

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту рівня вищої освіти «Бакалавр»
на тему:

**Розробка технологічного процесу доїння корів
з удосконаленням вакуумного насоса**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу, групи АІ-4-22
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Лісіченко Максим Володимирович

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович

Рецензент: _____

Дніпро 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Рівень вищої освіти: «Бакалавр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
інжинірингу технічних систем
(назва кафедри)
ДОЦЕНТ
(вчене звання)
Дудін В.Ю.
(підпис) (прізвище, ініціали)
«05» травня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Лісіченко Максим Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Розробка технологічного процесу доїння корів з удосконаленням вакуумного насоса

керівник проєкту Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«05» травня 2026 року № 912

2. Строк подання здобувачем проєкту 07.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту: Аналіз стану питання процесів та обладнання для доїння корів. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання. 2. Проектування технологічного процесу доїння. 3. Удосконалення вакуумного насоса. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка розробленого удосконалення. Загальні висновки. Бібліографія

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Технологічна схема процесу доїння (A1). 2. Вакуумний насос (A1). 3. Статор (A1).
 4. Кришка ліва (A3). 5. Кришка права (A3). 6. Ротор (A3) 7. Кришка підшипника (A4).
 8. Пластина (A4). 9. Охорона праці (A1). 10. Техніко-економічні показники (A1).

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Дудін В.Ю., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 05.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.04.2026 р.	
2	Теоретичний	до 15.04.2026 р.	
3	Експериментальний	до 30.04.2026 р.	
4	Охорона праці	до 10.05.2026 р.	
5	Економічний	до 22.05.2026р.	
6	Демонстраційна частина	до 05.06.2026 р.	

Здобувач

(підпис)

Лісіченко М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту

(підпис)

Дудін В.Ю.

(прізвище та ініціали)

п/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Номер аркуша	Приміт ка
			Текстові документи			
1	A4	46ДП.133.000.000П	Пояснювальна записка	69		
			Графічні матеріали			
2	A1	46ДП.133.001.000ТХ	Технологічна схема процесу доїння	1	1	
3	A1	46ДП.133.001.000С	Вакуумний насос	1	2	
4	A1	46ДП.133.001.002	Статор	1	3	
5	A3	46ДП.133.000.004	Кришка ліва	1	4	
6	A3	46ДП.133.001.005	Кришка права	1	4	
7	A3	46ДП.133.001.100С	Ротор	1	4	
8	A4	46ДП.133.001.007	Кришка підшипника	1	4	
9	A4	46ДП.133.001.004	Пластина	1	4	
1	A1	46ДП.133.000.000О	Охорона праці	1	5	
1	A1	46ДП.133.000.000Е	Техніко-економічні	1	6	

АНОТАЦІЯ

Лісіченко М.В. Розробка технологічного процесу доїння корів з удосконаленням вакуумного насоса / Дипломний проєкт на здобуття ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

У дипломному проєкті розроблено технологічний процес доїння корів із первинною обробкою молока та удосконаленням вакуумного насоса доїльної установки. Розглянуто сучасний стан машинного доїння, особливості організації процесу при безприв'язно-боксівому утриманні корів, будову і роботу вакуумної системи. Виконано розрахунок продуктивності технологічної лінії, обґрунтовано вибір основного обладнання для доїння, очищення, охолодження та зберігання молока.

У конструктивній частині проведено перевірку вакуумного насоса за продуктивністю, обґрунтовано удосконалення його робочих пластин та виконано розрахунки їх параметрів. Розглянуто питання охорони праці під час експлуатації доїльної установки та проведено економічну оцінку запропонованого технічного рішення. Впровадження удосконалення сприяє підвищенню надійності вакуумної системи, зменшенню експлуатаційних витрат і покращенню стабільності процесу доїння.

Ключові слова: машинне доїння, доїльна установка, вакуумна система, вакуумний насос, робоча пластина, молокопровід, первинна обробка молока, охорона праці, економічна ефективність.

Зміст

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ	10
1.1 Загальні відомості про машинне доїння корів	10
1.2 Технологічні особливості доїння при різних способах утримання корів.....	13
1.3 Вакуумна система доїльної установки	16
1.4 Висновки	20
2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДОЇННЯ	21
2.1 Актуальність питання.....	21
2.2 Вихідні дані до проектування, зоотехнічні вимоги	22
2.3 Стан справи в господарстві, існуючі рішення	23
2.4 Постановка завдання на проектування.....	24
2.5 Розробка схеми реалізації технологічного процесу	25
2.6 Визначення продуктивності технологічної лінії.....	26
2.7 Вибір засобів механізації і розрахунок потреби в них	28
2.7.1 Операції доїння корів	29
2.7.2 Операції з первинної обробки.....	31
2.7.3 Організація процесу доїння корів	33
2.8 Робота запроектованої технологічної лінії	34
2.9 Висновки	35
3 УДОСКОНАЛЕННЯ ВАКУУМНОГО НАСОСА	37
3.1 Аналіз стану питання і постановка завдання на проектування.....	37
3.2 Перевірка насоса за продуктивністю.....	39
3.3 Визначення конструктивних параметрів.....	41
3.3.1 Вибір матеріалу пластини	43
3.3.2 Розрахунок пластини на міцність	44
3.3.3 Визначення енергетичних показників	46
3.4 Висновки	48

4 ОХОРОНА ПРАЦІ	50
4.1 Загальні вимоги охорони праці при доїнні корів	50
4.2 Інструкція з охорони праці для оператора доїльної установки	52
4.3 Висновки	54
5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНОГО УДОСКОНАЛЕННЯ	55
5.1 Вихідні дані.....	55
5.2 Результати економічної оцінки.....	56
5.3 Висновки	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	59
БІБЛІОГРАФІЯ	61
ДОДАТКИ	64

ВСТУП

Молочне скотарство є однією з важливих галузей тваринництва, від ефективності якої значною мірою залежить забезпечення населення якісною молочною продукцією. У сучасних умовах виробництво молока повинно базуватися на використанні механізованих і автоматизованих технологічних процесів, які забезпечують високу продуктивність праці, стабільну якість продукції, належні санітарно-гігієнічні умови та зниження експлуатаційних витрат. Одним із ключових процесів на молочній фермі є доїння корів, оскільки саме на цьому етапі формується значна частина показників якості молока та ефективності роботи всього виробничого комплексу.

Машинне доїння дає змогу скоротити витрати ручної праці, підвищити інтенсивність обслуговування тварин і забезпечити більш рівномірне виконання технологічних операцій. Водночас надійність роботи доїльної установки значною мірою залежить від стабільності вакуумного режиму. Вакуумна система забезпечує роботу доїльних апаратів, пульсаторів, молокопроводу та допоміжного обладнання, тому будь-які коливання вакууму можуть призводити до погіршення процесу молоковіддачі, неповного видоювання, підвищення ризику травмування дійок, зростання енергоспоживання та зниження довговічності обладнання.

Особливе значення у вакуумній системі має вакуумний насос, який створює та підтримує необхідне розрідження в доїльній установці. У процесі експлуатації насоса спостерігається зношування робочих елементів, зниження продуктивності, збільшення витрат на технічне обслуговування та погіршення стабільності роботи системи. Тому удосконалення конструкції вакуумного насоса, зокрема його робочих пластин, є актуальним завданням, спрямованим на підвищення ресурсу, надійності та економічності роботи доїльного обладнання.

Актуальність теми дипломного проєкту полягає в необхідності розробки ефективного технологічного процесу доїння корів із первинною обробкою молока

та підвищення експлуатаційної надійності вакуумної системи доїльної установки шляхом удосконалення вакуумного насоса.

Метою дипломного проєкту є розробка технологічного процесу доїння корів з обґрунтуванням складу технологічної лінії та удосконаленням вакуумного насоса доїльної установки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати сучасний стан машинного доїння корів і роботу вакуумних систем доїльних установок; визначити технологічні особливості доїння при безприв'язно-боксовому утриманні корів; обґрунтувати склад технологічної лінії доїння та первинної обробки молока; виконати розрахунок продуктивності лінії та підібрати основне обладнання; перевірити вакуумний насос за продуктивністю; запропонувати конструктивне удосконалення робочого елемента насоса; провести розрахунки параметрів удосконалення; розглянути вимоги охорони праці при експлуатації доїльної установки; виконати економічну оцінку запропонованого технічного рішення.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

Молочне скотарство залишається однією з найбільш технологічно вимогливих галузей тваринництва, оскільки якість молока формується не лише годівлею та породними особливостями корів, а й організацією процесу доїння, санітарним станом обладнання, стабільністю вакуумного режиму та своєчасністю первинного охолодження продукції. У сучасних фермерських господарствах машинне доїння розглядають як технологічну систему, у якій біологічний об'єкт, оператор, доїльний апарат, вакуумна установка, молокопровід і засоби промивання повинні працювати як єдиний комплекс [1; 3].

Тема дипломного проєкту спрямована на розробку технологічного процесу доїння корів із подальшим удосконаленням вакуумного насоса. Тому в першому розділі доцільно розглянути загальні принципи машинного доїння, вплив способу утримання тварин на вибір доїльної установки, а також будову та функції вакуумної системи, яка створює робоче середовище для доїльного апарата і транспортування молока.

1.1 Загальні відомості про машинне доїння корів

Машинне доїння ґрунтується на використанні різниці тисків між атмосферним середовищем і вакуумною камерою доїльного стакана. Під дією вакууму молоко виводиться із соскової цистерни через сосковий канал, а періодичне стискання вкладиша забезпечує масаж соска і відновлення кровообігу в тканинах вимені. За матеріалами FAO, базова схема доїльної машини незалежно від типу установки містить вакуумний насос, регулятор вакууму і ємність або систему для приймання молока [3].

Мета машинного доїння полягає не тільки у механічному відборі молока, а й у забезпеченні фізіологічно безпечного, швидкого та гігієнічного процесу. Якісне доїння має відповідати таким вимогам: повне видоювання без травмування сосків,

мінімальна кількість ручних операцій, збереження стабільного вакууму на рівні, прийнятному для конкретного типу апарата, недопущення потрапляння сторонніх домішок у молочний тракт, а також ефективне промивання і дезінфекція обладнання після завершення роботи [1; 2].

У структурі технологічного процесу виділяють підготовчі, основні та заключні операції. Підготовчі операції включають підгін або фіксацію корови, огляд вимені, очищення сосків, здоювання перших цівок і стимуляцію молоковіддачі. Основні операції пов'язані з підключенням доїльного апарата, контролем режиму видоювання, транспортуванням молока і підтриманням робочого вакууму. Заключні операції передбачають зняття апарата, післядоїльну обробку сосків, промивання доїльного обладнання та охолодження молока.

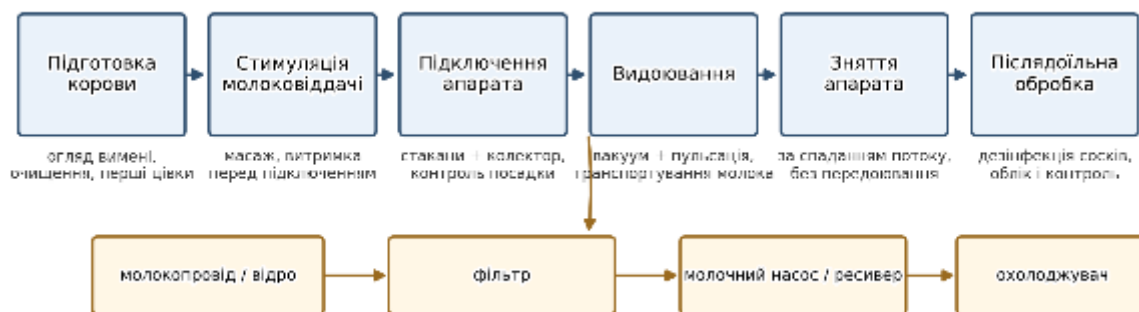


Рисунок 1.1 – Узагальнена технологічна послідовність машинного доїння корів

Особливістю машинного доїння є те, що технічні параметри обладнання безпосередньо впливають на фізіологічний стан вимені. Надмірний вакуум, неякісна пульсація або несвоєчасне зняття апарата можуть призвести до подразнення сосків, збільшення ризику маститу і зниження продуктивного довголіття тварини. Водночас недостатній вакуум або часті його коливання зменшують швидкість молоковіддачі, спричиняють сповзання стаканів, підсмоктування повітря і погіршення стабільності роботи всієї установки [5].

Доїльний апарат складається з доїльних стаканів, гумових або силіконових вкладишів, колектора, молочних та пульсаційних шлангів, а також пульсатора, який періодично змінює тиск у міжстінній камері стакана. Під час фази ссання вкладиш відкритий, і молоко рухається до колектора. Під час фази стискання в міжстінню камеру надходить атмосферне повітря, вкладиш стискає сосок, припиняючи відбір молока і виконуючи масажну дію. Саме чергування цих фаз дає змогу поєднати продуктивність і безпечність процесу [3; 5].

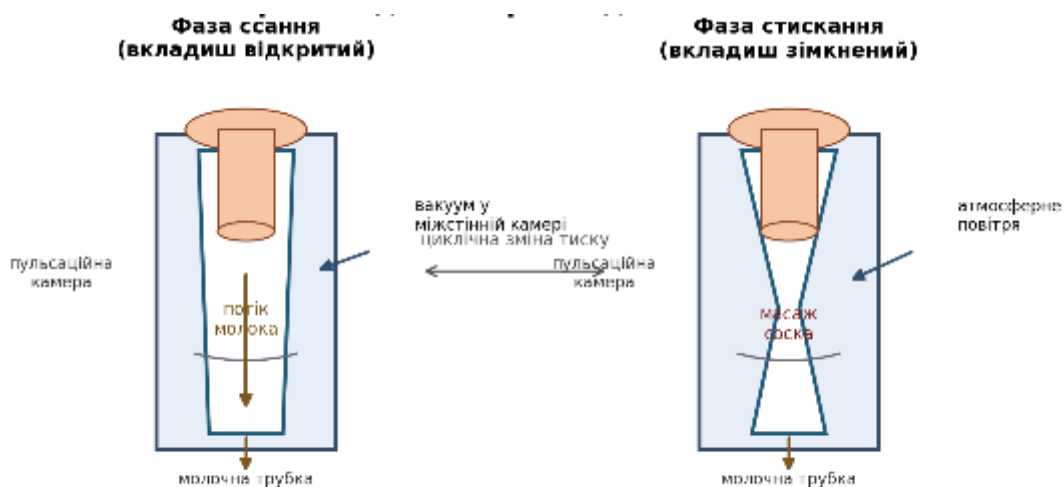


Рисунок 1.2 – Принципова схема роботи двокамерного доїльного стакана

Порівняно з ручним доїнням машинний спосіб забезпечує вищу продуктивність праці, кращу повторюваність технологічних операцій, можливість транспортування молока закритим молочним трактом і швидке направлення продукції на фільтрацію та охолодження. Крім того, сучасні доїльні установки можуть комплектуватися молокомірами, системами ідентифікації тварин, датчиками електропровідності молока, автоматами зняття апаратів, системами промивання і програмним забезпеченням для обліку продуктивності.

Разом із перевагами машинне доїння висуває підвищені вимоги до технічного обслуговування. Найбільш критичними елементами є вакуумна система,

пульсатори, гумові вкладиші, молочні шланги, фільтри, молочний насос і система промивання. Їхній знос або неправильне регулювання змінюють режим доїння, а отже, можуть погіршити якість молока і стан вимені. Тому під час проєктування технологічного процесу необхідно передбачати не тільки робочу схему доїння, а й систему контролю, обслуговування та санітарної підготовки обладнання.

1.2 Технологічні особливості доїння при різних способах утримання корів

Спосіб утримання корів визначає планування ферми, траєкторію руху тварин, кількість ручних операцій, тип доїльної установки та вимоги до продуктивності вакуумної системи. Найбільш поширеними є прив'язне і безприв'язне утримання. При прив'язному способі корова перебуває у стійлі, а доїння виконується безпосередньо в корівнику переносними апаратами, установками з молокопроводом або мобільними агрегатами. При безприв'язному утриманні тварини вільно переміщуються у секціях, а доїння, як правило, організовують у доїльній залі або за допомогою автоматизованої роботизованої системи [1; 8].

Для невеликих ферм із прив'язним утриманням доцільними залишаються відерні доїльні апарати або установки з молокопроводом. Відерний варіант є простішим за конструкцією і дешевшим у придбанні, але потребує більше ручної праці, оскільки оператор переносить апарат, контролює заповнення бідона і виконує транспортування молока. Молокопровід зменшує ручне перенесення продукції, підвищує гігієнічність і скорочує тривалість доїння, проте потребує більш складної вакуумної та мийної системи.

При безприв'язному утриманні основною технологічною перевагою є концентрація операцій у спеціалізованій доїльній залі. Тут корови рухаються групами, оператор працює у зручнішій зоні, а доїльні апарати, молокопровід, вакуумні магістралі та промивання об'єднані у стаціонарний комплекс. Тип

доїльної зали обирають з урахуванням кількості корів, бажаної тривалості доїння, наявної площі та економічних можливостей господарства.

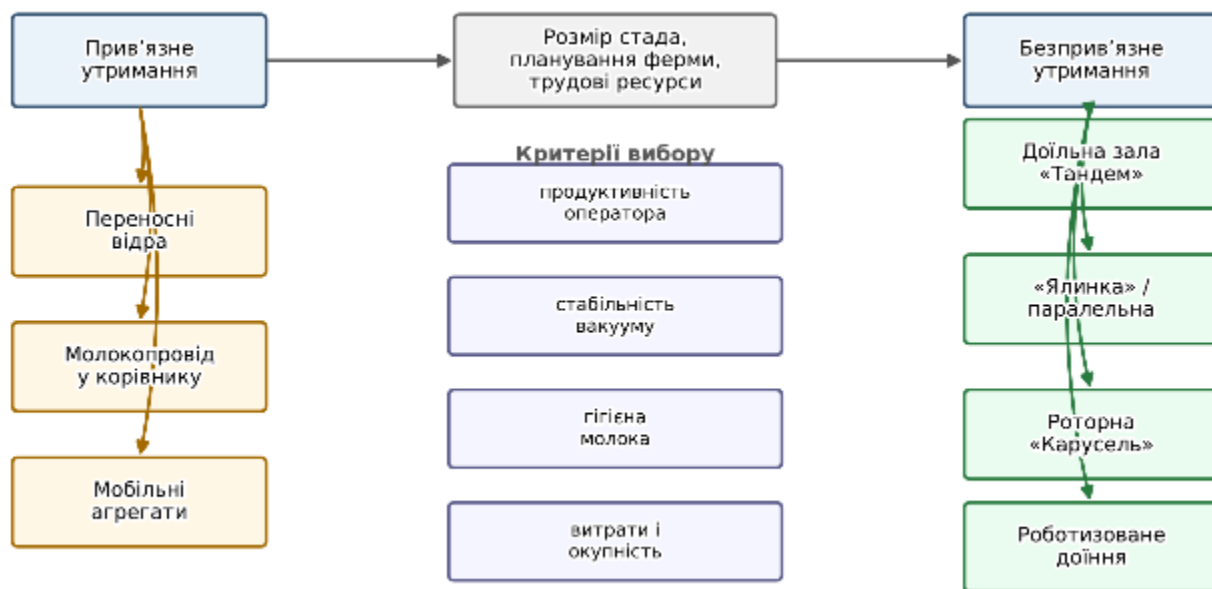


Рисунок 1.3 – Схема вибору способу машинного доїння залежно від утримання корів

У доїльних залах типу «Тандем» корова розташовується паралельно до робочої зони, що забезпечує добрий індивідуальний доступ до тварини, але обмежує пропускну здатність. У залах типу «Ялинка» корови стоять під кутом до робочої зони, завдяки чому зменшується довжина зали і підвищується кількість одночасно обслуговуваних тварин. Паралельні зали забезпечують швидке підключення ззаду, а роторні установки є доцільними для великих стад, де важливі висока ритмічність і пропускну здатність [4; 8].

Окремим напрямом розвитку є автоматичні або роботизовані системи доїння. За визначенням DairyNZ, Automatic Milking System виконує процес доїння без прямої участі дояра, використовуючи ідентифікацію тварини, роботизовану руку, доїльну машину та засоби збору даних [6]. Такі системи ефективні за належного менеджменту стада, організації добровільного руху корів і стабільної роботи сервісної інфраструктури. Їхня перевага полягає у зменшенні фізичної праці та

деталізованому контролі продуктивності кожної тварини, а недолік – у високих капітальних витратах і потребі в кваліфікованому обслуговуванні.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика способів машинного доїння

Спосіб організації	Типове застосування	Переваги	Обмеження
Відерне доїння у стійлі	Невеликі ферми, прив'язне утримання	Проста будова, нижчі початкові витрати, мобільність	Висока частка ручної праці, перенесення молока, нижча гігієнічність
Доїння в молокопровід	Прив'язне утримання, середні стада	Закритий транспорт молока, менше ручних операцій, кращий санітарний контроль	Складніша вакуумна система, потреба в регулярному промиванні трубопроводів
Доїльна зала	Безприв'язне утримання, середні та великі стада	Висока продуктивність, зручне робоче місце оператора, можливість автоматизації	Потрібне планування руху тварин, більші капітальні витрати
Роботизоване доїння	Ферми з високим рівнем автоматизації	Добровільне доїння, збір даних, зменшення фізичної праці	Висока ціна, складне сервісне забезпечення, вимоги до менеджменту стада

Отже, технологічний процес доїння не може бути універсальним для всіх господарств. Його структура залежить від способу утримання, розміру стада, кратності доїння, наявності персоналу, вимог до якості молока і рівня автоматизації. Проте для будь-якого варіанта спільною залишається потреба у

стабільному вакуумі, правильній пульсації та ефективному відведенні молока. Саме тому вакуумна система є базовою частиною доїльної установки, а її удосконалення може впливати і на продуктивність, і на енергоефективність, і на безпечність доїння.

1.3 Вакуумна система доїльної установки

Вакуумна система доїльної установки призначена для створення, підтримання і стабілізації розрідження, необхідного для роботи доїльних стаканів, пульсаторів, транспортування молока та промивання обладнання. ДСТУ ISO 5707:2012 встановлює основні вимоги до конструкції, технічних характеристик, матеріалів, монтажу та експлуатації доїльних установок, у яких доїння здійснюється за принципом пульсації, створеної вакуумом, а молоко хоча б частково транспортується за допомогою вакууму [2].

Типова вакуумна система містить вакуумний насос, електродвигун або інший привід, вакуумний балон, регулятор вакууму, вакуумметр, запобіжні пристрої, фільтр або пастку для рідини, вакуум-проводи, пульсатори і шланги до доїльних апаратів. У більш складних установках додатково використовують частотне регулювання привода, електронний контроль рівня вакууму, резервні лінії, датчики аварійного режиму та системи автоматичного промивання [7; 8].

Основним джерелом розрідження є вакуумний насос. У навчальній літературі вакуумні насоси для доїльних установок класифікують на поршневі, ротаційні, шестеренні, водокільцеві, струменеві та інші типи; насос разом із приводом утворює вакуумну станцію [9]. У сучасних доїльних установках часто застосовують ротаційні пластинчасті насоси, а для великих комплексів – лопатеві, роторні або лобові вакуумні насоси з підвищеним ресурсом, стабільністю і можливістю регулювання продуктивності.

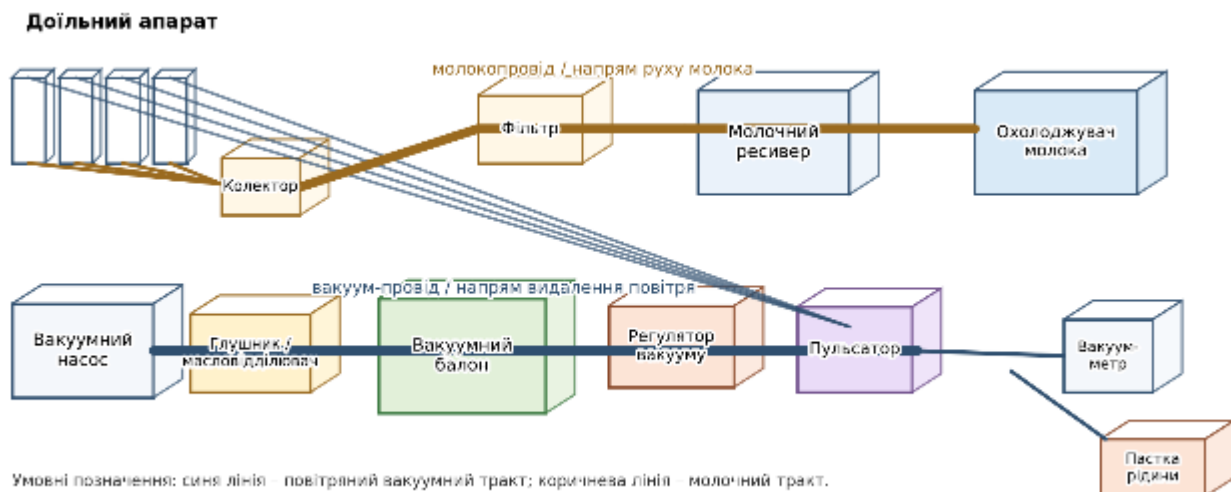


Рисунок 1.4 – Просторова схема основних елементів вакуумної та молочної лінії доїльної установки

Під час роботи установки повітря потрапляє у систему через пульсатори, колектори, доїльні стакани, регулятор і можливі нещільності з'єднань. Насос повинен видаляти цю кількість повітря з певним резервом, щоб навіть за короткочасного підсмоктування або одночасної роботи кількох апаратів вакуум не знижувався до критичного рівня. Якщо продуктивність насоса недостатня, виникають провали вакууму, нестійке тримання стаканів і зменшення швидкості молоковіддачі. Якщо насос має надмірну нерегульовану продуктивність, зростають енерговитрати, шум, нагрівання та інтенсивність зношування.

Регулятор вакууму підтримує задане розрідження шляхом дозованого надходження повітря у вакуумну магістраль або зміни режиму роботи насоса. Компанія DeLaval підкреслює, що вакуумна система забезпечує не тільки видоювання і транспортування молока, а й ефективне очищення всієї установки [7]. Компанія GEA акцентує на важливості низького і стабільного вакууму на рівні соска для ощадного доїння, продуктивності та здоров'я вимені [8].

Вакуумний балон виконує роль буферної ємності, що зменшує швидкі коливання тиску і захищає насос від потрапляння рідини. Вакуумметр дає змогу

оператору контролювати робочий режим. Фільтри, пастки, масловідділювачі та глушники знижують ризик забруднення повітряної лінії, зменшують викиди оливи і шум. Установки з частотним перетворювачем можуть змінювати частоту обертання двигуна відповідно до фактичної потреби у вакуумі, що є перспективним напрямом енергозбереження.

Пульсаційна система є споживачем вакууму і водночас елементом, що формує біомеханіку доїння. DairyNZ зазначає, що пульсаційна система складається з пульсатора, джерела вакууму, трубопроводів і гнучких пульсаційних шлангів, які з'єднують пульсатор із пульсаційною камерою між корпусом стакана та вкладишем [5]. Тому стабільність вакууму у магістралі є передумовою правильного відкривання та закривання вкладиша.

Таблиця 1.2 – Функції основних елементів вакуумної системи

Елемент	Основна функція	Можливі наслідки несправності
Вакуумний насос	Створює розрідження і видаляє повітря з системи	Провали вакууму, шум, перегрівання, зростання енерговитрат
Вакуумний балон	Стабілізує тиск і захищає насос від рідини	Коливання вакууму, ризик потрапляння молока або мийного розчину в насос
Регулятор вакууму	Підтримує заданий рівень розрідження	Надмірний або недостатній вакуум, погіршення стану вимені
Вакуумметр / датчик	Забезпечує контроль робочого режиму	Несвоєчасне виявлення відхилень
Пульсатор	Створює циклічну зміну тиску у пульсаційній камері	Порушення співвідношення фаз ссання і стискання
Фільтр, пастка, глушник	Очищення повітря, захист насоса, зниження шуму	Забруднення, підвищений шум, скорочення ресурсу насоса

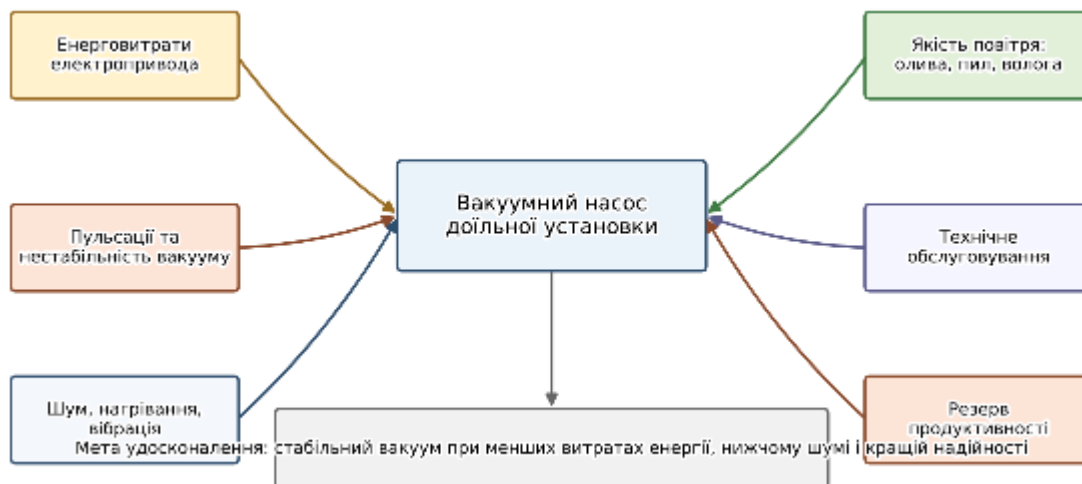


Рисунок 1.5 – Основні технічні передумови удосконалення вакуумного насоса

Аналіз роботи вакуумної системи показує, що найбільш перспективними напрямками удосконалення вакуумного насоса є зменшення енергоспоживання, стабілізація вакууму при змінному навантаженні, зниження шуму і вібрації, покращення відведення тепла, захист від попадання рідини та забруднень, а також спрощення технічного обслуговування. Для ферми середньої потужності особливо важливим є не максимальне збільшення продуктивності насоса, а узгодження його подачі з реальною витратою повітря у процесі доїння і промивання.

Удосконалення вакуумного насоса в межах дипломного проєкту доцільно спрямувати на підвищення стабільності вакууму та енергоефективності. Це може бути реалізовано шляхом оптимізації привода, застосування регулювання продуктивності, поліпшення повітряного тракту, встановлення ефективнішого глушника або масловідділювача, покращення охолодження, а також введення елементів контролю фактичного вакууму. Обраний варіант повинен бути конструктивно простим, технологічним у виготовленні та сумісним із типовою доїльною установкою.

1.4 Висновки

– Машинне доїння корів є комплексним технологічним процесом, у якому результат визначається узгодженою роботою оператора, доїльного апарата, вакуумної системи, молочного тракту і засобів санітарної обробки.

– Основою дії доїльного апарата є створення вакууму та циклічна пульсація у доїльному стакані. Стабільність вакууму впливає на швидкість молоковіддачі, якість зняття молока, стан сосків і безпечність процесу для тварини.

– Спосіб утримання корів визначає тип доїльної установки: при прив'язному утриманні поширені відерні апарати та молокопровід, а при безприв'язному – доїльні зали та автоматизовані системи. У всіх випадках вакуумна установка залишається ключовим технічним вузлом.

– Вакуумна система складається з насоса, привода, вакуумного балона, регулятора, вакуумметра, трубопроводів, пульсаторів і допоміжних захисних елементів. Її несправність або неправильне регулювання призводить до коливань вакууму, погіршення гігієни та зростання експлуатаційних витрат.

– Аналіз стану питання підтверджує доцільність удосконалення вакуумного насоса шляхом підвищення стабільності вакууму, зниження енерговитрат, шуму, вібрації та покращення умов технічного обслуговування. Ці напрями формують основу для подальшого розрахунково-конструкторського розділу дипломного проєкту.

2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДОЇННЯ

2.1 Актуальність питання

Ефективність виробництва молока значною мірою визначається не лише продуктивністю тварин, а й технічним рівнем доїльної лінії, стабільністю вакуумного режиму, швидкістю охолодження та санітарною якістю транспортування молока. У сучасних умовах молочна ферма повинна забезпечувати ритмічне доїння значного поголів'я, мінімізацію контакту молока з повітрям і оператором, швидке відведення молока від вимені та його охолодження до температури, придатної для зберігання і подальшого відвантаження.

Для ферми з безприв'язно-боксним утриманням корів найбільш раціональним є застосування стаціонарної доїльної установки із молокопроводом, вакуумпроводом, молокоприймальним вузлом, системою фільтрації, пластинчастим охолодником, танками-охолодниками та автоматом промивання. Така лінія дозволяє відокремити технологічні потоки молока, вакууму, мийних розчинів і води, що підвищує керованість процесу та полегшує санітарний контроль.

Особливу роль у роботі лінії відіграє вакуумна система. Саме вона створює умови для відкривання дійкової гуми, роботи пульсаторів, транспортування молока через підвісну частину і стабілізації режиму машинного доїння. За даними стандарту ISO 5707, конструкція і продуктивність доїльних установок мають забезпечувати стабільну роботу під час доїння та промивання, а матеріали і виконання вузлів повинні відповідати вимогам гігієни [1; 2].

У цьому розділі виконано проектування технологічної лінії доїння і первинної обробки молока для заданого поголів'я, визначено продуктивність основних операцій, обґрунтовано вибір доїльного залу, вакуумного обладнання, молочного насоса, фільтрів, охолодника та ємностей для зберігання молока.

2.2 Вихідні дані до проектування, зоотехнічні вимоги

Вихідні дані прийнято згідно із завданням на проектування технологічної лінії доїння корів та первинної обробки молока. Господарство утримує корів безприв'язно-боксовим способом, тому доїльний процес доцільно організувати у спеціалізованій доїльній залі із груповим підходом тварин, переддоїльною підготовкою, машинним доїнням, відведенням молока в закритий молокопровід та автоматизованим промиванням після завершення роботи.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до проектування технологічної лінії

Показник	Позначення	Значення	Одиниця
Валове річне виробництво молока	M_p	3600	т/рік
Річний надій від однієї корови	U_p	7000	кг/рік
Середній добовий надій від однієї корови	$U_{доб}$	19,67	кг/добу
Кількість дійних корів у лактації	N_d	450	голів
Кількість доїнь на добу	z	2	рази
Допустима тривалість одного доїння	T_d	4,0	год
Середня тривалість лактації	T_l	305	діб
Спосіб утримання	-	безприв'язно-боксовий	-

Зоотехнічні вимоги до лінії полягають у забезпеченні швидкого, повного та безпечного видоювання корів без травмування дійок, збереженні стабільного

вакууму, правильного режиму пульсації, недопущенні зворотного руху молока і мийних розчинів, а також у виконанні промивання всіх молочних поверхонь після кожного циклу доїння. Машинне доїння має імітувати природне смоктання телям: фаза відкриття дійкової гуми забезпечує відтік молока, а фаза стискання сприяє відновленню кровообігу у дійці [3].

Для корів зазвичай застосовують робочий вакуум у межах 44–50 кПа, залежно від типу доїльної установки, висоти молокопроводу і конструкції підвісної частини. Для проектної лінії приймаємо номінальний робочий вакуум 47 кПа, що забезпечує достатній запас для роботи пульсаторів і молокопроводу за умови стабільного регулювання.

2.3 Стан справи в господарстві, існуючі рішення

На молочних фермах із поголів'ям понад 300–400 дійних корів ручне або напівмеханізоване доїння не забезпечує необхідної продуктивності та стабільності якості молока. Тому базовим напрямом технічного розвитку є перехід до доїльних залів типу «ялинка», «паралель» або «карусель», які дозволяють обслуговувати тварин потоковим способом і одночасно контролювати показники молоковіддачі.

Сучасні виробники доїльного обладнання розглядають технологічну лінію як єдину систему: доїльна зала, вакуумний агрегат, молокопровід, пульсатори, система обліку молока, фільтрація, охолодження, резервуари для зберігання та автомат промивання. У промислових рішеннях DeLaval, GEA та інших виробників застосовують пластинчасті охолодники, енергозберігаючі танки-охолодники, автоматизоване промивання і регулювання вакууму, що зменшує витрати праці та покращує санітарні показники молока [4; 5].

Для проектного господарства доцільно прийняти стаціонарну доїльну залу з молокопроводом і груповим пропуском тварин. Така схема відповідає

безприв'язному утриманню, забезпечує високу продуктивність, дає змогу розмістити підвісні апарати, пульсатори і лічильники в зоні доїння, а також відокремити молочну лінію від вакуумної та промивної систем.

Недоліком типових установок є чутливість до коливань вакууму при одночасному приєднанні або від'єднанні кількох доїльних апаратів. Тому в межах дипломного проекту особливу увагу необхідно приділити правильному вибору вакуумного насоса, вакуумбалона, регулятора, діаметрів вакуумпроводу та запасу продуктивності агрегату.

2.4 Постановка завдання на проектування

Метою проектування є розробка технологічної лінії доїння корів і первинної обробки молока з урахуванням заданого поголів'я та удосконалення роботи вакуумної системи. Лінія повинна забезпечити механізоване доїння 450 дійних корів за нормативний проміжок часу, транспортування молока закритою системою, його очищення, попереднє та кінцеве охолодження, зберігання у танках-охолодниках і автоматизоване промивання після доїння.

Для досягнення поставленої мети необхідно: визначити розрахункове навантаження за молоком і поголів'ям; обрати тип та кількість доїльних місць; розрахувати продуктивність доїльної зали; визначити потребу у доїльних апаратах, пульсаторах, молокопроводі та вакуумпроводі; підібрати вакуумний насос, ресивер і регулятор; розрахувати молочний насос, фільтри, пластинчастий охолодник і ємності для зберігання молока.

Проектні рішення повинні передбачати можливість санітарної обробки трубопроводів і підвісних частин за допомогою автомата промивання, а також роботу лінії у режимах доїння, промивання та відвантаження молока.

2.5 Розробка схеми реалізації технологічного процесу

Технологічний процес проектованої лінії складається з послідовних операцій: підхід групи корів до доїльної зали; фіксація тварин у станках; переддоїльна санітарна підготовка вимені; підключення підвісної частини; машинне доїння; відведення молока через колектор і прозорий молочний шланг у молокопровід; подача молока в молокоприймальник; перекачування молочним насосом через фільтри та охолодник; зберігання у танку-охолоднику; автоматизоване промивання лінії після завершення доїння.

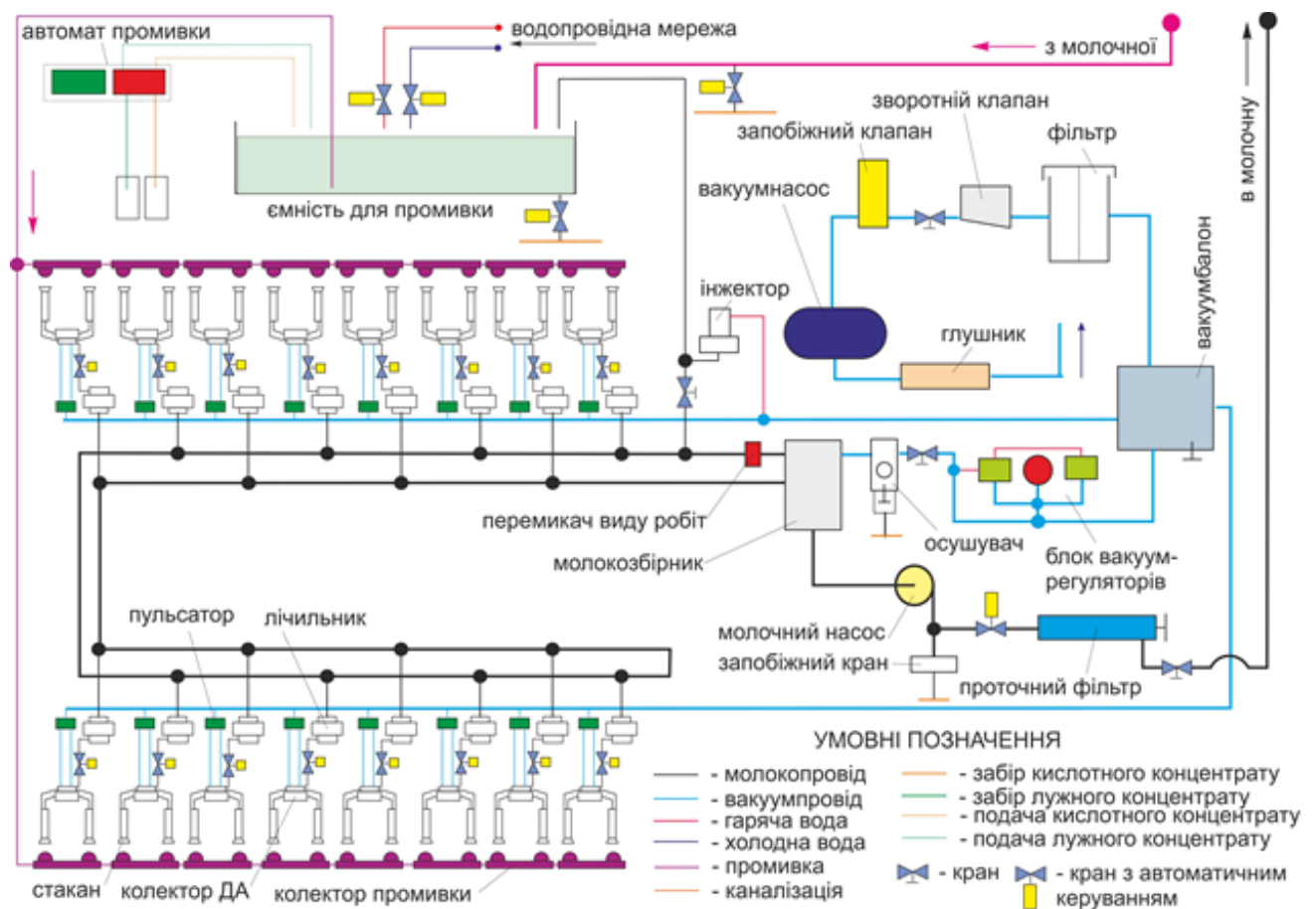


Рисунок 2.1 – Схема технологічної лінії доїння з молочною, вакуумною, промивною та мийною системами

Вакуумна система працює паралельно з молочною лінією. Вакуумний насос через вакуумбалон, регулятор і вакуумпровід підтримує розрідження у підвісній частині, пульсаторах та молокоприймальному вузлі. Пульсатор поперемінно з'єднує міжстінну камеру доїльного стакана з вакуумом і атмосферою, завдяки чому дійкова гума відкривається і стискається.

Після доїння молоко повинно якомога швидше пройти первинну обробку. До її складу входять грубе і тонке очищення, охолодження у пластинчастому теплообміннику, контроль температури, подача у танк-охолодник та подальше відвантаження. Застосування пластинчастого охолодника дозволяє зменшити навантаження на холодильний агрегат танка і скоротити час досягнення температури зберігання.

Прийнята схема дає змогу організувати три основні режими роботи: доїння, промивання і відвантаження молока. Перемикання режимів здійснюється за допомогою кранів і автоматики, а напрямки руху молока, води, мийних розчинів та холодоносія розділяються за функціональними лініями.

2.6 Визначення продуктивності технологічної лінії

Розрахунок починаємо з перевірки чисельності продуктивного поголів'я за валовим річним виробництвом молока. Розрахункова кількість корів, яка відповідає заданому річному виробництву, визначається за формулою

$$N_p = M_p / U_p = 3600000 / 7000 = 514 \text{ гол.} \quad (2.1)$$

де N_p – розрахункова кількість корів за валовим виробництвом, гол.

M_p – річне виробництво молока, кг/рік.

U_p – річний надій від однієї корови, кг/рік. Для технологічного розрахунку доїльної лінії приймаємо кількість дійних корів у лактації $N_d = 450$ голів, оскільки саме це поголів'я бере участь у щоденному доїнні.

Добовий вихід молока від дійного стада визначаємо за формулою

$$M_{\text{доб}} = N_{\text{д}} \cdot U_{\text{доб}} = 450 \cdot 19,67 = 8851,5 \text{ кг/добу.} \quad (2.2)$$

де $M_{\text{доб}}$ – добовий вихід молока, кг/добу.

$N_{\text{д}}$ – кількість дійних корів, гол.

$U_{\text{доб}}$ – середній добовий надій від однієї корови, кг/добу.

Кількість молока за одне доїння становить

$$M_{\text{раз}} = M_{\text{доб}} / z = 8851,5 / 2 = 4425,8 \text{ кг.} \quad (2.3)$$

де $M_{\text{раз}}$ – кількість молока, що надходить у лінію за одне доїння, кг.

z – кількість доїнь на добу.

Мінімальна пропускна здатність доїльної зали за тваринами визначається з умови завершення одного доїння за прийнятий час $T_{\text{д}}$:

$$P_{\text{min}} = N_{\text{д}} / T_{\text{д}} = 450 / 4 = 112,5 \text{ гол./год.} \quad (2.4)$$

де P_{min} – мінімальна продуктивність доїльної зали за тваринами, гол./год.

$T_{\text{д}}$ – допустима тривалість одного доїння, год.

Кількість одночасно працюючих доїльних місць визначаємо з урахуванням середньої тривалості циклу доїння однієї корови. Для зали типу «ялинка» або «паралель» приймаємо середню тривалість циклу $t_{\text{ц}} = 7,5$ хв, а коефіцієнт використання часу $k_{\text{в}} = 0,90$.

$$n_{\text{м}} = (P_{\text{min}} \cdot t_{\text{ц}}) / (60 \cdot k_{\text{в}}) = (112,5 \cdot 7,5) / (60 \cdot 0,90) = 15,6 \text{ місць.} \quad (2.5)$$

де $n_{\text{м}}$ – необхідна кількість доїльних місць.

$t_{\text{ц}}$ – середня тривалість циклу доїння однієї корови, хв.

$k_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання робочого часу доїльної зали. За результатом розрахунку доцільно прийняти доїльну залу з запасом продуктивності, наприклад 2×12 , тобто 24 доїльні місця.

Фактична продуктивність прийнятої доїльної зали за тваринами становить

$$P_{\text{ф}} = (60 \cdot n_{\text{пр}} \cdot k_{\text{в}}) / t_{\text{ц}} = (60 \cdot 24 \cdot 0,90) / 7,5 = 172,8 \text{ гол./год.} \quad (2.6)$$

де P_{ϕ} – фактична продуктивність доїльної зали, гол./год.

$n_{\text{пр}}$ – прийнята кількість доїльних місць. Тривалість одного доїння при прийнятому обладнанні дорівнює.

$$T_{\phi} = N_d / P_{\phi} = 450 / 172,8 = 2,60 \text{ год.} \quad (2.7)$$

Отримана тривалість не перевищує допустимих 4 год, тому прийнята кількість доїльних місць забезпечує необхідну пропускну здатність і має технологічний резерв для нерівномірного підходу тварин, санітарних пауз та можливого зростання поголів'я.

Розрахункова годинна подача молока в молочну лінію під час одного доїння становить

$$G_m = M_{\text{раз}} / T_{\phi} = 4425,8 / 2,60 = 1702 \text{ кг/год.} \quad (2.8)$$

Для вибору обладнання первинної обробки приймаємо розрахункову продуктивність за молоком з технологічним запасом 15–20 %, тобто не менше 2,0 м³/год.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку продуктивності технологічної лінії

Показник	Розрахункове значення	Прийняте проектне значення
Добовий вихід молока	8851,5 кг/добу	≈ 8,85 т/добу
Вихід молока за одне доїння	4425,8 кг	≈ 4,43 т
Мінімальна продуктивність зали	112,5 гол./год	не менше 113 гол./год
Кількість доїльних місць за розрахунком	15,6	24 місця
Фактична продуктивність зали	172,8 гол./год	2×12 місць
Тривалість одного доїння	2,60 год	до 4 год
Годинний потік молока	1702 кг/год	2,0 м³/год з запасом

2.7 Вибір засобів механізації і розрахунок потреби в них

Засоби механізації добираємо за операціями технологічного процесу: доїння, транспортування молока, створення вакууму, фільтрація, охолодження, зберігання

та промивання. Основною умовою вибору є забезпечення розрахункової продуктивності з урахуванням запасу, стабільної санітарної роботи і можливості технічного обслуговування без зупинки всієї ферми.

2.7.1 Операції доїння корів

Для ферми з 450 дійними коровами приймаємо доїльну залу 2×12 із 24 доїльними апаратами. Кожне доїльне місце обладнується підвісною частиною, пульсатором, молочним і вакуумним шлангами, краном підключення, засобом від'єднання або контролю молоковіддачі. Для коректної роботи підвісної частини прозорий молочний патрубок колектора з'єднується прозорим молочним шлангом із молокопроводом, а чорний пульсаційний шланг з'єднується з пульсатором, який працює від вакуумпроводу.

Кількість доїльних апаратів приймаємо рівною кількості доїльних місць з одним резервним комплектом для заміни під час обслуговування:

$$n_{\text{да}} = n_{\text{пр}} + n_{\text{рез}} = 24 + 1 = 25 \text{ комплектів.} \quad (2.9)$$

де $n_{\text{да}}$ – кількість доїльних апаратів.

$n_{\text{пр}}$ – кількість прийнятих доїльних місць.

$n_{\text{рез}}$ – кількість резервних апаратів.

Потребу у пульсаторах визначаємо за кількістю робочих підвісних частин. При індивідуальних пульсаторах кількість пульсаторів дорівнює кількості доїльних місць:

$$n_{\text{п}} = n_{\text{пр}} = 24 \text{ шт.} \quad (2.10)$$

де $n_{\text{п}}$ – кількість пульсаторів. Для збереження працездатності лінії доцільно передбачити 2 резервні пульсатори, тому загальна кількість становить 26 шт.

Продуктивність вакуумного насоса визначаємо за сумарною витратою повітря доїльними апаратами, пульсаторами, регулятором, промивними

пристроями та запасом на підсмоктування. Розрахункова подача вакуумного насоса:

$$Q_{\text{вн}} = k_z \cdot (n_{\text{пр}} \cdot q_{\text{да}} + Q_{\text{рег}} + Q_{\text{під}} + Q_{\text{пром}}). \quad (2.11)$$

де $Q_{\text{вн}}$ – потрібна подача вакуумного насоса, л/хв.

k_z – коефіцієнт запасу.

$q_{\text{да}}$ – витрата повітря одним доїльним апаратом з урахуванням роботи пульсатора, л/хв.

$Q_{\text{рег}}$ – витрата на роботу регулятора, л/хв.

$Q_{\text{під}}$ – витрата на нещільності та технологічне підсмоктування, л/хв.

$Q_{\text{пром}}$ – витрата повітря під час промивання, л/хв.

Для розрахунку приймаємо $q_{\text{да}} = 18$ л/хв, $Q_{\text{рег}} = 450$ л/хв, $Q_{\text{під}} = 200$ л/хв, $Q_{\text{пром}} = 500$ л/хв, $k_z = 1,25$. Тоді

$$Q_{\text{вн}} = 1,25 \cdot (24 \cdot 18 + 450 + 200 + 500) = 1977,5 \text{ л/хв.} \quad (2.12)$$

За результатом розрахунку приймаємо вакуумний насос продуктивністю не менше 2000 л/хв при робочому вакуумі 47 кПа. З урахуванням можливого розширення поголів'я та втрат у довгому вакуумпроводі доцільно застосувати насос із номінальною подачею 2200–2500 л/хв.

Об'єм вакуумбалона визначаємо з умови короткочасного покриття коливань витрати повітря протягом 8–10 с:

$$V_p = (Q_{\text{вн}} \cdot t_p) / 60 = (2500 \cdot 10) / 60 = 417 \text{ л.} \quad (2.13)$$

де V_p – розрахунковий об'єм ресивера, л.

$Q_{\text{вн}}$ – прийнята подача вакуумного насоса, л/хв.

t_p – час буферизації коливань вакууму, с. Приймаємо вакуумбалон об'ємом 400–500 л.

Внутрішній діаметр магістрального вакуумпроводу визначаємо за допустимою швидкістю руху повітря. Для магістральної лінії приймаємо $v_v = 10$ м/с:

$$d_B = \sqrt{(4 \cdot Q_B / (\pi \cdot v_B))} = \sqrt{(4 \cdot 0,0417 / (3,14 \cdot 10))} = 0,073 \text{ м.} \quad (2.14)$$

де d_B – внутрішній діаметр вакуумпроводу, м.

Q_B – об’ємна витрата повітря, м³/с.

v_B – допустима швидкість руху повітря, м/с. Приймаємо вакуумпровід DN80.

Для молокопроводу з урахуванням годинної подачі 2,0 м³/год і швидкості молока 0,8–1,0 м/с достатнім є внутрішній діаметр близько 28–32 мм, тому конструктивно приймаємо молокопровід DN40.

2.7.2 Операції з первинної обробки

До операцій первинної обробки молока у проектованій лінії належать очищення, охолодження і зберігання. Очищення передбачено проточним фільтром зі змінним фільтрувальним елементом, охолодження – у пластинчастому теплообміннику та танках-охолодниках, зберігання – у резервуарах із автоматичним підтриманням температури.

Продуктивність молочного насоса приймаємо за годинним потоком молока з коефіцієнтом запасу $k_n = 1,25$:

$$Q_{MH} = k_n \cdot G_M / \rho_M = 1,25 \cdot 1702 / 1030 = 2,07 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (2.15)$$

де Q_{MH} – потрібна подача молочного насоса, м³/год.

G_M – годинна масова подача молока, кг/год.

ρ_M – густина молока, кг/м³. Приймаємо санітарний молочний насос продуктивністю 2,5 м³/год.

Об’єм молокоприймальника визначаємо за умовою накопичення молока протягом короткого проміжку часу між включеннями насоса. При $t_{\text{нак}} = 2$ хв та коефіцієнті заповнення $k_{\text{зап}} = 0,70$:

$$V_{\text{мп}} = (Q_{MH} \cdot 1000 \cdot t_{\text{нак}}) / (60 \cdot k_{\text{зап}}) = (2,5 \cdot 1000 \cdot 2) / (60 \cdot 0,70) = 119 \text{ л.} \quad (2.16)$$

де $V_{\text{мп}}$ – потрібний об’єм молокоприймальника, л.

$t_{\text{нак}}$ – прийнятий час накопичення, хв.

$k_{\text{зап}}$ – коефіцієнт допустимого заповнення. Приймаємо молокоприймальник місткістю 120–150 л.

Теплове навантаження на систему охолодження визначаємо за масовою подачею молока, його питомою теплоємністю і різницею температур. При подачі $G_{\text{ох}} = 2000$ кг/год, температурі молока після доїння $t_{\text{п}} = 35$ °С і температурі зберігання $t_{\text{з}} = 4$ °С:

$$\Phi = G_{\text{ох}} \cdot c_{\text{м}} \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{з}}) / 3600 = 2000 \cdot 3,9 \cdot (35 - 4) / 3600 = 67,2 \text{ кВт.} \quad (2.17)$$

де Φ – теплова потужність охолодження, кВт.

$G_{\text{ох}}$ – подача молока на охолодження, кг/год.

$c_{\text{м}}$ – питома теплоємність молока, кДж/(кг·°С).

$t_{\text{п}}$ – початкова температура молока, °С.

$t_{\text{з}}$ – температура зберігання, °С. Для зменшення навантаження на холодильний агрегат доцільно передбачити пластинчастий охолодник із подачею холодної води, після якого остаточне охолодження виконується у танку.

Місткість танків-охолодників визначаємо за добовим виробництвом молока, тривалістю зберігання та допустимим коефіцієнтом заповнення. Для зберігання молока протягом 1,5 доби:

$$V_{\text{т}} = \frac{(M_{\text{доб}} \cdot \tau_{\text{зб}})}{(\rho_{\text{м}} \cdot k_{\text{зап}})} = \frac{(8851,5 \cdot 1,5)}{(1030 \cdot 0,90)} = 14,3 \text{ м}^3. \quad (2.18)$$

де $V_{\text{т}}$ – потрібна сумарна місткість танків, м³.

$\tau_{\text{зб}}$ – тривалість зберігання, діб. Приймаємо два танки-охолодники по 8000 л, тобто сумарно 16 м³. Такий варіант забезпечує запас місткості, можливість почергового миття та відвантаження молока без зупинки доїльного процесу.

Таблиця 2.3 – Вибір обладнання первинної обробки молока

Операція	Розрахункова потреба	Прийняте обладнання	Прийнятий параметр
Очищення молока	не менше 2,0 м ³ /год	проточний фільтр грубого/тонкого очищення	2,5–3,0 м ³ /год
Перекачування молока	2,07 м ³ /год	санітарний молочний насос	2,5 м ³ /год
Накопичення перед насосом	119 л	молокоприймальник	120–150 л
Охолодження в потоці	≈ 67 кВт	пластинчастий охолодник	2,0 м ³ /год
Зберігання молока	14,3 м ³	2 танки-охолодники	2×8000 л
Промивання лінії	усі молочні поверхні	автомат промивання	режими лужний/кислотний

2.7.3 Організація процесу доїння корів

Організація доїння передбачає роботу двох операторів у доїльній залі 2×12. Один оператор виконує підгін і підготовку групи корів, другий контролює підключення апаратів, молоковіддачу і від'єднання підвісних частин. За умови автоматичного зняття апаратів навантаження на операторів зменшується, а стабільність тривалості циклу підвищується.

Перед підключенням підвісної частини оператор проводить огляд вимені, здоювання перших цівок, очищення та підсушування дійок. Після цього доїльні стакани підключаються до дійок без підсмоктування повітря. Під час доїння оператор контролює відсутність перекручування шлангів, стабільність положення підвісної частини та роботу пульсатора.

Після завершення молоковіддачі апарат знімається без різкого зриву вакууму. Молоко через колектор і прозорий молочний шланг надходить до молокопроводу, далі – до молокоприймальника і через насос подається на фільтрацію, охолодження та зберігання. Чорні шланги підвісної частини використовуються для пульсаційної дії і не повинні змішуватися з молочним потоком.

Після завершення доїння вся молочна лінія перемикається у режим промивання. Автомат промивання послідовно подає теплу воду, лужний мийний розчин, проміжне ополіскування, кислотний розчин і кінцеве ополіскування. Така схема відповідає принципам санітарної обробки закритих молочних систем і зменшує ризик бактеріального забруднення молока.

2.8 Робота запроектованої технологічної лінії

Перед початком доїння перевіряють готовність вакуумного насоса, рівень вакууму, справність регулятора, чистоту молокопроводу, стан фільтрів, наявність вільного об'єму в танках-охолодниках і готовність автомата промивання. Після запуску вакуумного насоса у вакуумбалоні створюється розрідження, яке через магістральний вакуумпровід подається до пульсаторів, молокоприймальника та підвісних частин.

Під час доїння молоко від дійок проходить через доїльні стакани, колектор і прозорий молочний шланг у молокопровід. Вакуумна і молочна магістралі розміщуються поряд, але виконують різні функції: вакуумпровід підтримує розрідження для роботи пульсаторів і апаратів, а молокопровід транспортує молоко до молокоприймального вузла.

У молокоприймальнику молоко накопичується до заданого рівня, після чого молочний насос подає його через проточний фільтр до пластинчастого охолодника. Після охолодження молоко надходить у танк-охолодник, де підтримується

температура зберігання. Система контролю температури та рівня забезпечує своєчасне вмикання холодильного агрегату і попереджає переповнення.

Після закінчення доїння оператор переводить лінію у режим промивання. Мийні розчини рухаються замкненим контуром через підвісні частини, молокопровід, молокоприймальник, насос, фільтри і охолодник. Після завершення циклу система спорожнюється, вузли продуваються повітрям або дренуються, а лінія готується до наступного доїння.

Запроектована технологічна лінія забезпечує необхідну продуктивність, знижує ручні операції, покращує стабільність вакуумного режиму і створює передумови для подальшого удосконалення вакуумного насоса, яке доцільно спрямувати на підвищення енергоефективності, зниження шуму та стабілізацію подачі при змінному навантаженні.

2.9 Висновки

У розділі виконано проектування технологічної лінії доїння корів та первинної обробки молока для ферми з 450 дійними коровами. Добовий вихід молока становить 8851,5 кг, а кількість молока за одне доїння – 4425,8 кг.

За результатами розрахунків прийнято доїльну залу 2×12 з 24 доїльними місцями. Її фактична продуктивність становить 172,8 гол./год, а тривалість одного доїння – близько 2,6 год, що не перевищує допустимого часу.

Для роботи доїльної зали обрано 24 робочі доїльні апарати, 24 пульсатори, один резервний комплект підвісної частини та резервні пульсатори. Необхідна продуктивність вакуумного насоса становить близько 1980 л/хв, тому прийнято насос із подачею 2200–2500 л/хв, вакуумбалон 400–500 л і вакуумпровід DN80.

Для первинної обробки молока прийнято молочний насос 2,5 м³/год, молокоприймальник 120–150 л, проточні фільтри, пластинчастий охолодник продуктивністю близько 2,0 м³/год та два танки-охолодники по 8000 л.

Запропонована схема забезпечує потокове доїння, закрите транспортування молока, його очищення, охолодження, зберігання та автоматизоване промивання, а також створює технічну основу для наступного конструктивного удосконалення вакуумного насоса.

3 УДОСКОНАЛЕННЯ ВАКУУМНОГО НАСОСА

3.1 Аналіз стану питання і постановка завдання на проектування

Вакуумний насос є базовим агрегатом вакуумної системи доїльної установки. Від його продуктивності, стабільності створюваного розрідження, герметичності робочої камери та стану робочих пластин залежить стійкість роботи пульсаторів, швидкість молоковіддачі, повнота видоювання і санітарна безпечність процесу. У розділі 2 для ферми з 450 дійними коровами прийнято доїльну установку з 16 одночасно працюючими доїльними апаратами, молокопроводом, вакуумпроводом, молокоприймальником, фільтрацією, охолодженням і автоматом промивання.

У проектованій лінії передбачено використання вакуумного насоса DeLaval VP 76 продуктивністю 54 м³/год із приводом потужністю 2,2 кВт. За принципом роботи насос належить до ротаційних пластинчастих машин, у яких ротор розміщено ексцентрично відносно циліндричної робочої камери, а пластини, переміщуючись у пазах ротора, утворюють змінні за об'ємом комірки. Під час обертання об'єм комірок збільшується в зоні всмоктування і зменшується в зоні нагнітання, що забезпечує відведення повітря з вакуумної системи.

Згідно з вимогами до доїльних установок, вакуумна система повинна не лише створювати задане розрідження, а й мати достатній резерв повітропродуктивності на випадок підключення апаратів, випадкового підсмоктування повітря, роботи промивання та короткочасних несталих режимів [11; 12]. Якщо продуктивність насоса недостатня, у системі виникають коливання вакууму, що погіршує стан дійок, збільшує ризик маститу і зменшує продуктивність доїння. Якщо насос має надлишкову продуктивність без регулювання, зростають витрати електроенергії та шумове навантаження.

Недоліком багатьох пластинчастих насосів є необхідність змащення робочої камери або підвищений знос пластин у разі роботи з недостатнім мастилом. Для

молочних ферм це небажано, оскільки масляний туман у вакуумній системі ускладнює санітарне обслуговування, а зношені пластини збільшують внутрішні витоки та погіршують стабільність вакууму. Тому конструктивне удосконалення доцільно спрямувати на застосування сухого або маломасляного режиму роботи за рахунок заміни робочих пластин на самозмащувальний композиційний матеріал із достатньою міцністю і низьким коефіцієнтом тертя [13; 14].

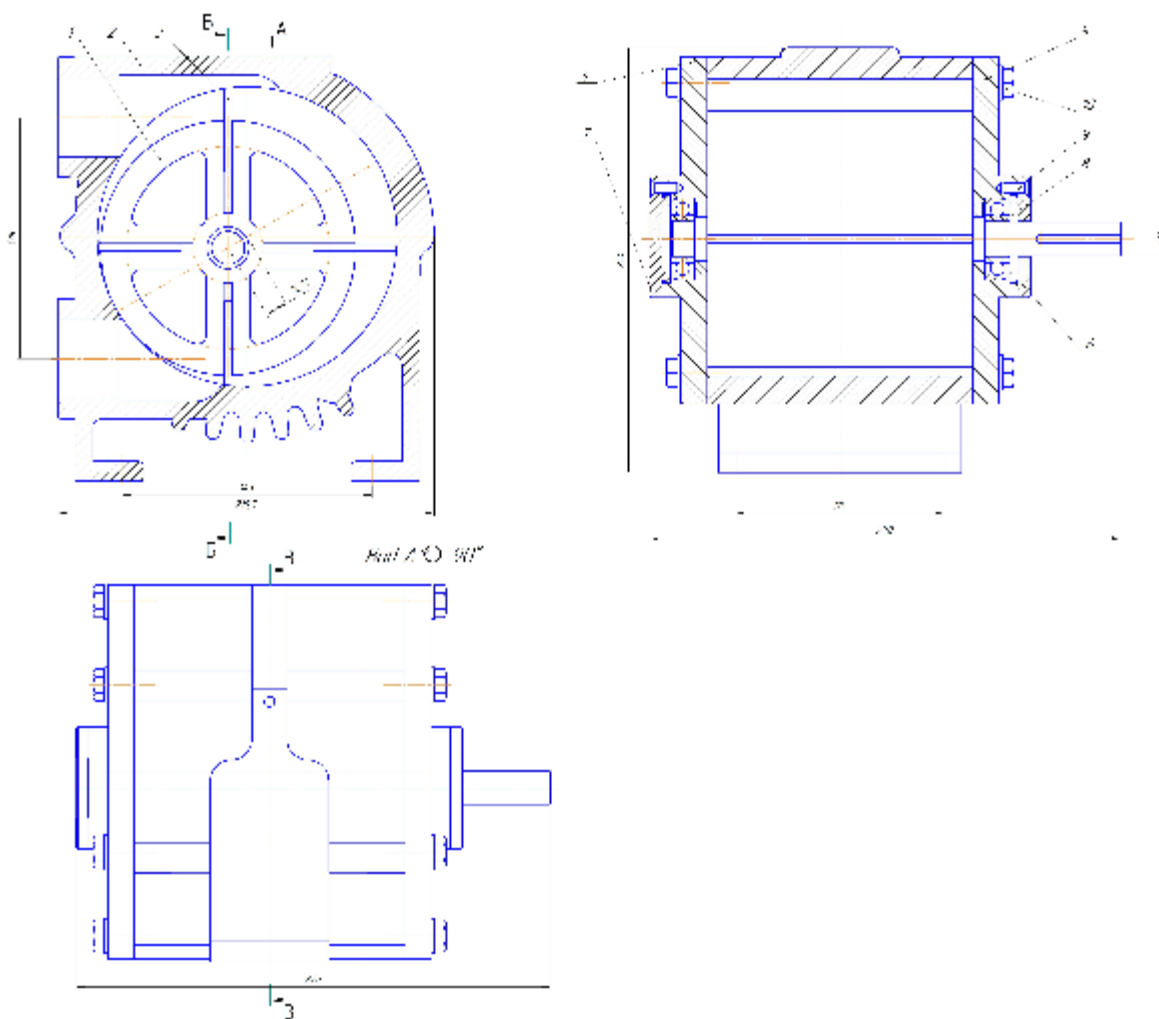


Рисунок 3.1 – Складальне креслення вакуумного насоса, прийнятого для удосконалення

Метою розділу є перевірка придатності насоса DeLaval VP 76 для обслуговування проектованої доїльної установки та обґрунтування

конструктивного удосконалення робочих пластин. Для цього необхідно перевірити насос за продуктивністю, визначити основні геометричні параметри робочої пари, вибрати матеріал пластин, провести розрахунок пластини на міцність і оцінити енергетичні показники роботи.

За складальним кресленням насос має корпус із робочою камерою, статор, ротор із пазами для пластин, бічні кришки, підшипникові вузли, вал і приєднувальні патрубки. Удосконалення не змінює приєднувальні розміри та компоновку агрегату, а стосується робочих пластин, зазорів і матеріалу контактної пари «пластина – статор». Такий підхід дозволяє модернізувати насос без переробки рами, електропривода і трубопровідної обв'язки.

3.2 Перевірка насоса за продуктивністю

Паспортну продуктивність насоса переводимо з м³/год у л/хв, оскільки розрахунок витрати повітря в доїльних установках зручно виконувати у літрах за хвилину.

$$Q_H = 1000 \cdot Q_M / 60 = 1000 \cdot 54 / 60 = 900 \text{ л/хв} \quad (3.1)$$

де Q_H – подача вакуумного насоса, л/хв.

Q_M – паспортна подача насоса, м³/год. Отже, насос DeLaval VP 76 забезпечує подачу приблизно 900 л/хв.

Розрахункова потреба у повітропродуктивності складається з витрати повітря через доїльні апарати, витрати на роботу пульсаторів, технологічних втрат у трубопроводах і необхідного резерву.

$$Q_{\text{потр}} = n_a \cdot q_a + n_p \cdot q_p + Q_{\text{вт}} + Q_{\text{рез}} \quad (3.2)$$

де $Q_{\text{потр}}$ – необхідна продуктивність вакуумної системи, л/хв.

n_a – кількість одночасно працюючих доїльних апаратів.

q_a – середня витрата повітря через один доїльний апарат, л/хв.

q_p – витрата повітря на роботу одного пульсатора, л/хв.

$Q_{\text{вт}}$ – витрати на нещільності та місцеві втрати, л/хв.

$Q_{\text{рез}}$ – резерв продуктивності, л/хв.

Для проекрованої установки приймаємо $n_a = 16$ апаратів, $q_a = 10$ л/хв, $q_{\text{п}} = 4$ л/хв. Втрати на нещільності приймаємо на рівні 10 % від робочої витрати повітря.

$$Q_{\text{вт}} = 0,10 \cdot (n_a \cdot q_a + n_a \cdot q_{\text{п}}) = 0,10 \cdot (16 \cdot 10 + 16 \cdot 4) = 22,4 \text{ л/хв} \quad (3.3)$$

Резерв продуктивності повинен компенсувати короткочасне підсмоктування повітря під час приєднання апаратів, випадкове спадання стаканів і перехідні режими. Для установки з 16 апаратами приймаємо $Q_{\text{рез}} = 480$ л/хв.

$$Q_{\text{потр}} = 16 \cdot 10 + 16 \cdot 4 + 22,4 + 480 = 726,4 \text{ л/хв} \quad (3.4)$$

Коефіцієнт запасу продуктивності насоса визначаємо як відношення фактичної подачі насоса до розрахункової потреби.

$$k_Q = Q_{\text{н}} / Q_{\text{потр}} = 900 / 726,4 = 1,24 \quad (3.5)$$

де k_Q – коефіцієнт запасу за продуктивністю. Одержане значення $k_Q = 1,24$ свідчить, що насос має приблизно 24 % резерву відносно розрахункової потреби. Такий запас є достатнім для стабільної роботи 16 доїльних апаратів за умови справного регулятора вакууму, герметичних з'єднань і правильно підібраного вакуумбалона.

Робочий вакуум для розрахунку приймаємо 47 кПа. Об'єм вакуумбалона оцінюємо за умовою згладжування короткочасних коливань тиску протягом часу реагування системи.

$$V_p = Q_{\text{н}} \cdot \tau / 60 = 900 \cdot 1,2 / 60 = 18 \text{ л} \quad (3.6)$$

де V_p – мінімальний розрахунковий об'єм вакуумбалона, л.

τ – прийнятий час згладжування короткочасного порушення вакууму, с. Для практичного виконання приймаємо вакуумбалон об'ємом не менше 20 л. Це дає змогу зменшити амплітуду коливань вакууму при одночасному від'єднанні або приєднанні доїльних апаратів.

Таблиця 3.1 – Перевірка вакуумного насоса за продуктивністю

Показник	Позначення	Значення	Одиниця
Паспортна подача насоса	Q_m	54	м ³ /Год
Подача насоса у розрахункових одиницях	Q_n	900	л/хв
Кількість одночасно працюючих апаратів	n_a	16	шт.
Витрата через один доїльний апарат	q_a	10	л/хв
Витрата на один пульсатор	q_p	4	л/хв
Технологічні втрати	$Q_{вт}$	22,4	л/хв
Прийнятий резерв	$Q_{рез}$	480	л/хв
Розрахункова потреба системи	$Q_{потр}$	726,4	л/хв
Коефіцієнт запасу продуктивності	k_Q	1,24	-
Рекомендований об'єм вакуумбалона	V_p	20	л

3.3 Визначення конструктивних параметрів

Конструктивні параметри робочої частини насоса визначаємо за кресленням статора і складальним кресленням. Вихідними для розрахунку є внутрішній діаметр робочої камери, орієнтовний діаметр ротора, довжина робочої камери, кількість пластин, частота обертання та робочий перепад тиску. Оскільки удосконалення передбачає заміну робочих пластин, основну увагу приділяємо геометрії пластини, контактним зазорам і навантаженням під час роботи.

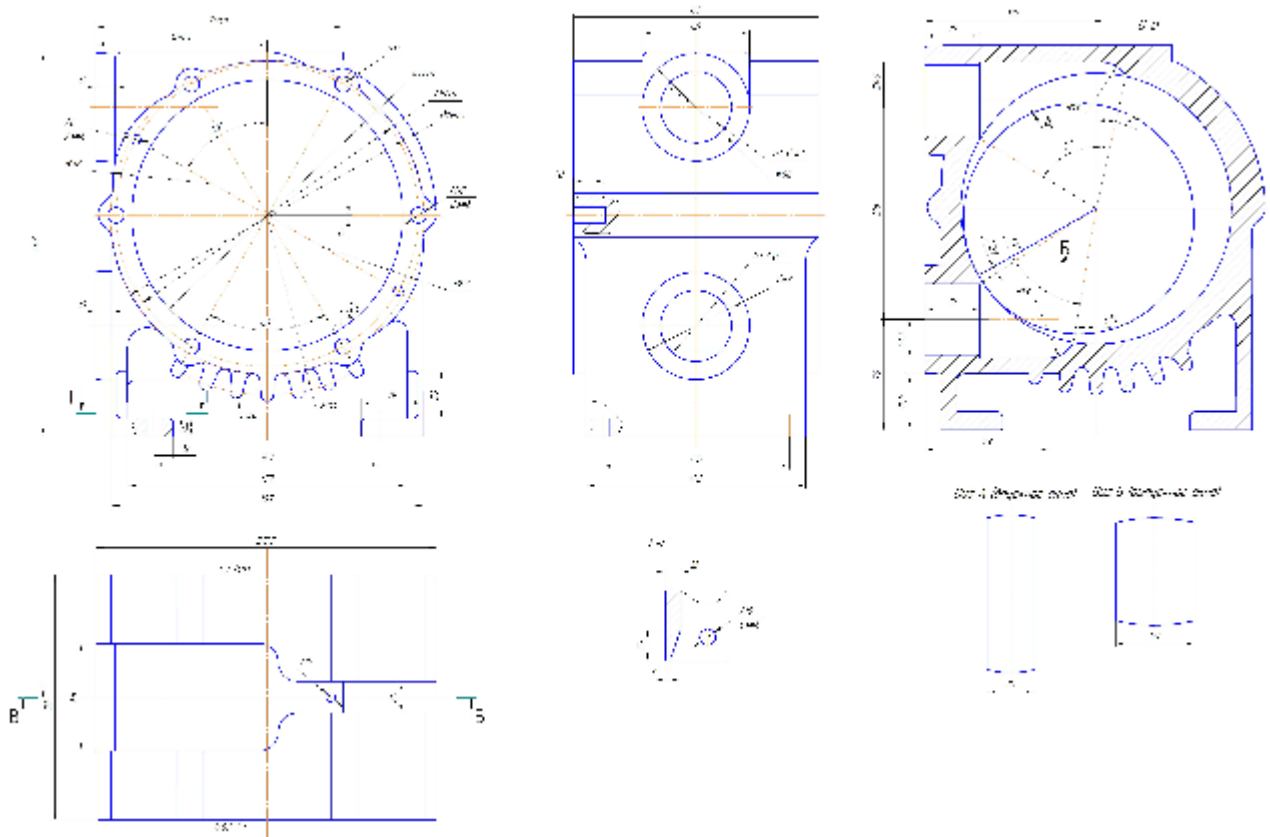


Рисунок 3.2 – Креслення статора вакуумного насоса

Для подальших розрахунків приймаємо такі конструктивні параметри: внутрішній діаметр статора $D_c = 198,5$ мм, діаметр ротора $D_p = 175$ мм, робоча довжина камери $b = 119$ мм, кількість пластин $z_p = 4$, частота обертання ротора $n = 1450$ хв⁻¹. Робочі поверхні після складання повинні забезпечувати мінімальні зазори без заїдання ротора і пластин. З урахуванням приміток до креслення радіальний зазор між ротором і статором приймаємо не більше 0,05 мм.

$$R_c = D_c / 2 = 198,5 / 2 = 99,25 \text{ мм} \quad (3.7)$$

$$R_p = D_p / 2 = 175 / 2 = 87,50 \text{ мм} \quad (3.8)$$

де R_c – радіус робочої камери статора.

R_p – радіус ротора. Теоретична різниця радіусів визначає максимальну висоту робочого простору, яка заповнюється висуванням пластини.

$$h_k = R_c - R_p = 99,25 - 87,50 = 11,75 \text{ мм} \quad (3.9)$$

У реальній конструкції довжина пластини повинна забезпечувати її висування із паза ротора і надійний контакт із внутрішньою поверхнею статора. Для розрахунку приймаємо робочу частину пластини висотою $h_{\pi} = 55$ мм, товщиною $s_{\pi} = 6$ мм і шириною $b_{\pi} = 118$ мм. Ширина пластини приймається на 1 мм меншою від робочої довжини камери для забезпечення торцевого зазору і виключення заклинювання.

$$b_{\pi} = b - 2\delta_{\tau} = 119 - 2 \cdot 0,5 = 118 \text{ мм} \quad (3.10)$$

де b_{π} – ширина пластини.

b – робоча довжина камери.

δ_{τ} – торцевий технологічний зазор з одного боку. Прийнятий зазор не повинен перевищувати вимог до сумарного мертвого зазору, наведених у технічних примітках до креслення.

3.3.1 Вибір матеріалу пластини

Робоча пластина пластинчастого насоса працює в умовах ковзання по внутрішній поверхні статора, циклічного навантаження, нагрівання від тертя та контакту з повітрям, що може містити вологу і дрібнодисперсні домішки. Матеріал пластини повинен мати низький коефіцієнт тертя, достатню міцність на згин, стабільність розмірів, малу схильність до задирів і можливість роботи без інтенсивного змащення.

Для удосконаленого насоса приймаємо графітований композиційний матеріал, просочений полімерною смолою. Його доцільність пояснюється здатністю працювати в умовах сухого або маломасляного тертя, стабільністю геометрії, достатньою міцністю і зменшенням ризику масляного забруднення вакуумної системи. Для розрахунку приймаємо густину матеріалу $\rho_{\pi} = 1800$ кг/м³, допустиме напруження на згин $[\sigma] = 35$ МПа, коефіцієнт тертя по чавуну $\mu = 0,10$.

Таблиця 3.2 – Порівняння матеріалів для робочих пластин вакуумного насоса

Матеріал	Переваги	Недоліки	Оцінка придатності
Текстоліт	доступний, легко обробляється	підвищений знос, чутливість до вологи і температури	обмежено придатний
Капролон	низька густина, добра технологічність	можливе теплове розширення і деформація	придатний для легких режимів
Графітований композит	самозмащування, низьке тертя, стабільність у сухому режимі	вища вартість, потреба у точній обробці	найбільш доцільний
РЕЕК-композит	висока міцність, хімічна стійкість	висока ціна, складність закупівлі	технічно придатний

3.3.2 Розрахунок пластини на міцність

Масу однієї пластини визначаємо за її геометричними розмірами.

$$m_{\text{п}} = \rho_{\text{п}} \cdot b_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}} \cdot s_{\text{п}} = 1800 \cdot 0,118 \cdot 0,055 \cdot 0,006 = 0,070 \text{ кг} \quad (3.11)$$

де $m_{\text{п}}$ – маса однієї пластини, кг.

$\rho_{\text{п}}$ – густина матеріалу пластини, кг/м³.

$b_{\text{п}}$ – ширина пластини, м.

$h_{\text{п}}$ – висота пластини, м.

$s_{\text{п}}$ – товщина пластини, м.

Кутову швидкість ротора визначаємо через частоту обертання.

$$\omega = 2\pi n / 60 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1450 / 60 = 151,8 \text{ рад/с} \quad (3.12)$$

де ω – кутова швидкість ротора, рад/с.

n – частота обертання ротора, хв^{-1} . Відцентрову силу пластини оцінюємо за середнім радіусом її маси $r_{\text{ср}} = 0,070$ м.

$$F_{\text{ц}} = m_{\text{п}} \cdot \omega^2 \cdot r_{\text{ср}} = 0,070 \cdot 151,8^2 \cdot 0,070 = 113 \text{ Н} \quad (3.13)$$

де $F_{\text{ц}}$ – відцентрова сила, що притискає пластину до поверхні статора, Н.

$r_{\text{ср}}$ – середній радіус розміщення маси пластини, м. Ця сила забезпечує контакт пластини зі статором, але одночасно створює навантаження тертя.

Силу від перепаду тиску на пластину визначаємо за робочим вакуумом $\Delta p = 47$ кПа і проєкцією робочої площі пластини.

$$F_{\text{р}} = \Delta p \cdot b_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}} = 47000 \cdot 0,118 \cdot 0,055 = 305 \text{ Н} \quad (3.14)$$

де $F_{\text{р}}$ – розрахункова сила від перепаду тиску, Н.

Δp – перепад тиску між атмосферою і вакуумною системою, Па. Сумарне навантаження з урахуванням коефіцієнта динамічності $k_{\text{д}} = 1,2$ становить.

$$F_{\Sigma} = k_{\text{д}} \cdot (F_{\text{ц}} + F_{\text{р}}) = 1,2 \cdot (113 + 305) = 502 \text{ Н} \quad (3.15)$$

Для оцінки міцності пластину розглядаємо як пластину, защемлену у пазу ротора і навантажену у робочій частині. Розрахунковий згинальний момент приймаємо за рівнодіючою силою, прикладеною на половині висоти робочої частини.

$$M_{\text{зг}} = F_{\Sigma} \cdot h_{\text{п}} / 2 = 502 \cdot 0,055 / 2 = 13,8 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.16)$$

Момент опору прямокутного перерізу пластини відносно осі згину визначаємо за формулою

$$W = b_{\text{п}} \cdot s_{\text{п}}^2 / 6 = 0,118 \cdot 0,006^2 / 6 = 7,08 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \quad (3.17)$$

Максимальне напруження згину становить

$$\sigma_{\text{зг}} = M_{\text{зг}} / W = 13,8 / (7,08 \cdot 10^{-7}) = 19,5 \text{ МПа} \quad (3.18)$$

Коефіцієнт запасу міцності визначаємо відношенням допустимого напруження матеріалу до розрахункового напруження.

$$n_{\sigma} = [\sigma] / \sigma_{\text{зг}} = 35 / 19,5 = 1,79 \quad (3.19)$$

Одержаний коефіцієнт запасу $n_\sigma = 1,79$ свідчить, що прийнята пластина з графітованого композиту є працездатною за умов міцності. Для збільшення ресурсу необхідно забезпечити чистоту обробки внутрішньої поверхні статора, відсутність гострих кромek у пазах ротора та контроль торцевого зазору під час складання.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку робочої пластини

Показник	Позначення	Значення	Одиниця
Ширина пластини	b_{Π}	118	мм
Висота пластини	h_{Π}	55	мм
Товщина пластини	s_{Π}	6	мм
Маса пластини	m_{Π}	0,070	кг
Кутова швидкість ротора	ω	151,8	рад/с
Відцентрова сила	F_{Π}	113	Н
Сила від перепаду тиску	F_p	305	Н
Сумарне розрахункове навантаження	F_{Σ}	502	Н
Напруження згину	$\sigma_{зг}$	19,5	МПа
Коефіцієнт запасу міцності	n_σ	1,79	-

3.3.3 Визначення енергетичних показників

Енергетичну оцінку виконуємо для перевірки відповідності встановленої потужності електродвигуна робочому режиму насоса. Теоретична потужність, необхідна для відведення повітря при заданому перепаді тиску, визначається як добуток перепаду тиску і об'ємної подачі.

$$Q_{н,м} = Q_{м} / 3600 = 54 / 3600 = 0,015 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.20)$$

де $Q_{н,м}$ – подача насоса у $\text{м}^3/\text{с}$. Теоретична пневматична потужність становить.

$$P_T = \Delta p \cdot Q_{н,м} = 47000 \cdot 0,015 = 705 \text{ Вт} = 0,705 \text{ кВт} \quad (3.21)$$

З урахуванням об'ємного та механічного коефіцієнтів корисної дії фактичну потужність на валу насоса визначаємо за формулою

$$P_B = P_T / (\eta_{об} \cdot \eta_m) = 0,705 / (0,65 \cdot 0,85) = 1,28 \text{ кВт} \quad (3.22)$$

де P_B – розрахункова потужність на валу насоса, кВт.

$\eta_{об}$ – об'ємний коефіцієнт корисної дії.

η_m – механічний коефіцієнт корисної дії. Для врахування пускових режимів, зносу, коливань вакууму і втрат у передачі вводимо коефіцієнт запасу $k_{\pi} = 1,3$.

$$P_{\pi p} = k_{\pi} \cdot P_B = 1,3 \cdot 1,28 = 1,66 \text{ кВт} \quad (3.23)$$

Встановлена потужність електродвигуна $P_{дв} = 2,2$ кВт перевищує розрахункову потребу, тому двигун забезпечує роботу насоса з необхідним запасом.

$$k_P = P_{дв} / P_{\pi p} = 2,2 / 1,66 = 1,33 \quad (3.24)$$

де k_P – коефіцієнт запасу за потужністю. Значення $k_P = 1,33$ є прийнятним для пластинчастого вакуумного насоса, оскільки враховує зміну навантаження під час доїння, промивання і короткочасних перехідних режимів.

Потужність, яка може витратитися на тертя пластин по статору, оцінюємо за силою притискання від відцентрової сили, коефіцієнтом тертя і коловою швидкістю ковзання.

$$v = \omega \cdot R_c = 151,8 \cdot 0,09925 = 15,1 \text{ м/с} \quad (3.25)$$

$$P_{тр} = z_{\pi} \cdot \mu \cdot F_{ц} \cdot v / 1000 = 4 \cdot 0,10 \cdot 113 \cdot 15,1 / 1000 = 0,68 \text{ кВт} \quad (3.26)$$

де v – колова швидкість ковзання пластини по статору, м/с.

$P_{тр}$ – орієнтовна потужність втрат на тертя, кВт.

z_{π} – кількість пластин.

μ – коефіцієнт тертя. Застосування графітованого композиту знижує коефіцієнт тертя порівняно з традиційними матеріалами і дає можливість зменшити нагрівання та знос робочої пари. Для практичної реалізації необхідно передбачити

контроль температури корпусу під час обкатки насоса, а також періодичну перевірку довжини пластин і стану внутрішньої поверхні статора.

Таблиця 3.4 – Енергетичні показники роботи вакуумного насоса

Показник	Позначення	Значення	Одиниця
Робочий перепад тиску	Δp	47	кПа
Подача насоса	$Q_{н,м}$	0,015	м³/с
Теоретична пневматична потужність	P_T	0,705	кВт
Розрахункова потужність на валу	P_v	1,28	кВт
Потрібна потужність із запасом	$P_{пр}$	1,66	кВт
Встановлена потужність двигуна	$P_{дв}$	2,2	кВт
Коефіцієнт запасу за потужністю	k_P	1,33	-
Орієнтовні втрати на тертя пластин	$P_{тр}$	0,68	кВт

3.4 Висновки

– Встановлено, що для проектованої доїльної установки з 16 одночасно працюючими апаратами вакуумний насос DeLaval VP 76 продуктивністю 54 м³/год забезпечує подачу 900 л/хв, тоді як розрахункова потреба становить 726,4 л/хв. Коефіцієнт запасу за продуктивністю дорівнює 1,24.

– Рекомендований мінімальний об’єм вакуумбалона за умовою згладжування короткочасних коливань вакууму становить 18 л; для практичного виконання приймаємо вакуумбалон об’ємом не менше 20 л.

– Як конструктивне удосконалення запропоновано заміну робочих пластин на графітований композиційний матеріал, здатний працювати в умовах сухого або маломасляного тертя. Це зменшує ризик масляного забруднення вакуумної системи, знижує тертя і підвищує ресурс робочої пари.

– За результатами розрахунку пластини товщиною 6 мм, шириною 118 мм і висотою 55 мм максимальне напруження згину становить 19,5 МПа, а коефіцієнт запасу міцності – 1,79, що підтверджує працездатність прийнятого рішення.

– Енергетична перевірка показала, що потрібна потужність приводу з урахуванням запасу становить 1,66 кВт, а встановлена потужність електродвигуна 2,2 кВт забезпечує коефіцієнт запасу 1,33. Отже, насос може використовуватись у проєктованій технологічній лінії після реалізації запропонованого удосконалення.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні вимоги охорони праці при доїнні корів

Охорона праці під час машинного доїння корів є складовою організації технологічного процесу, оскільки робота оператора виконується у зоні одночасної дії біологічних, механічних, електричних, санітарно-гігієнічних та організаційних чинників. У запроєктованій лінії доїння і первинної обробки молока основну увагу необхідно приділити безпечному контакту працівника з тваринами, справному стану доїльного обладнання, стійкому вакуумному режиму, електробезпеці, чистоті робочої зони та правильному використанню мийних і дезінфекційних засобів.

Нормативною основою організації безпечної праці є Закон України «Про охорону праці», який визначає загальні гарантії прав працівників на безпечні умови праці, обов'язки роботодавця щодо створення таких умов і обов'язки працівника щодо додержання вимог нормативних актів [1]. Для тваринницьких об'єктів додатково враховують вимоги галузевих правил охорони праці, де окремо розглядаються роботи з великою рогатою худобою, доїнням, первинною обробкою молока та санітарною підготовкою обладнання [2, 3].

До роботи оператором доїльної установки допускають осіб, які пройшли медичний огляд, вступний і первинний інструктаж, навчання безпечним методам роботи, перевірку знань з охорони праці та ознайомлення з інструкцією з експлуатації конкретної доїльної установки. Працівник повинен знати порядок пуску і зупинки вакуумної системи, розміщення аварійних вимикачів, правила підключення доїльних апаратів, послідовність санітарного промивання, способи безпечного поводження з тваринами та порядок дій у разі аварійної ситуації.

Основними небезпечними факторами під час доїння є удари і затискання працівника твариною, падіння на мокрій або забрудненій підлозі, ураження

електричним струмом від несправного обладнання, травмування рухомими елементами насосів і приводів, опіки або подразнення шкіри під час контакту з гарячою водою, кислотними та лужними мийними розчинами. Додатковими шкідливими факторами є підвищена вологість, шум від насосного обладнання, біологічне забруднення, а також вимушені робочі пози під час підготовки вимені та під'єднання доїльних стаканів.

Робоче місце оператора повинно мати рівну неслизьку підлогу, достатнє освітлення, справну вентиляцію, організований відвід стічних вод і зручний доступ до постів доїння. Проходи не допускається захащувати інвентарем, шлангами або тарою. Зони, де можливе розбризкування води чи молока, повинні регулярно очищатися, а залишки мийних розчинів необхідно негайно видаляти. Для зменшення ризику ковзання доцільно використовувати рифлені покриття, решітки або гумові килимки у місцях постійного перебування оператора.

Електрообладнання доїльної установки, вакуумного насоса, молочного насоса, автоматів промивання, освітлення та щитів керування повинно мати захисне заземлення або занулення, справну ізоляцію, захист від вологи і випадкового дотику до струмопровідних частин. Забороняється працювати з відкритими клемними коробками, пошкодженими кабелями, нештатними подовжувачами та саморобними перемичками. Пускові кнопки, автоматичні вимикачі й аварійна зупинка мають бути доступними для оператора без виходу у небезпечну зону.

Вакуумна система повинна працювати без різких коливань розрідження, підсмоктування повітря, перегріву насоса і нехарактерного шуму. Перед початком зміни перевіряють стан вакуумпроводу, молокопроводу, пульсаторів, доїльних стаканів, колектора, гумових ущільнень, молочних шлангів, фільтрів і запірної арматури. Несправні елементи, які можуть спричинити травмування працівника, пошкодження вимені тварини або забруднення молока, до роботи не допускають.

Під час роботи з коровами оператор повинен діяти спокійно, не робити різких рухів, не стояти безпосередньо позаду тварини та не нахилитися у зоні можливого удару кінцівкою. Неспокійних, хворих або нещодавно отелених тварин доять з підвищеною обережністю, за потреби використовують фіксацію або допомогу іншого працівника. Забороняється бити тварин, лякати їх шумом або подавати до доїльної зали групу, яка перевищує пропускну здатність обладнання.

4.2 Інструкція з охорони праці для оператора доїльної установки

До самостійної роботи допускається оператор, який знає будову доїльної установки, призначення вакуумного насоса, регулятора вакууму, пульсаторів, колекторів і доїльних стаканів, уміє визначати зовнішні ознаки несправності та пройшов інструктаж з безпечної роботи з тваринами. Оператор повинен виконувати тільки доручену роботу і не втручатися у регулювання електричних щитів, приводів, запобіжної арматури та автоматики, якщо це не входить до його посадових обов'язків.

Перед початком роботи оператор одягає спецодяг і перевіряє санітарний стан робочого місця. Підлога, проходи і прямки мають бути очищені, освітлення — увімкнене, вентиляція — справна. Необхідно переконатися, що доїльні апарати, колектори, гумові шланги, стакани, пульсатори, фільтри і молочні крани встановлені правильно, не мають тріщин, надмірного зношування або залишків мийного розчину. Усі кришки, кожухи і захисні огороження вакуумного насоса та молочного насоса повинні бути на місці.

Після зовнішнього огляду запускають вакуумний насос і перевіряють показання вакуумметра, роботу регулятора вакууму та рівномірність пульсації. Якщо під час запуску чути сторонній стукіт, відчувається перегрів, запах горілої ізоляції, різке падіння вакууму або виявлено підтікання молока і води на

електрообладнання, установку необхідно зупинити і повідомити відповідальну особу. Працювати до усунення несправності забороняється.

Під час підведення корів у доїльну залу оператор не повинен перебувати у вузькому проході між твариною і нерухомими конструкціями. Ворота, фіксатори та огорожі закривають плавно, без ударів. Підготовку вимені проводять чистими руками або рукавичками, застосовуючи прийняту в господарстві санітарну схему. Доїльні стакани під'єднують без перекручування шлангів, уникаючи підсмоктування повітря і падіння апарата на підлогу.

У процесі доїння оператор контролює поведінку тварин, стабільність вакууму, роботу пульсаторів, наповнення молокоприймальника, стан фільтра та безперешкодне відведення молока. Не допускається залишати доїльну установку без нагляду, торкатися рухомих частин приводу, відкривати захисні кожухи під час роботи насоса, наступати на шланги або підвішувати на трубопроводи сторонні предмети. У разі спадання стакана його не піднімають різким рухом, а спочатку закривають відповідний кран або від'єднують апарат згідно з інструкцією.

Особливу увагу приділяють безпечному застосуванню мийних і дезінфекційних засобів. Розчини готують тільки у визначеній концентрації, не змішують кислотні та лужні препарати між собою і не переливають їх у тару без маркування. Під час роботи з концентратами використовують рукавички, окуляри або щиток, фартух і чоботи. Якщо розчин потрапив на шкіру або в очі, місце ураження негайно промивають водою і звертаються по медичну допомогу.

Після завершення доїння доїльні апарати від'єднують у встановленій послідовності, переводять систему в режим промивання, контролюють подавання води, температуру розчину та проходження мийної рідини по молокопроводу. Забороняється від'єднувати шланги, відкривати фільтри або розбирати молочні крани під тиском чи під дією вакууму. Перед ручним очищенням окремих вузлів

необхідно вимкнути насос, зняти вакуум і переконатися у відсутності залишкового тиску або гарячої рідини.

Після закінчення зміни оператор вимикає обладнання, закриває крани, зливає залишки мийного розчину у передбачену систему каналізації, мие і прибирає робоче місце, перевіряє відсутність протікань і залишає проходи вільними. Про всі виявлені несправності, травмування тварин, пошкодження шлангів, нестабільну роботу вакуумної системи або порушення роботи автомата промивання працівник робить повідомлення відповідальній особі.

У разі аварійної ситуації оператор повинен негайно припинити роботу, зупинити подачу вакууму або електроживлення, вивести людей із небезпечної зони і повідомити керівника зміни. При ураженні електричним струмом насамперед відключають живлення, після чого надають домедичну допомогу. У разі травмування твариною потерпілого відводять у безпечне місце, викликають медичну допомогу та зберігають обстановку події, якщо це не створює додаткової небезпеки.

4.3 Висновки

У розділі визначено основні вимоги охорони праці при машинному доїнні корів і роботі доїльної установки. Встановлено, що найбільш суттєвими ризиками є травмування операторів тваринами, падіння на вологій підлозі, ураження електричним струмом, контакт з мийними розчинами та небезпеки, пов'язані з роботою вакуумного і молочного обладнання.

Запропонована інструкція для оператора доїльної установки охоплює підготовку до роботи, безпечне виконання операцій доїння, промивання обладнання, завершення зміни та дії в аварійних ситуаціях. Виконання наведених вимог забезпечує зниження виробничого ризику, стабільність технологічного процесу та належні санітарні умови отримання молока.

5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНОГО УДОСКОНАЛЕННЯ

5.1 Вихідні дані

Економічну оцінку виконано для визначення доцільності впровадження удосконалення вакуумного насоса доїльної установки. За базовий варіант прийнято роботу насоса зі штатним комплектом робочих пластин, а за проєктний – використання удосконалених пластин з підвищеною зносостійкістю та меншою потребою у сервісних операціях.

Оцінювання проведено укрупненим методом порівняння річних експлуатаційних витрат. У розрахунку враховано електроенергію, мастильні матеріали, технічне обслуговування, ремонт, заміну швидкозношуваних елементів та одноразові інвестиції.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для економічної оцінки

№	Показник	Одиниця	Значення
1	Кількість дійних корів	гол.	450
2	Річне виробництво молока	т/рік	3600
3	Кількість доїнь на добу	разів	2
4	Робота вакуумної системи з промиванням	год/добу	5,0
5	Робочих днів на рік	днів	365
6	Марка вакуумного насоса	-	DeLaval VP 76
7	Продуктивність насоса	м³/год	54
8	Потужність електродвигуна	кВт	2,2
9	Тариф на електроенергію	грн/кВт·год	6,00
10	Інвестиції в удосконалення	грн	18000

5.2 Результати економічної оцінки

Порівняння базового та удосконаленого варіантів показує, що основний економічний результат формується не лише за рахунок незначного зменшення енергоспоживання, а насамперед через скорочення витрат на мастильні матеріали, зменшення частоти сервісного втручання і підвищення ресурсу робочих пластин. Для доїльної установки це важливо, оскільки вакуумна система працює щоденно, а її відмова безпосередньо впливає на стабільність доїння, якість молока та ритмічність роботи ферми.

У базовому варіанті витрати на обслуговування насоса пов'язані з регулярним контролем стану пластин, очищенням робочої камери, використанням мастила, періодичною заміною комплекту пластин і додатковими витратами праці на сервісні операції. Удосконалений варіант передбачає застосування пластин з кращими антифрикційними властивостями, що знижує інтенсивність зношування пари тертя «пластина – статор», стабілізує подачу насоса та зменшує ризик втрати вакууму під час доїння.

Таблиця 5.2 – Порівняння річних експлуатаційних витрат

Стаття витрат	Базовий варіант, грн/рік	Удосконалений варіант, грн/рік	Економія, грн/рік
Витрати на електроенергію	19764	18792	972
Мастильні матеріали та витратні матеріали	14600	3200	11400
Технічне обслуговування і поточний ремонт	12500	8500	4000
Заміна робочих пластин та ущільнень	9500	5200	4300
Втрати від короткочасних простоїв і додаткових наладок	4500	1800	2700
Разом річні експлуатаційні витрати	60864	37492	23372

За результатами порівняння річні експлуатаційні витрати для базового варіанта становлять 60864 грн, а для удосконаленого – 37492 грн. Очікувана річна економія дорівнює 23372 грн. Найбільшу частку економії забезпечує скорочення витрат на мастильні та витратні матеріали, а також зменшення потреби в сервісних операціях. Енергетична складова також має позитивний ефект, однак її частка є меншою порівняно з витратами на технічне обслуговування.

Таблиця 5.3 – Узагальнені результати економічної оцінки

№	Показник	Одиниця	Значення
1	Одноразові інвестиції в удосконалення	грн	18000
2	Річна економія експлуатаційних витрат	грн/рік	23372
3	Орієнтовний строк окупності	року	0,77
4	Орієнтовний строк окупності	міс.	9,2
5	Зниження річних експлуатаційних витрат	%	38,4

Одержані результати свідчать, що витрати на впровадження удосконаленого комплексу робочих елементів можуть окупитися менш ніж за один рік експлуатації. Такий результат є прийнятним для ферми, оскільки удосконалення не потребує заміни всієї вакуумної станції, а реалізується за рахунок модернізації окремого робочого вузла насоса.

Додатковим виробничим ефектом є підвищення стабільності вакуумного режиму доїння. Це важливо для зменшення коливань вакууму в молокопроводі, рівномірнішої роботи пульсаторів і зниження ризику травмування дійок. Хоча ці показники складно безпосередньо перевести у грошовий вираз у межах укрупненого розрахунку, вони мають практичне значення для якості доїння, санітарного стану молока та надійності роботи всієї лінії.

5.3 Висновки

У розділі виконано економічну оцінку розробленого удосконалення вакуумного насоса доїльної установки. Порівняння проведено за річними експлуатаційними витратами базового та удосконаленого варіантів з урахуванням електроенергії, мастильних матеріалів, технічного обслуговування, ремонту й заміни швидкозношуваних деталей.

Установлено, що впровадження удосконалених робочих пластин дає змогу зменшити річні експлуатаційні витрати орієнтовно на 23372 грн, або на 38,4 %. За прийнятих вихідних даних строк окупності становить близько 0,77 року, тобто приблизно 9 місяців. Отже, запропоноване удосконалення є економічно доцільним і може бути рекомендоване для використання в запроєктованій технологічній лінії доїння та первинної обробки молока.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті розроблено технологічний процес доїння корів із удосконаленням вакуумного насоса доїльної установки. Робота спрямована на підвищення стабільності вакуумного режиму, надійності роботи доїльного обладнання, зменшення експлуатаційних витрат та покращення умов обслуговування технологічної лінії.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан машинного доїння корів, розглянуто основні способи організації доїння при різних системах утримання тварин, а також визначено роль вакуумної системи у забезпеченні якісного та безпечного видоювання молока. Встановлено, що стабільність вакууму безпосередньо впливає на повноту видоювання, продуктивність праці оператора, санітарну якість молока та технічний стан доїльної апаратури.

У другому розділі виконано проєктування технологічної лінії доїння та первинної обробки молока для ферми з безприв'язно-боксним утриманням корів. На основі заданого річного виробництва молока, поголів'я дійного стада та прийнятої кратності доїння визначено продуктивність технологічної лінії, обґрунтовано вибір доїльного обладнання, молокопроводу, молокоприймальника, фільтрів, охолодника, молочного насоса та танка-охолодника. Запропонована схема забезпечує послідовне виконання операцій доїння, очищення, охолодження і тимчасового зберігання молока.

У третьому розділі проведено удосконалення вакуумного насоса доїльної установки. Виконано перевірку його продуктивності для обслуговування запроектованої кількості доїльних апаратів, обґрунтовано доцільність застосування пластин із сучасного зносостійкого матеріалу для роботи в умовах зменшеного змащення, а також проведено розрахунки конструктивних і міцнісних параметрів пластини. Запропоноване удосконалення дозволяє підвищити ресурс роботи

насоса, зменшити витрати на технічне обслуговування та забезпечити більш стабільну роботу вакуумної системи.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці при доїнні корів та експлуатації доїльної установки. Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з роботою електрообладнання, вакуумної системи, рухомих елементів, мийних розчинів і контактом з тваринами. Розроблено інструкцію з охорони праці для оператора доїльної установки, яка охоплює вимоги перед початком роботи, під час доїння, після завершення процесу та в аварійних ситуаціях.

У п'ятому розділі виконано економічну оцінку розробленого удосконалення. Порівняння базового та удосконаленого варіантів показало, що застосування модернізованого вакуумного насоса дає змогу зменшити експлуатаційні витрати за рахунок скорочення витрат на обслуговування, ремонт, мастильні матеріали та простої обладнання. Отриманий економічний ефект підтверджує доцільність впровадження запропонованого технічного рішення у виробничих умовах молочної ферми.

Таким чином, у дипломному проєкті вирішено поставлене завдання — розроблено технологічний процес доїння корів із первинною обробкою молока та запропоновано удосконалення вакуумного насоса. Запроєктована лінія є технологічно обґрунтованою, працездатною, безпечною в експлуатації та економічно доцільною для використання на молочній фермі.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Скляр, О. Г., Болтянська, Н. І., Скляр, Р. В., & Маніта, І. Ю. (2021). Механізація доїння. Київ: Видавничий дім «Кондор».
2. ДСТУ ISO 5707:2012. (2013). Установки доїльні. Конструкція і технічні характеристики (ISO 5707:2007, IDT). Київ: Мінекономрозвитку України.
3. FAO. (n.d.). Milking machines and equipment. In Milking, milk production hygiene and udder health. <https://www.fao.org/4/t0218e/t0218e02.htm>
4. FAO. (n.d.). Systems of milking. In Milking, milk production hygiene and udder health. <https://www.fao.org/4/t0218e/t0218e05.htm>
5. DairyNZ. (n.d.). Pulsation and vacuum. <https://www.dairynz.co.nz/milking/milking-plant-maintenance/pulsation-and-vacuum/>
6. DairyNZ. (n.d.). Automatic milking systems. <https://www.dairynz.co.nz/milking/new-dairy-technology/automatic-milking-systems/>
7. DeLaval. (n.d.). Vacuum system. <https://www.delaval.com/en-in/farm-solutions/milking-essentials/in-the-milking-room/vacuum-system/>
8. GEA. (n.d.). Vacuum pumps for milking systems. <https://www.gea.com/en/products/milking-farming-barn/milking-solutions/components/vacuum-pumps/>
9. TSATU. (n.d.). Вакуумні та молочні насоси. Машини та обладнання для тваринництва. https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/tsapk_2/page57.html
10. ISO. (2007). ISO 5707:2007: Milking machine installations — Construction and performance. International Organization for Standardization.
11. ДСТУ ISO 5707:2012. Установки доїльні. Конструкція та технічні характеристики. Київ: Мінекономрозвитку України.
12. FAO. (n.d.). Milking machines and equipment. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/4/t0218e/t0218e02.htm>

13. DeLaval. (2024). Parlour systems and milking point solutions. DeLaval International.
14. DeLaval. (n.d.). Milk cooling solutions. DeLaval. <https://www.delaval.com/en-ie/farm-solutions/milk-cooling/>
15. DairyNZ. (n.d.). Milking and milk harvesting resources. DairyNZ. <https://www.dairynz.co.nz/>
16. Veepro Holland. (2007). Milking machine management. Veepro Holland.
17. Reinemann, D. J., Mein, G. A., & Rasmussen, M. D. (2001). The effect of milking machine design and management on teat condition and udder health. National Mastitis Council.
18. Механізація доїння і первинної обробки молока: навчальний посібник. Київ: Аграрна освіта.
19. Проектування механізованих технологічних процесів у тваринництві: методичні рекомендації. Дніпро: ДДАЕУ.
20. DeLaval. (2024). Vacuum systems and milking point solutions. DeLaval International.
21. GEA. (2024). Milking, cooling and farm equipment technical information. GEA Farm Technologies.
22. Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper, P., & Heald, C. C. (2008). Pump Handbook. McGraw-Hill.
23. Shigley, J. E., Mischke, C. R., & Budynas, R. G. (2011). Mechanical Engineering Design. McGraw-Hill.
24. Childs, P. R. N. (2014). Mechanical Design Engineering Handbook. Butterworth-Heinemann.
25. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12>.

26. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві : наказ Мінсоцполітики України від 29.08.2018 № 1240.

27. Правила охорони праці у тваринництві. Велика рогата худоба : наказ Держнаглядохоронпраці України від 06.12.2004 № 268.

28. ДСТУ ISO 5707:2012. Установки доїльні. Конструкція та технічні характеристики.

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

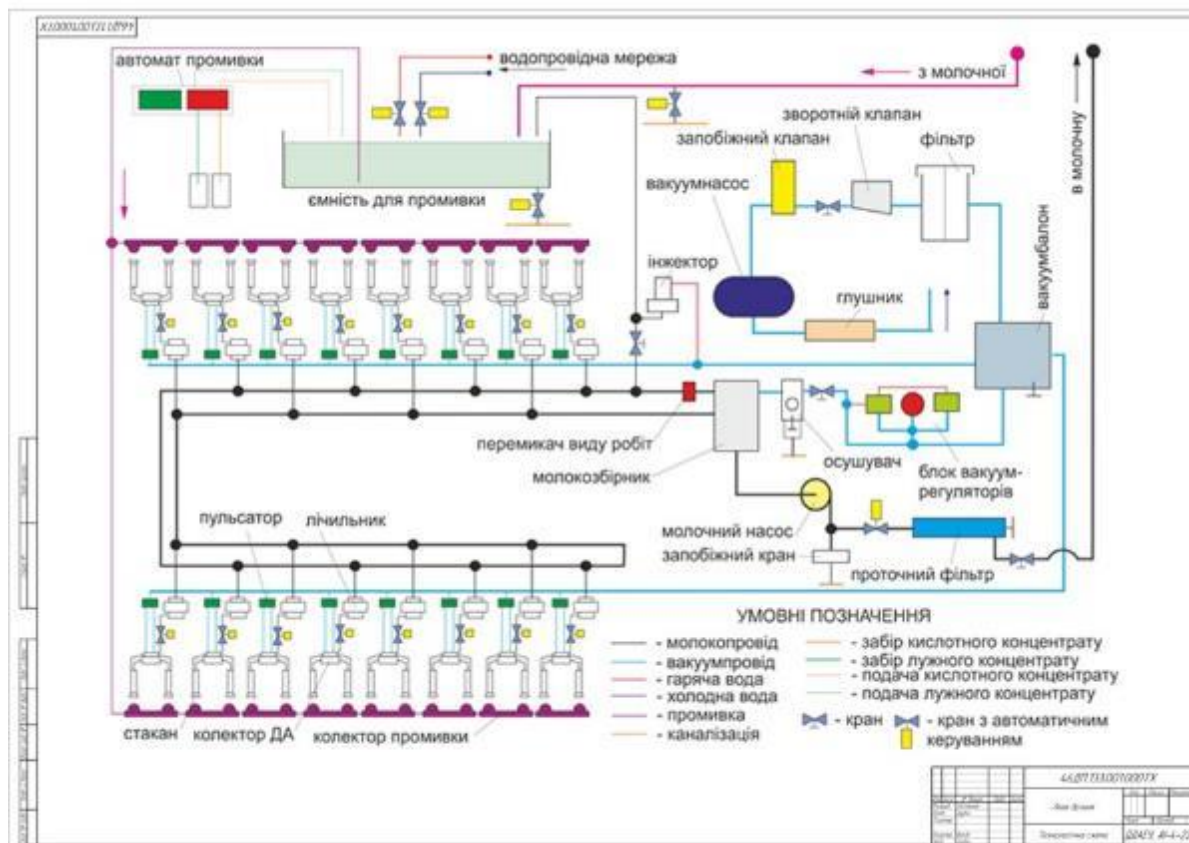
Розробка технологічного процесу доїння корів з удосконаленням вакуумного насоса

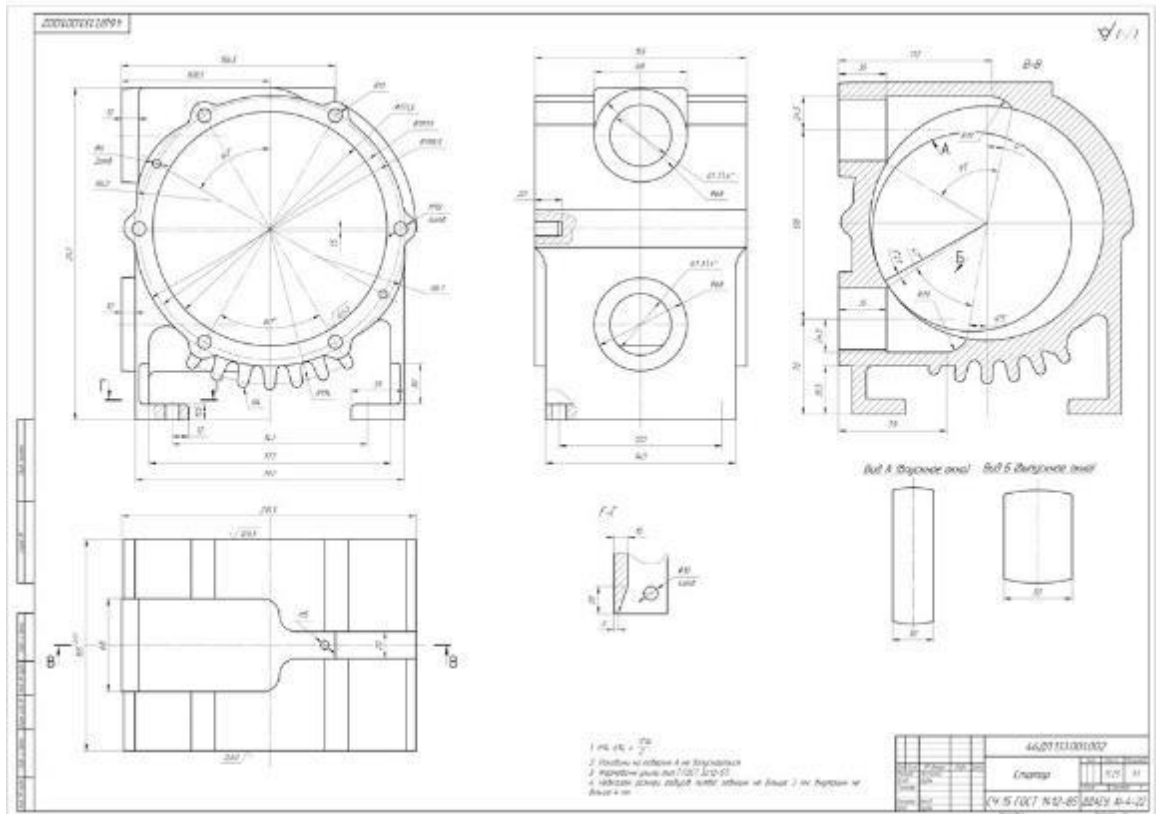
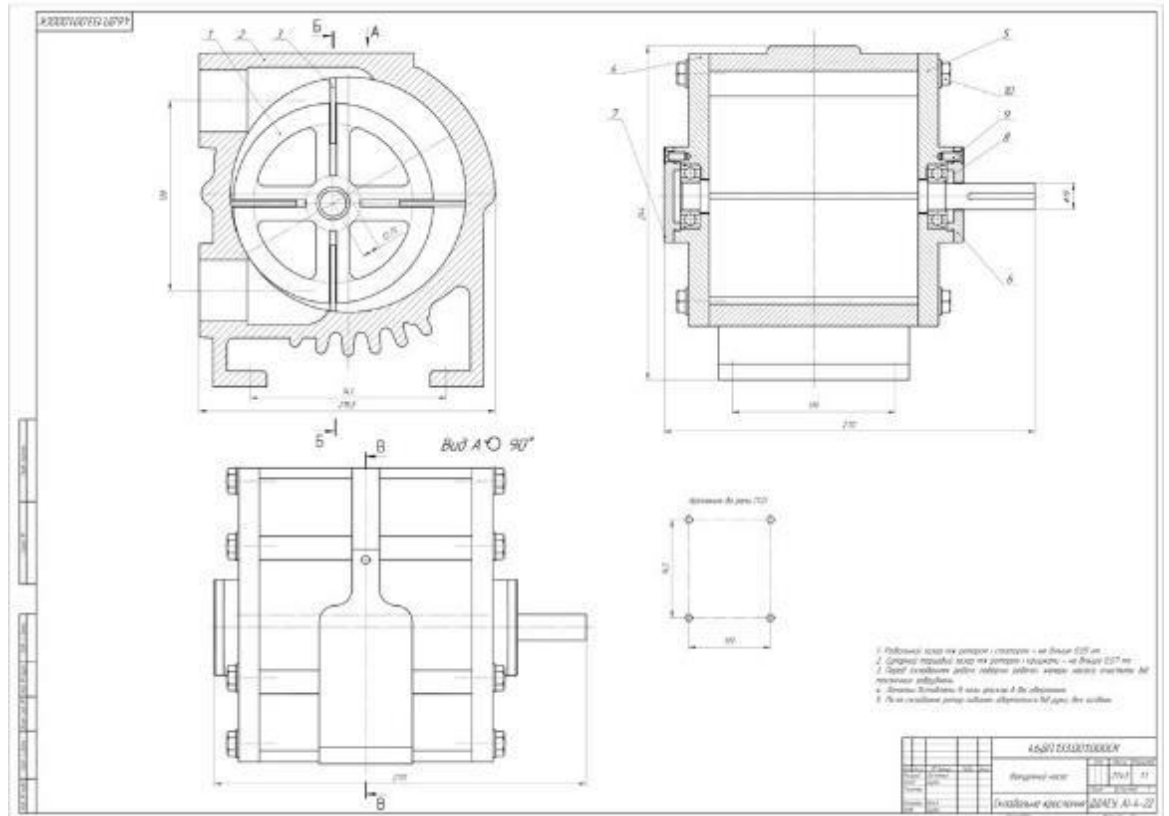
демонстраційний матеріал до дипломного проєкту рівня вищої освіти «Бакалавр»

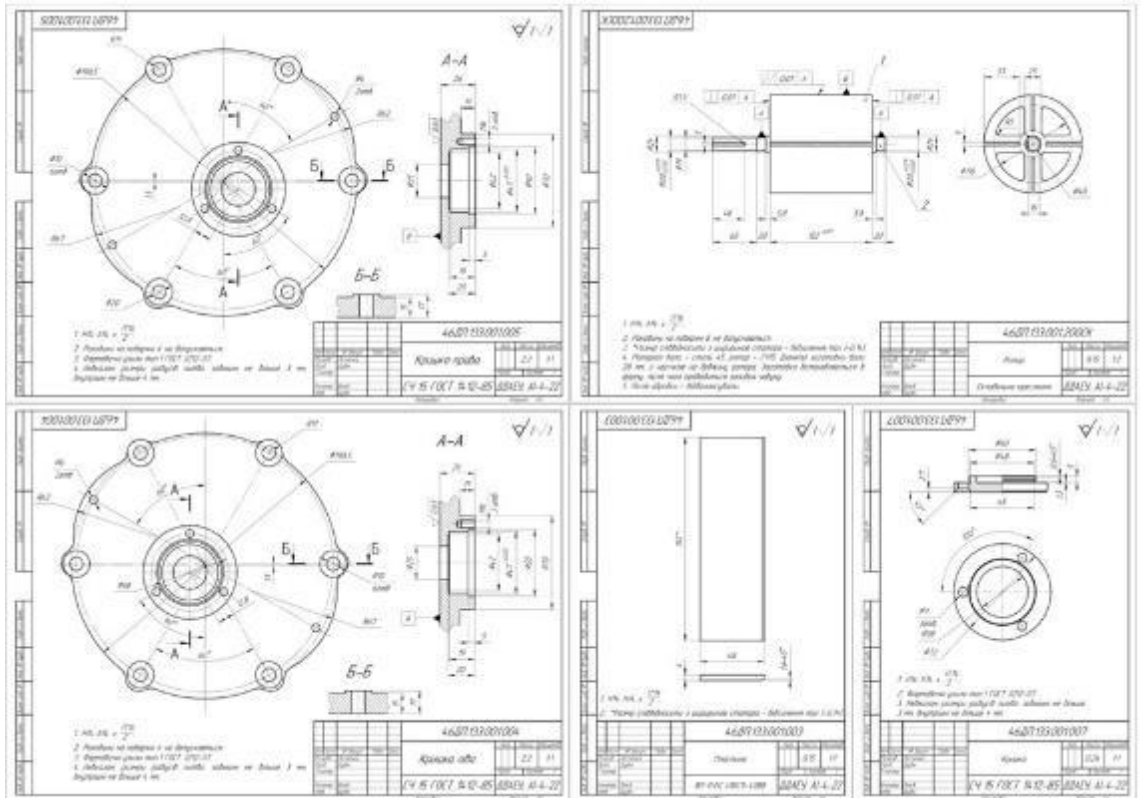
Виконав: студент 3 курсу, групи АІ-4-22
Лісіченко Максим Володимирович

Керівник: к.т.н., доцент
Дудін Володимир Юрійович

Дніпро-2026







Карта контролю показників безпеки вакуумного насоса

№ з/п	Показник безпеки	Контрольований параметр / допустиме значення	Періодичність контролю	Спосіб контролю / засіб виявлення	Відповіда-льний	Дії при відхиленні
1	Вакуум у системі	47-50 кПа; відхилення не більше ± 2 кПа	Перед пуском, далі щоднини	Вакуумметр	Оператор	Зупинити установку, перевірити регулятор, герметичність і роботу насоса
2	Герметичність вакуумпроводу та з'єднань	Підсмоктування повітря не допускається	Перед пуском, щодніми	Візуально, прослуховування, мильний розчин	Оператор	Підтягнути з'єднання, замінити ущільнювачі, усунути негерметичність
3	Температура корпусу насоса	Не більше 60 °С	Через 30 хв після пуску, далі щодніми	Контактний термометр або ін-термометр	Оператор, механік	Зупинити насос, перевірити пережаття шлангів, охолодження та стан клапанів
4	Температура підшипникових вузлів	Не більше 70 °С	Щодніми	Термометр	Механік	Перевірити підшипники, змащення, центрування вала
5	Рівень шуму на робочому місці	Не більше 80 дБА	Періодично, не рідше 1 разу на квартал	Шумомір	Служба охорони праці	Вжити заходів шумозниження, перевірити технічний стан, застосувати ЗЗ
6	Вібрація насоса	Без різких коливань, у межах паспортних даних	Щодніми; інструментально – планово	Візуально, віброметр	Механік	Перевірити кріплення, балансування ротора та муфту приводу
7	Стан електрообладнання та заземлення	Повшкодження кабелів не допускаються; заземлення справне	Перед пуском, планово	Візуально, омметр, мегаомметр	Електрик	Відключити від мережі, усунути несправності, повторний пуск після перевірки
8	Захисні огорожі та муфта приводу	Огорожі повинні бути встановлені; пошкодження не допускаються	Перед кожним пуском	Візуально	Оператор	Запуск заборонити до повного усунення несправності
9	Кріплення насоса до рами	Ослаблення болтів не допускається	Щодня	Візуально, контрольний ключ	Механік	Підтягнути кріплення, перевірити стійкість установки
10	Санітарний стан та відсутність витоків	Підтікання, забруднення і слизка підлога не допускаються	Щодніми	Візуально	Оператор	Очистити робочу зону, усунути витoki, привести обладнання в безпечний стан

		4689 63-000-00007	
		Expanded Title	Doc. No. 00000
			Doc. Date 00-00-00
		GARY A-4-22	

Порівняння річних експлуатаційних витрат

Стаття витрат	Базовий варіант, грн/рік	Удосконалений варіант, грн/рік	Економія, грн/рік
Витрати на електроенергію	19764	18792	972
Масильні матеріали та витратні матеріали	14600	3200	11400
Технічне обслуговування і поточний ремонт	12500	8500	4000
Заміна робочих пластин та ущільнень	9500	5200	4300
Втрати від короткочасних простоїв і додаткових наладок	4500	1800	2700
Разом річні експлуатаційні витрати	60864	37492	23372

Узагальнені результати економічної оцінки

№	Показник	Одиниця	Значення
1	Одноразові інвестиції в удосконалення	грн	18000
2	Річна економія експлуатаційних витрат	грн/рік	23372
3	Орієнтовний строк окупності	року	0,77
4	Орієнтовний строк окупності	міс.	9,2
5	Зниження річних експлуатаційних витрат	%	38,4

		460713300000007	
		Техническое описание	Ист. 1
		Оборудование	Ист. 2
			Итого 40 4 20

[illegible]