостей їх складу, властивостей, мікроструктури, біохімічних процесів, а також цільового призначення і економічності.

Серед методів охолодження продуктів в промислових холодильних та морозильних камерах розрізняють наступні: [2]

- повітряне при підвищеному тиску;
- гідроаерозольне;
- вакуумне;
- з використанням електрофізичних способів;
- снігоподібне, діоксином вуглецю;
- глибоке, в середовищі інертних газів.

Гвинтові холодильні компресори фірми Bitzer працюють з великою кількістю масла. Його використання необхідно для змазування гвинтової пари, зменшення зносу робочих елементів, ущільнення зазорів між гвинтами, а також для відведення тепла, одержуваного при стисненні холодоагенту.

Ця умова вимагає установки в складі холодильної машини на базі гвинтових компресорів олійновіддільників і олійноохолоджувачів. В результаті уприскування масла в зону стиснення газу, тертя в гвинтовому компресорі зведені до мінімуму, механічний контакт між роторами відсутній [2].

Для збільшення холодопродуктивності гвинтових компресорів, особливо при використанні в низькотемпературних цілях, виробники зробили можливим використання переохолоджувача (економайзера). Використання економайзера дозволяє на одному і тому ж компресорі отримувати значно більші характеристики продуктивності.

Сьогодні стають все більш актуальними пошуки способу максимально знизити кількість споживаної

електроенергії, а безперервно зростаюча вартість енергоресурсів робить цей пошук способом виживання на ринку. У всьому світі люди намагаються ефективно використовувати холодильне обладнання, знизити загальну вартість енерговитрат в період його роботи. Для цих цілей застосовуються технічні рішення з використанням частотних перетворювачів для управління вентиляторами конденсаторів і компресорів, а також електронних розширювальних клапанів.

Рекуперація (утилізація) тепла холодильних установок.

Зі збільшенням вартості енергоресурсів технології енергозбереження стають все більш актуальними.

Холодильні машини споживають велику кількість енергії для «виробництва холоду», а й одночасно вони виробляють ще більшу кількість тепла. Системи рекуперації (утилізації, повернення) тепла, що виділяється холодильними установками, дають можливість економити на витратах на повітряне опалення та обігрів води. Холодильні машини виділяють досить велику кількість тепла, що відводиться в процесі охолодження і витраченого в процесі стиснення газу. Все це тепло в звичайних системах не використовується, а утилізується на вулицю за допомогою повітряних конденсаторів (рис.2).



Рис. 2. Утилізація тепла на вулицю за допомогою повітряних конденсаторів

З якою метою можна використовувати тепло від холодильного обладнання?

По-перше - це повітряне опалення.

1. У найпростішому варіанті, в схему холодильної машини включені два паралельно встановлених повітряних конденсатора. Один конденсатор встановлений на вулиці і працює в теплу пору року, другий - в приміщенні, працює в холодну пору року і підігріває повітря. Переклад роботи з одного конденсатора на інший може проводитися як в ручну за допомогою запірних клапанів, так і автоматично з використанням необхідної автоматики.

2. В іншому варіанті, для опалення приміщення використовуються фанкойли (теплообмінники для гарячого газу), і автоматичне керування системою рекуперації тепла. Дана система утилізації тепла дозволяє розподіляти потік гарячого газу між усіма фанкойлами всередині опалювального приміщення і повітряним конденсатором, розташованим на вулиці. Дана система дозволяє регулювати температуру всередині приміщення і відключати частину фанкойлів. Робота системи повністю автоматизована, автоматика підтримує необхідний тиск в холодильних контурах, незалежно від пори року. Зовнішній вигляд фанкойлів дозволяє їм вписатися практично в будь-який інтер'єр. Рекуперація тепла для обігріву повітря всередині приміщення дозволяє ефективно використовувати до 100% тепла, що виділяється холодильною машиною. У вартості такої системи утилізації відсутні проміжні теплообмінники, різні насоси і баки, так як відбувається безпосереднє зняття тепла з гарячого газу.

По-друге - це обігрів води, необхідної для потреб підприємства.

До конденсаторної лінії холодильної системи через теплообмінник підключаються бак-накопичувач, насос. Можливий обігрів через проміжний теплоносіє. Гаряча вода може

використовуватися для миття приміщень, інших технологічних потреб організації або для обігріву ґрунту під низькотемпературними холодильними камерами, для захисту від промерзання. Утилізація тепла з метою обігріву води дозволяє ефективно використовувати лише 20% тепла холодильної машини. Систему рекуперації тепла можна впроваджувати не тільки на нових, спроектованих об'єктах, але і на вже запусканих в експлуатацію. Система працює на низькотемпературних, середньотемпературних і високотемпературних холодильних машинах. Система рекуперації тепла на базі гвинтового компресора: 10% всієї електроенергії, використаної в промисловості, йде на привід повітряних компресорів, 5% енергії, споживаної компресором, передається енергії стисненого повітря, 95% перетворюються в тепло і відводяться в навколишнє середовище через систему охолодження. Як видно, якщо не використовувати теплову енергію компресора, що відводиться в навколишнє середовище, то ККД компресора становить не більше 5%. Ситуацію можна виправити встановивши на компресор систему, яка дозволить використовувати непридатну теплову енергію компресора з користю (наприклад, підігрів води для технології, потреб підприємства або опалення). Такі системи називаються системами утилізації. Вони дозволяють підвищити загальний ККД компресора до 70 - 80%.

Обґрунтування вибору оптимальної геометрії профілю навантаженої поверхні гвинтового агрегату виконано узагальнене порівняння рішення процесу аеродинаміки в криволінійній системі координат. В циліндричній системі координат положення точки Р в просторі рис.3 визначається кутом γ , який утворює координатна площина із площиною проведеною через точку Р та вісь координат Ox , та прямокутними координатами X та Y в цій площині. Тоді формули переходу від декартової системи координат до циліндричної мають наступний вигляд:

$$X=X; Y=\tau\cos\gamma; Z = \tau \sin \gamma. \tag{1}$$

де τ - полярний радіус.

Елементарні ділянки дуг координатних кривих у околиці кривих Р в загальному вигляді мають вигляд:

$$dS_1 = h_1 dg_1, dS_2=h_2g_2, dS_3=h_3g_3, \tag{2}$$

де g_n ($n=1,2,3$) – криволінійні координати, h_i – коефіцієнти, (параметри Ламе).

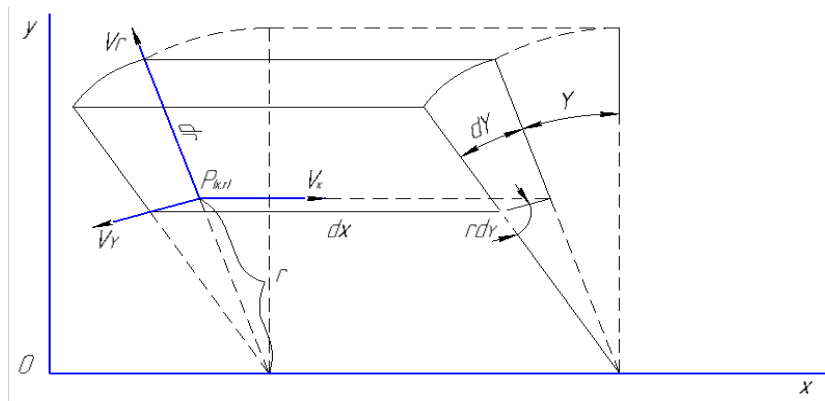


Рис. 3. Елементарна частка простору в навантаженої зоні гвинтового холодильного агрегату в циліндричній системі координат

Тоді:

$$g_1 = X, g_2 = \tau, g_3 = \gamma. \tag{3}$$

Із рис. 3 слідує: $dS_1=dx, dS_2=d\tau, dS_3 = \tau d\gamma$. Виходячи з цього координати параметра Ламе: $h_1 = 1, h_2=1, h_3 = \tau$. Далі знаходимо дивергенцію вектора швидкості в вигляді суми складальних по координатним осям:

$$V = V_1i_1 + V_2i_2 + V_3i_3 = \sum_{n=1}^3 V_n i_n. \tag{4}$$

Після операції дивергенції для обох сторін цього рівняння, маємо:

$$d_i V = \sum_{n=1}^3 (V_n d_i v_{i_n} + i_n g \tau dV_n). \tag{5}$$

Для визначення $d_i v_i n$ використаємо співвідношення векторного аналізу:

$$d_i v_i n = d_i V(i_m \cdot i_j) = i_j \tau d i_m - i_m \tau d_i t i_j. \quad (6)$$

де $n = 1, 2, 3$, які відповідають значенням $m=2, 3, 1$ та $j=3, 1, 2$.

В свою чергу вектора для яких вводимо загальне об'єднання $\tau t i_n$. Використовую загальні методи перетворення векторних величин маємо:

$$C_k = (\sigma_x/E) - (1/k)(\frac{\sigma_y}{E} + \sigma_y/E). \quad (7)$$

де k – коефіцієнт поперечної лінійної деформації;

E – модуль поздовжньої пружності мастильного середовища.

За результати досліджень побудована розрахункова схема для встановлення критеріїв вібраційних збудників швидкооберткових валіків встановлених на пружньо-упругих профільованих вкладишах. Внаслідок того, що раніше не врахували зміни течії мастила на дифузорній та конфузорній ділянці опори, утворені поверхнями мікрохвильових змін, тому до цього часу не врахували похибки від мікробудників вібраційних коливань.

Для виробничих умов розроблена і впроваджена схема представлена на рис.4 на якій відображена якісна картина рівномірного стану несучого навантаження мастильної зони. Для розрахунку аеродинамічної підйомної сили в профільованій упругій мастильній зоні гвинтової пари компресору, використовується рівняння Рейнольда [5], яке має силу для будь якого випадку нестационарного руху в'язкого стискаючого середовища. Розглянемо поодинокий випадок стану швидкості в точці M в координатній площині W_{sx}, W_z , де рідина або газу частка масою $\gamma = d_x \cdot d_y \cdot d_z$ елементарного об'єму рухається під дією вагової та поверхневої сили.

Якщо позначити проекції вагової сили $m_x = x$, $m_y = Z \cdot n$, $m = Y \cdot n$, а проекції поверхневої сили $P_x v; P_y v; P_z v$; де P_x, P_y, P_z – проекції вектора поверхневої сили, віднесеної до одиниці об'єму, то рівняння руху частини в проекції на ось X буде мати вид:

$$\frac{dW_x}{dt} = X + \left(\frac{1}{\rho}\right) P_x; \quad \frac{dW_y}{dt} = Y + \left(\frac{1}{\rho}\right) P_y; \quad \frac{dW_z}{dt} = \left(\frac{1}{\rho}\right) P. \quad (8)$$

Повні прискорення в напрямках відповідної осі. Ому поверхневу силу необхідно виразити через напруження, діючого на елементарну частку в трьох проекціях координатних осей, представлених в вигляді тензора напруження. Проекції поверхневої сили на кожен координатну вісь, віднесених до одиниць об'єму:

$$P_x = \frac{g\sigma_x}{g_x} + \frac{g\tau_{zx}}{g_x} + \frac{g\tau_{yx}}{g_y}; \quad P_y = \frac{g\tau_{xy}}{g_x} + \frac{g\sigma_y}{g_y} + \frac{g\tau_{yz}}{g_z}; \quad (9)$$

$$P_z = \frac{g\tau_{xy}}{g_x} + \frac{g\tau_{yx}}{g_y} + g\sigma_z/g_z; \quad (10)$$

Для того, щоб знайти нормальні σ та дотичні τ напруження використовувати формулу Ньютона для напруження тертя, виникаючого при руху в'язкої рідини відносно твердої стінки опори:

$$\tau_{zx} = \mu \left(\frac{gW_z}{g_x} \right); \quad \tau_{yz} = 2\mu E_x; \quad \tau_{xy} = 2\mu E_x; \quad (11)$$

де μ – коефіцієнт динамічної в'язкості мастильного середовища;

$E_x = 0,5(\partial W_x / \partial x)$ - модуль пружності.

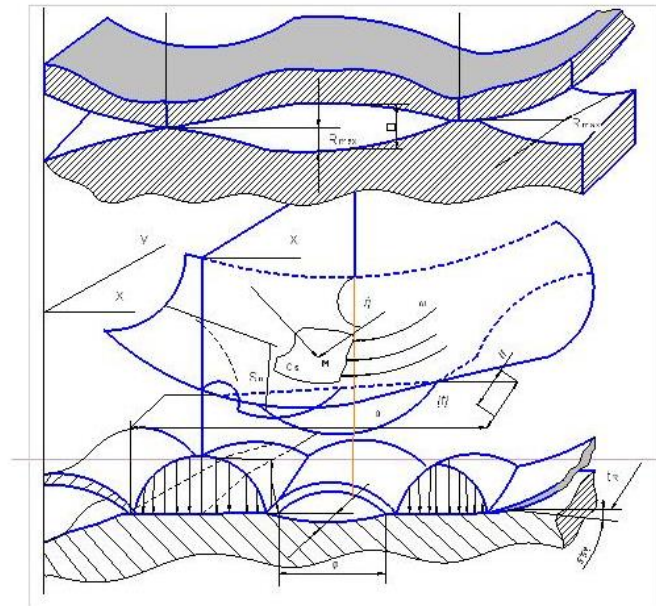


Рис. 4. Розрахункова схема якісних показників робочої мастильної зони:
1 – плоскість центрів; 2 – робоча зона опори; 3 – попереджуюча хвиля; 4 – гідродинамічний тиск;
5 – зона заповнена змазкою; 6 – війська плоскість

Тиск на дифузійній ділянці:

$$P_{X_1} = (6\mu\omega\beta)/lh^2 \int (X - X_1)/(1 + \beta x)^2 dx; \tag{12}$$

на конфузійній площині:

$$P_{X_2} = (6\mu\omega\beta)/h^2 \int (x - x_2)/(1 + 2\alpha\beta - \beta x) dx; \tag{13}$$

Найбільша товщина мастильного шару:

$$A_n = C_k \delta (1 + \theta \cos \varphi). \tag{14}$$

Для отримання коефіцієнтів тиску від пливучої координати та відносної глибини мікрохвильових змін необхідно вивести рівняння. З умов нерозривності потоку, враховуючи мастильне середовище, що протікає в довільному перерізі несучої навантаженої зони, дорівнює алгебраїчній сумі об'єму наведеної течії ∂ та об'єму V_x протікаю чого під дією перепаду тиску:

$$U = U_k + U_x = lA \frac{W}{2} + \frac{lA_3}{12\mu} \frac{dp}{dx}; \tag{15}$$

де l – довжина спрофільованої ділянки по осі Z згідно граничних умов в точці.

Висновки

За рахунок проведеної модернізації опорних вузлів гвинтового компресора можливо підвищити працеспроможність гвинтових компресорів. Одним з можливих шляхів збільшення енергетичних показників і ККД гвинтових компресорів, є зниження втрат енергії на тертя в підшипниках ковзання, які, за оцінками експертів, становлять 20-25%. Така конструкція дозволяє спростити роботу компресора, підвищити технологічність його виготовлення, підвищити надійність роботи підшипникових опор, наблизивши їх до робочої зони, де виникають зусилля від газових сил. Системи рекуперації (утилізації, повернення) тепла, що виділяється холодильними установками, дають можливість економити на витратах на повітряне опалення та обігрів води.

Список використаної літератури

1. Свердлов Г.З., Явнель Б.К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и установок кондиционирования воздуха. — М.: Пищевая промышленность, 1972. — 382с.
2. Зеликовский И.Х., Каплан Л.Г. Справочник по малым холодильным машинам и установкам. — М.: Пищевая промышленность, 1968. — 448с.
3. Канторович В.И. Основы автоматизации холодильных установок. — М.: Пищевая промышленность, 1968. — 356с.
4. Кондрашова Н.Г., Лашутина Н.Г. Холодильно-компрессорные машины и установки. — М.: Высшая школа, 1966. — 374с.
5. <http://www.infrost.com.ua/>
6. <http://rimholod.ru/Refrigeration> Installations Manufacture
7. <http://www.pusnis.lt/ru>
8. <http://energysystems.com.ua>