

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Механіко-технологічний факультет**

**ПОГОДЖЕНО**  
Декан механіко-технологічного факультету

\_\_\_\_\_ Братішко В.В.  
(підпис) (ПІБ)  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри  
кафедра охорони праці та біотехнічних систем у  
тваринництві

\_\_\_\_\_ Хмельовський В.С.  
(підпис) (ПІБ)  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на тему **Обґрунтування технологічних процесів на МТФ з  
дослідженням двоторного вакуумного насосу**

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»

Освітня програма – Агроінженерія

Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

**Гарант освітньої програми**

Д.т.н., проф. \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

Братішко В.В.  
(ПІБ)

**Керівник магістерської роботи**

К.т.н. \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

Потапова С.Є.  
(ПІБ)

**Виконав**

\_\_\_\_\_ Шульженко Олексій Олександрович  
.....(підпис) (ПІБ студента)

**КИЇВ – 2025**

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

д.т.н., проф. \_\_\_\_\_ Хмельовський В.С.  
(підпис) (ПБ)  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської роботи студенту

Шульженку Олексію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Спеціальність:

Тема магістерської роботи: Обґрунтування технологічних процесів на МТФ з дослідженням двороторного вакуумного насоса

затверджена наказом ректора НУБіП України від “13” листопада 2024р. № 2038 «С»

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру \_\_\_\_\_  
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи

---

---

---

Перелік питань, які потрібно розробити:

---

---

---

Перелік графічних документів (за потреби) \_\_\_\_\_

---

---

---

Дата видачі завдання “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Керівник магістерської роботи

\_\_\_\_\_ Потапова С.Є.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ Шульженко О.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали студента)

## Реферат

Магістерська робота на тему: «Обґрунтування комплекту машин для МТФ з дослідження вакуумного насосу доїльної установки».

Дослідження складається зі вступ, п'яти розділів, висновки й список літературних джерел. Загальний обсяг роботи становить 74 сторінки ексту у форматі комп'ютерного набору, включаючи 11 таблиць і 35 ілюстрацій.

Основна мета дослідження - полягає у підвищенні ефективності молочного виробництва через вибір оптимального комплекту машин та вдосконалення технології доїння корів.

Об'єктом дослідження - виступає двороторний вакуумний насос і процес його роботи, а предметом – залежність стабільності вакуумного режиму малогабаритних доїльних установок від параметрів зазначеного насоса.

У роботі розроблений генеральний план сімейної ферми та запропоновано комплекти машин для механізації ключових етапів виробництва молока.

Також була створена схема двороторного двозубового вакуумного насоса з евольвентним профілем зубів і западин роторів, проведено дослідження його роботи.

Розроблено заходи, спрямовані на підвищення рівня охорони праці та дотримання техніки безпеки при експлуатації доїльного обладнання. Окрім того, здійснено економічний аналіз запропонованих рішень з метою оцінки їхньої ефективності.

**Ключові слова:** сімейна ферма, вакуумний насос, пересувна доїльна установка, вакуумний режим.

**ЗМІСТ**

ВСТУП	6
1 ВИРОБНИЧО-ЕКОНОМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА	8
1.1. Загальна характеристика господарства	8
1.2. Існуюча технологія виробництва тваринницької продукції	10
1.3. Обґрунтування теми роботи	12
2. ВИБІР КОМПЛЕКТУ МАШИН І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МЕХАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА МОЛОКА	13
2.1. Розробка генерального плану ферми	13
2.2. Вибір та визначення кількості засобів для механізації процесу водопостачання	18
2.3. Вибір та визначення кількості засобів для механізації процесу прибирання гною	21
2.4. Вибір та визначення кількості засобів для механізації процесу приготування кормів	22
2.5. Вибір та визначення кількості засобів для механізації процесу роздавання кормів	24
2.6. Вибір та визначення кількості засобів для механізації процесу доїння	27
2.7. Вибір та визначення кількості засобів для механізації процесу первинної обробки молока	28
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВАКУУМНОГО НАСОСУ	30
3.1. Аналіз конструкцій малогабаритних доїльних установок	30
3.2. Огляд конструкцій вакуумних насосів доїльних установок і їх класифікація	40
3.3. Обґрунтування конструктивно-функціональної схеми двоторного насоса	49
3.4. Дослідження двоторного вакуумного насоса	51

<b>4. Економічна ефективність впровадження результатів дослідження</b>	59
4.1 Розрахунок капіталовкладень	60
4.2 Розрахунок техніко – економічних показників	62
4.3. Розрахунок річної економії	64
<b>5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ</b>	67
5.1. Загальні положення	67
5.2. Аналіз небезпечних ситуацій	71
<b>ВИСНОВКИ</b>	74
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	75

## ВСТУП

У процесі поступової реформи аграрного сектору економіки України поряд із великими виробниками молока розпочався розвиватися малі ферми. Вони не лише сприяють збільшенню обсягів виробництва продукції, але й допомагають вирішувати низку соціально-економічних питань, таких як покращення рівня життя сільського населення та створення нових робочих місць у селах.

На практиці організація малих молочних ферм здійснюється з використанням наявних ресурсів господарств, часто застосовуючи старі тваринницькі будівлі. Проте ні технологія виробництва, ні системи утримання та годівлі корів і молодняку великої рогатої худоби тут не відповідають сучасним стандартам, що зумовлює значні витрати праці та кормів на одиницю продукції. Крім того, праця на таких фермах не дуже популярна, особливо серед молоді.

Для вирішення цих проблем в останні роки державна політика у сфері тваринництва зосереджена на розвитку малих фермерських господарств. Це дає змогу зміцнювати продовольчу безпеку, підвищувати зайнятність населення і створювати нові робочі місця на селі. В частині виробництва молочної продукції та яловичини, розвиток сільських територій і збільшення експортного потенціалу галузі тваринництва. Проєкт передбачає підтримку фермерських та особистих селянських господарств шляхом збільшення кількості ОСГ з утриманням трьох і більше корів у два з половиною рази, розроблення типових моделей малих родинних ферм для 8-15 корів, а також запуск пілотних молочних ферм на 20 і 50 корів.

Цей напрямок є актуальним для створення сучасних малих молочних ферм, які відповідатимуть вимогам чинних стандартів і європейських норм.

Крім того, важливим є нарощування обсягу виробництва тваринницької продукції в Україні. У цьому контексті особлива увага

приділяється розробці фермерських господарств сімейного типу для приватних ОСГ, які орієнтуються на принципи малого та середнього агробізнесу. У процесі проектування таких ферм необхідно забезпечити оптимальні умови для утримання молочної худоби.

Основна частка молока в Україні сьогодні виробляється саме у приватних господарствах населення. Крім того, у сучасних умовах конкурентного ринку виробники змушені оптимізувати кожен етап технологічного процесу. Дослідження роботи двороторного вакуумного насоса дозволяє виявити залежність між його конструктивними параметрами, рівнем розрідження в системі та енергоспоживанням, що створює основу для розробки більш ефективних малогабаритних установок. З метою ефективнішого впровадження державного регулювання аграрної галузі та підтримки малих і середніх фермерів в Україні здійснюється здешевлення кредитування, розробляються цільові програми підтримки фермерства та ухвалюються законодавчі рішення щодо розвитку сімейних ферм. Останнім часом такі ферми поступово набирають поширення в різних регіонах країни. Наприклад, у Дніпропетровській області активно впроваджуються сучасні ферми сімейного типу. У Полтавській області, в Оржицькому та Решетилівському районах, за фінансової підтримки Міжнародного благодійного фонду «Добробут громад» відкрито дві нові родинні ферми на 20 корів кожна. У Львівській області наприкінці 2016 року введено в експлуатацію чотири молочні міні-ферми на 5-6 корів кожна за участю канадських інвесторів. Перші сімейні молочні ферми з'явилися також у Запорізькій і Херсонській областях завдяки підтримці компанії «Danone». Додаткові заходи зі створення малих молочних ферм здійснюються у Тернопільській, Волинській, Кіровоградській та Чернігівській областях. Отже, результати роботи мають практичну цінність для невеликих молочних ферм, які прагнуть зменшити витрати на технічне обслуговування і підвищити якість продукції при мінімальних капіталовкладеннях.

# 1. ВИРОБНИЧО-ЕКОНОМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА

## 1.1. Загальна характеристика господарства

Сімейна ферма ПП «Зірка» розташована в центральній частині України, у селі Хлистунівка, Городищенського району Черкаської області.

Відстань до районного центру, міста Городище, складає 10 км, а до обласного центру, міста Черкаси, — 75 км.

До найближчої залізничної станції в місті Городище також 10 км.

На території ферми знаходяться сільськогосподарські угіддя, які мають родючі ґрунти. Дотримуючись основних правил агротехніки, тут можна отримувати високі врожаї. Основними типами ґрунтів, які поширені у межах Хлистунівського сільського комітету, є сіро-піщаний та зольний.

Зручне місце розташування господарства поблизу автомобільних і залізничних шляхів сприяє організації збуту сільськогосподарської продукції. Крім того, це дозволяє швидко забезпечувати господарство насінням, паливно-мастильними матеріалами, добривами, засобами захисту рослин, а також усім необхідним: експлуатаційними матеріалами та запчастинами.

Кліматичні умови в районі, де працює ферма ПП «Зірка», належать до зони помірно-континентального клімату. Середньомісячна та середньорічна температура повітря наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. - Середньомісячна і середньорічна температура повітря.

Середньомісячна і середньорічна температура повітря, ° С												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	за рік
-6,7	-4,4	-0,5	6,6	18,7	27,1	29,4	28,8	24,0	14,3	1,8	-3,1	6,9

З аналізу температурних показників видно, що пік літнього тепла припадає на липень( +29 С), а найнижчі значення – на зимові місяці. Це формує сприятливі умови для вирощування кормових культур.

Середньомісячні температури вказують, що період вегетації рослин розпочинається у квітні й триває до листопада, займаючи 210–215 днів.

Це створює сприятливі умови для вирощування практично всіх сільськогосподарських культур, адаптованих до місцевих умов.

Весняно-польові роботи зазвичай стартують на початку квітня та продовжуються до початку жовтня. Середньорічна кількість опадів становить 580 мм. Проте аналіз даних про опади за різні роки та сезони виявляє значну нерівномірність їхнього розподілу як між окремими роками, так і по сезонах.

На сімейній молочній фермі утримується 30 голів великої рогатої худоби, з яких 15 корів, що становить 50% від загальної кількості. Структуру поголів'я детально представлено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Структура стада сімейної молочної ферми на 15 корів

Вікова і технологічна група	Голів	%
Велика рогата худоба	30	100,0
Корови	15	50,0
В т. ч. за групами:		
сухостійні	1	3,3
отелення	2	6,7
роздоювання і штучного осіменіння	4	13,3
виробництва молока	8	26,7
нетелі	3	10,0
телиці старші 12 міс.	4	13,3
телиці до 12 міс.	8	26,7

Основним напрямком виробничої діяльності підприємства є виробництво молока та яловичини (молоді бички, відбраковані тварини).

Ціни реалізації продукції: молоко - 900 грн/см, яловичина - 3500 грн/см. Вартість придбання однієї телиці становить 52 000 грн (1800 євро) при поставці імпортованого стада з Франції або Німеччини. З метою відновлення стада тварин на сімейній фермі застосовується штучне осіменіння.

### 1.2. Існуюча технологія виробництва тваринницької продукції

На території приватного підприємства «Зірка», яке функціонує як сімейна молочна ферма, розташовані наступні об'єкти: приміщення для утримання ВРХ , включаючи корів і молодняк, кормовий майданчик, майданчик для збору гною, підсобне приміщення для зберігання техніки та інвентарю, свердловина, а також захисна смуга з дерев і кущів, що оточує тваринницькі споруди.

Продуктивність молочного стада становить 8000 кг молока на одну корову на рік. Народжуваність телят оцінюється як 14 телят на 15 корів. Отриманий молодняк, зокрема телиць, використовується для відновлення стада, тоді як бичків продають. Середньодобовий приріст ремонтних теличок віком до одного року становить 780 г, а старших одного року — 700 г. Перше осіменіння телиць здійснюється у віці 16–18 місяців, коли їх жива маса досягає 390–410 кг. Щороку відбувається бракування і заміна близько 20 % основного стада корів, при цьому збереження поголів'я сягає 98 %. Основною продукцією ферми є молоко та яловичина, отримана від молодняка бичків та выбракуваних тварин. Для випоювання ремонтних теличок ферма використовує в середньому 200 кг незбираного молока та 250 кг його замінників. Витрати кормових одиниць на виробництво одного центнера продукції становлять: для молока — 1 ц к. од., для приросту живої маси молодняка — 7,6 ц к. од.

Річна потреба ферми в кормових ресурсах дорівнює 1627,3 ц кормових одиниць. Для забезпечення такої кількості кормів використовується орієнтовно 24 гектари земельних угідь. Раціон кормів для тварин наведено в таблиці 1.3.

Для первинної обробки молока використовується танк-охолоджувач із місткістю 450 літрів. Роздача кормів здійснюється за допомогою міні-трактора, агрегатованого відповідними знаряддями. Основними видами корму є сіно, солома, силос, сінаж і концентрати.

Тварини напуваються водою з групових напувалок, які обладнані системою підігріву. Джерелом води є свердловина, що забезпечує її подачу до напувалок.

Доять корів у доїльному залі у двох доїльних станках індивідуальними доїльною установкою УІД-20.

Таблиця 1.3. - Добовий раціон годівлі ВРХ

Корми	Вікові групи тварин	
	Корови	Нетелі
Сіно	6	5
Солома	1	1
Силос	30	20
Сінаж	4	4
Концкорми	3,5	2
Сіль кухонна, г	100	50

Для миття вимені корів використовується спеціальний розпилювач води. Тепла вода з температурою 40–45 °С подається до робочої зони оператора в доїльній залі через водопровідну систему, підключену до водонагрівача, розташованого в молочному відділі. Доїльна зала та молочний відділ обладнані окремою каналізаційною системою, незалежною від системи видалення гною, яка служить для відведення та утилізації стічних вод.

Для очищення приміщень від гною використовується скребкове обладнання, а також поперечні та розвантажувальні конвеєри. В якості підстилки використовується подрібнена солома. Її витрата становить

приблизно 1,0 кг на голову на день. У деяких випадках норми підстилки можуть становити 0,5 кг на голову на день.

Для внесення підстилки та виконання інших господарських робіт на фермі використовується міні-трактор, який оснащений відповідними інструментами залежно від потреб.

### **1.3 Обґрунтування теми роботи**

Підвищення обсягів виробництва молока значною мірою залежить від удосконалення технологій машинного доїння корів. На теперішній час основна частина молока виробляється малими господарствами, такими як сімейні та особисті селянські господарства. У перспективі їхня роль у молочному тваринництві залишатиметься ваговою.

Разом із тим, у діяльності таких господарств спостерігається низка проблем, серед яких слід виділити недостатню механізацію процесів машинного доїння та недосконалі засоби створення вакууму в доїльних системах.

Ефективність роботи доїльного обладнання та загальний процес машинного доїння значною мірою залежать від стабільності рівня вакууму в технологічних лініях установок різних конструкцій.

Однак сучасні малогабаритні доїльні установки, що застосовуються на невеликих фермах, здебільшого обладнані ротаційними пластинчастими вакуумними насосами. Через свої конструктивні недоліки вони мають обмежений термін служби та спричиняють значний шум під час роботи.

Зважаючи на це, дослідження у сфері використання малогабаритних вакуумних насосів, здатних забезпечувати більш стабільний вакуум, набувають дедалі більшого значення.

## 2. ВИБІР КОМПЛЕКТУ МАШИН І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МЕХНІЗАЦІЇ ПОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА МОЛОКА

### 2.1. Розробка генерального плану ферми

Сімейна молочна ферма на 15 корів являє собою сучасний об'єкт із повним циклом виробництва продукції, оснащений необхідною інфраструктурою та міні-технікою для виконання ключових технологічних операцій. Формування стада, здатного виробляти до 8 тисяч кг молока на рік, потребує закупівлі 15 нетелей із високим генетичним потенціалом. Після створення стада його відновлення забезпечується завдяки власному молодняку для ремонту.

На території ферми обов'язково передбачаються такі елементи: приміщення для утримання корів і молодняка, кормовий майданчик, гноєзбиральний майданчик, господарське приміщення для зберігання техніки та інвентарю, свердловина, а також захисна смуга з дерев і кущів навколо основного тваринницького об'єкта. Схема розташування всіх елементів на території ферми представлена на рисунку 2.1.

Маленька молочна ферма, як і будь-яка інша, потребує розвиненої інфраструктури для зберігання та заготівлі кормів, таких як силос, сінаж, сіно і солома. Тому додатково запропоновано облаштувати на території траншею для силосу та сінажу, ангар для зберігання сіна і соломи, а також гноєзбиральний майданчик.

До ферми передбачений доступ з чотирьох сторін. Усі проїзди та майданчики мають тверде покриття. Вільні від будівництва частини території обсажені деревами й кущами. Будівлі обладнані міцним фундаментом, який забезпечує надійний захист стін від вологи та осідання.

Тваринницькі приміщення повинні відповідати зоотехнічним стандартам утримання худоби. Вони оснащені сучасними системами вентиляції, штучного освітлення, автоматизованою подачею води до

напувалок та механізмами для видалення гною.

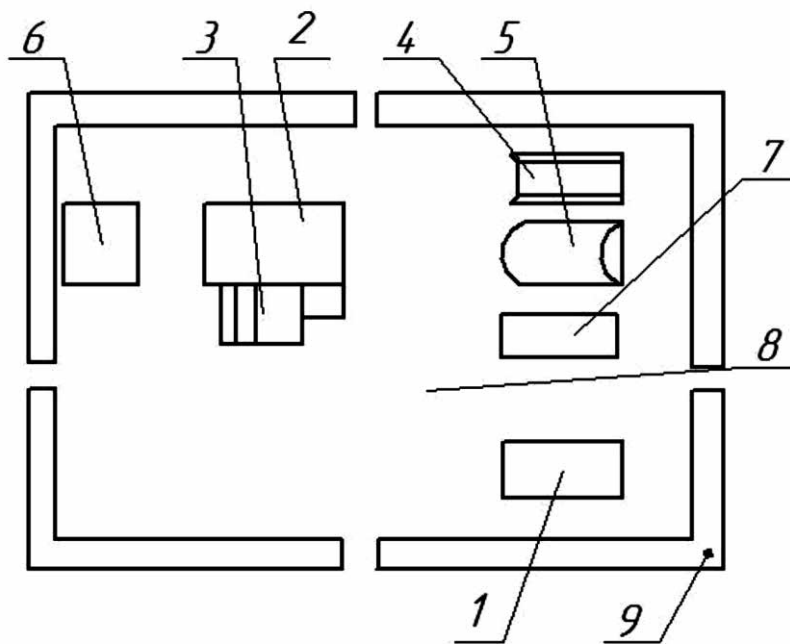


Рис. 2.1. - План ферми для утримання 15 корів (загальний вигляд).

1 - житловий будинок фермера; 2 - тваринницька будівля для утримання корів і молодняка великої рогатої худоби; 3 - вигульні майданчики для тварин; 4 - траншея для силосу, сінажу; 5 - ангар для сіна, соломи; 6 - майданчик для збирання гною; 7 - підсобне приміщення для зберігання техніки, інвентарю, концентрованих кормів тощо; 8 - свердловина; 9 - смуга дерев та кущів навколо тваринницького об'єкта.

Будівля для утримання худоби типу галереї має компактні розміри: ширина— 15 м, довжина — 30,6 м, висота — 5 м.

Її конструкція проста в монтажі і встановлена на міцному залізобетонному фундаменті. Каркас будівлі виготовлений з металевих і дерев'яних елементів. Фронтальні частини закриті сендвіч-панелями, а стіни побудовані з шлакових блоків.

У верхній третині стін передбачені бічні вентиляційні завіси, а також встановлені вікна з можливістю провітрювання, щоб забезпечити належну циркуляцію повітря в приміщенні.

Дах з вентиляційною трубою виготовлений на основі дерев'яних конструкцій з додатковими металевими опорами, а в якості покриття використано профнастил.

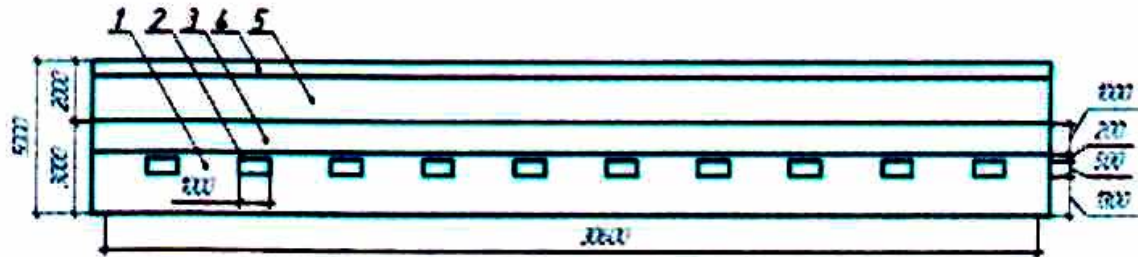


Рис. 2.2. - Корівник для утримання 15 корів (фасад):

1 - стіна з шлакоблоків; 2 - вікна металопластикові з можливістю вентиляції повітря в приміщенні; 3 - штори бокові вентиляційні у верхній третині площі стіни; 4 - світло-вентиляційний гребінь; 5 - перекриття даху з металевих і дерев'яних конструкцій, покрівля з профнастилу

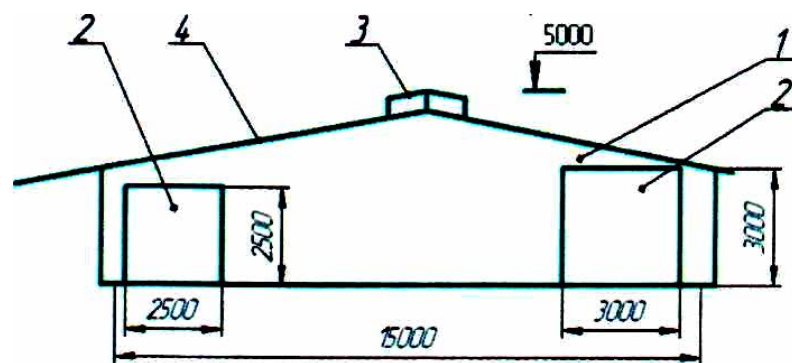


Рис. 2.3. - Корівник для утримання 15 корів (торець)

1 - покриття із сендвіч-панелей; 2 - ворота-ролети; 3 - світло- вентиляційний гребінь; 4 - перекриття даху з металевих і дерев'яних конструкцій, покрівля з профнастилу

Висота воріт-ролетів на в'їзді до корівника становить 3,0 м. У приміщенні необхідно забезпечити наявність штучного освітлення, оскільки за вимогами директиви Ради ЄС 98/58 заборонено утримання тварин у постійній темряві. Оптимальний мікроклімат у тваринницькій будівлі створюється за рахунок використання бокових вентиляційних штор у верхній

третині стін, вікон із можливістю провітрювання, а також світловентиляційного гребеня.

Спосіб утримання корів і молодняка великої рогатої худоби - безприв'язний.

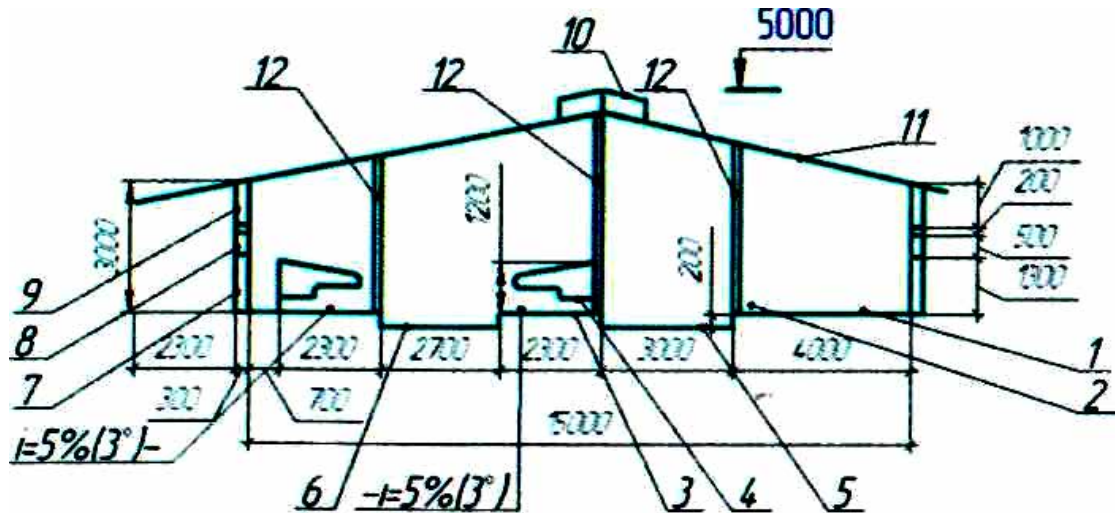


Рис. 2.4. - Корівник для утримання 15 корів (поперечний переріз)

1 - галерея; 2 - кормовий стіл; 3 - бокс для відпочинку корів; 4 - огороження боксу для відпочинку корів; 5 - кормо-гнойовий прохід; 6 - гнойовий прохід; 7 - стіна з шлакоблоків; 8 - вікна металопластикові з можливістю вентиляції повітря в приміщенні; 9 - штори бокові вентиляційні у верхній третині площі стіни; 10 - світловентиляційний гребінь; 11 - переkritтя даху з металевих і дерев'яних конструкцій, покрівля з профнастилу; 12 - стовпи опорні металеві  
Розміри технологічних площ для утримання тварин наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. - Розміри технологічних площ для утримання тварин

Вікова і технологічна група	Розміри технологічних площ для утримання та обслуговування молочної худоби			
	довжина, м	ширина, м	площа, м <sup>2</sup>	площа на 1 гол., м <sup>2</sup>
Корови (15 гол.)	14,6	10,3	150,3	10,0
у тому числі: бокс для відпочинку корів	2,3	1,2	2,8	2,8
Нетелі (3 гол.) і телиці віком старші 12 міс. (4 гол.)	4,5	11,0	49,5	7,0

Телиці віком до 12 міс. (8 гол)	3,0	11,0	33,0	4,1
Клітка для новонароджених телят	1,0	0,5	0,5	0,5

У тваринницькій будівлі передбачені такі секції: для утримання корів, для утримання нетелей і телиць віком старших 12 міс., для телиць віком до 12 міс.

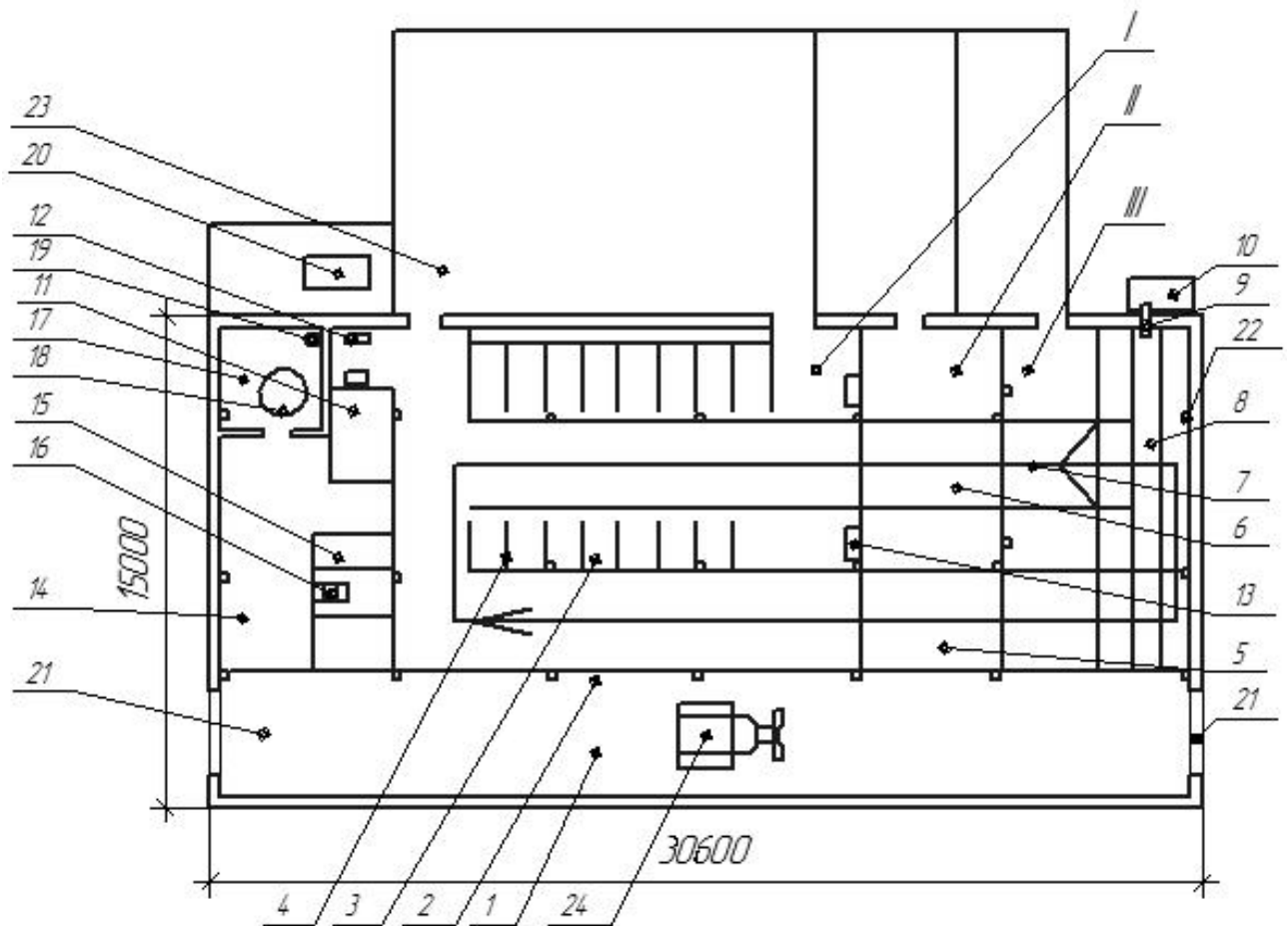


Рис. 2.5. План корівника для утримання 15 корів: I - секція для утримання корів; II - секція для утримання нетелей і телиць старших одного року; III - секція для утримання телиць віком до одного року; 1 - галерея; 2 - кормовий стіл; 3 - бокс для відпочинку корів; 4 - огороження боксу для відпочинку корів; 5 - кормо-гнойовий прохід; 6 - гнойовий прохід; 7 - скреперна установка для прибирання гною; 8 - поперечний транспортер для видалення гною; 9 - вивантажувальний транспортер для гною; 10 - причіп тракторний; 11 - денник для отелення корів; 12 - клітка для новонароджених телят; 13 - напувалка

групова; 14 - доїльний зал; 15 - станок доїльний; 16 - траншея для оператора машинного доїння корів; 17 - молочне відділення; 18 - танк-охолоджувач молока; 19 - водонагрівач; 20 - станок ветеринарний; 21 - ворота-ролети; 22 - стовпи опорні металеві; 23 - вигульні майданчики для тварин; 24 - енергетичний засіб (міні-трактор) агрегатований відповідними знаряддями.

У приміщенні знаходяться: загон для отелення корів, дві клітки для новонароджених телят, доїльна зала з двома доїльними апаратами та молочний відділ. Розміри загону для отелення становлять: довжина 3,0 м, ширина 2,0 м, загальна площа — 6,0 м<sup>2</sup>. Галерея з кормовим столом має ширину 4,0 м, кормово-гнойовий прохід — 3,0 м, а гнойовий прохід — 2,7 м.

Для вигулів з твердим покриттям біля будівлі встановлено норми: в середньому 7,8 м<sup>2</sup> на одну корову і від 3,9 до 5,7 м<sup>2</sup> на одну голову молодняка. Поруч з вигулом під навісом передбачено ветеринарне місце.

Годівничий майданчик обладнаний канавами для зберігання силосу та сінажу, а також ангаром для сіна та соломи.

Гній, що утворюється на фермі, збирається на спеціальному гнойовому майданчику.

## **2.2. Вибір та визначення кількості засобів для механізації процесу водопостачання**

Для виробництва одного літра якісного молока корова повинна споживати щонайменше три літри чистої свіжої води. Добова потреба у воді для тварини може досягати до 90 літрів. У зв'язку з цим важливим рішенням стає впровадження автоматизованих систем напування ВРХ. Таке обладнання забезпечить своєчасне постачання води, що сприятиме збагаченню організму тварин необхідними корисними речовинами.

Основні елементи лінії водопостачання та напування – насос, водонапірна споруда та напувалки. Розрахунок системи водопостачання проводять виходячи з добової потреби води на фермі.

$$Q_{доб} = \sum_{i=1}^n g_i m_i, \quad (2.1)$$

де  $g_i$  - середньодобова норма витрат води одним споживачем  $i$ -ї групи (для дійних корів приймаємо  $g_1 = 90$  л на 1 голову для дійних корів та  $g_2 = 50$  л на 1 голову для нетелей);  $m_i$  - кількість споживачів  $i$ -ї групи ;  $n$  - кількість груп споживачів з однаковими нормами водоспоживання.

$$Q_{доб} = 90 \cdot 15 + 50 \cdot 15 = 2100 \text{ л.}$$

У зв'язку з тим, що вода на протязі доби витрачається нерівномірно, визначають її максимальну добову витрату:

$$Q_{доб.маx} = Q_{доб} \cdot \alpha_d, \quad (2.2)$$

де  $\alpha_d$  - коефіцієнт добової нерівномірності витрати води, приймаємо  $\alpha_d = 1,3$ ;

$$Q_{доб.маx} = 2100 \cdot 1,3 = 2730 \text{ л.}$$

Максимальна годинна витрата води:

$$Q_{год.маx} = \frac{Q_{доб.маx} \alpha_g}{24}, \quad (2.3)$$

де  $\alpha_g$  - коефіцієнт годинної нерівномірності витрати води,  $\alpha_g = 2 \dots 2,5$ .

$$Q_{\text{г\ddot{a}}.маx} = \frac{2730 \cdot 2,2}{24} = 250,25 \text{ л.}$$

Спрощено водонапірну башту визначаємо за місткістю резервуара:

$$V_{рез} = (0,15 \dots 0,2) \cdot Q_{доб.маx}; \quad (2.6)$$

$$V_{рез} = 0,2 \cdot 2730 = 546 \text{ л} \approx 0,6 \text{ м}^3.$$

Приймаємо збірно-блокову башту БР-15У з місткістю резервуара 15 м<sup>3</sup>.

Вода на ферму буде надходити з свердловини, тому що таке джерело має мінімальне коливання рівня та забезпечує високу якість води.

Продуктивність насоса визначають за максимальними витратами води на фермі:

$$Q_n = \frac{Q_{\text{доб. max}}}{T_n}, \quad (2.7)$$

де  $T_n$  - тривалість роботи насоса протягом доби. Рекомендується приймати не більше 14-16 год.

$$Q_i = \frac{2,734}{2} = 1,365 \approx 1,4 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Обираємо заглибний відцентровий насос ЕЦВ 5-4-75 з характеристиками подачі 0,74-0,45 м<sup>3</sup>/год, повного напору 0,74-0,45 МПа та потужністю електродвигуна 0,75 кВт.

Підходить для напування тварин така поплавкова напувалка як СУЕВІА 6523 (рис.2.6)

Особливості:

- Двостінна термо-ванна виготовлена з високоякісного поліетилену, стійкого до ультрафіолетового випромінювання, призначена для підлогового монтажу.
- Довжина становить 2,3 м, об'єм – 160 л.
- Міцна конструкція та надійна термоізоляція забезпечують прохолодну воду в літню пору та захист від замерзання взимку.

- Похиле дно і великий зливний отвір дозволяють оперативно злити воду та легко чистити ванну. Отвір закривається пробкою



Рис. 2.6. Поплавкова напувалка з електро-підігрівом SUEBIA 6523

Напувалка оснащена поплавковим клапаном, що забезпечує високу швидкість подачі води - до 40 л / хв

Підключення до електромережі здійснюється через понижуючий трансформатор SUEVIA 230/24 В. Для захисту від замерзання водопровідних труб тупикового водопроводу їх обмотують термошнуром 24 В: довжина 2 м (20 Вт).

Вибір цього обладнання обґрунтований тим, що воно забезпечує найменші витрати електроенергії та води в умовах малої ферми

Напувалка розрахована на 10-15 тварин.

Необхідну кількість напувалок розраховують за формулою [33]:

$$n = \frac{m}{m_1}, \quad (2.8)$$

де  $m$  - кількість тварин даної групи, голів;  $m_1$  - кількість голів, що обслуговується однією напувалкою.

$$n = \frac{30}{15} = 2 \text{ напувалки.}$$

### 2.3. Вибір та визначення кількості засобів для механізації процесу прибирання гною

Видалення гною з корівника є одним із найважчих процесів у догляді за великою рогатою худобою, займаючи майже половину загальних трудовитрат. До того ж це завдання вимагає регулярного виконання. У зв'язку з цим чимало фермерських господарств віддають перевагу використанню гноєприбиральних транспортерів.

У випадку прив'язного утримання корів із застосуванням підстилки добовий вихід гною на фермі складає [33]:

$$W_d = m(g_r + g_p + g_n), \quad (2.9)$$

Де  $m$  – кількість тварин у приміщенні,  $g_r$  – добовий вихід гною від однієї тварини, кг;  $g_p$  – добовий вихід рідини від однієї тварини, кг  $g_n$  – добова норма підстилки на одну тварину, кг.

Кількість транспортерів у приміщенні встановлюється відповідно до типового проєкту. У цьому випадку застосовується скреперна установка типу УС. Загальна кількість таких установок на фермі обчислюється за наступним виразом:

$$n = n_1 L, \quad (2.11)$$

де  $n_1$  – кількість конвеєрів у одному приміщенні,  $L$  – кількість тваринницьких приміщень на фермі.

$$n = 1 \cdot 1 = 1 \text{ конвеєр.}$$

Отже, для даної ферми потрібна одна скреперна установка типу УС.

#### **2.4. Вибір та визначення кількості засобів для механізації процесу приготування кормів**

З огляду на існуючу кількість тварин та затверджені добові раціони кормів, здійснено розрахунок необхідної кількості кормів для корів протягом доби. Для визначення добової потреби в кормах кожного виду використовується наступна формула. [33]:

$$G_i = m_1 \times a_1 + m_2 \times a_2 + \dots + m_n \times a_n, \text{ кг} \quad (2.12)$$

де  $m_1, m_2, \dots, m_n$  - кількість тварин кожного виду та вікової групи;

$a_1, a_2, \dots, a_n$  - добова норма корму на одну голову відповідної групи, кг.

За цією формулою визначаємо кількість кормів кожного виду.

Результати підрахунків приведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3.

Добова потреба в кормах

Поголів'я тварин	голів	Види кормів					Всього
		комбікорми, кг	сіно, кг	силос, кг	сінаж, кг	солома, кг	
Корови дійні	160	960	800	4000	2400	160	8320
Корови сухостійні	32	160	160	640	480	32	1472
Нетелі	8	28	24	160	80	8	300
<b>ВСЬОГО</b>	200	1148	984	4800	2960	200	10092

Загальна потреба в кормах визначається за формулою:

$$G_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n G_i, \quad (2.13)$$

де  $G_i$  – добова норма  $i$ -го виду корму,  $i = 1 \dots n$ .

$$G_{\text{сум}} = 1148 \text{ кг} + 984 \text{ кг} + 4800 \text{ кг} + 2960 \text{ кг} + 200 \text{ кг} + 19,84 \text{ кг} = 10111,84 \text{ кг}.$$

Залежно від кількості годівлі на день ( $K$ ), визначеної розпорядком дня ферми, а також максимальної частини  $\beta$  для одноразової видачі конкретного

типу корму, проводять розрахунок порції кормів для кожної разової видачі. [33]:

$$G_{рази} = G_{добі} / K, \quad (2.14)$$

$$G_{рази} = \beta G_{добі} \quad (2.14a)$$

Приймаємо дворазову годівлю  $K=2$ .

Разові норми кормових компонентів приведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4.

#### Разові норми видачі

Поголів'я тварин	Види кормів					Всього
	комбі- корми, кг	сіно, кг	силос, кг	сінаж, кг	солома, кг	
Корови дійні	480	400	2000	1200	80	4160
Корови сухостійні	80	80	320	240	16	736
Нетелі	14	12	80	40	4	150
<b>ВСЬОГО</b>	574	492	2400	1480	100	5046

### 2.5. Вибір та визначення кількості засобів для механізації процесу роздавання кормів

Для реалізації процесів змішування та роздачі кормів на фермі рекомендується використовувати комбінований агрегат Сілокінг Смарт. Ця машина прекрасно підходить для невеликих господарств, які переходять на змішані раціони в годуванні тварин.

Серія Смарт обладнана турбошнеком із широкими витками, міцною рамою, ребристим бункером, виготовленим із високоякісної сталі, і тензодатчиками для вагової системи. Також агрегат оснащений планетарним редуктором з

інтегрованим кріпленням шнека. Завдяки ребристому бункеру та двом протирізам процес змішування стає більш ефективним. Одна роздача дозволяє обслуговувати від 10 до 35 корів.



Рис.2.4. Змішувач-роздавач Сілокінг Смарт

Вантажопід'ємність роздавача обчислюється за формулою [33]:

$$B = V_p \gamma k_z, \quad (2.15)$$

Де  $V_p$  – об'єм бункера роздавача,  $m^3$ ,  $\gamma$  – щільність корму,  $kg/m^3$ ,  $k_z$  – коефіцієнт заповнення бункера,  $k_z = 0,8 \dots 1$ .

$$B = 6 \cdot 670 \cdot 0,9 = 3618 \text{ кг.}$$

Тривалість роздавання кормів  $t_p$ , дорівнює:

$$t_p = \frac{B}{Q_p}, \quad (2.16)$$

де  $Q_p$  – продуктивність кормороздавача при роздаванні кормів у годівниці,  $kg/год$ .

Необхідна продуктивність кормороздавача становить:

$$Q_p = g v_p,$$

де  $v_p$  – швидкість агрегату під час роздавання кормів у годівниці,  $m/год$ .

Погонну норму видачі корму  $g$   $kg/m$ , визначають за формулою:

$$g = \frac{g_b K}{b},$$

де  $g_b$  – разова норма видачі на одну голову ( встановлюється залежно, добового кормового раціону і кратності годівлі), кг;  $K$  - змінність годівлі з одного головомісця;  $b$  – ширина фронту годівлі однієї тварини (0,8-1,1 м для корів).

$$g = \frac{52 \cdot 1}{1} = 52 \text{ кг/м.}$$

Тоді необхідна продуктивність кормороздавача становитиме:

$$Q_p = 52 \cdot 1800 = 93600 \text{ кг/год.}$$

Отже, тривалість роздавання кормів  $t_p$ , дорівнює:

$$t_p = \frac{3618}{93600} = 0,039 \text{ год.}$$

Тоді, тривалість одного циклу роздавання становитимите:

$$t_{\text{ц}} = (0,04 + 0,24 + 0,05 + 0,039) \cdot 1,1 = 0,41 \text{ год.}$$

На даному етапі можливо визначити кількість циклів, які здатен здійснити один комороздавач протягом періоду його роботи з роздавання.

$$i_{\text{ц}} = \frac{T_p}{t_{\text{ц}}},$$

де  $T_p$  – допустимий час роздавання кормів, год. Відповідно до зоотехнічних вимог час, що відводиться на роздавання кормів, не повинен перевищувати 1,5-2 год.

$$i_{\text{ц}} = \frac{1}{0,41} = 2,43 \text{ циклів.}$$

Потрібна кількість кормороздавачів становить:

$$n_p = \frac{i_z}{i_u},$$

тоді 
$$n_p = \frac{1,4}{2,43} = 0,57$$

Отже, приймаємо 1 роздавач Siloking Smart.

## 2.6. Вибір та визначення кількості засобів для механізації процесу доїння

Для процесу доїння корів на фермі обирається мобільна компактна установка УІД-10, розроблена компанією "Брацлав" (рис. 2.5). Ця установка спеціально розроблена для використання в індивідуальних фермерських господарствах, а також у невеликих господарствах ( до 20 голів худоби).



Рис. 2.5. Пересувна малогабаритна установка УІД-10

Таблиця 2.7. Технічна характеристика пересувної доїльної установки

Назва показника	УІД-10
Обслуговує корів	1-15
Пропускна здатність за 1 год, корів	4-6
Робочий вакуум метричний тиск, кПа	47
Напруга в мережі, В	220
Встановлена потужність, кВт	0,55
Маса, кг	57

Визначаємо необхідну кількість доїльних установок для ферми [33]:

$$K = \frac{M(100 - c)}{100T_d Q_y},$$

де  $M$  – загальна кількість корів на фермі, гол;  $T_d$  – допустимий час доїння всього стада, год;  $Q_y$  – продуктивність доїльної установки, гол/год;  $c$  – процент сухостійних корів,  $c=10-15\%$ .

$$K = \frac{15(100 - 10)}{100 \cdot 1,5 \cdot 60} = 1$$

Приймаємо 1 доїльну установку.

Отже, обсяг резервуара визначено з урахуванням максимальної годинної витрати води та резерву в 20%.

## 2.7. Вибір та визначення кількості засобів для механізації процесу первинної обробки молока

У невеликих господарствах попередня обробка молока відбувається наступним чином. Свіжодоєне молоко транспортується у відрах або бідонах на ручних візках до господарської молочної, де за допомогою насоса перекачується до охолоджувального резервуару (див. рис. 2.7). Процес очищення відбувається шляхом фільтрації під час переливання молока з відер у бідони, а також за допомогою спеціального фільтра-сита, розміщеного в горловині охолоджувального резервуара. У більшості випадків молоко, отримане від здорових корів, піддається спрощеній процедурі попередньої обробки, яка включає два основні етапи – очищення та охолодження.

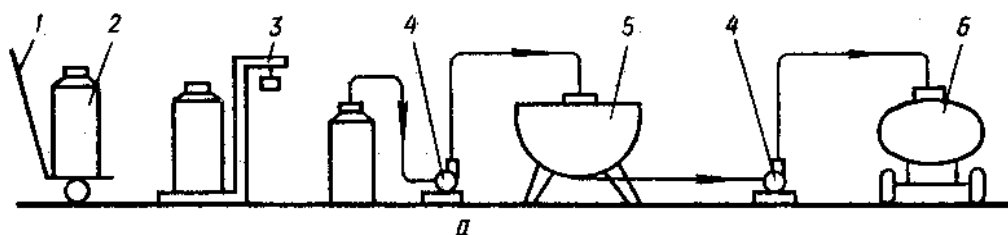


Рис. 2.7. схема лінії первинної обробки молока.

1 – візок для переміщення бідонів; 2 – бідон; 3 – платформні ваги; 4 – молочний насос; 5 – резервуар-охолодник; 6 – молочна цистерна; 7 – резервуар-термос; 8 – очищувально-охолодний агрегат;

Для охолодження і тимчасового зберігання молока вибираємо танк-охолодник моделі ІС використовується закритий компресор, що знижує шум і втрати холоду. Тому ми вибрали його через потужність ціну, ремонтпридатність та досвід використання на подібних фермах.



Рис.2.8. Танк-охолодник молока

- Циліндрична ємність горизонтального типу, регульовані ніжки для легкого і правильного виставлення ємності.
- Холодильний агрегат: Компресор холодильного агрегату закритого типу. Газ-хладогент R-404 відповідно до вимог стандартів ISO5708, EN 13732.

### 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВАКУУМНОГО НАСОСУ

#### 3.1. Аналіз конструкцій малогабаритних доїльних установок

Рівень продуктивності тваринництва в малих господарствах на даний момент залишається недостатньо високим, що пояснюється низкою об'єктивних причин. Зокрема, серед ключових факторів зазначають слабкий розвиток галузей тваринництва, обмежене фінансування та дефіцит матеріальних ресурсів. Відомо, що виробництво молочної продукції та ефективність праці у малих господарських формаціях значною мірою залежать від ступеня механізації і автоматизації процесу доїння корів, технічного рівня доїльного обладнання, а також оснащення молочних ферм сучасними комплексами для первинної обробки та зберігання молока до моменту його реалізації.

Аналіз систем мобільного доїння корів у малих господарствах демонструє схожість технологічних характеристик між малогабаритними доїльними установками і стаціонарними лінійними системами. При однаковій кількості доїльних апаратів пересувні установки забезпечують вищу продуктивність, знижують витрати трудових ресурсів, а також характеризуються меншою енергоємністю та металомісткістю.

Упродовж останніх років спостерігається помітне зростання виробництва молока в невеликих фермерських господарствах та приватних угіддях. Для задоволення потреб цього сегмента пропонується різноманіття систем машинного доїння, де ключовими критеріями вибору стають економічна доступність обладнання та його технологічна адаптованість до умов експлуатації. Серед таких засобів найбільш перспективною для дрібних товаровиробників видається малогабаритна доїльна техніка, головною перевагою якої є можливість використання як у закритих приміщеннях, так і безпосередньо на пасовищах.

До складу таких установок входять вакуумний насос, оснащений електроприводом або двигуном внутрішнього згоряння, розміщений на візку,

рама якого може виконувати функцію вакуумного резервуара. Крім того, машина містить один чи два доїльних апарати зі спеціалізованими місткостями для збору молока. У технологічному аспекті такі системи класифікуються як пересувні установки з автономним джерелом вакуумметричного тиску. Однак ці установки залишаються недостатньо вивченими щодо специфічних експлуатаційних показників і параметрів роботи у конкретних виробничих умовах.

Незважаючи на загальну схожість конструктивних і технологічних характеристик відомих малогабаритних установок, між ними існують певні відмінності.

Так, шведська компанія "ДеЛаваль" пропонує різні моделі малогабаритних систем доїння, зокрема установки Карелло та Босіо (рис 3,1 і 3,2). Установка Босіо розрахована на обслуговування більшої кількості худоби, проте обидві моделі мають спільні риси: можливість доїння за допомогою одного чи двох апаратів зі збором молока у відповідні ємності на візку. Модель «Босіо» дає можливість доїти більше корів за годину ніж «Карелло», тому вона підходить для фермерів із середнім поголів'ям.



Рис. 3.1.- Малогабаритна доїльна установка ДеЛаваль Карелло



Рис. 3.2.- Малогабаритна доїльна установка ДеЛаваль Босіо

Малогабаритна доїльна установка МобіМелк, розроблена компанією ГЕА, призначена для збору молока від двох доїльних апаратів в одну спільну ємність збільшеного об'єму (40 або 33 л ), виконану з алюмінію або нержавіючої сталі та розміщену на візку. Для забезпечення роботи вакуумного насоса передбачена можливість використання як електродвигуна, так і двигуна внутрішнього згоряння. Завдяки цій конструктивній особливості установка придатна для експлуатації в польових умовах, зокрема на пасовищах, де відсутнє електропостачання. Одноконтейнерна система збору молока, на відміну від двох окремих ємностей, що застосовуються у доїльному обладнанні компанії ДеЛаваль, разом із компактним розташуванням вакуумного насоса на вакуумному ресивері, сприяє зменшенню загальних габаритів пристрою. Подібна компоновка забезпечує покращену маневреність установки в умовах як корівників, так і відкритих пасовищ.



Рис. 3.3. – Пересувна доїльна установка МобіМелк ГЕА

ВАТ "Брацлав" пропонує установки для індивідуального доїння, зокрема моделі УІД-10 та УІД-20. УІД-10 обладнана одним доїльним апаратом для

збору молока в одне відро, тоді як УІД-20 оснащена двома апаратами, що дозволяють збирати молоко в два окремі відра. Особливістю конструкції цих установок є специфічна форма вакуумного балона, який виконує роль рами візка. За принципом конструкції обладнання нагадує мобільні установки Bosio, проте має деякі технологічні відмінності. Зокрема, вітчизняні моделі поступаються за продуктивністю та пропускною здатністю у варіанті з двома доїльними апаратами.

Пересувні системи УІД-10 та ПДІ-1, вироблені АТ "Брацлав" і ВАТ "Новатор", оптимально підходять для невеликих фермерських господарств із кількістю худоби до 20 голів.

Все обладнання, включаючи вакуумний насос із електроприводом, вакуумний балон, вакуумметр, вакуумний регулятор, доїльний апарат із відром та пусковий пристрій, закріплено на мобільному візку. Конструкція забезпечує легке переміщення вручну і передбачає підключення до однофазної електромережі за допомогою електрошнура.

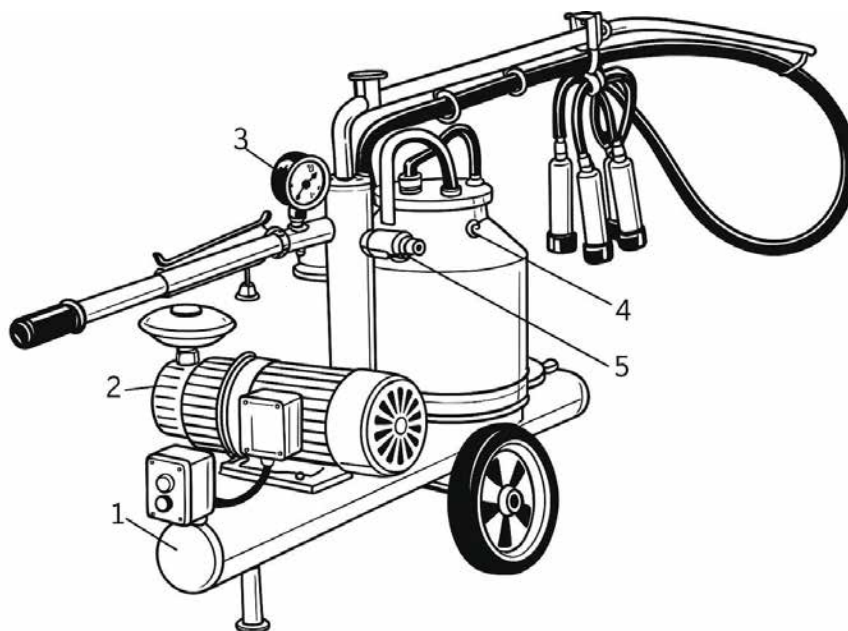


Рис. 3.4. - Загальний вигляд пересувної установки індивідуального доїння корів: 1 – рама візка; 2 – вакуумний насос з електроприводом; 3 – вакуумметр; 4 – доїльний апарат із переносним відром; 5 – вакуум регулятор

Технічні дані стосовно індивідуальних пересувних доїльних установок подані в табл. 3.1.

Тому порівнюючи і аналізуючи показує, що увітчизняна УІД-10 забезпечує достатній рівень вакууму при нижчій собівартності.

Таблиця 3.1. Технічна характеристика пересувних індивідуальних доїльних установок

Назва показника	УІД-10	УІД-20
Обслуговує корів	1-15	4-20
Пропускна здатність за 1 год, корів	4-6	8-12
Робочий вакуум метричний тиск, кПа	47	47
Напруга в мережі, В	220	220
Встановлена потужність, кВт	0,55	0,55
Маса, кг	57	65

Функціонування доїльного агрегата базується на принципі відсмоктування молока з цистерни вимені за допомогою доїльного апарата через створення розрідження (вакууму) в системі, яке генерується вакуумним насосом. Доїльний апарат використовує двотактний режим роботи, що включає підсмоктування повітря в колектор із частотою пульсацій  $60 \pm 3$  рази за хвилину. Кожна пульсація складається з двох фаз: фази ссання та фази стиску. У процесі з'єднання апарата із вакуумпроводом утворюється вакуумметричний тиск у системі, який поширюється на доїльне відро, молочний шланг і піддійкові камери доїльних стаканів, що фіксуються вимені.



Рис. 3.5. Індивідуальна доїльна установка

Таблиця. 3.2. -Складові установки

<p>Ресивер (вакуумний балон)</p> 	<p>Захищає вакуумний насос від попадання ззовні сторонніх предметів і рідин Оснащений кришкою Служить для підтримки стабільного рівня вакууму в установці</p>
<p>Електродвигун</p> 	<p>Урухомлює вакуумний насос</p>
<p>Вакуумний насос</p> 	<p>ротаційний з графітовими лопатками, не вимагає змащування</p>

<p>Вакуумрегулятор</p> 	<p>призначений для регулювання вакууму вакуумметр забезпечує візуальний контроль рівня вакууму</p>
<p>Вакуумметр</p> 	<p>забезпечує візуальний контроль рівня вакууму</p>
<p>Пульсатор</p> 	<p>пневматичний попарного доїння частота пульсацій - 60 ppm співвідношення тактів - 60:40%</p>

Таблиця. 3.2.(продовження)

<p>Кришка для доїльного відра "Libero"</p> 	<p>Служить для кріплення молочного та повітряного шлангу з пульсатором</p>
<p>Доїльне відро "Esobucket"</p> 	<p>Ємкість для накопичування та транспортування молока</p>

Таблиця 3.3. Технічна характеристика індивідуальної доїльної установки

Встановлена потужність	550 Вт
Напруга в мережі	220±10% В
клас захисту	IP54
частота	50 Гц
Двигун	
Обертання ротора двигуна	1430 хв <sup>-1</sup>
Ємність конденсаторів МкФ (В)	25 (400В)
Продуктивність вакуумного насоса, не менше	100 л/хв
Робочий вакуумметричний тиск	44-46 кПа
Маса установки без доїльного апарату, не більше	50 кг

Стационарна установка УІД-10С, зображена на рисунку 3.6, призначена для обслуговування стада чисельністю до 15 корів і оптимально підходить для потреб індивідуальних або невеликих фермерських господарств. Монтаж обладнання можливий як у корівнику, так і в пристосованому приміщенні.

Установка включає вакуумний насос з однофазним електроприводом потужністю 0,55 кВт, вакуумпровід, вакуумметр, вакуумний регулятор, доїльне відро та пристрій для запуску. У комплекті передбачено уніфікований апарат АДУ-1. Продуктивність обладнання становить 8-10

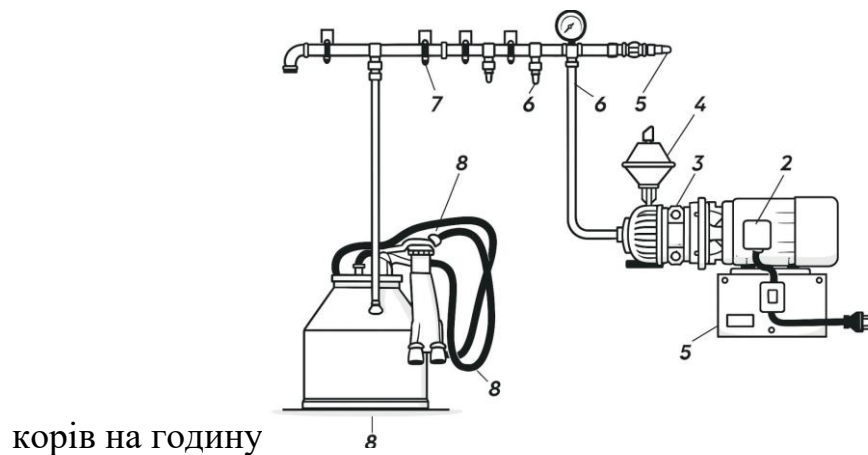


Рис. 3.6. Схема установки індивідуального доїння УІД-10С:

1 – електропривід із пусковим пристроєм; 2 – вакуумний насос; 3 – фільтр;

4 – вакуум-регулятор; 5 – вакуумпровід; 6 – вакуумметр; 7 – кран;

8 – доїльний апарат з переносним відром

Доїльна установка УДВ-Ф-15 розрахована на обслуговування до 30 корів. Вона використовується для машинного доїння, постачання води з відкритих джерел на ферму, а також її підігріву для задоволення потреб напування корів чи технологічних процесів ферми. Функціонування установки відбувається наступним чином: для початку доїння необхідно увімкнути водокільцевий вакуумний насос та відкрити вентиль 4, при цьому вентиль 11 залишається закритим. У звичайному режимі установка забезпечує процес машинного доїння корів за допомогою лінійної доїльної системи. Після завершення доїння та проведення промивання обладнання вентиль 4 зачиняють, а вентиль 11 відкривають. У цей момент в баку створюється розрідження завдяки водокільцевому вакуумному насосу, рівень якого досягає 95 кПа. Унаслідок утвореного вакууму вода через трубу всмоктується в бак, а її рівень контролюється за допомогою оглядового скла.

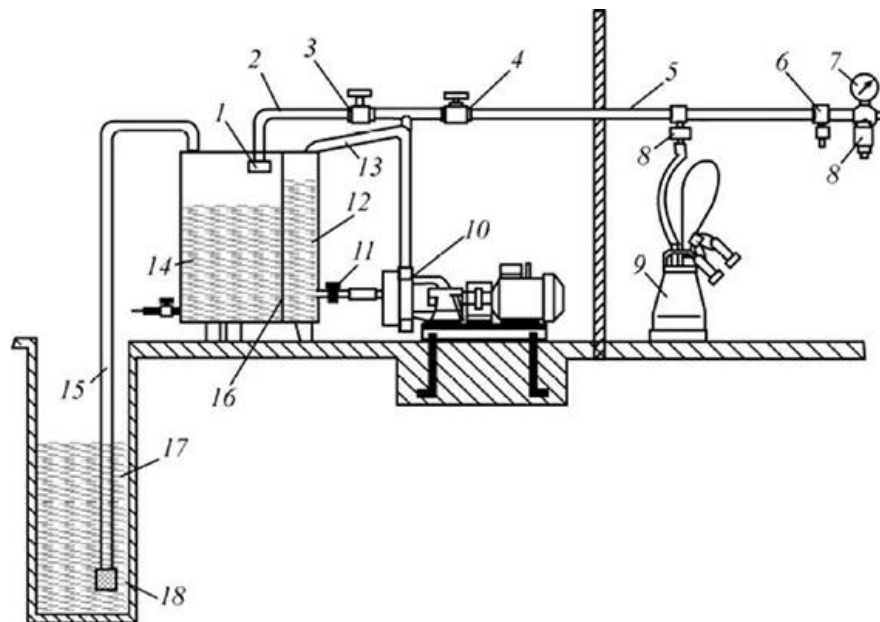


Рис. 3.7 доїльна установка УДВ-Ф-15:

1 - зворотний клапан; 2 - трубопровід для підйому води; 3, 4 - вентилі; 5 - трубопровід; 6 - вакуумний кран; 7 - вакуумметр; 8 - вакуумрегулятор; 9 - доїльний апарат; 10 - вакуумний насос; 11 - вентиль регулювання подачі води

до вакуумного насосу; 12 - бачок для живлення водою насоса; 13 - вихлопна труба насоса; 14 - бак для води; 15 - труба від джерела водопостачання; 16 - проміжна стінка; 17 - вода; 18 – фільтр.

Після завершення наповнення бака 14 водою вакуумний насос вимикається, а вентиль 11 перекривається для подальшої роботи системи. Під час процесу доїння корів або заповнення бака водою виникає нагрівання рідини в бачку 12 через роботу насоса. Це тепло передається через проміжну металеву стінку 16, сприяючи підігріву води в баку 14. Такий механізм дозволяє зменшити енерговитрати, необхідні для підігрівання води, яка використовується для технологічних цілей або забезпечення водою тварин. Враховуючи результати проведеного аналізу, для нашої ферми було обрано доїльну установку типу УІД-10 як оптимальний варіант для ефективного функціонування системи.

### **3.2. Огляд конструкцій вакуумних насосів доїльних установок і їх класифікація**

На фермах ВРХ вакуумні насоси застосовуються не тільки для доїння, але й для виконання багатьох інших технологічних процесів. За їх допомогою приводяться в дію заслінки дозаторів під час годування тварин, забезпечується фіксація худоби в доїльних установках, а також здійснюється регулювання положення молокопроводів у корівниках. Крім того, вакуумні насоси використовують для транспортування концентрованих кормів до місць годування. Вони також знайшли застосування під час силосування кормів у силосних баштах з пластмасовою плівкою, при транспортуванні гною зі стійл у гноєсховище, а також в інших процесах.[4].

Сучасні вакуумні насоси класифікуються за способом створення вакууму на чотири основні групи:

1. Механічні вакуумні насоси, що функціонують завдяки циклічному змінненню об'єму робочої камери для всмоктування газу.
2. Молекулярні насоси, в яких відкачування відбувається через безперервний рух молекул газу вздовж твердих поверхонь.

3. Струменеві насоси, що працюють за принципом постійного струменя рідини, пари чи газу, який забезпечує видалення газів.

4. Іонні ("електричні") насоси, що використовують рух іонізованого газу під впливом градієнта електричного потенціалу.

У сільськогосподарській діяльності, особливо під час доїння корів, найчастіше застосовуються механічні вакуумні насоси. Ця група включає як ротаційні насоси, так і поршневі, які своєю чергою поділяються на мембранні, плунжерні та дискові залежно від конструкції робочого органу. Найбільше поширення отримали ротаційні вакуумні насоси, які активно використовуються в багатьох країнах світу.

Залежно від конструкції, ці насоси можна розділити на пластинчасті, з перекочувальним поршнем, водокільцеві, двохроторні і перистальтичні.

Виходячи з вищесказаного, класифікаційна схема вакуумних насосів представлена на рисунку 3.8.



Рис. 3.8. Класифікація вакуумних насосів

Вакуумні насоси, виконуючи одну і ту ж функцію, мають різні конструкції, принцип дії і умови для їх роботи.

До 1952 року у нашій країні доїльне обладнання комплектувалося вакуумними насосами поршневого типу (рис. 3.9) [5]. За характером конструкції робочого органу ці насоси поділяються на мембранні, плунжерні та дискові. Дані типи

насосів характеризуються значними геометричними розмірами, високим рівнем матеріалоємності та низькою частотою обертання вихідного вала. Для монтажу таких агрегатів зазвичай необхідно облаштовувати складні й потужні фундаменти. У процесі їх експлуатації потрібне постійне технічне обслуговування, включаючи ретельний догляд і великий обсяг мастила. Через ці особливості поршневі насоси часто виходять з ладу, що супроводжується необхідністю витрат значних ресурсів на їх ремонт та відновлення. Незбалансоване переміщення рухомих деталей спричиняє високий рівень шуму під час роботи, що, у свою чергу, негативно впливає на довговічність компонентів насоса. Крім того, нерівномірне відкачування повітря є характерною ознакою даних пристроїв, що потребує встановлення додаткових систем для стабілізації тиску.

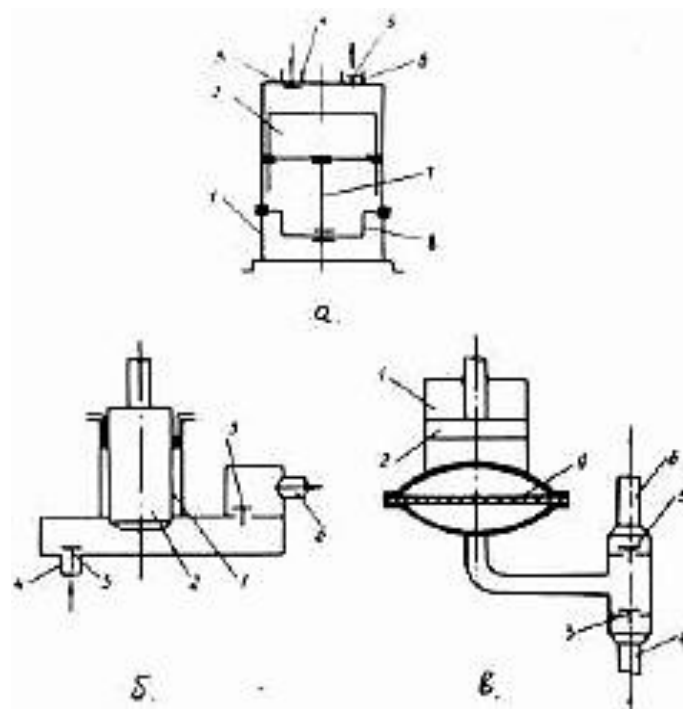


Рис. 3.9 - Вакуумний насос поршневого типу: а) дисковий; б) плунжерний; в) мембранний; 1 - корпус; 2 - поршень; 3,4 і 5,6 - всмоктуючий, нагнітальні клапани і патрубки; 7 - шатун; 8 - колінчастий вал; 9 - мембрана.

Оскільки поршневі вакуумні насоси виявилися недосконалими через низку суттєвих недоліків, було прийнято рішення припинити їх виробництво та перейти до пошуку альтернативних засобів створення вакууму. Виняток

становлять деякі зразки закордонного виробництва, серед яких вироби компаній Manus (Велика Британія), Milko (Німеччина) та Christensen (Данія) [64].

На заміну поршневым насосам були впроваджені ротаційні насоси пластинчастого типу. Завдяки широкому діапазону робочих тисків, ротаційні насоси потребують виготовлення конструкцій, адаптованих до конкретних умов експлуатації.

Залежно від рівня розрідження, який створюють такі насоси, їх можна класифікувати на пристрої для високого, середнього та низького вакууму. Принцип роботи ротаційних вакуумних насосів пластинчастого типу (як показано на рисунку 3.10) ґрунтується на зміні об'єму робочої камери завдяки обертальному руху ротора із пластинами, розміщеними ексцентрично всередині корпусу насоса.

У процесі обертання ротора окремі сегменти робочої камери поступово віддаляються від всмоктуючого отвору, збільшуючи свій об'єм, а потім зменшуються, забезпечуючи поступове стиснення газу та його нагнітання.

Ротаційні насоси цього типу здатні створювати вакуум у межах 97,0–99,7%. Їх коефіцієнт подачі варіюється від 0,3 до 0,9, а в моделях, де корпус насоса заповнений маслом, він може сягати 0,95. Механічний коефіцієнт корисної дії (ККД), який визначається відношенням потужності вала до індикаторної потужності, зазвичай перебуває в діапазоні 0,8–0,9.

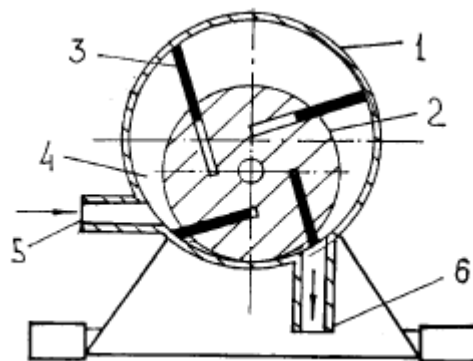


Рис. 3.10 - Схема пластинчастого вакуумного насоса з ексцентричним розташуванням ротора: 1 - корпус; 2 - ротор; 3 - пластина; 4 - камера всмоктування; 5 - всмоктуючий патрубок; 6 - вихлопна труба.

Насоси цього типу характеризуються високим ступенем балансування, відносно компактними розмірами та невеликою масою. До їхніх ключових переваг належать висока експлуатаційна надійність і простота технічного обслуговування.

Конструкція таких насосів є спрощеною і містить зменшену кількість деталей: вони позбавлені всмоктувальних і нагнітальних клапанів, а також кривошипно-поршневого механізму.

Додатково, їхня система розподілу повітря також спроектована у спрощеному варіанті. Однак такі насоси мають певні недоліки, серед яких варто виділити низьку ефективність і підвищену чутливість до змін межових зазорів.

З 1952 року роторні пластинчасті насоси різної продуктивності знайшли широке застосування у серійно вироблених доїльних апаратах. Вакуумні насоси з обертальним ротором також активно використовуються у машинах для механічного доїння (див. рис. 3.11).

Основна характеристика, яка відрізняє пластинчасті статорні насоси від пластинчастих роторних насосів, полягає у специфіці конструкції: в пластинчастих статорних насосах ротор розташований із зміщенням відносно статора, при цьому його обертання відбувається навколо осі, що відповідає геометричній формі статора.

Альтернативним прикладом конструкції є насос штовхального типу. Цей тип насоса відрізняється тим, що ротор не перебуває у прямому контакті з корпусом, а розташований у кожусі, який охоплює ексцентричну частину механізму та утворює замкнений циліндр.

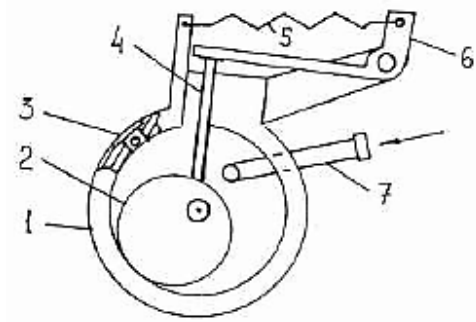


Рис 3.11. - Схема вакуумного насоса з перекочувальним ротором: 1 - корпус; 2 - ротор; 3 - вихлопний клапан; 4 - пластина; 5 - пружина; 6 - важіль; 7 - всмоктувальний патрубок.

Невеликий розмір зазорів, через які повітря потрапляє у вакуумну систему, є ключовою перевагою насосів з перекочувальним поршнем. Проте їх конструкція досить складна, що вимагає високої точності виготовлення. Крім того, наявність елементів, які швидко зношуються, знижує надійність таких насосів і потребує регулярного використання значної кількості мастила.

Водокільцеві вакуумні насоси з рідинним поршнем (рисунок 1.7) не мають всмоктуючих і випускних клапанів, а також механізмів розподілу, що істотно спрощує їх конструкцію. У таких насосах відсутні металеві поверхні, що труться, що усуває необхідність у мастильних матеріалах[9].

Робоча рідина забезпечує ущільнення між рухомими і нерухомими частинами насоса, а при обертанні ротора лопатками відкидається до периферії, утворюючи всередині пристрою кільце з рідини, яке виконує функцію поршня.

Гідравлічне ущільнення таких насосів може знизити механічне зношування контактуючих деталей. У водокільцеві насоси не потрібно заповнення рідиною перед початком роботи.

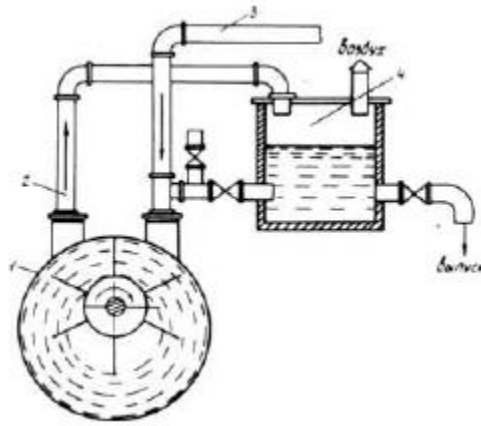


Рис.3.12 - Схема водокільцевого вакуумного насоса: 1 - вакуумний насос; 2,3 - нагнітальний і всмоктуючий трубопровід; 4 - приймальний бак.

У такій помпі може утворюватися розряд близько 92 ... 99,9%. Однак ККД не перевищує 0,48 ... 0,52. Вакуумні насоси цієї конструкції можуть працювати тільки при плюсовій температурі. Вони вимагають додаткових пристроїв для транспортування рідини всередину насоса і характеризуються жорсткістю в роботі. У порівнянні з роторними насосами пластинчастого типу вони мають менш стабільний режим роботи, високе споживання потужності при вакуумі до 60 кПа, а також вищі експлуатаційні витрати на одиницю питомої продуктивності.

У молочних комплексах встановлюють промислові вакуумні насоси з водяним кільцем. Один такий насос може обслуговувати ферму розміром 800...1000 корів і характеризується досить високою надійністю і довговічністю.

У конструкції двороторних вакуумних насосів (Ruts) передбачено два обертових поршні з декількома ущільнювальними лопатками, які переносять повітря з всмоктувального вікна до нагнітального між двома сусідніми циліндрами (малюнок 3.13, а).

Поверхня поршня такого насоса ретельно обробляється, а зазор між поршнями і стінками корпусу насоса повинен становити приблизно 0,1 ... 0,2

мм. При високому тиску продуктивність таких насосів падає, оскільки газ проникає в корпус насоса одночасно з його виштовхуванням у напрямку випускного отвору через зазори між деталями.

Ефективність роботи такого насоса досягається в тому випадку, коли тиск на стороні всмоктування знижується до декількох міліметрів ртутного стовпа.

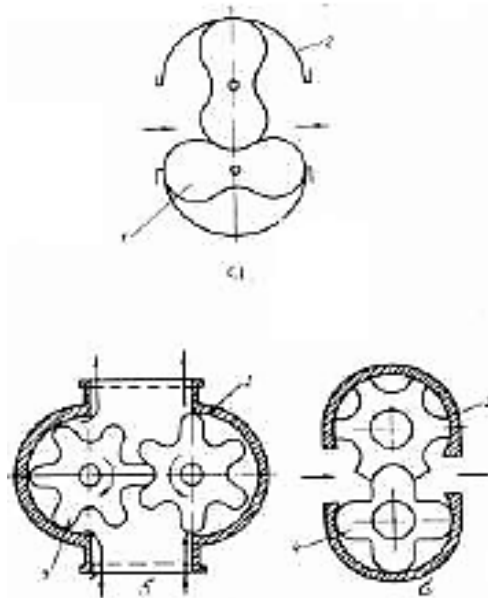


Рис. 3.13 - Схеми двохроторних вакуумних насосів: а) типу рутс; б) шестеренчатого; в) гвинтового; 1 - ротор; 2 - корпус; 3 - гвинт; 4 - шестерня.

Постійна дія повного тиску нагнітання становить один із суттєвих недоліків зазначених насосів, тоді як у пластинчастих і поршневих моделях тиск на поршень підвищується поступово. Механічний коефіцієнт корисної дії (ККД) цих насосів досягає 0,94, а коефіцієнт подачі варіюється в межах 0,6–0,8. Зазначений коефіцієнт залежить не лише від рівня тиску нагнітання, але й від швидкості обертання ротора: з підвищенням частоти обертання ротора коефіцієнт подачі також зростає.

Гвинтові (рисунок 3.13, б) і шестеренні (рисунок 3.13, в) насоси належать до категорії двохроторних вакуумних насосів. Для цих насосів характерний поступовий процес стиснення повітря. У порівнянні з роторними насосами типу Рутс, вони демонструють певні переваги, серед яких помітна

економія масла, плавність ходу, мінімізація зношення циліндра, а також можливість встановлення на малогабаритному фундаменті. Попри ці переваги, основними недоліками таких насосів є висока енергозатратність на одиницю швидкості відкачування, низький адіабатичний ККД та значний шум високих частот.

Функціонування роторних перистальтичних вакуумних насосів (рис. 3.14) базується на зміні об'єму основного робочого елемента – шланга, який намотаний на ролик і прикріплений до внутрішньої частини корпусу насоса, що виконує функцію статора.

Роторний вакуумний насос зі шлангом має відносно просту конструкцію. Вона не має клапанів і, отже, механізму розподілу. У такій помпі виникає лише тертя кочення, що зменшує її залежність від мастила. Низький рівень шуму такої помпи благотворно впливає на фізіологічний стан тварин. Як наслідок, збільшується їхня молочна продуктивність і забезпечується комфорт персоналу, що експлуатує обладнання.

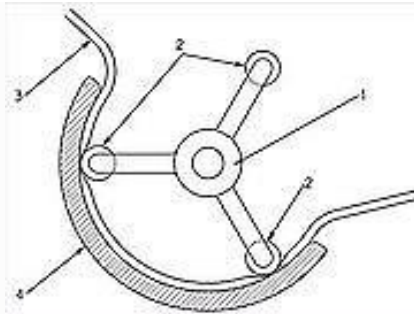


Рис. 3.15. Схематична будова перистальтичних насосів

Перистальтичні насоси вирізняються досить простою конструкцією. Їхня унікальна особливість полягає в здатності працювати без таких складових, як клапани, лопатки або присоски, які зазвичай необхідні для інших типів насосів.

Вакуумні насоси, що є частиною доїльного обладнання, повинні відповідати ряду ключових вимог:

- Стабільна робота доїльного обладнання забезпечується при робочому тиску у вакуумній системі в межах від 34,6 до 53,3 кПа, причому коливання тиску не мають перевищувати 2,66–6,65 кПа.
- Нагрівання деталей насоса не повинно впливати на його пропускну здатність і має залишатися стабільним протягом усього одного циклу доїння.
- Конструкція насоса повинна гарантувати його надійний запуск незалежно від температури навколишнього середовища.
- Насос має бути позбавлений швидкозношуваних деталей, які потребують постійної заміни.
- Змащування компонентів насоса має бути максимально спрощеним і надійним; оптимально, якщо у змащуванні немає потреби взагалі.
- Робота насоса має бути малошумною, а його конструкція – економити метал.
- При номінальній потужності насос повинен забезпечувати ефективну роботу доїльної системи та мати достатній запас пропускну здатності.

### **3.3. Обґрунтування конструктивно-функціональної схеми двороторного насосу**

Для покращення робочого процесу був створений експериментальний зразок двозубового вакуумного насоса з внутрішнім стиском. Двороторний вакуумний насос складається з ведучого двозубового ротора і веденого ротора з двома западинами. Інноваційність конструкції полягає у використанні евольвентного профілю для зубів і западин робочих поверхонь роторів, що забезпечує мінімальні зазори при входженні зуба у западину. Всмоктуюче вікно розміщене по дотичній до основного кола, що сприяє скороченню енергетичних втрат під час всмоктування. Для

синхронного обертання роторів застосовується передача через зубчасті колеса, які знаходяться в масляній камері.

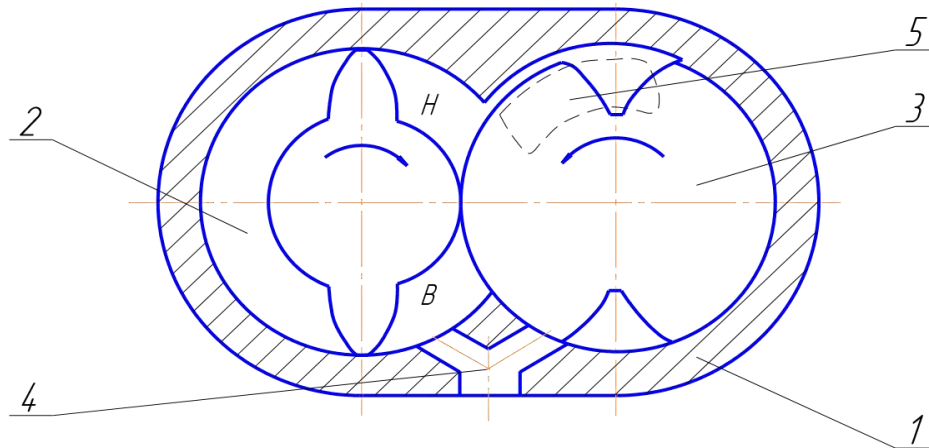


Рисунок 3.16. Схема двороторного двозубового вакуумного насоса  
1 – корпус насоса; 2 – ведучий ротор; 3 – ведений ротор; 4 – всмоктувальне вікно; 5 – нагнітальне вікно

Загальний вигляд дослідного двороторного двозубового вакуумного насоса з евольвентним профілем зубів і западин роторів представлений на рис. 3.17.

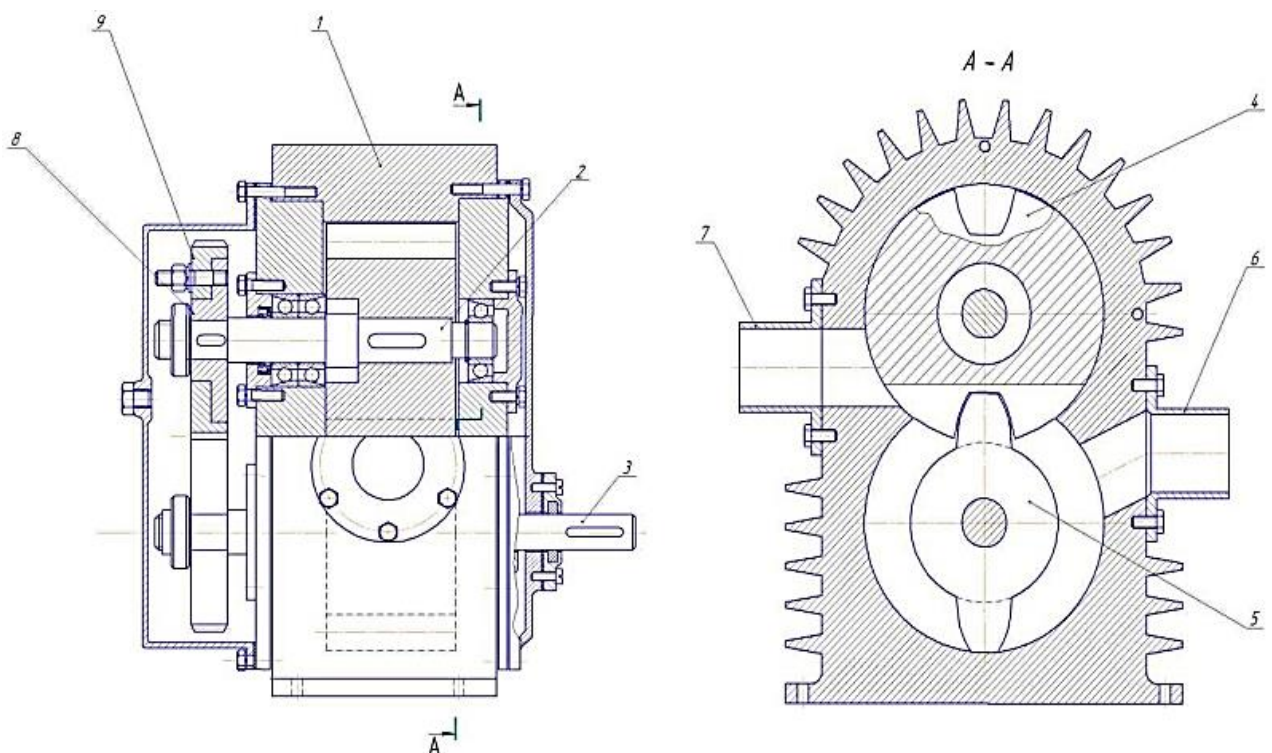


Рис. 3.17. Двороторний двозубовий вакуумний насос: 1 – корпус насоса; 2 – ведений вал; 3 – ведучий вал; 4 – ведений ротор; 5 – ведучий ротор; 6 – всмоктувальне вікно; 7 – нагнітальне вікно; 8 – маховик; 9 – вінець маховика

Робочий процес відбувається наступним чином. Під час обертання роторів газ переміщується з камери всмоктування до камери виштовхування через порожнини, розташовані на двигуні та роторах передачі. Коли зубці входять у порожнини, об'єм газу переміщується разом із обертанням поверхні, яка формує рух.

У зоні ротора передачі з порожнинами еволюційного профілю створюється випускне вікно зі спеціально сформованою конфігурацією. Для узгодженого обертання роторів передбачено механізм синхронізації, який складається з кількох шестерень малого розміру. У корпусі передбачений канал у зоні впорскування. Стиснення газу виконується в той момент, коли випускне вікно перекривається радіальним профілем приводного ротора. Коли порожнина приводного ротора співпадає з положенням випускного вікна, стиснене повітря виводиться через цей отвір у зоні приводного ротора.

### 3.4. Дослідження двороторного вакуумного насоса

Для визначення площі нагнітального вікна приймаємо, що верхня і нижня межі описуються відповідно радіусом  $R_{max}$  і  $R_{min}$ , а бічні грані радіусом  $r$  (рис. 3.18).

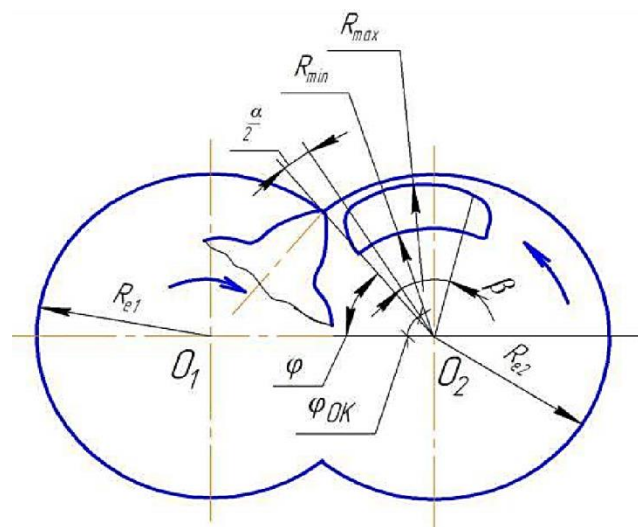


Рисунок 3.18. Схема для розрахунку площі нагнітального вікна

Тоді площа нагнітального вікна визначається за такою формулою:

$$S_{ок} = \frac{1}{2} (R_{max}^2 - R_{min}^2) \cdot \beta + \pi \cdot r^2, \text{ м}^2 \quad (3.1)$$

де  $\beta$  – кут, що характеризує довжину дуги вікна за мінімальним радіусом, рад. Він визначається залежно від ступеня внутрішнього стиску.

Виражаючи радіус  $r$  через радіуси  $R_{max}$  та  $R_{min}$ , остаточно отримаємо:

$$S_{ок} = \frac{1}{2} [(R_{max}^2 - R_{min}^2) \cdot \beta + \frac{\pi}{2} (R_{max} - R_{min})^2], \text{ м}^2 \quad (3.2)$$

Корисну площу нагнітального вікна можна збільшити, якщо бічні грані виконати за профілем западини ротора. В даному випадку, якщо бічні грані виконуються за евольвентом, площа нагнітального вікна (рис. 3.18) визначатиметься за формулою:

$$S = \frac{1}{2} (R_{max}^2 - R_{min}^2) \cdot \beta + R_i^2 \left[ \frac{(\gamma_e + inv\gamma_a)^3}{3} - inv\gamma_a \right], \text{ м}^2 \quad (3.3)$$

де  $R_o$  - радіус основного кола, м;  $\gamma_e$  – кут радіус-вектора евольвенти у вершині зуба, радий;  $\gamma_e = tg\gamma_e - \gamma_e$  – евольвентна функція кута  $\gamma_e$ .

На рисунку 3.19 представлені теоретичні залежності площі вікна нагнітального  $S_{ок}$  від конструктивних параметрів  $\beta$ ,  $R_{max}$  і  $R_{min}$  для модуля зуба  $m = 12 \text{ мм}$ .

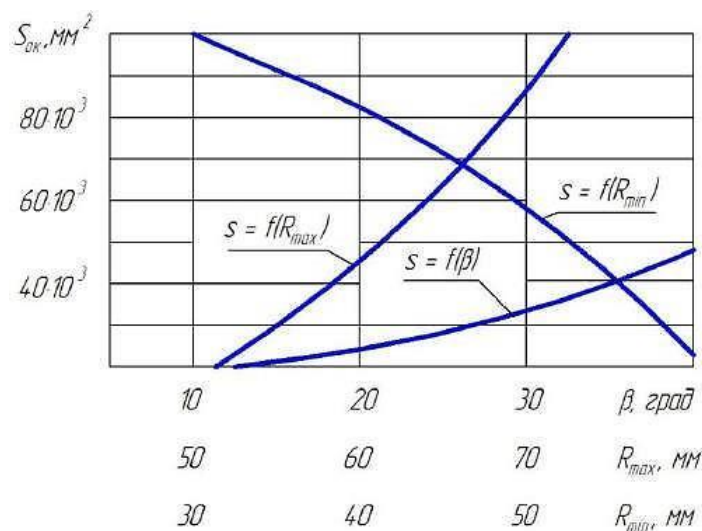


Рис. 3.19. Теоретична залежність площі нагнітального вікна від конструктивних параметрів для модуля  $m = 12 \text{ мм}$

Зауважимо, що граничними значеннями для радіусів  $R_e$  та  $R_i$ :

$$R_{max} \leq R_e \quad \text{і} \quad R_{min} \geq R_i,$$

де  $R_e$  і  $R_i$  - радіуси скруглення виступів і западини веденого ротора, відповідно.

Таким чином, використовуючи отримані залежності, можна визначити площу нагнітального вікна цієї конфігурації.

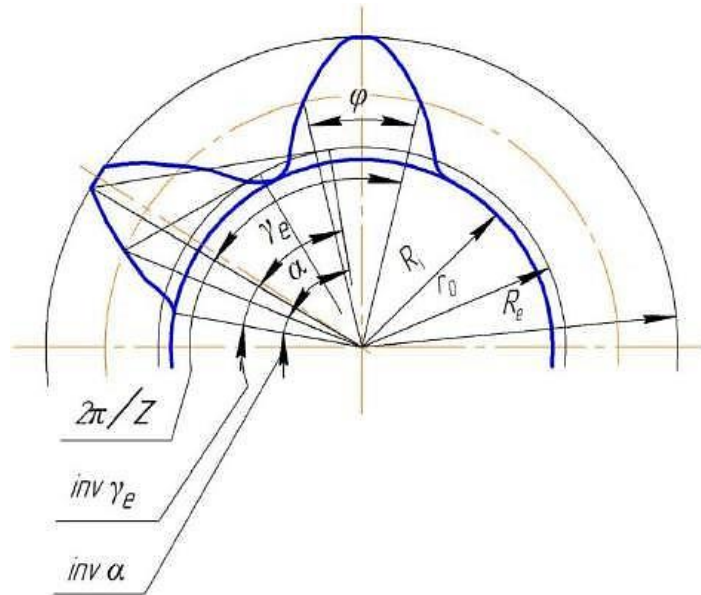


Рисунок 3.20. До визначення площі зуба та западини

При визначенні подачі насоса вважаємо, що перетікання стисненого повітря через щілини відсутні.

Тоді подача за один оберт ротора визначається за такою формулою:

$$Q_T = L[(2S_{\text{вп1}} - 2S_{\text{зуб}}) + 2S_{\text{вп2}}] \text{ м}^3, \quad (3.4)$$

де  $L$  - довжина активної частини ротора, м;  $S_{\text{вп1}}$  - площа западини провідного ротора, м<sup>2</sup>;  $S_{\text{зуб}}$  - площа зуба провідного ротора, м<sup>2</sup>;  $S_{\text{вп2}}$  - площа западини веденого ротора, м<sup>2</sup>.

Площі зуба та западини (м<sup>2</sup>) визначаються за такими формулами:

$$S_{\text{зуб}} = R_0^2 \left[ \frac{(\gamma_e + \text{inv } \gamma_e)^3}{3} - \left( \frac{\varphi}{2} + \text{inv } \alpha \right) \right] + R_e^2 \left( \frac{\varphi}{2} + \text{inv } \alpha + \text{inv } \gamma_e \right) \quad (3.5)$$

$$S_{\text{вп}} = R_e^2 \left( \frac{\pi}{z} - \frac{\varphi}{2} + \text{inv } \gamma_e - \text{inv } \alpha \right) - R_0^2 \left[ \frac{(\gamma_e + \text{inv } \gamma_e)^3}{3} + \frac{\pi}{z} - \left( \frac{\varphi}{2} + \text{inv } \alpha \right) \right] \quad (3.6)$$

де  $R_e$  - радіус кола виступів, м;  $R_o$  - радіус основного кола, м;  $\varphi$  - центральний кут, що відповідає дузі початкового кола, в рад;  $\alpha$  - кут зачеплення передачі у градусах;  $\gamma_e$  - кут радіус вектора евольвенти у вершині зуба, у градусах;  $\text{inv } \alpha = \text{tg}\alpha - \alpha$  - евольвентна функція кута  $\alpha$ , у радіанах;  $\text{inv } \gamma_e = \text{tg}\gamma_e - \gamma_e$  - евольвентна функція кута  $\gamma_e$ , у радіанах.

Підставляючи залежності (3.5) та (3.6) у формулу (3.4), отримаємо подачу насоса на всмоктуванні:

$$Q_T = 2 \cdot L \cdot n \cdot \left(1 - \frac{\Delta P}{P_H}\right) \left[ (R_e^2 - R_i^2) \left( \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2z} - \frac{\varphi}{2} - \text{inv } \alpha \right) - R_i^2 \frac{(\gamma_e + \text{inv } \gamma_e)^3}{3} \right], \quad (3.7)$$

де  $n$  - частота обертання роторів,  $\text{хв}^{-1}$ ,

$\Delta P = P_H - P_B$  - середнє значення перепаду тиску на профілі ротора, Па;

На рисунку 3.21 представлені залежності теоретичної подачі  $Q_T$  від ширини роторів  $L$  при їх різній частоті обертання  $n$ . На рисунку 3.22 наведено залежність теоретичної подачі від величини вакууму  $H$  при різній частоті обертання роторів  $n$ .

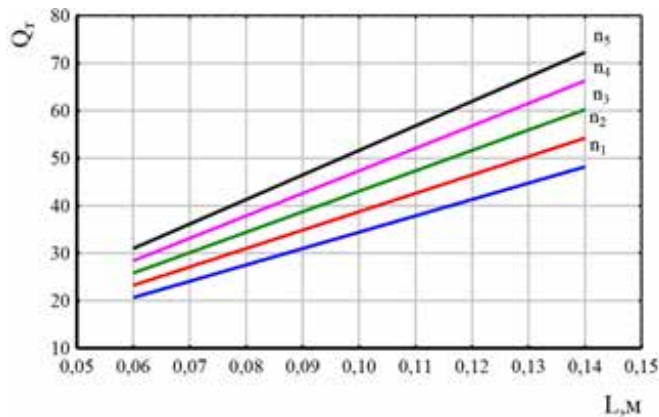


Рисунок 3.21 Залежність теоретичної подачі  $Q_T$  від ширини роторів  $L$  при різній їх частоті обертання  $n$  та вакуумі  $H=50$  кПа

$$\begin{aligned} n_1 &= 2000 \text{ хв}^{-1}; n_2 = 2250 \text{ хв}^{-1}; \\ n_3 &= 2500 \text{ хв}^{-1}; n_4 = 2750 \text{ хв}^{-1}; \\ n_5 &= 3000 \text{ хв}^{-1} \end{aligned}$$

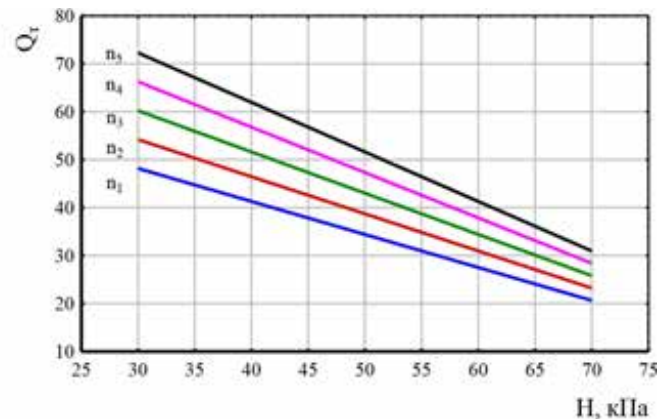


Рисунок 3.22. Залежність теоретичної подачі  $Q_T$  від величини вакууму  $H$  при різній частоті обертання роторів  $n$

$$\begin{aligned} n_1 &= 2000 \text{ хв}^{-1}; n_2 = 2250 \text{ хв}^{-1}; \\ n_3 &= 2500 \text{ хв}^{-1}; n_4 = 2750 \text{ хв}^{-1}; \\ n_5 &= 3000 \text{ хв}^{-1} \end{aligned}$$

Таким чином, на підставі отриманих залежностей та наведених графіків можна попередньо обґрунтувати основні параметри роторів і

досить точно розрахувати теоретичну подачу двороторного двозубового вакуумного насоса з евольвентним профілем зубів і западин роторів.

Повна потужність двороторного двозубового вакуумного насоса, що використовується, визначається за формулою:

$$N = N_i + N_{\text{мех}}, \text{ Вт}, \quad (3.8)$$

де  $N_i$  - внутрішня (індикаторна) потужність двороторного двозубового вакуумного насоса, Вт;  $N_{\text{мех}}$  - механічна потужність, Вт.

З метою визначення теоретичного моменту опору двороторного двозубового вакуумного насоса скористалися методикою, що враховує граничні умови:

$$M_c = P_B \left( \frac{m-1}{m} \sqrt{\frac{T_H}{T_B}} - 1 \right) L \left\{ R_e^2 - R_i^2 - \frac{3t_0 - B}{2t_0} \left[ R_H^2 - R_i^2 + \frac{t_0^3 + (2t_0 - B)^3}{12(3t_0 - B)} \right] \right\} - \\ - \frac{L(B-t_0)}{2t_0} \left\{ \left( P_B \frac{m-1}{m} \sqrt{\frac{T_H}{T_B}} - P_H \right) \left[ R_H^2 - R_i^2 + \frac{t_0^3 - (2t_0 - B)^3}{12(B-t_0)} \right] - (P_H - P_B) \left[ R_H^2 - R_i^2 + \frac{B^2 + Bt_0 + t_0^2}{12} \right] \right\}, \quad (3.9)$$

де  $B$  - величина, що враховує конструктивні особливості двороторного двозубового вакуумного насоса, яка визначається за такою формулою:

$$B = (2\sqrt{R_e^2 - R_o^2} - A_d \cdot \sin \alpha), \text{ м}, \quad (3.10)$$

де  $R_e^2$  - радіус кола виступів провідного та веденого роторів, м;  $R_o$  - радіус основного кола, м;  $A_d$  - дійсна міжосьова відстань, м;  $t_o$  - основний крок, м.т.

Потужність двороторного двозубового вакуумного насоса визначається далі за класичною формулою:

$$N_\varepsilon = M_c \cdot \omega, \text{ Вт}, \quad (3.11)$$

де  $\omega$  - швидкість обертання роторів,  $c^{-1}$ .

На рисунках 3.23 і 3.24 представлені залежність і поверхню відгуку фактичної подачі двороторного двозубового вакуумного насоса від частоти

обертання роторів та величини вакууму без коригування та з коригуванням западин роторів.

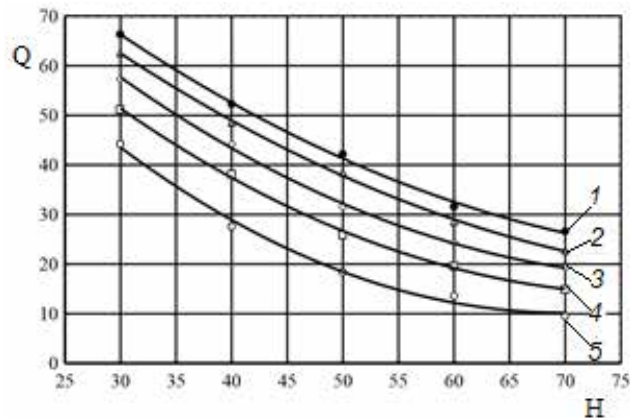
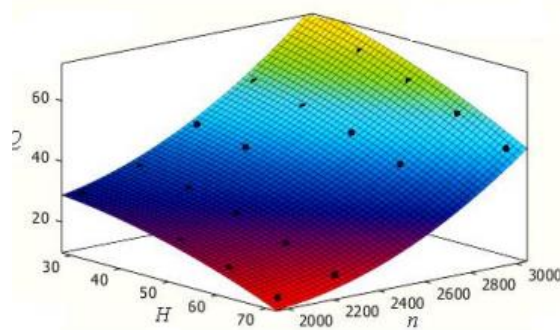


Рис. 3.23. Залежність подачі  $Q$  насоса від величини вакууму  $H$  при різній частоті обертання роторів  $n$ ,

$$n_1=3000 \text{ хв}^{-1}; n_2=2750 \text{ хв}^{-1}; n_3=2500 \text{ хв}^{-1}; n_4=2250 \text{ хв}^{-1}; n_5=2000 \text{ хв}^{-1};$$

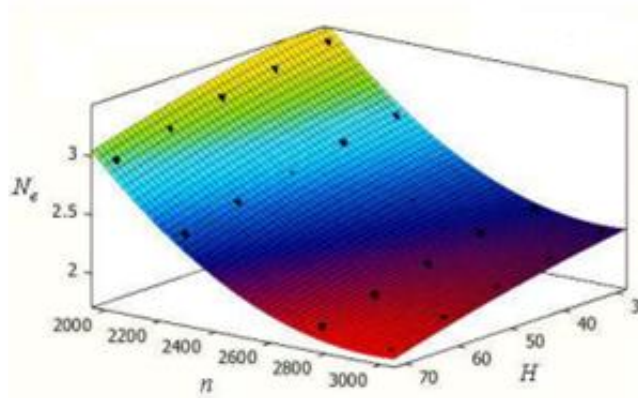


$$Q = 86,38 + 0,523 \cdot H - 0,078 \cdot n - 0,006 \cdot H^2 - 0,00018 \cdot H \cdot n + 2,496 \cdot n^2$$

Рис. 3.24. Поверхня відгуку подачі ( $Q$ ) вакуумного насоса від величини вакууму ( $H$ ) при різній частоті обертання роторів ( $n$ )

Аналізуючи результати дослідження технічних характеристик вакуумного насоса, можна відзначити, що зі збільшенням частоти обертання роторів та зменшенням вакууму продуктивність насоса зростає. Як показують залежності, за умови коригування западин веденого ротора продуктивність насоса підвищується в середньому на 10%. Це сприяло також зменшенню обсягів перетікань стисненого повітря з порожнини нагнітання в порожнину всмоктування. На рисунку 3.25 представлено поверхню відгуку потужності вакуумного насоса в залежності від рівня

вакууму при різних частотах обертання роторів із внесеним коригування западин веденого ротора.



$$N_e = 13,19 - 0,003 \cdot H - 0,0073 \cdot n - 7,571 \cdot H^2 + 1,2 \cdot H \cdot n + 1,23 \cdot n^2$$

Рис. 3.24. Поверхня відгуку потужності ( $N$ ) вакуумного насоса від величини вакуума ( $H$ ) при різній частоті обертання роторів ( $n$ )  
Залежність питомих енергетичних витрат від величини вакууму, що створюється двороторним вакуумним насосом представлена на рис. 3.25

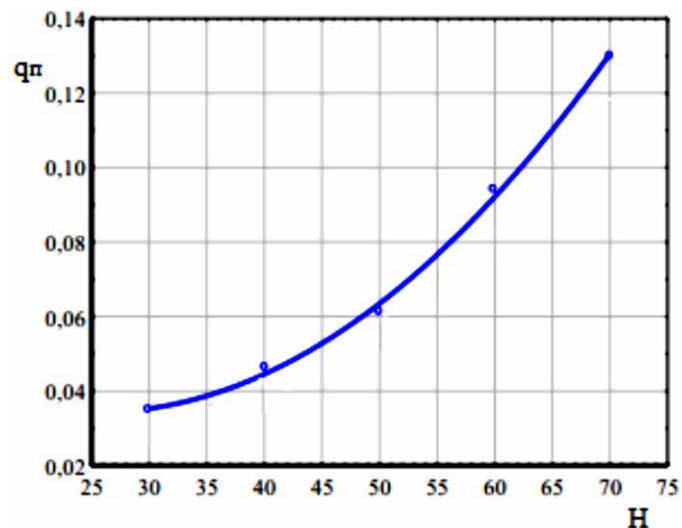


Рис. 3.25. Залежність питомих енерговитрат  $q$  від величини  $H$  вакууметричного тиску

Розроблений двороторний вакуумний насос має такі основні характеристики:

- радіус кола вершин  $R_e$  — 66 мм,
- радіус основного кола  $R_0$  — 45 мм,
- ширина робочої частини роторів  $L$  — 100 мм.

Цей двороторний двозубовий вакуумний насос оптимізує енергоефективність, скорочуючи питомі енерговитрати на 39% завдяки усуненню тертя між роторами та вдосконаленню термодинамічного процесу стискання повітря, що також сприяє збільшенню строку його служби. При частоті обертання роторів 3000 об/хв насос забезпечує стабільний вакуум на рівні 50 кПа, знижуючи питомі енергетичні витрати до 0,054 кВт·год/м<sup>3</sup>.

#### 4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Економічна ефективність використання вдосконаленого перистальтичного вакуумного насоса була визначена на основі чинних стандартів, нормативних документів та методик [20, 21, 22]. Також було враховано середній річний рівень інфляції. Ефективність використання вакуумного насоса перистальтичного типу в малих доїльних установках оцінювалася за показниками роботи їх вакуумних ліній в цілому.

Таблиця 4.1. Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Показники	Базовий варіант	Пропонований варіант
Поголів'я, гол.	10	10
Потужність приводу насоса, кВт	0,6	0,5
Кратність доїння	2	2
Термін роботи роликів і еластичних оболонок до заміни	1 раз в 6 міс	1 раз на рік
Ціна пересувного доїльного апарату, грн.	54800	47300
Балансова вартість вакуумного насоса, грн.	4200	1925
Кількість вакуумних насосів, шт	1	1
Подача вакуумного насоса, м <sup>3</sup> / год	4,5	3
Ціна 1 кВт·год електроенергії, грн	4,5	4,5
Годинна ставка оплати за обслуговування та догляду за насосом, грн.	45,68	45,68
Річна норма ремонтних відрахувань,%	18	18
Термін служби машин, років	7	7
Кількість обслуговуючого персоналу	1	1
Число обслуговуваних корів на годину, гол. / Год	10	10
Річний удій корови, кг	6500	6500
Маса доїльного апарату, кг	42	40
Річна норма амортизаційних відрахувань,%	14,28	14,28

На основі методології розрахунку економічної ефективності використання нових технологій, винаходів та інноваційних пропозицій у сільськогосподарському виробництві головним показником її ефективності є річний економічний ефект. При визначенні цього ефекту в якості основи для порівняння було прийнято агрегат індивідуального доїння корів УІД-1, який обслуговує стадо з 15 корів з річною продуктивністю 6500 кг молока і до складу якого входить один доїльний апарат [23]. Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності порівнюваних варіантів наведені в таблиці 4.1.

У розрахунках експлуатаційні умови в базовому та експериментальному варіантах вважалися ідентичними. В обох випадках передбачалося використання базового та запропонованого обладнання. Основними джерелами економічної ефективності використання перистальтичного вакуумного насоса є зменшення впливу на еластичні мембрани, подовження терміну їх експлуатації та збільшення пропускної здатності насоса, а також зменшення експлуатаційних витрат. Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності використання вдосконаленого вакуумного насоса показники

#### 4.1. Розрахунок капітальних вкладень

Балансова вартість сільськогосподарських машин, що випускаються промисловістю, визначається за формулою:

$$K_u = Ц \cdot K, \quad (4.1)$$

де  $K_u$  - балансова вартість машини-еталона;

$Ц$  - ціна придбання машини, грн .;

$K$  - коефіцієнт, що враховує додаткові витрати на транспортування, монтажні та постачальницько-торговельні витрати.

Капіталовкладення в експериментальну машину (шланговий вакуумний насос на базі АИД-2) включають витрати на придбання матеріалів, доставку і монтаж, які розраховуються за формулою [86]:

$$K_u = C_d + TЗ + C_z + ОП + ОХ, \quad (4.2)$$

де  $C_d$  - вартість деталей і покупних виробів, грн .;

$T_3$  - транспортно-заготівельні витрати, грн .;

$C_z$  - витрати на оплату праці при виготовленні насоса, грн .;

ОП - загальновиробничі витрати, грн .;

ОХ - загальногосподарські витрати, грн.

Транспортно-заготівельні витрати визначаються у відсотках від вартості покупних матеріалів і виробів:

$$T_3 = \frac{C_u \cdot \mu_{np}}{100}, \quad (4.3)$$

$\mu_{np}$  - відсоток транспортно-заготівельних витрат (за фактичними даними підприємства, становить 20%).

Витрати на оплату праці при виготовленні насоса визначаються за формулою:

$$C_t = OT_{осн} \cdot \alpha_n \cdot \alpha_{доп} \cdot \alpha_{отч}, \quad (4.4)$$

де  $OT_{осн}$  - основна оплата праці, грн .;

$\alpha_n$  - коефіцієнт, що враховує премії з фонду оплати праці, приймається в розмірі 1,2 ... 1,4;

$\alpha_{доп}$  - коефіцієнт, що враховує розміри додаткової оплати праці, приймається в розмірі 1,12 ... 1,16;

$\alpha_{отч}$  - коефіцієнт, що враховує відрахування на всі види страхування, приймається 1,3.

Основна оплата праці залежить від трудомісткості робіт і годинної тарифної ставки відповідних розрядів персоналу:

$$OT_{осн} = T_{експ} \cdot \tau_{час}, \quad (4.5)$$

де  $T_{експ}$  - трудомісткість робіт, необхідних для виготовлення експериментального насоса, люд.-год .;

$\tau_{час}$  - годинна основна ставка, відповідно певним кваліфікаційним рівнем працівника, грн.

Загальновиробничі і загальногосподарські витрати визначаються у відсотках від основної зарплати на виготовлення установки:

$$ОП = \frac{ОТ_{осн} \cdot \mu_{оп}}{100}, \quad (4.6)$$

де  $\mu_{оп}$  - відсоток загальновиробничих витрат (за даними підприємства становить 25%).

$$ОХ = \frac{ОТ_{осн} \cdot \mu_{ох}}{100}, \quad (4.7)$$

де  $\mu_{ох}$  - відсоток загальногосподарських витрат (за даними підприємства становить 41%).

#### 4.2. Розрахунок техніко-економічних показників.

Витрати праці на 1 тонну молока визначаються за формулою:

$$T_0 = \frac{L}{W}, \quad (4.8)$$

де  $T_0$  - трудомісткість операції, люд-год. / т;

$W$  - продуктивність за годину змінного часу, т / год;

$L$  - кількість обслуговуючого персоналу, чол.

Ступінь зниження трудомісткості:

$$C_{\gamma} = \frac{T_{0и} - T_{0м}}{T_{0х}} \cdot 100\%, \quad (4.9)$$

де  $C_{\gamma}$  - ступінь зниження трудомісткості, %

Експлуатаційні витрати визначаються за формулою:

$$И_{уд} = (O_{\tau} + A + P_{\gamma} + E_{\text{мат}} + E_{\text{еe}}) \cdot П, \quad (4.10)$$

де  $И_{уд}$  - прямі експлуатаційні витрати, грн. / т;

$O_{\tau}$  - оплата праці з відрахуванням на соціальні потреби, грн. / Т;

$A$  - амортизаційні відрахування, грн. / Т;

$P_{\gamma}$  - витрати на ремонти і техобслуговування, грн. / Т;

$E_{\text{мат}}$  - витрати на матеріали, грн. / Т;

$E_{\text{еe}}$  - витрати на електроенергію, грн. / Т;

$П$  - коефіцієнт, що враховує інші прямі витрати,  $П = 1,05$ .

Оплата праці з відрахуваннями на соціальні потреби визначається за формулою:

$$O_{\gamma} = (T_o \cdot \tau_{\text{год}}), \quad (4.11)$$

де  $T_o$  - трудомісткість операції, люд.-год. / т

Амортизаційні відрахування визначаються за формулою:

$$A = \frac{B \cdot \alpha\%}{W_{\text{год}} \cdot 100}, \quad (4.12)$$

де  $A$  - амортизаційні відрахування, грн. / т.

$B$  - балансова вартість машини, грн.

$\alpha\%$  - норма щорічних амортизаційних відрахувань, %.

Витрати на ремонт і техобслуговування визначаються за формулою:

$$P_{\tau} = \frac{B \cdot p\%}{W_{\text{год}} \cdot 100}, \quad (4.13)$$

де  $P_{\tau}$  - витрати на ремонт і техобслуговування, грн. / т;

$B$  - балансова вартість машини, грн. ;

$p\%$  - норма щорічних відрахувань на ремонти, %.

$W_{\text{год}}$  - річний обсяг роботи.

Витрати на електроенергію визначають за формулою:

$$E = \frac{N \cdot S_{\tau}}{W}, \quad (4.14)$$

де  $E$  - витрати на електроенергію, грн. / т;

$N$  - встановлена потужність двигуна, кВт;

$S_{\tau}$  - відпускний тариф 1 кВт · год, грн.

Питома економія експлуатаційних витрат визначається за виразом:

$$E_3 = I_1^{\text{п}} - I_n^{\text{п}}, \quad (4.15)$$

де  $E_3$  - питома економія експлуатаційних витрат, грн. / т;

$I_1^{\text{п}} - I_n^{\text{п}}$  - прямі експлуатаційні витрати в вихідному і проектуваному варіантах відповідно, грн. / т;

Ступінь зниження питомих експлуатаційних витрат:

$$C_3 = \frac{I_1^{\text{п}} - I_n^{\text{п}}}{I_n^{\text{уд}}} \cdot 100, \quad (4.16)$$

де  $C_3$  - ступінь зниження експлуатаційних витрат, %.

Питома матеріаломісткість операції визначається за формулою:

$$M_y = \frac{\sigma}{W_{\text{год}}}, \quad (4.17)$$

де  $M_y$  - питома матеріаломісткість операції, кг / т;

$W_{\text{год}}$  - річний обсяг роботи, т;

$\sigma$  - маса машини, кг.

Ступінь зниження матеріаломісткості:

$$C_M = \frac{M_{ya} - M_{yn}}{M_{yn}} \cdot 100, \quad (4.23)$$

де  $C_M$  - ступінь зниження матеріаломісткості, %;

$M_{ya} - M_{yn}$  - питома матеріаломісткість операцій у вихідному і проєктованому варіантах відповідно, кг / т.

Питома енергоємність операції визначається за формулою:

$$F_y = \frac{F_r}{W_{\text{год}}}, \quad (4.24)$$

де  $F_y$  - питома енергоємність операції, кВт. · год / т;

$F_r$  - річне споживання енергії, кВт. · год.

Ступінь зниження енергоємності операції:

$$C_F = \frac{F_{yn} - F_{yn}}{F_{yn}} \cdot 100, \quad (4.25)$$

де  $C_F$  - ступінь зниження енергоємності, %;

$F_{yn} - F_{yn}$  - питома енергоємність операцій у вихідному і проєктованому варіантах відповідно, кВт. · год / т.

### 4.3. Визначення річної економії

Річна економія від скорочення експлуатаційних витрат:

$$E_r = E_s \cdot W_{\text{год}}, \quad (4.26)$$

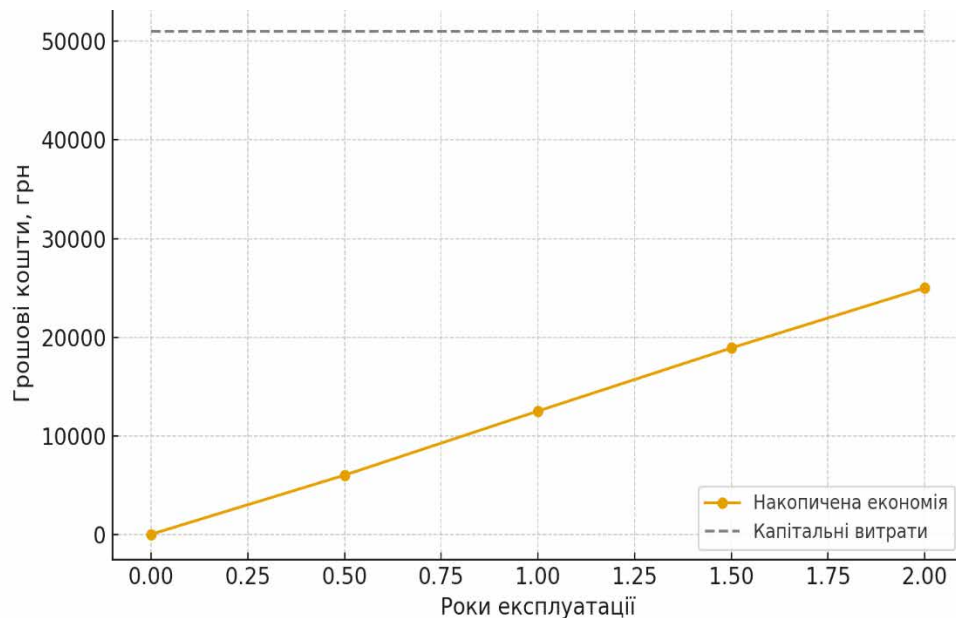
де  $E_r$  - річна економія витрат, грн.

Порівняльні показники економічної ефективності розглянутих варіантів приведені в таблиці 4.2.

Результати аналізу показують, що з економічної точки зору найбільш вигідним є застосування вакуумних насосів перистальтичного типу. Вони

рекомендуються для встановлення на доїльні агрегати УІД-1, а також пересувні доїльні установки, що використовуються в сільському господарстві, сімейних і особистих підсобних господарствах. Використання такого насоса в малогабаритній доїльній установці з продуктивністю 10 голів на годину забезпечить річну економію експлуатаційних витрат у розмірі 453554,6 грн. Крім того, термін окупності удосконаленого вакуумного насоса складе лише 0,56 року. Цей насос можна встановлювати на базі пересувного доїльного агрегату типу АИД.

Графік окупності двороторного вакуумного насоса



Таблиця 5.2. Порівняльні показники економічної ефективності

Показники	УІД-10	Експериментальна доїльна установка
Сумарні капіталовкладення в систему доїння	24960	20760
в тому числі: в вакуумний насос	5040	2310
Годинна продуктивність агрегату	10	10
Продуктивність праці	10	10
Річні експлуатаційні витрати	560218,81	524679,91
в тому числі:		
· Оплата праці з нарахуваннями на соціальні потреби	67973,30	67973,30
· амортизаційні відрахування	3564,29	2964,53
· Витрати на ремонти і технічне обслуговування	4492,80	3736,80
· Витрати на споживану електроенергію	2053,13	1710,94
· Витрати на матеріали	72	36
Річний вихід молока	650	650
Питомі експлуатаційні витрати	246,49	241,02
Річна економія питомих експлуатаційних витрат	-	5,47
Ступінь зниження питомих експлуатаційних витрат%	-	2,22
Річна економія експлуатаційних витрат	-	453554,6
Питома матеріаломісткість	4,2	4,0
Ступінь зниження матеріаломісткості%	-	5,0
Термін окупності системи доїння років	-	1,16

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

### 5.1. Загальні положення

В умовах високого рівня технологізації тваринництва, використання нових технологій, споруд і механізмів, а також зростання виробничих потужностей, безпека праці та безпека виробництва стають все більш важливими.

У межах дослідження особливу увагу приділено питанням безпеки під час експлуатації доїльної установки, зокрема електробезпеці оператора та профілактиці травматизму

Охорона праці – система законодавчих актів, заходів та засобів соціально-економічного, організаційного, технічного, гігієнічного та терапевтично-профілактичного характеру, спрямованих на захист здоров'я та працездатності осіб у процесі праці.

Правовою основою законодавства, щодо охорони праці в господарстві є:

Конституція України,

Закон України «Про охорону праці»,

Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасних випадків на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності»,

Закон України «Про охорону здоров'я»,

Закон України «Про пожежну безпеку»,

Закон України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення»,

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»,

Закон України «Про колективні договори і угоди», Закон України «Про дорожній рух»,

Кодекс законів про працю України,

Положенням про організацію роботи з охорони праці.

НПАОП 01.0-1.01-12. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві

НПАОП 01.2-1.10-05. Правила охорони праці у тваринництві. Велика рогата худоба

НПАОП 0.00-4.12-2005. Перелік робіт з підвищеною небезпекою

Відповідно до Закону України «Про охорону праці», контроль за дотриманням норм законодавчих та інших нормативно-правових актів щодо безпеки, гігієни праці та умов виробничого середовища здійснюється Комітетом з нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України, органами державного пожежного нагляду Управління пожежної охорони, а також органами та установами санітарно-епідеміологічної служби Міністерства охорони здоров'я України.

Під час експлуатації доїльних установок особливу увагу необхідно приділяти безпеці роботи з вакуумними насосами, електродвигунами та системами подачі повітря. Основні небезпечні фактори при цьому пов'язані з можливим ураженням електричним струмом, підвищеним рівнем шуму та вібрації, а також нагріванням корпусу насоса під час тривалої роботи.

Для забезпечення безпечних умов праці оператор повинен проходити інструктаж з техніки безпеки та навчання з правил експлуатації вакуумних систем. Особливо важливо дотримуватися вимог електробезпеки: забороняється працювати при пошкодженому ізоляційному шарі проводів, відкритих клемах чи відсутності заземлення.

З метою зменшення шумового навантаження насос бажано розміщувати в окремому технічному приміщенні або використовувати шумоізоляційні кожухи. Рівень шуму не повинен перевищувати 80 дБ, що відповідає гранично

допустимим нормам ДСН 3.3.6.037–99. У разі перевищення цих показників працівникам рекомендується застосовувати протишумові навушники.

Керівники господарств, спеціалісти та інші посадові особи повинні володіти знаннями з управління охороною праці, вміти аналізувати умови праці як у своїй галузі, так і в окремому господарстві. Вони мають бути здатними обґрунтовано пропонувати заходи з покращення умов праці та знати правила безпеки під час виконання робіт, зокрема у сфері тваринництва.

З метою запобігання захворюванням тварин у фермерських приміщеннях створені оптимальні умови для їхньої життєдіяльності, забезпечуючи сприятливий мікроклімат. Особлива увага приділяється щільності розташування тварин. Для підтримання належного мікроклімату застосовують припливно-витяжну вентиляцію. Важливим профілактичним заходом є також забезпечення активного вигулу тварин і своєчасне прибирання гною в корівниках. На фермах більшість приміщень освітлюється лампами денного світла, тоді як для внутрішнього і зовнішнього освітлення використовуються електроліхтарі з герметичними прозорими плафонами.

У господарстві встановлено спеціальний пожежний щит, де розміщено первинні засоби пожежогасіння. Однак їх кількість недостатня для забезпечення належного рівня протипожежної безпеки.

Подальшому поширенню пожеж сприяє захаращення території ферми, зокрема сіном, підстилкою, гноєм та брудом, а також необережне поводження з легкозаймистими матеріалами.

З метою запобігання виникненню пожеж та ефективної боротьби з ними у сільськогосподарському підприємстві проводяться регулярні інструктажі для співробітників. Вони включають пояснення причин займання, ознайомлення з правилами пожежної безпеки і навчання діям під час гасіння пожежі. На молочнотоварній фермі відповідальність за організацію заходів охорони праці та забезпечення протипожежної безпеки покладена на завідувача фермою.

Майстри машинного доїння, оператори, слюсарі-налагоджувальники та лаборанти-обліковці мають бути забезпечені спеціальним захисним одягом. Під час приготування мийних розчинів працівники використовують засоби індивідуального захисту. Очищення, змазування, підтягування гвинтових з'єднань та виконання ремонтних робіт під час роботи обладнання суворо забороняється. Регулювання та ремонт слід здійснювати виключно після повної зупинки машини.

Шланги для подачі гарячої води та пари необхідно надійно закріплювати хомутами, щоб уникнути їхнього зісковзування з штуцера чи в місцях з'єднань. Забороняється перегинати шланги, оскільки це може призвести до їх пошкодження.

Усе обладнання, яке працює від електроприводу, має бути обов'язково надійно заземленим. Між вакуумним насосом і вакуумопроводом слід встановити ізоляційну вставку відповідно до вимог безпеки [3, 4, 21-24].

Електричний водонагрівач необхідно приєднувати до водопровідної системи через петлю, сформовану з двох гумових трубок.

Особливу увагу під час визначення жирності молока слід приділяти стану центрифуги, яка має бути надійно закріпленою та оснащеною пусковим пристроєм. Контроль за жиромірами важливий для забезпечення точності вимірювань: для їхнього струшування рекомендується використовувати штатив із захисними футлярами

Проходи навколо машин повинні бути вільними, а підлога повинна мати нахил у бік зливних каналів. У машинному відділенні заборонено зберігати гас, бензин та інші легкозаймісті речовини. Машинне відділення повинно бути обладнане надійною системою вентиляції.

Усі працівники молокозаводу повинні вміти надавати першу медичну допомогу. У разі задухи, спричиненої нестачею кисню в приміщенні, заповненому фреоном або аміаком, потерпілого необхідно негайно винести на свіже повітря і викликати лікаря. У разі зупинки дихання необхідно негайно розпочати штучне дихання [3, 4, 21, 24].

Таким чином, дотримання комплексу організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів дозволяє не лише підвищити рівень безпеки обслуговуючого персоналу, а й продовжити термін експлуатації обладнання, зменшити кількість аварійних зупинок та забезпечити стабільність технологічного процесу доїння.

## **5.2. Аналіз небезпечних ситуацій**

У структурному зображенні процесів виникнення, нещасних випадків та виробничих травм усі випадкові події (явища), що призводять до певної ситуації нещасного випадку або травми, пов'язані між собою причинно-наслідковими зв'язками. До них належать початкові, проміжні та кінцеві події [4, 24].

Початкові події (НУ, НД) ідентифікуються під час перевірки виробничих об'єктів, а проміжні та кінцеві події вносяться до діаграми на основі логічного аналізу можливих сценаріїв.

Метод логічного моделювання потенційних аварій, травм та катастроф дає можливість розробити досконалу систему управління безпекою життя шляхом вжиття заходів для усунення потенційних небезпек до настання аварій та катастроф.

У логічній таблиці описи НУ, НД, НС супроводжуються логічною моделлю процесу (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1

Виробничі небезпеки			Мож-ливі наслід-ки	Заходи по усуненню небезпеки
Небезпечна умова	Небезпечна дія	Небезпечна ситуація		
Несправна сигналізація пуску машин	Техогляд обладнання	Людина знаходиться в зоні дії машини	травма	Усунути несправності
Відсутня діелектрична вставка	Дотик людини до машини під час роботи	Пораження струмом	травма	Надійно закріпити
Обірваний провід	Дотик людини до машини під час роботи	Пораження струмом	травма	Надійно закріпити провід
Немає захисних щитків	Обслуговування під час роботи	Захват одягу працівника	травма	Встановити захисні щитки

$$\longrightarrow \text{НС}_1 \longrightarrow \text{Т}$$

$$\text{НУ}_3 \longrightarrow \text{НД}_3 \longrightarrow \text{НС}_3 \longrightarrow \text{Т}$$

$$\longrightarrow \text{НС}_2 \longrightarrow \text{Т}$$

$$\text{НУ}_4 \longrightarrow \text{НД}_4 \longrightarrow \text{НС}_4 \longrightarrow \text{Т}$$

Назва технологічного процесу, стан агрегату
Пуск обладнання лінії
Пуск вакуумного насоса
Заземлення машин
Клинопасова передача

$НУ_1 \longrightarrow НД_1$

$НУ_2 \longrightarrow НД_2$

## ВИСНОВКИ

У ході роботи створено модель двороторного вакуумного насоса та доведено його ефективність у зниженні пульсацій вакууму на 12%.

1. На основі аналізу виробничої діяльності приватного підприємства «Зірка» та огляду наукової літератури та електронних джерел інформації було розроблено інженерно-технічні рішення для забезпечення технологічних процесів, що здійснюються на фермі.

2. Використання вакуумних насосів з подвійним ротором у невеликому обладнанні для доїння виявилось обґрунтованим.

3. Розроблена двоконтурна двофазна вакуумна помпа дозволяє зменшити питоме енергоспоживання на 39 % за рахунок усунення тертя ротора, оптимізації термодинамічного процесу стиснення повітря та підвищення довговічності.

При швидкості ротора 3000 обертів на хвилину вона зменшує питоме енергоспоживання до 0,054 кВт·год/м<sup>3</sup>, одночасно підтримуючи стабільний вакуумний тиск 50 кПа.

4. Впровадження вдосконаленої трубчастої вакуумної помпи приносить річний економічний ефект у розмірі 65 545,9 грн. Період окупності інвестиції становить 0,56 року.

Удосконалений двороторний вакуумний насос забезпечує стабільність вакууму  $\pm 2$  кПа, що підвищує ефективність доїння на 8–10%

Отримані результати можуть бути використані при проектуванні малих ферм сімейного типу.

### Список використаної літератури

1. Алієв Е.Б Обґрунтування конструкційної схеми комплексу устаткування контролю вакуумметричних параметрів доїльного обладнання / Алієв Е.Б., Тісліченко О.С., Грицун А.В. // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки / Редколегія: Калетнік Г. М. (головний редактор) та інші. – Вінниця, 2011. – Випуск 9. – С. 30- 38.
2. Бабин І. А. Дослідження метрологічних характеристик пристрою для вимірювання вакуумметричних параметрів лінії промивання доїльної установки. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» / Редколегія: Калетнік Г.М. (головний редактор) та інші. Вінниця. 3 (102). С. 5-10
3. Булгаков В.М. Теоретична механіка. Посібник для практичних занять. / В.М. Булгаков, В.В. Бурлака, Г.М. Калетнік, І.Є. Кравченко, С.І. Кучеренко, Д.І. Мазоренко, Л.М. Тіщенко. – Вінниця: Нова книга, 2010. – 667 с.
4. Гаязієв И.Н. Вакуумный насос для доильных установок / И.Н. Гаязієв, Р.Р. Лукманов // Механізація і електрифікація сільського господарства. - 2009. - № 10. - С. 12-14.
5. Грицун А.В. Аналіз досліджень доїння корів апаратами з керованим режимом роботи / А.В. Грицун, В.М. Яропуд, В.І. Балака // «Сучасні проблеми виробництва, переробки с.-г. продукції, машинобудування та енергетичних систем АПК»: матеріали IV магістерської науково-технічної конференції, 23-24 листопада 2016 року - Вінниця: Вид-во ВНАУ, 2016. – С. 59-60
6. Ревенко І.І. Машини та обладнання для тваринництва/ Ревенко І.І., Брагінець М.В., Ребенко В.І. К.: Кондор, 2009.- 731с.