

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

УДК 631.3

Кваліфікаційна робота на правах  
рукопису

**Кунашенко Ростислав Володимирович**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
Удосконалення конструкції компресора установки для охолодження  
молока**

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

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

---

(підпис)

(ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи  
асистент Тимків В.В.  
Консультант  
професор Грабар І.Г.

Житомир – 2023

## АНОТАЦІЯ

Кунашенко Р.В. Удосконалення конструкції компресора установки для охолодження молока. Дана кваліфікаційна робота виконана на правах рукопису. Кваліфікаційна робота представлена на здобуття освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 «Агроінженерія», Поліський національний університет м.Житомир – 2023р. Факультет інженерії та енергетики. Робота виконана на 27 сторінках машинописного тексту і містить в собі: анотацію, вступ, основну частину з трьох розділів, висновки, список використаних джерел та трьох аркушів графічної частини формату А1.

Зміст роботи заключається в удосконаленні конструкції компресора холодильної установки з метою підвищення надійності, зниження матеріалоємності та конструктивної складності обладнання.

*Ключові слова:* компресор, шатун, поршень, холодильна установка, молоко.

## SUMMARY

Kunashenko R.V. Improvement of the design of the compressor of the milk cooling unit. This qualifying work was performed with the rights of the manuscript. The qualifying work is presented for obtaining a bachelor's degree in specialty 208 "Agroengineering", Polish National University in Zhytomyr - 2023. Faculty of Engineering and Energy. The work is done on 27 pages of typewritten text and contains: an abstract, an introduction, the main part of three sections, conclusions, a list of used sources and three sheets of the graphic part of A1 format. The content of the work consists in improving the design of the compressor of the refrigerating unit in order to increase reliability, reduce material consumption and structural complexity of the equipment.

*Key words:* compressor, connecting rod, piston, refrigeration unit, milk.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
<b>РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	
1.1. Розрахунок процесу машинного доїння .....	5
1.2 Розрахунок лінії первинної обробки молока.....	8
Висновки до розділу 1 .....	9
<b>РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ТЕПЛОХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ</b>	
2.1 Аналіз існуючих конструкцій теплохолодильних машин.....	10
2.2 Розробка парокompресійного компресора холодильної установки.....	14
Висновки до розділу 2 .....	15
<b>РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ КОМПРЕСОРА УСТАНОВКИ</b>	
3.1 Опис проектованого компресора.....	16
3.2 Розрахунок пластинчастого клапана.....	16
3.3 Розрахунок на міцність днища поршня.....	21
3.4 Розрахунок на міцність поршневого пальця... ..	21
3.5 Вибір електродвигуна.....	23
Висновки до розділу 3 .....	23
ВИСНОВКИ .....	25
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	26
ДОДАТКИ .....	

## ВСТУП

Одним з найважливіших стратегічних напрямків, що сприятиме виходу України з кризового післявоєнного становища є стабілізація виробництва і подальше нарощування його обсягів, а також інтеграція країни в світовий економічний простір. Однією з провідних, головних галузей, яка має великий потенціал є переробна промисловість. Саме ця галузь задовольняє життєво необхідні потреби споживачів, забезпечує швидкий обіг капіталу і є привабливою для залучення іноземних інвестицій.

За складних умов на ринку (висока конкуренція, низька покупна спроможність населення країни, нестабільність економіки тощо) підприємствам важко виживати. Тому є необхідність в переході на принципово нові методи і форми управління зорієнтовані на використанні сучасних знань, та енергоощадних технологій при виробництві молока.

**Мета проекту** – удосконалення конструкції компресора холодильної установки.

**Предметом дослідження** парокompресійна теплохолодильна установка .

**Об'єкт досліджень**- є технологічний процес виробництва молока, а також його охолодження з одночасною утилізацією вторинного тепла.

Основними **методами досліджень** є збір та аналіз технічної інформації, з метою удосконалення компресора.

За матеріалами виконаної роботи наявні дві публікації в збірнику наукових праць «Наукові читання – 2023» від 19 квітня 2023 р.:

Тимків В., Кунашенко Р. Аналіз конструктивних рішень теплохолодильних установок. С. 118-119.

Тимків В., Кунашенко Р. Розробка удосконаленої конструкції компресора теплохолодильної машини. С. 119-121.

Результатом виконання даної кваліфікаційної роботи є розробка конструкції моноблочного компресора теплохолодильної установки .

Робота складається з стор. пояснювальної записки та 3 листів графічної частини, які розкривають суть проектних рішень.

## РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Розрахунок процесу машинного доїння

Зоотехнічні вимоги, які пред'являються до технології доїння, обумовлені фізіологією тварин і зводяться до наступного:

1. Забороняється встановлювати доїльні стакани до того, як корова припустить молоко. Всі підготовчі операції по вимені слід проводити протягом 1хв.
2. Доїння найбільш продуктивних корів повинно виконуватись за 4-6хв зі швидкістю доїння до 30-35г/с (2л/хв.).
3. Необхідно передбачити в період найбільшого надою повний відвід молока із підсоскових камер доїльних станків.
4. Важливо забезпечити повне доїння машиною всіх корів без застосування ручного доїння.
5. Забороняється залишати доїльні стакани на дійках після того, як перестає рухатись молоко із вимені, це пов'язане з виникненням маститу.

Для доїння корів на молочній фермі застосовуємо доїльну установку типу «Ялинка» УДА-16. Вона призначена для доїння корів в доїльних групових станках типу «Ялинка», транспортування молока в молочне приміщення, фільтрації, охолодження і подачі молока в ємкості для зберігання, а також роздавання сухих кормів одночасно з доїнням. Ця установка УДА-16 може застосовуватись з прив'язним і безприв'язним способом утримання корів, які підібрані в групи по швидкості молоковіддачі і продуктивності.

Застосувавши цю доїльну установку, ми вирішуємо одночасно багато питань щодо зменшення навантаження на операторів, зменшення потреби в робочій силі, транспортування молока в молокозберігаючі ємності. Це веде до зменшення затрат праці на 1ц молока і, відповідно, зменшуємо його собівартість, що і є головним питанням останнім часом.

Фактичну продуктивність лінії машинного доїння визначаємо за формулою [1]:

$$Q_{л} = \frac{\alpha_{н} \cdot (1 - \bar{b}_{с}) \cdot m_{к} \cdot M_{г}}{D_{л} \cdot K_{д} \cdot T_{зТВ}} \quad (1.1)$$

де  $\alpha_{н}$  – коефіцієнт добової нерівномірності надою молока;

$$\alpha_{н} = 1.3$$

$\bar{b}_{с}$  – доля сухостійних корів

$$\bar{b}_{с} = 0.12$$

$m_{к}$  – поголів'я корів на фермі

$$m_{к} = 400 \text{ гол.}$$

$M_{г}$  – річний надій корови

$$M_{г} = 5000 \text{ кг}$$

$D_{л}$  – тривалість періоду лактації

$$D_{л} = 300 \text{ днів}$$

$T_{зТВ}$  – тривалість доїння корів згідно з зоотехнічними вимогами (ЗТВ)

$$T_{зТВ} = 2.25 \text{ год. [1]}$$

$K_{д}$  - кратність процесу доїння;

$$K_{д} = 3$$

Тоді, підставивши ці значення у попередню формулу, отримуємо фактичну продуктивність лінії (кг/год.):

$$Q_{л} = \frac{1.3 \cdot (1 - 0.12) \cdot 400 \cdot 5000}{300 \cdot 2 \cdot 2.25} = 1130 \text{ (кг / год.)}$$

Потрібна кількість доїльних установок:

$$Z_{д.у.} = \frac{M_{д}}{T \cdot Q_{у}} \quad (1.2)$$

де:  $M_{д}$  – число дійних корів

$$M_{д} = 368 \text{ гол.}$$

$T$  – час доїння всіх корів

$$T = 2.25 \text{ год. [1]}$$

$Q_{у}$  – пропускна здатність доїльної установки

$$Q_y = 85 \text{ гол./год. [1]}$$

За формулою (3.26) отримаємо такий результат:

$$Z_{\text{д.у.}} = \frac{360}{2.25 \cdot 85} = 2 (\text{шт.})$$

Доїльна установка УДА-16 типу «Ялинка» має 16 доїльних апаратів, які обслуговуються одним оператором .

Продуктивність доїльних установок:

$$Q_{\text{в.е.}} = \frac{120 \cdot K_{\text{ж}}}{t_{\text{ц}}} \quad (1.3)$$

Де  $K_{\text{ж}}$  – число корів у груповому станку;

$$K_{\text{ж}} = 16 \text{ гол.}$$

$t_{\text{ц}}$  – час циклу, рівний:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{д}} + K_{\text{т}} \cdot (t_{\text{п}} + t_{\text{сп}} + t_{\text{над}}) \quad (1.4)$$

Де  $t_{\text{д}}$  – час машинного доїння корів ;

$$t_{\text{д}} = 5 \text{ хв.}$$

$t_{\text{п}}$  – підготовчий час на одну тварину ;

$$t_{\text{п}} = 0.55 \text{ хв.}$$

$t_{\text{сп}}$  і  $t_{\text{над}}$  – відповідно час зняття і надівання одного апарату ;

$$t_{\text{сп}} = 0.18 \text{ хв.}$$

$$t_{\text{над}} = 0 \text{ хв.}$$

Тоді

$$t_{\text{ц}} = 5 + 16 \cdot (0.55 + 0.18 + 0) = 16.68 (\text{хв.})$$

Підставивши ці значення у формулу , отримаємо:

$$Q_{\text{в.е.}} = \frac{120 \cdot 16}{16.68} = 85 (\text{гол./ год.})$$

Розрахунок кількості молока (кг), що надоюється на установці за 1 годину роботи визначаємо по формулі :

$$q_p = \beta \cdot m \cdot c' \cdot G \cdot Q_{\text{в.п.}} \quad (1.5)$$

де:  $\beta$  – коефіцієнт, який враховує максимально можливий надій молока за добу [3]

$$\beta = 0.003$$

$m$  – коефіцієнт нерівномірності подачі молока ;

$$m = 1$$

$c'$  – коефіцієнт, який враховує максимально можливий надій молока за одну дійку ;

$$c' = 0.4$$

$G$  – середній надій молока за рік від однієї корови

$$G = 5000\text{кг}$$

$Q_{\text{у.п.}}$  – число корів, які видоюються за 1 годину на двох установках

$$Q_{\text{у.п.}} = 170\text{гол.}$$

Тоді:

$$q_p = 0.003 \cdot 1 \cdot 0.4 \cdot 5000 \cdot 170 = 1020 (\text{кг} / \text{год.})$$

А за добу кількість молока визначимо по формулі:

$$Q_{\text{доб}} = \beta \cdot G \cdot Q_{\text{у.п.}} = 0.003 \cdot 5000 \cdot 170 = 2550 (\text{кг}) \quad (1.6)$$

## 1.2 Розрахунок лінії первинної обробки молока

Обладнання для обробки молока повинне забезпечувати високу його якість і відповідно стандарту на молоко. ГОСТ 13264-88 передбачає обов'язкову первинну обробку молока безпосередньо на фермі – охолодження його до температури не вище  $10^{\circ}\text{C}$ .

Комплексний приймальний пункт розташований в 2км від ферми, тому молоко вигідніше транспортувати кожен день до нього, ніж зберігати на фермі.

Виходячи з цих умов, вибираємо таке обладнання для первинної обробки молока, яке складається з резервуара-охолоджувача молока типу РПО-2.5 для короткочасного зберігання молока і очисник-охолоджувач молока марки ОМ-1А.

Необхідною умовою роботи лінії є [1] :

$$Q_{\text{ПМ}} = Q_{\text{л}} \quad (1.7)$$

Визначимо кількість резервуарів-охолоджувачів марки РПО-2.5:



$$n_{OX} = \frac{Q_{доб.} / \rho_M}{V_{OX}} \quad (1.8)$$

де:  $\rho_M$  – густина молока [3]

$$\rho_M = 1083 \text{ кг/м}^3$$

$V_{OX}$  – об'єм резервуара-охолоджувача по паспорту [6]

$$V_{OX} = 2.5 \text{ м}^3$$

Тоді

$$n_{OX} = \frac{2550/1083}{2.5} = 0.9 (\text{шт.})$$

Застосовуємо один резервуар-охолоджувач РПО-2.5 для короткочасного зберігання молока.

Проведемо розрахунок щодо застосування очисника-охолоджувача. Визначимо кількість очисників-охолоджувачів марки ОМ-1А, щоб забезпечити безперебійну роботу лінії первинної обробки молока:

$$n_{Oч} = \frac{q_{раз} / \rho_M}{q_{Oч}} \quad (1.9)$$

де:  $q_{раз}$  – кількість молока за одну дійку

$$q_{раз} = 1020 \text{ кг}$$

$q_{Oч}$  – пропускна спроможність очисника-охолоджувача по паспорту [6]

$$q_{Oч} = 1000 \text{ л/год.}$$

Кількість охолоджувачів-очисників по формулі :

$$n_{Oч} = \frac{1020/1.083}{1000} = 0.9 (\text{шт.})$$

Застосовуємо один очисник-охолоджувач ОМ-1А.

**ВИСНОВОК** до розділу 1 . Отже, для машинного доїння корів на даній фермі поголів'ям 400 корів по розрахункам, проведеним вище, нас повістю влаштує застосування двох доїльних установок типу «Ялинка» УДА-16. Весь процес машинного доїння обслуговують 2 оператори машинного доїння. Виходячи з вище проведених розрахунків, вибране обладнання, яке складається з очисника-охолоджувача ОМ-1А і резервуара-охолоджувача РПО-2.5, забезпечує безперебійну роботу лінії первинної обробки молока. Є навіть невеликий запас

для збільшення в подальшому продуктивності корів або ж збільшення молочного стада.

## РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ТЕПЛОХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

### 2.1 Аналіз існуючих конструкцій тепло холодильних машин

В нинішніх умовах головними тенденціями розвитку аграрної енергетики є розроблення і впровадження високоефективних енергоощадних технологій виробництва в технологічних процесах поновлюваних джерел енергії. Це зумовлено специфікою цього сектору енергетики: переважна більшість технологічних процесів сільського господарства пов'язані із споживанням великої кількості теплової енергії, що в значній мірі задовольняється за рахунок електроенергії. З іншого боку, сільське господарство має в своєму розпорядженні власні вторинні теплові ресурси, але через їх низький температурний рівень вони використовуються недостатньо.

Широке залучення до енергетичного балансу аграрної галузі теплових насосів – перспективний напрямок, що дозволить використовувати теплові ресурси низькопотенціальної енергії, тим самим зменшуючи енергетичний дефіцит та забезпечуючи охорону довкілля [3].

Теплові насоси (рис 3.6), без сумніву, є найбільш перспективними серед джерел «нетрадиційної енергетики». Вони допоможуть вирішити проблеми енергозбереження завдяки здатності «черпати» поновлювану енергію з навколишнього середовища.

Енергетична доцільність застосування теплових насосів як енергоджерела переконливо доведена результатами численних наукових досліджень і досвідом експлуатації мільйонів теплових насосів в багатьох країнах світу. Їх застосування дозволяє використовувати низькопотенціальну теплоту.

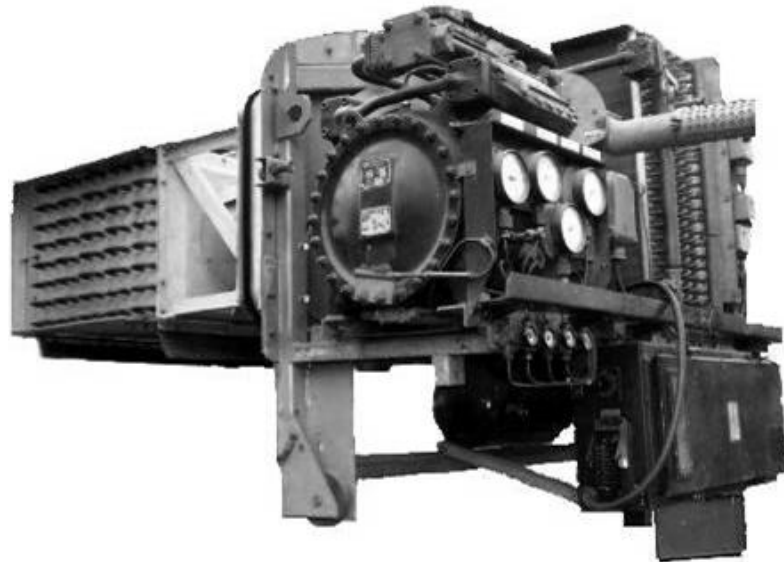


Рис. 2.1 Загальний вигляд теплонасосної установки для обігріву тваринницьких приміщень.

Теплові насоси здебільшого застосовують в лініях первинної обробки молока і в системах тепlopостачання стійлових приміщень.

Теплові насоси доцільно застосовувати для тепло- і холодозабезпечення сільськогосподарських об'єктів (молочнотоварних ферм, овочесховищ, зерносховищ, теплиць, тощо.)

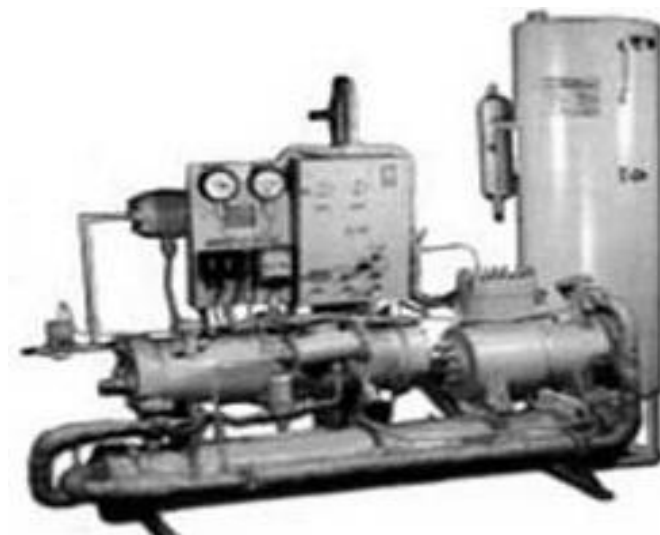


Рис. 2.2 Установка ТХУ14.

На даний час у сільському господарстві використовують теплохолодильні установки, типу ТХУ14 (рис. 3.7), ТХУ 24-4-0 (рис. 3.8), НКВ 60-2-

8 (рис. 3.9), що фактично являють собою теплові насоси типу «вода-вода», призначені для охолодження води, використовуваної як проміжного холодоносія в проточних або ємнісних охолоджувачах і одночасного нагрівання води для санітарно – технологічних потреб на тваринницьких фермах.

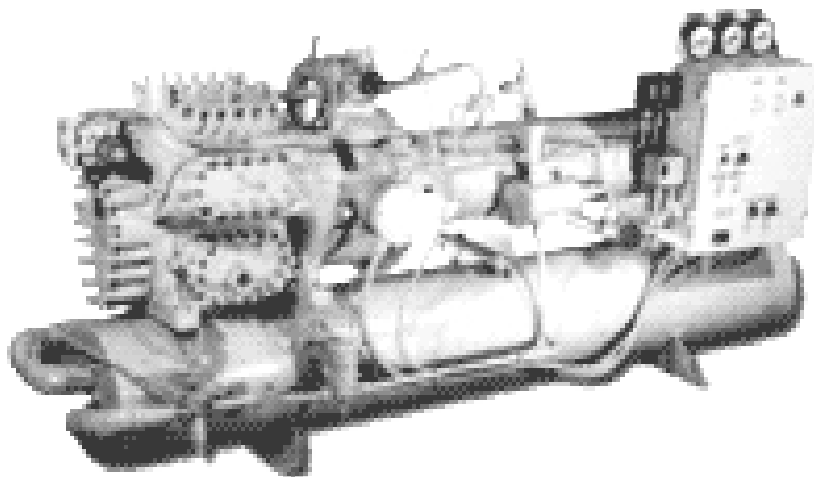


Рис. 2.3 Установка ТХУ 24-4-0.

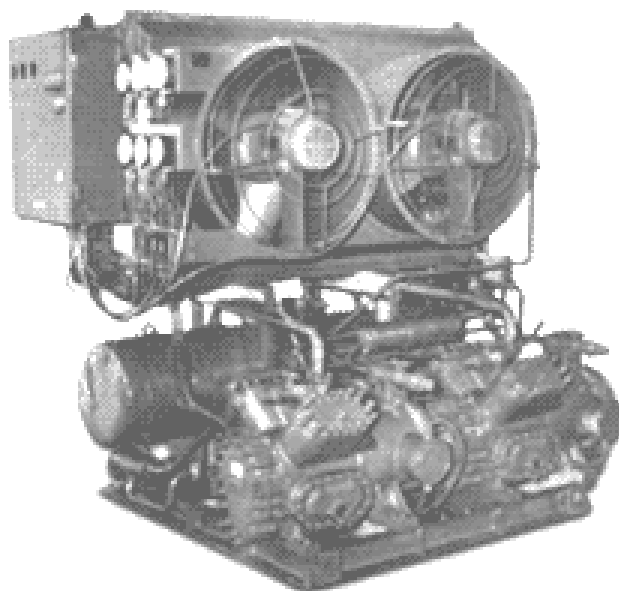


Рис. 2.4 Установка НКВ 60-2-8.

Низькопотенціальним джерелом теплової енергії для теплохолодильних установок може слугувати, наприклад, свіже молоко. Під час охолодження 1л молока з 30 °С до до 4-6 °С виділяється 85-100кДж теплоти. Цього тепла, а також енергії, витраченої на приведення в дію компресора, достатньо для

нагрівання 1л води до температури 25-35 °С. Для експлуатування сучасних установок в технологічному процесі потрібна гаряча вода з температурними значеннями 30°С, 40 °С і 60 °С [4].

У найбільш поширених парокомпресійних теплових насосах це низькопотенційне тепло, джерелом якого служить в основному проточна вода, витрачається на кипіння у випарнику проміжного холодоагенту (як правило, фреону). Пари останнього стискаються в компресорі до тиску, що забезпечує їх конденсацію при 75-80 ° С в конденсаторі, охолоджуваному зворотньо водою системи опалення (50-55 ° С), яка при цьому нагрівається до необхідної температури. В залежності від температури теплоджерела тепла енергія, вироблена ТН, може в 3-7 разів перевищувати витрати електричної енергії на привід компресора. У результаті споживач на одиницю витраченого вихідного палива отримує в 1,5-2,5 рази більше тепла, ніж при його прямому спалюванні в самих економічних (газових) котелень.

Таблиця 1.1

## Технічні характеристики теплохолодильних установок

Установка	Витрата теплоносія через конденсатор, м <sup>3</sup> /год	Кількість холодоносія, що циркулює, м <sup>3</sup> /год	Значення показників: холодопродуктивності, Q <sub>0</sub> , кВт; теплопродуктивності Q <sub>t</sub> ,кВт; споживаної потужності, N <sub>кВт</sub> .			
			Q <sub>0</sub>	Q <sub>t</sub>	N <sub>кВт</sub>	Режим роботи
ТХУ6-4-0	1	3	6,62	8	6,5	T <sub>i</sub> =+2 °С T <sub>k</sub> =+25 °С
ТХУ-14	0,8	2	17,3	17,6	7,6	T <sub>i</sub> =+2 °С T <sub>k</sub> =+20 °С
ТХУ24-2-0	4	12	24,4	29,5	10,8	T <sub>i</sub> =+2 °С T <sub>k</sub> =+20 °С

НТК5-4-9	2	7	19,0	16,0	4,1	$T_B=+40\text{ }^\circ\text{C}$ $T_k=+60\text{ }^\circ\text{C}$
НКТ10-4-9	5	14	38,0	40,0	8,3	$T_B=+4\text{ }^\circ\text{C}$ $T_k=+60\text{ }^\circ\text{C}$
НКВ60-2-8	10	20000	60,0	60,0	24,0	$T_B=+2\text{ }^\circ\text{C}$ $T_k=+45\text{ }^\circ\text{C}$

Природно, що теплові насоси, особливо у розвинених країнах, інтенсивно витісняють традиційні способи теплопостачання, засновані на спалюванні органічного палива. В даний час у світі працює понад 80 млн. теплових насосів різної потужності - від декількох кіловат до сотень мегават.

## 2.2 Розробка парокompресійного компресора холодильної установки

Проаналізувавши вищезазначене, було розроблено схему парокompресійного теплового насосу для утилізації теплоти свіжовидоєного молока.

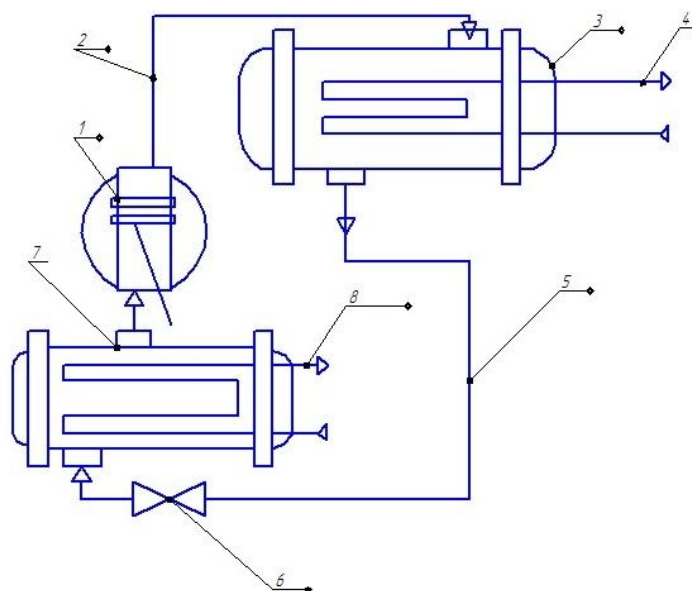


Рис. 2.1 Конструктивна схема розробленої парокompресійної установки.

1-компресор; 2- газоподібний холодоагент; 3- конденсатор; 4- вода що нагрівається; 5- рідкий холодоагент; 6- дросель; 7- випарник; 8- молоко.

Оскільки основним конструктивним елементом теплового насосу є компресор, який стискує холодоагент в системі, то в подальшому в конструктивній частині проекту, буде приділено увагу саме компресорним установкам.

## ВИСНОВКИ до розділу 2

Таким чином на молочних фермах істотну частку витрати енергоресурсів (до 50%) становлять витрати електроенергії на приведення в дію компресорів холодильних машин, призначених для охолодження свіжовидоєного молока та на нагрівання води для санітарно-технологічних потреб. Таке поєднання потреби в теплоті і в холоді створює сприятливі умови для застосування теплових насосів. З вентиляованим повітрям стійлових приміщень відводиться значна кількість теплоти, яка успішно може бути використана як низькопотенціальне теплогжерело для малих теплових насосів. Їх застосування забезпечить водночас кондиціювання повітря в стійлових приміщеннях і теплопостачання виробничих приміщень тваринницьких ферм.

## РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ КОМПРЕСОРА УСТАНОВКИ

### 3.1 Опис проектованого компресора

Проектований компресор – холодильний, поршневий, одноступінчатий, непрямочний, двоциліндровий, вертикальний, з блок-картерним виконанням, простої дії, з вмонтованим електродвигуном, безсальниковий, з вільно-примусовою системою мащення (змазка від насоса і розбризкуванням), стаціонарний, з середньотемпературним режимом роботи, фреоновий, середньої холодопродуктивності.

Мащення механізму руху виконується як з допомогою розбризкування, так і з допомогою шестеренчатого маслонасоса.

Норма витрат мастила для циліндрів складає  $0,002 \text{ г/м}^2$ . Застосовуються масло типу ХФ-22-18.

В компресорі застосовуються ковани алюмінієві поршні, клапани на всмоктуванні і нагнітанні прийняті відповідно розрахункам – пластинчаті.

Охолодження циліндрів – парами холодильного агента (R22). Пар через всмоктувальний патрубок проходить через електродвигун, охолоджуючи його, гільзу і потім йде на всмоктування. Місце посадки ущільнено спеціальними паранітовими прокладками.

Ротор електродвигуна виконує роль маховика. Маховик в свою чергу являється акумулятором енергії поршневого компресора, дозволяючи подолати інерцію механізму руху в мертвих точках.

Маслонасос шестеренчатий вмонтованого типу. Масло після маслонасоса подається на мащення в пари тертя через отвори в валу і шатуні. При цьому перед потраплянням в маслонасос воно проходить фільтр грубої очистки.

Підшипникові опори – кулькові двохрядні.

### 3.2 Визначення геометричних розмірів

Приймаємо вертикальну дворядну схему компресора.



Для непрямочних машин прийємо величину  $\psi = 0,75$ . Значення середньої швидкості поршня  $c_m$  для поршневих компресорів повинна бути в межах від 2,5 до 4,5 м/с. Хід поршня прийємо  $S = 82$  мм і частоту обертання колінвалу  $n = 24$  об/с,

тоді:

$$c_m = 2 \cdot S \cdot n = 2 \cdot 0,082 \cdot 24 = 3,936 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad (3.1)$$

Визначаємо діаметр поршня:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_T}{\pi \cdot S \cdot i \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0357}{3,14 \cdot 0,082 \cdot 2 \cdot 24}} = 0,1075 \text{ м}; \quad (3.2)$$

Прийємо  $D = 110$  мм.

Уточнюємо значення  $\psi$

$$\psi = \frac{S}{D} = \frac{82}{110} = 0,745. \quad (3.3)$$

Прийємо величину:

$$\lambda_R = \frac{R}{L} = \frac{S}{2L} = 0,2, \quad (3.4)$$

$$L = \frac{S}{0,4} = \frac{82}{0,4} = 205 \text{ мм}. \quad (3.5)$$

Діаметр шийки колінвалу, виготовленого зі сталі 40Х, можливо визначити за формулою:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{0,2 \cdot \tau_{кр}}}. \quad (3.6)$$

Крутний момент знайдемо за формулою:

$$M_{кр} = 9555 \cdot \frac{N_e}{n} = 9555 \cdot \frac{37.8}{24 \cdot 60} = 250.82 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.7)$$

Для сталі 40Х, вид термообробки покращення, допустиме дотичне напруження складає:

$$[\tau] = 900 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 8,82 \cdot 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}, \quad (3.8)$$

Звідси можна знайти дотичне напруження при крученні:

$$\tau_{кр} = \frac{[\tau]}{k} = \frac{8,82 \cdot 10^7}{2,5} = 3,53 \cdot 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}, \quad (3.9)$$

де,  $k$  – коефіцієнт запасу міцності, ( $k = 2 \dots 3$ )

Підставимо ці значення в вираз для діаметра корінної шийки  $d$ :

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{0,2 \cdot \tau_{кр}}} = \sqrt[3]{\frac{250.82}{0,2 \cdot 3,53 \cdot 10^7}} = 0,033 \text{ м},$$

Приймаємо  $d=40$  мм.

Діаметр шийки колінвала:

$$d_{ш} = (0,8 \dots 1,0) \cdot d = 0,9 \cdot 40 = 36 \text{ мм}. \quad (3.10)$$

Відносна довжина шатуна:

$$\lambda_R = \frac{R}{L} = \frac{S}{2L} = 200 \text{ мм}. \quad (3.11)$$

Довжина шатуна:

$$L = \frac{S}{2\lambda_R} = \frac{82}{2 \cdot 0,2} = 205 \text{ мм.} \quad (3.12)$$

Масу частин, які рухаються поступально визначаємо по знайденому значенню  $D$  використовуючи графік [1] рис. 31.

$$m_{\text{п.ч.}} = 1,62 \text{ кг.} \quad (3.13)$$

### 3.2. Розрахунок пластинчатого клапана.

Швидкість холодильного агента в клапанах:

$$c_{\text{кл}} = \frac{c_m \cdot F_n}{\Phi}, \quad (3.14)$$

де  $c_m = 3,936 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  – середня швидкість поршня.

$$F_n = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,11^2}{4} = 0,0095 \text{ м}^2. \quad (3.15)$$

Допустима швидкість холодоагенту в сідлі и розетці клапанів:  
всмоктувального  $[c_{\text{кл}}]_{\text{вс}} = 40 \div 60 \text{ м/с}$ , приймаємо  $[c_{\text{кл}}]_{\text{вс}} = 45 \text{ м/с}$ ; нагнітального  
 $[c_{\text{кл}}]_{\text{н}} = 40 \div 60 \text{ м/с}$ , приймаємо  $[c_{\text{кл}}]_{\text{н}} = 45 \text{ м/с}$ .

Швидкість звуку в клапанах:

$$\text{– всмоктувальний} \quad a_{\text{вс}} = \sqrt{k \cdot R \cdot T_{\text{вс}}} = \sqrt{1,2 \cdot 96,1 \cdot 328} = 194,5 \text{ м/с,} \quad (3.16)$$

$$\text{– нагнітальний} \quad a_{\text{н}} = \sqrt{k \cdot R \cdot T_{\text{н}}} = \sqrt{1,2 \cdot 96,1 \cdot 376} = 208,2 \text{ м/с.} \quad (3.17)$$

При проектуванні клапанів повинна дотримуватися умова:

$$M_{кл} = \frac{c_{кл}}{a} \leq 0,25, \quad (3.18)$$

$$M_{кл.вс.} = \frac{45}{194.5} = 0,231 < 0,25,$$

$$M_{кл.н.} = \frac{45}{208.2} = 0,216 < 0,25.$$

Умова виконується.

Еквівалентна площа клапана

– при нагнітанні 
$$\Phi_n = \frac{c_m \cdot F_n}{[c_{кл.н}]} = \frac{3,936 \cdot 0,0095}{45} = 8.3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, \quad (3.19)$$

– при всмоктуванні 
$$\Phi = \alpha_{щ} \cdot f_{щ}, \quad (3.20)$$

де  $\alpha_{щ} = \frac{1}{\sqrt{\xi_{щ}}}$  – коефіцієнт витрат щілини;

$\xi_{щ} = 2$  – коефіцієнт опору щілини пластинчатого клапана.

$$\alpha_{щ} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,71, \quad (3.21)$$

Площа прохідного перетину щілини:

$$f_{щ} = \frac{\Phi}{\alpha_{щ}} = \frac{8.3 \cdot 10^{-4}}{0,71} = 11.7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 1170 \text{ мм}^2. \quad (3.22)$$

Приймаємо ширину щілини  $h = 0,005 \text{ м} = 5 \text{ мм}$ .

Потрібна довжина щілини:

$$L = \frac{f_{\text{ш}}}{h} = \frac{1170}{5} = 234 \text{ мм}, \quad (3.23)$$

Приймаємо 6 щілин по  $l=39$  мм.

3.3 Розрахунок на міцність днища поршня. Днище поршня розраховуємо як круглу плиту, зароблену по периметру.

Розрахункове напруження згину:

$$\sigma = 0,68 p_3 \frac{r^2}{\delta^2}, \quad (3.24)$$

$p_3$  -максимальний надлишковий тиск,

$$p_3 = p_c - p_{\text{атм}} = 1,4 \cdot 10^6 - 0,1 \cdot 10^6 = 1,3 \cdot 10^6 \text{ Па}, \quad (3.25)$$

$$r = D_{\text{п}} - \delta_{\text{ст}} = 0,11 - 0,01 = 0,1 \text{ м}, \quad (3.26)$$

$r$  – радіус заробки днища поршня,

$\delta$  – товщина днища;  $\delta=0,01$  м.

Тоді:

$$\sigma_{\text{н}} = 0,68 \cdot 1,3 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,1^2}{0,01^2} = 156 \text{ МПа}. \quad (3.27)$$

3.4 Розрахунок на міцність поршневого пальця. Поршневий палець розраховується як балка на двох опорах з рівномірно розподіленим навантаженням по довжині шатунного підшипника.

Напруження в пальці:

$$\sigma = \frac{M_{\text{зг}}}{W}. \quad (3.28)$$

Максимальний згинаючий момент в середньому перерізі пальця:

$$M_{зг} = \frac{p_{\Gamma}}{2} \left( \frac{b}{2} + \frac{a}{2} \right) - \frac{p_{\Gamma}}{2} \cdot \frac{c}{4}, \quad (3.29)$$

a, b, c – відповідні відрізки.

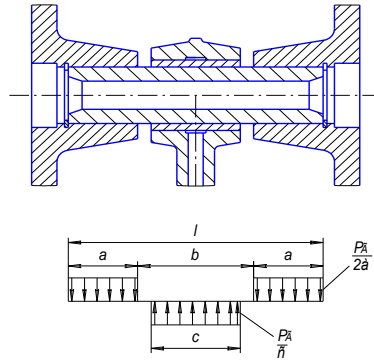


Рис. 3.2 Поршневий палець.

Газова сила рівна:

$$p_{\Gamma} = p_{\kappa} \frac{\pi D_{\Pi}^2}{4} = 1,4 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,11^2}{4} = 13,3 \text{ кН} = 13300 \text{ Н}. \quad (3.30)$$

Момент опору згину:

$$M_{зг} = \frac{13300}{2} \cdot \left( \frac{32 \cdot 10^{-3}}{2} + \frac{22 \cdot 10^{-3}}{2} \right) - \frac{13300}{2} \cdot \frac{25 \cdot 10^{-3}}{4} = 138 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (3.31)$$

$$W = \frac{\pi}{16} \left( \frac{d_3^4 - d_{\text{вн}}^4}{d_{\text{н}}} \right), \quad (3.32)$$

де  $d_3 = 24 \cdot 10^{-3}$  м;  $d_{\text{вн}} = 12 \cdot 10^{-3}$  м; – зовнішній і внутрішній діаметри пальця.

$$W = \frac{\pi}{16} \cdot \left( \frac{0,024^4 - 0,012^4}{0,024} \right) = 25,43 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3,$$

Тоді:

$$\sigma = \frac{138}{25,43 \cdot 10^{-7}} = 54,3 \text{ МПа.}$$

Допустиме значення:

$$\sigma' = \frac{\sigma_{зр}}{n} \text{ МПа,} \quad (3.33)$$

де  $n = 3$  – коефіцієнт запасу;

$\sigma_{зр} = 7802 \text{ МПа}$  для сталі 40Х.

$$\sigma' = \frac{780}{3} = 260 \text{ МПа.}$$

$\sigma' > \sigma$  – товщина пальця задовольняє характеристикам міцності .

3.5 Вибір електродвигуна. Потужність електродвигуна:

$$N_{ед} = 49,3 \text{ кВт.}$$

Вибираємо електродвигун асинхронний серії 4А закритий (ГОСТ 19523-81).

Потужність електродвигуна  $N_{ед} = 55 \text{ кВт}$ , типорозмір 4А225М4У3,

Технічні характеристики:

- $P_{ном} = 55 \text{ кВт}$
- $U_{ном} = 380 \text{ В}$
- $n_{ном} = 1480 \text{ об/мин}$
- $s_{ном} = 1,4 \%$
- $s_{кр} = 10\%$
- $\text{ккд} = 92,5 \%$
- $\cos \varphi = 0,9$
- $M_{п}/M_{н} = 1,3$
- $M_{мах}/M_{ном} = 2,5$
- $M_{мін}/M_{ном} = 1$
- $I_{п}/I_{ном} = 7$
- $j = 0,64 \text{ кг} \cdot \text{м}^3$
- Маса – 355 кг

**ВИСНОВКИ** до розділу 3 Таким чином результатом удосконалення установки для охолодження молока є розроблений компресор, який утилізує низько потенційне тепло. Характерною особливістю даної

системи є моноблочна конструкція компресора, яка дає можливість зменшити габаритні розміри установки, тим самим – металоємкість. Наявність прямого приводу дає можливість знизити питомі витрати електричної енергії під час роботи установки. Основні технічні характеристики наступні:  $P_{\text{ном}}=55$  кВт,  $U_{\text{ном}}=380$  В,  $n_{\text{ном}}=1480$  об/мин.



Таким чином в результаті виконання кваліфікаційної роботи вирішенні наступні завдання:

- в розрахунково-технологічній частині роботи задавши умовно поголів'я 400 голів обґрунтовано технологічну схему доїння корів з використанням доїльної установки типу УДА – 16 А. Наступною технологічною операцією, що забезпечує зберігання молока є його очистка та охолодження, для цього використовуємо обладнання типу РПО-2.5 для короткочасного зберігання молока і очисник-охолоджувач молока марки ОМ-1А;
- переважна більшість процесів згідно технології в сільському господарстві є енергомісткими і пов'язані із споживанням великої кількості теплової енергії, що в більшості задовольняється за рахунок електроенергії. З іншої сторони сільське господарство має в своєму розпорядженні власні вторинні теплові ресурси, як наприклад молоко. Так наприклад до слова під час охолодження 1л молока з 30 °С до до 4-6 °С виділяється 85-100кДж теплоти. Цього тепла достатньо для нагрівання 1л води до температури 25-35 °С.  
Тому залучення до енергобалансу теплових насосів – перспективний напрямок, що дозволяє використати низько потенціальну енергію, що зменшує енергодефіцит та забезпечуючи охорону НПС;
- оскільки основним конструктивним елементом теплового насосу є компресор, який стискує холодоагент в системі, то в конструктивній частині проекту було приділено увагу удосконаленню компресора холодильної установки з метою зниження матеріалоємності та витрат енергії, завдяки використанню моноблочної конструкції, що має суттєві переваги над традиційним компонованням.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водяницький Г.П. Методичні вказівки з курсового і дипломного проектування «Проектування і рахунок технологічних процесів тваринницьких підприємств промислового типу». - Житомир. ДАЕУ. 2005. – 195 с.
2. Гулий І.С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості. За редакцією академіка Гулого І.С. – В.: "Нова книга", 2001. – 571 с.
3. Дацишин О.В. Дипломне та курсове проектування – Київ: Урожай, 1996.
4. Машини та обладнання переробних виробництв: Навч. Посібник / О.В. Дацишин, А.І. Ткачук, Д.С. Чубов та ін.; За ред. О.В. Дацишина. – К.: Вища освіта, 2005. – 159 с.
5. Машкін М.І. Молоко і молочні продукти. К.: Урожай, 1996 –333с.
6. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни „Машиновикористання на малих переробних підприємствах”. За ред. проф. Дацишина О.В. – К.: Видавничий центр НАУ, 2015. – 99 с.
7. Методичні вказівки по дипломному проектуванню. За ред. проф. Дацишина О.В. – К.: Видавничий центр НАУ, 1997.
8. Методичні вказівки щодо виконання та захисту випускних кваліфікаційних робіт . Для здобувачів вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія». Житомир- 2020. – 47с.
9. Механізація і автоматизація молочних ферм / В.А. Ясенецький, Н.П. Мечта, Л.В. Погорілий і ін.. – К.: Урожай, 1992. – 392 с.
10. Новітні технології виробництва молока / Кравчук В.І., Луценко М.М., Смоляр В.І. та ін./ За ред.. В.І. Кравчука. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2008. – 71 с.
11. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості / І.С. Гулий, М.М. Пушанко, Л.О. Орлов та ін.: за ред. І.С. Гулого. – К.: Нова Книга , 2001. – 576 с.

12. Основи холодильних технологій / О.М. Іванов, Лозовський А.П. – К.; Університетська книга, 2014. – 149 с.
13. Холодильна технологія та технічні засоби її забезпечення / М.П. Бодак, І.В. Сирохман. – Львів: Вид-во торг.-екон. ун-ту, 2018. – 412с.