

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проєкту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Удосконалення технологічного процесу доїння на молочно-товарній
фермі з розробкою доїльного апарата**

Виконав: студент 4 курсу, групи АІ-3-22 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Юрченко Роман Анатолійович

Керівник: _____ Алієв Ельчин Бахтияр огли

Рецензент: _____ Носенко Євгеній Олегович

Дніпро – 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

прізвище, ініціали

«05» травня 2026 р

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Юрченку Роману Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Удосконалення технологічного процесу доїння на молочно-товарній фермі з розробкою доїльного апарата

керівник проєкту Алієв Ельчин Бахтияр огли, д.т.н., старший дослідник

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «5» травня 2026 року № 912

2. Строк подання студентом проєкту 12.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту Метою проєкту є аналіз конструкції та режимів роботи колектора доїльного апарата DeLaval DuoVac, а також обґрунтування його основних конструктивних параметрів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки 1 Сучасний стан виробництва молока. 2 Технологічний розрахунок. 3 Проектування доїльного апарата Delaval Duovac. 4 Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5 Економічне обґрунтування та порівняльний аналіз доїльних апаратів подвійного вакууму. Бібліографія. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу

1. План, розріз корівника (A1). 2. Duovac DeLavel (A1). 3. Блок Duovac DeLavel (A3). 4. Колектор (A3). 5. Підвісна частина (A4). 6. Основа блоку (A4). 7. Мембрана колектора 8. Економічні показники (A1).

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Алієв Е.Б., професор	05.05.2026	12.06.2026
нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент	12.06.2026	

7. Дата видачі завдання:

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 12.05.2026 р.	
2	Технологічний	до 19.05.2026 р.	
3	Конструкційний	до 26.05.2026 р.	
4	Охорона праці	до 02.06.2026 р.	
5	Економічний	до 09.06.2026 р.	
6	Графічна частина	до 12.06.2026 р.	

Студент

(підпис)

Юрченко Р.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту

(підпис)

Алієв Е.Б.

(прізвище та ініціали)

№ п/п	Формат	Позначення			Найменування	Кількість аркушів	Номер аркуша	Примітка
					<u>Текстові документи</u>			
1	A4	46ДП.159000.000.ПЗ			Пояснювальна записка	90		
					<u>Графічні матеріали</u>			
2	A1	46ДП.164000.000.ПР			План, розріз корівника	1		
3	A1	46ДП.164000.000.ВЗ			Diovac DeLavel	1		
4	A3	46ДП.164000.00			Блок Diovac DeLavel	1		
5	A3	46ДП.164000.00			Колектор	1		
6	A4	46ДП.164000.000			Підвісна частина	1		
7	A4	46ДП.164000.000			Основа блоку	1		
8	A4	46ДП.164000.000			Мембрана колектора	1		
9	A3	46ДП.164000.000.ПЕ			Економічні покзники	1		
					46ДП.164000.000.			
Вм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розробив		Юрченко Р.А.			Удосконалення технологічного процесу доїння на молочно-товарній фермі з розробкою доїльного апарата		літе	аркуш
Перевірів		Алієв Е.Б.						арк
							4	90
Н. контр.		Івлєв В.В.					ДДАЕУ AI-3-22	
Затверд.		Дудін В. Ю.						

АНОТАЦІЯ

Юрченко Р.А. Удосконалення технологічного процесу доїння на молочно-товарній фермі з розробкою доїльного апарата / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

У роботі проведено комплексний аналіз сучасного стану молочного скотарства України, визначено тенденції виробництва молока, динаміку поголів'я корів та технологічні вимоги до процесу доїння. Розглянуто типи доїльних установок – від молокопроводів типу АДМ-8 до роботизованих систем AMS/VMS. Виконано технологічний розрахунок молочно-товарної ферми на 1038 голів ВРХ Червоної степової породи з валовим виробництвом молока 2000 т/рік. Розроблено структурну схему семиетапного технологічного процесу доїння, обрано доїльний зал «Тандем» 2×4 з апаратами DeLaval DuoVac, обґрунтовано засоби механізації та виробничі приміщення. Розроблено конструктивну схему та описано принцип роботи доїльного апарата DeLaval DuoVac з електронним пульсатором EP2090. Виконано теоретичне обґрунтування параметрів колектора: визначено циліндричну жорсткість мембрани ($\chi \approx 1,042 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}$), проведено розрахунок внутрішніх силових факторів і встановлено ресурс мембрани пульсатора 200–250 год. Розроблено комплекс заходів з охорони праці та захисту навколишнього середовища для молочно-товарної ферми з урахуванням специфіки роботи з доїльним обладнанням і тваринами. Виконано техніко-економічне порівняння DeLaval DuoVac та GEA IQ Cluster: сукупний річний ефект – 569 700 грн/рік, термін окупності – 1,7 місяця.

Ключові слова: молочне скотарство, доїння корів, DeLaval DuoVac, подвійний вакуум, пульсатор EP2090, колектор, мембрана, циліндрична жорсткість, доїльний зал «Тандем», молочно-товарна ферма, механізація тваринництва.

Зміст

ВСТУП.....	8
1 СУЧАСНИЙ СТАН ВИРОБНИЦТВА МОЛОКА	10
1.1 Виробництво молока в Україні.....	10
1.2 Поголів'я корів.....	13
1.3 Технологічний процес виробництва молока, вимоги.....	17
1.4 Типи доїльних установок	20
1.5 Висновки до розділу.....	22
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	24
2.1 Розрахунок поголів'я ферми	24
2.2 Вихідні дані та зоотехнічні вимоги	26
2.3 Розробка структурної схеми процесу доїння.....	27
2.4 Розрахунок продуктивності технологічної лінії	29
2.5 Вибір типу та кількості засобів механізації	31
2.6 Вибір типу та кількості виробничих приміщень	34
2.7 Конструкційно-технологічна схема лінії	36
2.8 Висновки до розділу.....	37
3 ПРОЕКТУВАННЯ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА DELAVAL DUOVAC.....	38
3.1 Загальна характеристика доїльного апарата DeLaval DuoVac.....	38
3.2 Конструктивна схема апарата DeLaval DuoVac	39
3.3 Принцип роботи апарата DeLaval DuoVac	44
3.4 Технічні характеристики апарата DeLaval DuoVac.....	46
3.5 Теоретичний аналіз режимів роботи доїльних стаканів колектора....	47
3.6 Теоретичний аналіз процесу виділення молока з дійки	49
3.7 Визначення циліндричної жорсткості мембрани колектора	51
3.8 Висновки до розділу.....	56
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	58
4.1 Загальні вимоги охорони праці на молочно-товарній фермі	58
4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	59

4.3 Організація безпечних умов праці оператора машинного доїння	62
4.4 Пожежна безпека	63
4.5 Захист навколишнього середовища	64
4.6 Висновки до розділу	66
5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДОЇЛЬНИХ АПАРАТІВ ПОДВІЙНОГО ВАКУМУ	68
5.1 Загальні підходи до економічної оцінки доїльного обладнання	68
5.2 Технічна характеристика апаратів-конкурентів	69
5.3 Порівняльна таблиця технічних та економічних показників	70
5.4 Економічний розрахунок ефективності застосування DeLaval DuoVac	72
5.5 Розрахунок терміну окупності та порівняння варіантів	74
5.6 Висновки до розділу	75
БІБЛІОГРАФІЯ	77
Додатки	84

ВСТУП

У сучасному молочному тваринництві важливе значення має забезпечення високої ефективності процесу машинного доїння, оскільки саме від технічного рівня доїльного обладнання значною мірою залежать продуктивність праці, якість отриманого молока, стан здоров'я тварин та економічна ефективність виробництва. Одним із головних елементів доїльної установки є доїльний апарат, який безпосередньо взаємодіє з вим'ям корови та забезпечує процес молоковиведення за рахунок дії змінного вакууму. Від правильності роботи його вузлів залежить стабільність вакуумного режиму, інтенсивність молоковіддачі та рівень травмування дійок.

Серед сучасних доїльних апаратів широкого поширення набули системи типу DuoVac, які поєднують ефективність доїння з більш фізіологічним впливом на вим'я тварини. Особливістю таких апаратів є використання попарного режиму роботи доїльних стаканів та автоматичне регулювання рівня вакууму залежно від інтенсивності потоку молока. Це дозволяє забезпечити більш рівномірне видоювання часток вимені, знизити навантаження на тканини дійки та покращити умови функціонування молочної залози. Одним із ключових вузлів даної системи є колектор, який виконує функцію об'єднання потоків молока від чотирьох доїльних стаканів, а також забезпечує стабільний розподіл вакуумметричного тиску в процесі роботи.

Ефективність роботи колектора значною мірою визначається його конструктивними параметрами, характеристиками мембрани пульсатора, режимами пульсації та параметрами вакуумної системи. Недостатня жорсткість мембрани або нестабільність вакууму можуть призводити до порушення режиму роботи доїльного апарата, збільшення коливань тиску, нерівномірного молоковиведення та передчасного зношування елементів системи. Саме тому важливим завданням є проведення теоретичного

аналізу процесів, що відбуваються у колекторі доїльного апарата, та обґрунтування його основних параметрів.

У даному підрозділі проведено теоретичний аналіз режимів роботи доїльних стаканів колектора доїльного апарата DuoVac, досліджено процес виділення молока з дійкового каналу та вплив вакуумного режиму на швидкість молоковіддачі. Розглянуто математичні залежності, що описують рух молока в дійці та визначають витрату молока під час такту ссання. Окрему увагу приділено визначенню циліндричної жорсткості мембрани пульсатора, аналізу її напружено-деформованого стану та оцінці міцності при робочих навантаженнях.

Теоретичне обґрунтування параметрів колектора та мембрани має важливе практичне значення, оскільки дозволяє підвищити надійність роботи доїльного обладнання, забезпечити стабільний режим доїння та продовжити ресурс експлуатації елементів пульсатора. Отримані результати можуть бути використані при модернізації існуючих доїльних апаратів, удосконаленні конструкції колекторів та виборі оптимальних режимів роботи вакуумної системи в умовах сучасних молочних ферм.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ВИРОБНИЦТВА МОЛОКА

1.1 Виробництво молока в Україні

Молочне скотарство є однією з ключових галузей аграрного сектору України, що відіграє важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки країни та задоволенні потреб населення у повноцінних харчових продуктах. Молоко та молочні продукти залишаються невід'ємною складовою раціону харчування українців, а тому стан і динаміка розвитку цієї галузі мають пряме соціально-економічне значення [1].

Впродовж останніх трьох десятиліть молочна галузь України пережила суттєву трансформацію. Якщо у 1990 році загальний обсяг виробництва молока в країні становив близько 24,5 млн тонн, то на початку 2020-х років цей показник скоротився майже втричі. Основними причинами такого скорочення стали розпад колективних господарств у постсоціалістичний період, зниження поголів'я великої рогатої худоби, недостатній рівень технічного переоснащення ферм та несприятлива цінова кон'юнктура [2].

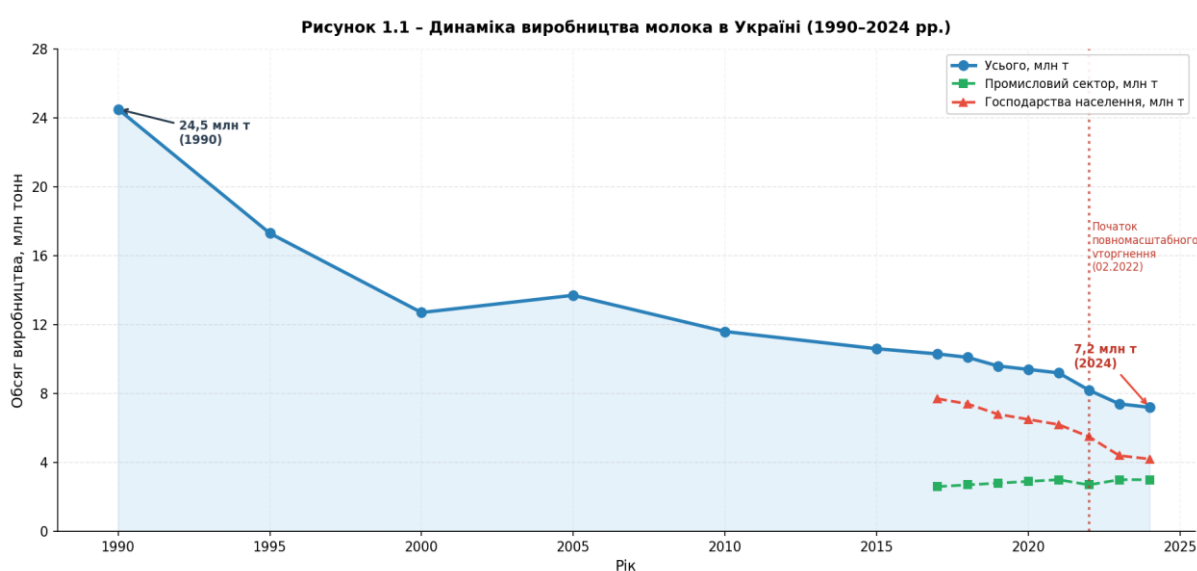


Рисунок 1.1 – Динаміка виробництва молока в Україні (1990–2024 рр.)

Попри загальну низхідну тенденцію, у 2020-х роках галузь демонструє окремі ознаки стабілізації та часткового відновлення – насамперед у промисловому секторі. За даними Державної служби статистики України, у 2023 році господарства всіх категорій виробили близько 7,4 млн тонн молока-сировини. При цьому частка сільськогосподарських підприємств у загальному обсязі виробництва становила 38%, тоді як господарства населення забезпечували решту 62% [3].

У 2024 році загальний обсяг виробництва молока в Україні залишився на рівні 7,2 млн тонн, з яких коров'яче молоко становило 7,1 млн тонн. Промисловий сегмент виробив 3 млн тонн молочної сировини, фермерські господарства – близько 306,7 тис. тонн, а господарства населення – 4,2 млн тонн. Середній річний удій від однієї корови у промислових господарствах у 2024 році досяг 5,7 тонни, що свідчить про поступове зростання продуктивності поголів'я [4].

Особливістю сучасного українського ринку молока є чіткий поділ між двома основними виробничими секторами. Промислові молочно-товарні ферми орієнтовані на виробництво сировини для переробної промисловості та нарощування обсягів експорту. Господарства населення, навпаки, поступово скорочують виробництво – здебільшого внаслідок демографічних змін у сільській місцевості та зниження економічної привабливості дрібного тваринництва. Таким чином, 88-90% молока, що надходить на переробні підприємства, забезпечується саме промисловими господарствами [3, 5].

Серед регіонів-лідерів молочного виробництва виділяються Хмельницька, Полтавська, Вінницька, Черкаська, Чернігівська, Житомирська та Тернопільська області. Сукупно ці сім регіонів формують понад 52% загального обсягу молочного виробництва країни.

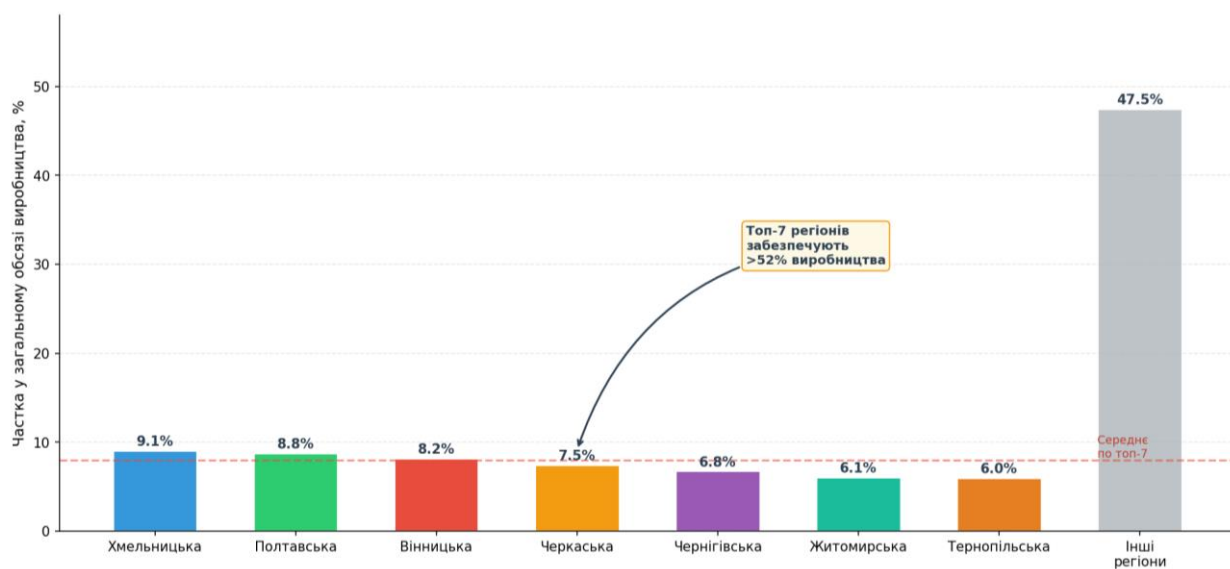


Рисунок 1.2 – Регіональна структура виробництва молока в Україні
(топ-7 регіонів, 2024 р.)

Якість молока-сировини в Україні також має позитивну динаміку. У 2024 році частка молока екстра-гатунку серед сировини, що надходила на переробку, сягнула 55%, а молоко вищого гатунку становило 25,3%. Це відповідає вектору на гармонізацію з вимогами Європейського Союзу: згідно з Наказом Мінагрополітики №118 від 2019 року, після завершення воєнного стану молокопереробні підприємства мають перейти на використання виключно сировини екстра-гатунку [2, 4].

Повномасштабне воєнне вторгнення російської федерації, що розпочалося у лютому 2022 року, справило значний негативний вплив на молочну галузь. Руйнування інфраструктури, постійні перебої в електропостачанні, логістичні ускладнення та вимушене переміщення населення призвели до скорочення поголів'я та зниження надоїв, особливо в прифронтових регіонах. Водночас промисловий сектор виявив вищу стійкість до цих викликів порівняно з господарствами населення [6].

Незважаючи на воєнні виклики, Україна зберегла статус нетто-експортера молочної продукції. У 2024 році обсяг експорту молочних продуктів становив 118,02 тис. тонн на суму 296,81 млн доларів США, що на 16% перевищило показники 2023 року та на 20% – рівень довоєнного

2021 року. У 2024 році Україна посіла 12-те місце у світі серед експортерів вершкового масла, 15-те – сухого молока та вершків і 17-те – сиру [7, 8].

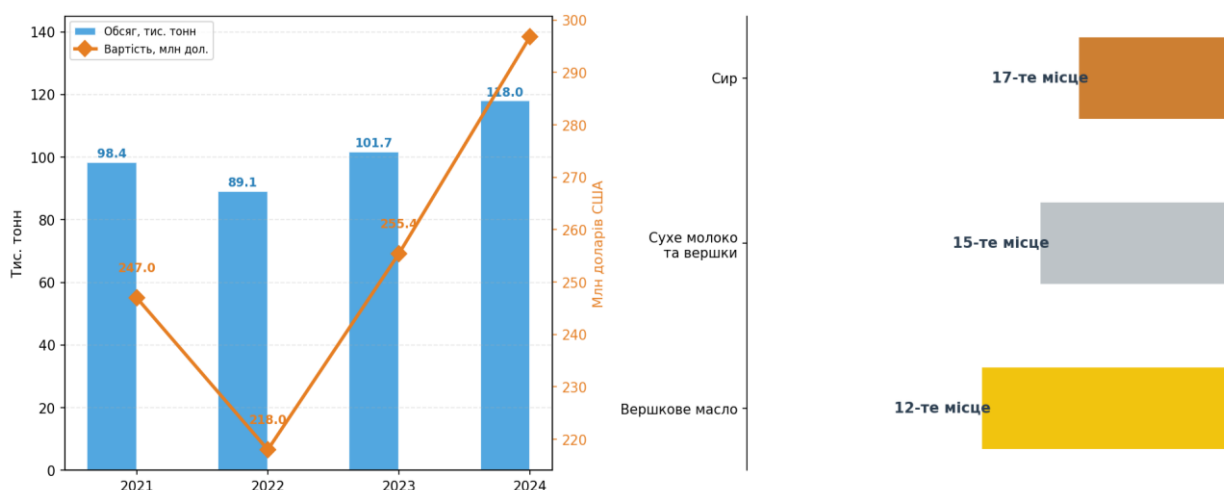


Рисунок 1.3 – Динаміка експорту молочної продукції України та місце у світовому рейтингу (2021–2024 рр.)

Споживання молочної продукції всередині країни також демонструє позитивну динаміку. У 2024 році середній рівень споживання молочних продуктів на одну особу зріс до 209,3 кг, що на 4% більше, ніж у 2023 році. Перспективи розвитку галузі пов'язані з подальшою модернізацією виробничих потужностей, підвищенням продуктивності поголів'я та нарощуванням експорту. Очікується, що у 2025 році обсяг молока, що надходить на переробні підприємства, досягне довоєнного рівня 2021 року – близько 3,5 млн тонн [7, 9].

1.2 Поголів'я корів

Чисельність поголів'я корів є одним із ключових індикаторів стану молочного скотарства, оскільки саме від кількості та продуктивності дійних корів безпосередньо залежить обсяг виробництва молока-сировини. Для ефективного виробництва молока одним із головних чинників є формування високопродуктивного стада, оскільки молочне стадо є

головним засобом у виробництві молочної сировини й від його продуктивності залежать результати виробництва господарюючих суб'єктів [1].

Довгострокова тенденція скорочення поголів'я. Впродовж трьох останніх десятиліть поголів'я корів в Україні зазнало суттєвого та безперервного скорочення. Якщо у 1990 році загальна кількість великої рогатої худоби (ВРХ) в країні перевищувала 25 млн голів, то на початку 2020-х років цей показник впав до менш ніж 3 млн голів. Головними чинниками цього процесу були реструктуризація сільськогосподарського виробництва в пострадянський період, розпад колективних господарств, низька рентабельність молочного тваринництва та відтік кваліфікованих кадрів із сільської місцевості [10].

Аналітики ринку наголошують, що причиною скорочення стало не лише воєнне вторгнення РФ, а й відсутність модернізації молочної галузі. Понад 70% тваринницьких комплексів, збудованих у 1970–1980-х роках, давно не відповідають сучасним стандартам утримання тварин. Хронічна недоінвестованість галузі призвела до того, що навіть без впливу зовнішніх потрясінь скорочення поголів'я тривало б у будь-якому разі [11].

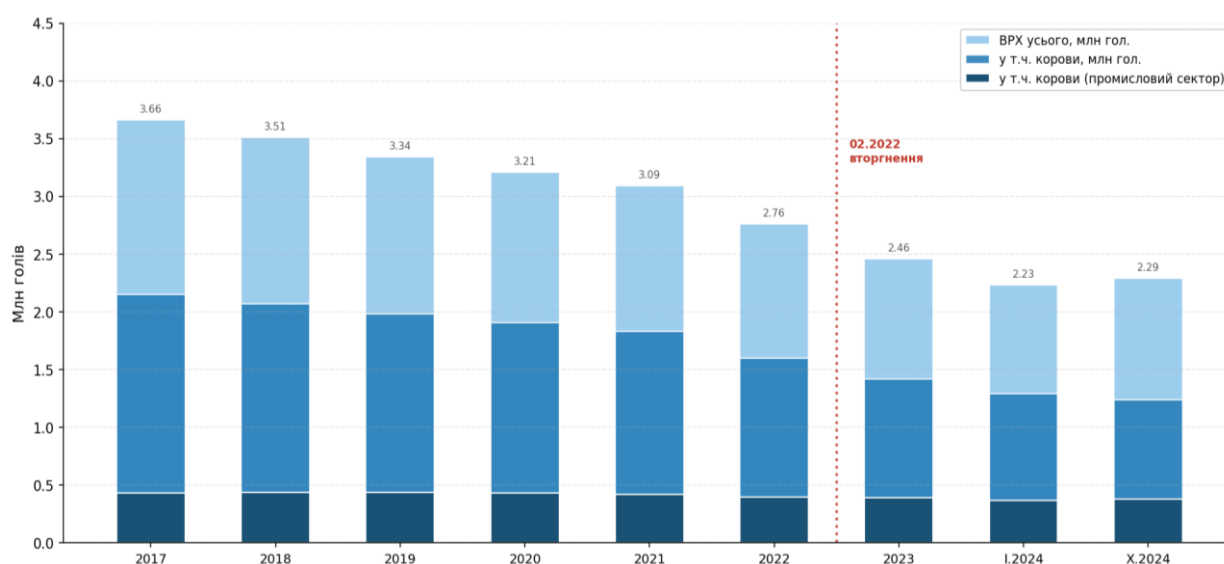


Рисунок 1.4 – Динаміка поголів'я ВРХ та корів в Україні (2017–2024 рр.)

Вплив повномасштабного вторгнення на поголів'я. Початок повномасштабного збройного вторгнення Російської Федерації у лютому 2022 року різко прискорив процес скорочення поголів'я корів в Україні. За приблизними підрахунками на 1 березня 2023 року загальне поголів'я ВРХ в Україні скоротилося щонайменше на 376,8 тис. голів через наслідки війни. Найбільш суттєво поголів'я скоротилося в Запорізькій, Харківській, Сумській, Миколаївській і Луганській областях. Зокрема, в Запорізькій області поголів'я ВРХ скоротилося з 53,5 до 6,7 тис. голів [12].

Типовою ситуацією для прифронтових регіонів є загибель певної кількості ВРХ внаслідок обстрілів. Достатньо фермерів залишили корів на окупованих територіях – ці тварини не підлягають обліку або були конфісковані та продані на м'ясо. Під час війни погіршився стан годівлі, що негативно впливає на здоров'я тварин і призводить до зниження репродуктивності. Багато полів, де фермери вирощували кормові культури або пасли худобу, забруднені мінами та снарядами [13].

Статистика поголів'я у 2023–2024 роках. Станом на 1 жовтня 2023 року в Україні утримувалося 2 млн 457,5 тис. голів ВРХ, у тому числі 1 млн 327 тис. корів. За останній рік поголів'я ВРХ скоротилося на 200,2 тис. голів (-8%), а кількість корів – на 95,4 тис. голів (-7%). Близько 38% тварин утримувалося на промислових підприємствах, а 62% – в господарствах населення [13].

Станом на 1 жовтня 2024 року в Україні утримувалося 2 млн 294,4 тис. голів ВРХ, у тому числі 1 млн 242,7 тис. корів. Порівняно до 1 жовтня 2023 року поголів'я ВРХ скоротилось на 170,2 тис. голів (-7%). В промисловому секторі поголів'я корів склало 375,9 тис. голів, що свідчить про відносну стабілізацію промислового сегменту [15].

Регіональна концентрація та породний склад стада. Поголів'я корів в Україні відрізняється значною регіональною нерівномірністю. Понад половина (52,6%) поголів'я ВРХ України сконцентрована в Хмельницькій, Вінницькій, Полтавській, Тернопільській, Одеській,

Чернігівській, Черкаській і Житомирській областях. Основними породами молочного напрямку продуктивності в Україні є українська чорно-ряба молочна, червона степова, українська червоно-ряба молочна та голштинська [16].

Продуктивність та перспективи відновлення поголів'я.

Показники продуктивності корів у промисловому секторі динамічно зростають: якщо у 2023 році Держстат фіксував середній удій від однієї корови на рівні 7,57 тонни, то у 2024 році він збільшився до 8,17 тонни, а за прогнозами 2025 року очікується досягнення рівня 8,4 тонни. Таке зростання є прямим наслідком поліпшення породного складу стада та впровадження сучасних систем доїння [17].

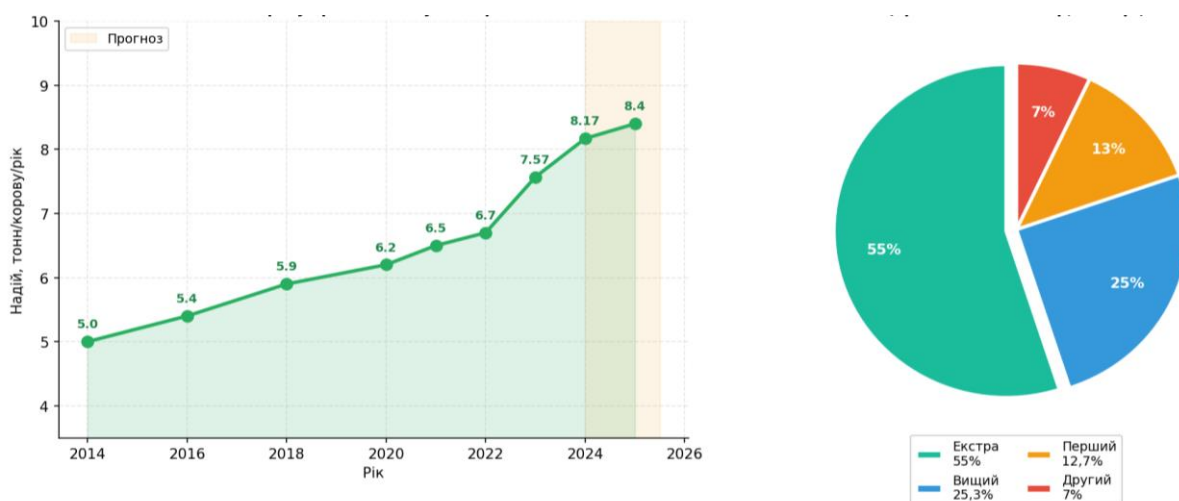


Рисунок 1.5 – Зростання продуктивності корів у промисловому секторі та структура якості молока-сировини (2024 р.)

Водночас молочний сектор України входить у складну фазу: за оцінками галузевих експертів, близько 20% молочних ферм розглядають можливість скорочення поголів'я через критичну втрату рентабельності. Без цільової програми державної підтримки молочного тваринництва, інвестицій у модернізацію ферм та гарантій для сільгоспвиробників скорочення поголів'я ВРХ в Україні лише прискорюватиметься [11, 18].

1.3 Технологічний процес виробництва молока, вимоги

Технологічний процес виробництва молока на молочно-товарній фермі є комплексом взаємопов'язаних і послідовних виробничих операцій, спрямованих на отримання молока-сировини належної якості та безпечності. Від рівня організації цього процесу, дотримання зоотехнічних, ветеринарно-санітарних і технологічних вимог безпосередньо залежить не лише продуктивність корів, а й придатність отриманого продукту для подальшої переробки і реалізації. У сучасних умовах конкурентного ринку та орієнтації на євроінтеграцію технологічна дисципліна набуває особливого стратегічного значення для всієї молочної галузі [1].

Спосіб утримання корів як основа технологічного процесу. Вибір способу утримання корів є визначальним чинником, що формує всю технологічну схему ферми, впливає на організацію доїння, годівлі, видалення гною та відтворення стада. В Україні використовуються два основні способи утримання молочної худоби – прив'язний і безприв'язний, кожен з яких має свої переваги та обмеження.

Прив'язний спосіб утримання передбачає розміщення корів у стійлах із закріпленням їх на ланцюгах або ланцюгових прив'язях. При такому утриманні створюються можливості для індивідуальної годівлі і доїння тварин, що сприяє підвищенню їх продуктивності. В стійловий період корів необхідно щодня виганяти на прогулянку на 2–4 год. Проте прив'язний спосіб є трудомістким і вимагає значних затрат ручної праці на прибирання, роздавання кормів і доїння [19].

Безприв'язний спосіб утримання є більш прогресивним і дає можливість механізувати та автоматизувати більшість виробничих процесів. Корів утримують у просторих секціях, де вони можуть вільно пересуватися. Доїння здійснюється у спеціально обладнаних доїльних залах. Цей метод забезпечує вищий рівень механізації та зменшує трудові

витрати, однак вимагає чіткої зоотехнічної організації формування груп тварин [19].

Інтенсифікація молочного скотарства висуває все більші вимоги до тварин. Вони мають бути пристосовані до споживання великої кількості об'ємних і соковитих кормів, мати високу продуктивність починаючи з першої лактації (4000–5000 кг), мати міцну конституцію, живу масу при першому отеленні на рівні 450–500 кг, бути придатними до умов машинного доїння та мати стійкість до захворювань [20].

Годівля корів як визначальний чинник продуктивності. Годівля є одним із найважливіших елементів технологічного процесу виробництва молока, що безпосередньо визначає рівень надоїв та якісний склад молока-сировини. Технологічний процес механізованого роздавання кормів є одним із найбільш відповідальних у виробництві продукції тваринництва. Від його стабільності і регулярності залежить ефективність і ритмічність процесу перетворення кормів у продукцію тваринництва. Трудомісткість роздавання кормів становить 30–40% загальної трудомісткості виробництва [21].

Для досягнення високої молочної продуктивності раціони годівлі дійних корів мають бути повноцінними, збалансованими за вмістом сухої речовини, обмінної енергії, протеїну, клітковини, мінеральних речовин і вітамінів. Відхилення від заданої норми видачі для стеблових кормів не повинно перевищувати $\pm 15\%$, концентрованих кормів – $\pm 5\%$, а втрати при роздаванні мають бути не більше 1% [21].

Підготовка тварин і приміщень до доїння. Санітарно-гігієнічний стан корів і приміщень безпосередньо впливає на бактеріальне обсіменіння молока. Шкіра й волосяний покрив тварин забруднюються гноєм та підстилкою, в яких міститься багато мікрофлори, особливо кишкової палички і маслянокислих бактерій. У 1 г бруду, що знаходиться на поверхні шкіри тварин, міститься до 20 млн бактерій. Тому за годину до

доїння або після нього корів треба чистити, а забруднені ділянки мити теплою водою з милом [23].

При обмиванні вим'я чистою теплою водою та обтиранні чистим сухим рушником перед доїнням зменшується кількість бактерій у молоці, поліпшується молоковіддача. Перші цівки молока треба здоювати в окремий посуд, оскільки мікроорганізми накопичуються здебільшого в отворах діжок [23].

Технологія машинного доїння та первинна обробка молока. Машинне доїння є центральним технологічним процесом молочної ферми. Доять корів у строго визначений час, передбачений розпорядком дня. Кратність доїння на більшості промислових ферм становить двічі на добу, хоча на високопродуктивних стадах практикується триразове доїння. На молочній фермі доцільно використовувати однотипні доїльні установки як для основного стада, так і для родильних приміщень – це дозволяє знизити втрати молока при переведенні корів між технологічними групами [24].

Первинна обробка молока є невід'ємним і обов'язковим етапом технологічного процесу. Вона передбачає очищення молока від механічних домішок (фільтрування) та охолодження. Неохолоджене молоко швидко втрачає свої бактерицидні властивості і через 2–3 год починає скисати, тому відразу після доїння його охолоджують. Первинну обробку проводять у спеціальних молочних цехах [26].

Вимоги до якості та безпечності молока-сировини. Вимоги до якості молока-сировини в Україні регламентуються ДСТУ 2662:2018 «Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови» та Наказом Мінагрополітики №118 від 12.03.2019. Відповідно до чинних вимог, кількість соматичних клітин у молоці має не перевищувати 400 000 тис./мл, точка замерзання – не вище мінус 0,52°C, щільність незбираного молока – не менше 1028 г/л за 20°C. В країнах-членах ЄС кількість мікроорганізмів сирого молока становить від 20 до 50 тис. в 1 мл, а

кількість соматичних клітин не перевищує 200 тис./мл – Україна цілеспрямовано наближається до цих стандартів [27, 28].

1.4 Типи доїльних установок

Доїльні установки є центральною ланкою технологічного оснащення молочно-товарної ферми, що безпосередньо визначає продуктивність праці, якість молока-сировини, рівень механізації виробництва та загальну економічну ефективність підприємства. Вибір типу доїльної установки залежить від чисельності та способу утримання поголів'я, рівня інвестиційних можливостей господарства та наявних виробничих площ [30].

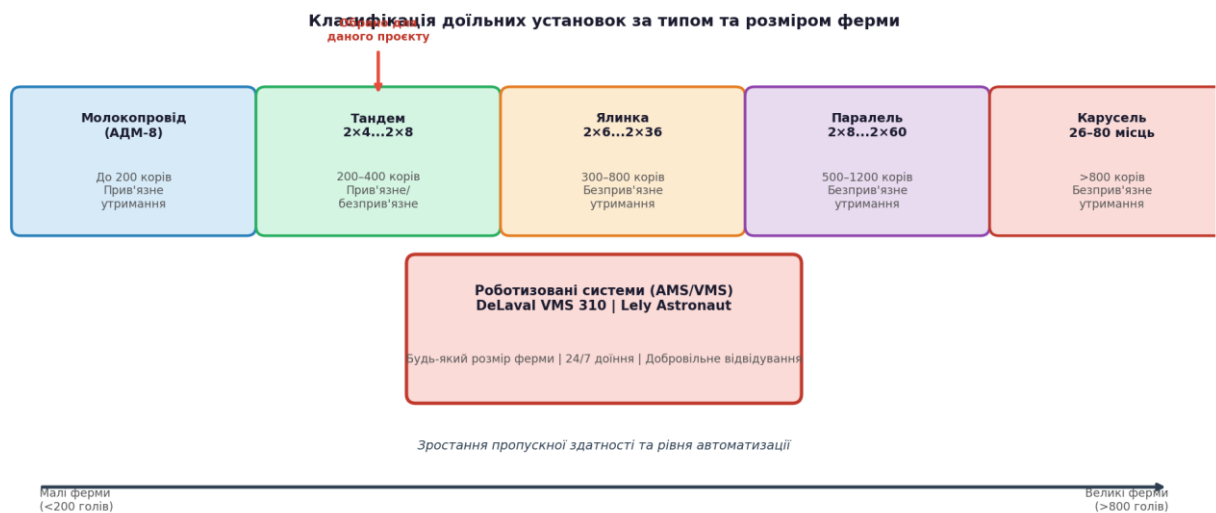


Рисунок 1.6 – Класифікація доїльних установок за типом та рекомендованим поголів'ям

Рисунок 1.6 – Класифікація доїльних установок за типом та рекомендованим поголів'ям

Загальна класифікація доїльних установок. Відповідно до технологічних рішень, доїльні установки класифікують за кількома основними ознаками. Доїння в переносні відра є найпростішим варіантом, але потребує найбільших затрат праці. Доїння у стійлах у молокопровід

створює умови для поліпшення якості молока і підвищення продуктивності праці. Доїння у спеціалізованих доїльних залах і на доїльних майданчиках найчастіше застосовують за безприв'язного утримання корів [31].

Доїльні установки з молокопроводом (АДМ-8). На фермах із прив'язним утриманням корів традиційно застосовуються доїльні установки типу АДМ-8. Вони складаються з вакуумпроводу та скляного молокопроводу із стаціонарними підйомниками, що встановлені над стійлами. Молоко з доїльного апарата потрапляє безпосередньо в молокопровід і транспортується до молочного цеху без контакту з навколишнім середовищем, що суттєво поліпшує санітарні показники [32].

Доїльний зал типу «Тандем». Доїльний зал «Тандем» – один із перших і найбільш традиційних типів доїльних залів. У ньому корови розташовуються паралельно краю доїльної ями, кожна в окремому боксі. Головна перевага – оператор може завершити доїння однієї корови і випустити її, не чекаючи завершення доїння всіх інших. Тандем рекомендується для ферм із поголів'ям 200–400 дійних корів та є оптимальним для ферм прив'язного утримання [33].

Доїльні зали «Ялинка» та «Паралель». Доїльний зал «Ялинка» є одним із найпоширеніших типів у сучасному молочному скотарстві України. Тварини розташовані під певним кутом до краю доїльної ями, що зменшує потрібну площу та забезпечує зручний доступ до вимені. Роботизоване робоче місце дояра забезпечує мінімальні витрати часу при обслуговуванні корів. Доїльний зал «Паралель» із мінімальним фронтом доїння 70 см є оптимальним для ферм із поголів'ям від 500 до 1200 голів [33, 35].

Доїльний зал типу «Карусель». Доїльний зал «Карусель» (ротаційний) є найбільш продуктивним типом доїльного залу серед стаціонарних конструкцій і використовується на великих та надвеликих фермах. Обертові платформи доступні в трьох моделях з розмірами від 26

до 80 доїльних місць. Пропускна здатність може сягати кількох сотень корів на годину [36].

Роботизовані доїльні системи (AMS / VMS). Найбільш прогресивним напрямом сучасного доїльного обладнання є роботизовані системи автоматичного доїння (AMS/VMS). Технологія бере свій початок у 1992 році. Тварини не заганняються в доїльний зал у певний час, а заходять туди самі. Коротші інтервали між доїннями є важливою перевагою: корів можна доїти частіше, альвеоли спорожняються раніше і виробляється більше нового молока. За 10 років роботизованого доїння в Україні компанією DeLaval встановлено 44 роботи-дояри [39].

Роботизоване доїння є однією із складових концепції «інтелектуальна ферма» (smart farm). Ця концепція спрямована на перехід від звичного управління доїнням до управління загальною рентабельністю молочної ферми шляхом використання нових інструментів автоматизації для підвищення якості молока та конкурентоспроможності продукції [38].

Таким чином, сучасний ринок доїльного обладнання пропонує широкий спектр технологічних рішень – від простих установок із молокопроводом до повністю автоматизованих роботизованих систем. В умовах курсу на євроінтеграцію вітчизняні молочно-товарні ферми мають усі підстави для переходу на більш прогресивні типи доїльного обладнання [30, 38].

1.5 Висновки до розділу

У першому розділі проведено комплексний аналіз сучасного стану молочного скотарства України та розглянуто основні типи доїльного обладнання, що застосовується на вітчизняних фермах.

1. Встановлено, що молочна галузь України перебуває в умовах складної трансформації: загальний обсяг виробництва молока скоротився з 24,5 млн тонн у 1990 році до 7,2 млн тонн у 2024 році. Водночас

промисловий сектор демонструє позитивні тенденції – у 2024 році підприємства виробили 3 млн тонн молока-сировини, а середній удій на корову досяг 8,17 т/рік. Експорт молочної продукції зріс до 118,02 тис. тонн на суму 296,81 млн доларів США, що на 16% перевищило показники 2023 року.

2. Аналіз динаміки поголів'я корів показав стійку тенденцію до скорочення: станом на жовтень 2024 року в Україні утримувалось 1 млн 242,7 тис. корів (-7% до 2023 р.). Скорочення відбувається переважно за рахунок господарств населення, тоді як поголів'я в промисловому секторі (375,9 тис. голів) залишається відносно стабільним. Основними причинами є хронічне недоінвестування галузі та вплив повномасштабного збройного вторгнення.

3. Розглянуто технологічний процес виробництва молока, включаючи способи утримання корів (прив'язний та безприв'язний), вимоги до годівлі, підготовки тварин до доїння, первинної обробки молока та санітарно-гігієнічні норми. Встановлено, що якість молока регулюється ДСТУ 2662:2018 та Наказом Мінагрополітики №118, де вміст соматичних клітин не повинен перевищувати 400 000 тис./мл.

4. Проаналізовано основні типи доїльних установок: молокопровід (АДМ-8) для малих ферм, доїльні зали «Тандем», «Ялинка», «Паралель» та «Карусель» – для середніх і великих підприємств, а також роботизовані системи AMS/VMS як найбільш технологічно прогресивний напрям. Встановлено, що для ферми з поголів'ям 340 дійних корів прив'язного утримання оптимальним є доїльний зал типу «Тандем» 2×4 з апаратами подвійного вакууму DeLaval DuoVac.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

2.1 Розрахунок поголів'я ферми

Молочно-товарна ферма є складним агровиробничим комплексом, ефективне функціонування якого залежить від правильного визначення поголів'я та структури стада. Поголів'я тварин є базовим параметром для всіх подальших технологічних розрахунків – від вибору доїльного обладнання до проектування виробничих приміщень. Розрахунок структури стада виконується виходячи з планового обсягу виробництва молока, прийнятого рівня продуктивності корів та нормативних коефіцієнтів, встановлених для молочного напрямку скотарства [1, 2].

Для господарства з Червоною степовою породою корів та плановим виробництвом молока 2000 т/рік вихідні показники такі: середній річний надій – 4000 кг/гол., жирність молока – 3,8%. Кількість тварин i -ої групи визначається за формулою (2.1):

$$N_i = (Q_{\text{вал}} \times k_i) / Y \quad (2.1)$$

де N_i – поголів'я тварин i -ої групи; $Q_{\text{вал}} = 2000$ т – валове виробництво молока; k_i – розрахунковий коефіцієнт для i -ої групи; $Y = 4000$ кг – річний надій на корову.

Оскільки жирність молока Червоної степової породи (3,8%) відрізняється від базисної (4,0%), перераховуємо валовий обсяг на базисну жирність:

$$Q_{\text{баз}} = 2000 \times (3,8 / 4,0) = 1900 \text{ т}$$

Для дійних корів приймається коефіцієнт $k_i = 0,68$, що відповідає нормативу для молочного напрямку виробництва:

$$N_{\text{дійні}} = (2000 \times 1000 \times 0,68) / 4000 = 340 \text{ голів}$$

Для сухостійних корів ($k_i = 0,216$, тривалість сухостою 60 діб від загального циклу 280 діб):

$$N_{\text{сухост.}} = (2000 \times 1000 \times 0,216) / 4000 = 107 \text{ голів}$$

Аналогічно розраховується поголів'я за кожною іншою групою. Зведені результати наведено у таблиці 2.1 та на рисунку 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок кількості скотомісць на фермі

№	Група тварин	Кількість, гол.	Частка, %
1	Дійні корови	340	37,0
2	Сухостійні корови	107	11,6
3	Телиці (старші 12 міс.)	75	8,2
4	Нетелі	85	9,2
5	Телята 0–2 місяці	25	2,7
6	Телята 2–6 місяців	43	4,7
7	Зверхремонтний молод- няк 0–2 міс.	67	7,3
8	Зверхремонтний молод- няк 2–12 міс.	296	32,3
Разом		1038	100

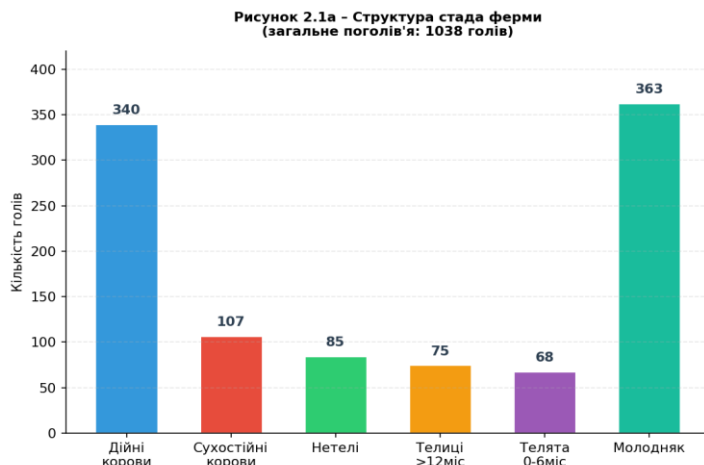


Рисунок 2.1б - Структура стада (частки)

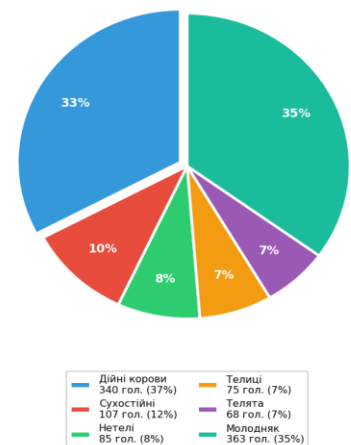


Рисунок 2.1 – Структура стада молочно-товарної ферми на 1038 голів ВРХ

Загальна чисельність поголів'я ферми – 1038 голів. Частка дійних корів від загального поголів'я складає 37%, що є оптимальним показником для молочних ферм прив'язного утримання. Наявність 107 сухостійних корів та значна кількість ремонтного молодняку (понад 40% від загального стада) гарантують стабільне відтворення поголів'я та безперервне

вдосконалення генетичного потенціалу стада Червоної степової породи [2, 3].

2.2 Вихідні дані та зоотехнічні вимоги

Вихідні дані є основою для проєктування технологічної лінії доїння. Вони охоплюють виробничі показники господарства, породні особливості тварин, параметри системи утримання та нормативні вимоги до процесу доїння. Від точності та повноти вихідних даних залежить правильність вибору обладнання та організація всього технологічного процесу.

Таблиця 2.2 – Основні вихідні дані для проєктування лінії доїння

Показник	Значення	Одиниця
Поголів'я дійних корів (N)	340	голів
Річний надій на корову (Y)	4000	кг
Валове виробництво молока (Qвал)	2000	т/рік
Жирність молока (Жф)	3,8	%
Кратність доїння (m)	2	рази/добу
Тривалість лактації (D)	305	діб
Коефіцієнт нерівномірності (с)	1,3	—
Тривалість зміни (Тзміни)	3	год
Вакуум робочий	45–50	кПа
Частота пульсації	60–65	імп/хв

Зоотехнічні вимоги до процесу доїння розроблені з урахуванням фізіологічних особливостей Червоної степової породи та вимог чинного стандарту ДСТУ 2662:2018. Основні вимоги включають:

1. Повне та рівномірне видоювання. Середній час доїння однієї корови – 5–7 хвилин. Обладнання повинно забезпечувати повне спорожнення всіх чвертей вимені без ризику передоювання. Автоматичне зняття доїльного апарата – при падінні потоку молока нижче 0,2 кг/хв.

2. Гігієнічність та безпека продукту. Усі контактуючі з молоком поверхні – молокопровід, шланги, колектор – виготовлені з харчової

нержавіючої сталі або харчового пластику. Автоматичне промивання СІР-системою після кожного циклу доїння є обов'язковим.

3. Дотримання параметрів вакуумної системи. Відхилення рівня вакууму від номінального не повинно перевищувати ± 2 кПа, що забезпечує стабільний процес доїння та запобігає травмуванню тканин сосків.

4. Організація потоків тварин без стресу. Ширина проходів для подачі корів – не менше 1,2 м. Підлогове покриття в проходах – рифлена антиковзка поверхня. Освітленість доїльного залу – не менше 300 люкс.

5. Санітарна підготовка вимені перед доїнням. Обмивання теплою водою (40–45 °С), протирання чистим рушником, підключення апарата не пізніше ніж через 1 хвилину після початку стимуляції – ці вимоги є обов'язковими для отримання молока екстра-гатунку [4, 5].

2.3 Розробка структурної схеми процесу доїння

Структурна схема технологічного процесу доїння є основним організаційно-технологічним документом, що визначає послідовність виробничих операцій, розподіл функцій між персоналом та обладнанням, а також логіку переміщення тварин і молока у межах виробничого комплексу. Розроблена схема охоплює сім основних етапів – від підготовки тварин до санації обладнання після завершення доїння (рисунок 2.2).

Етап 1 – Подача корів. Корови зі стійл корівників 801-368 переміщуються у доїльний зал партіями по 4–8 голів через проходи шириною 1,2 м. Рух організовується рядами — це скорочує час переміщення та мінімізує стрес тварин. Для стимулювання руху без примусу застосовуються направляючі конструкції та відкриті ворота.

Етап 2 – Фіксація у боксі «Тандем». Кожна корова займає окремий бокс із бічним розміщенням і блокуванням. Конструкція «Тандем» дозволяє оператору завершити роботу з однією коровою та звільнити її, не

чекаючи сусідніх тварин – це принципова перевага перед залами типу «Ялинка».

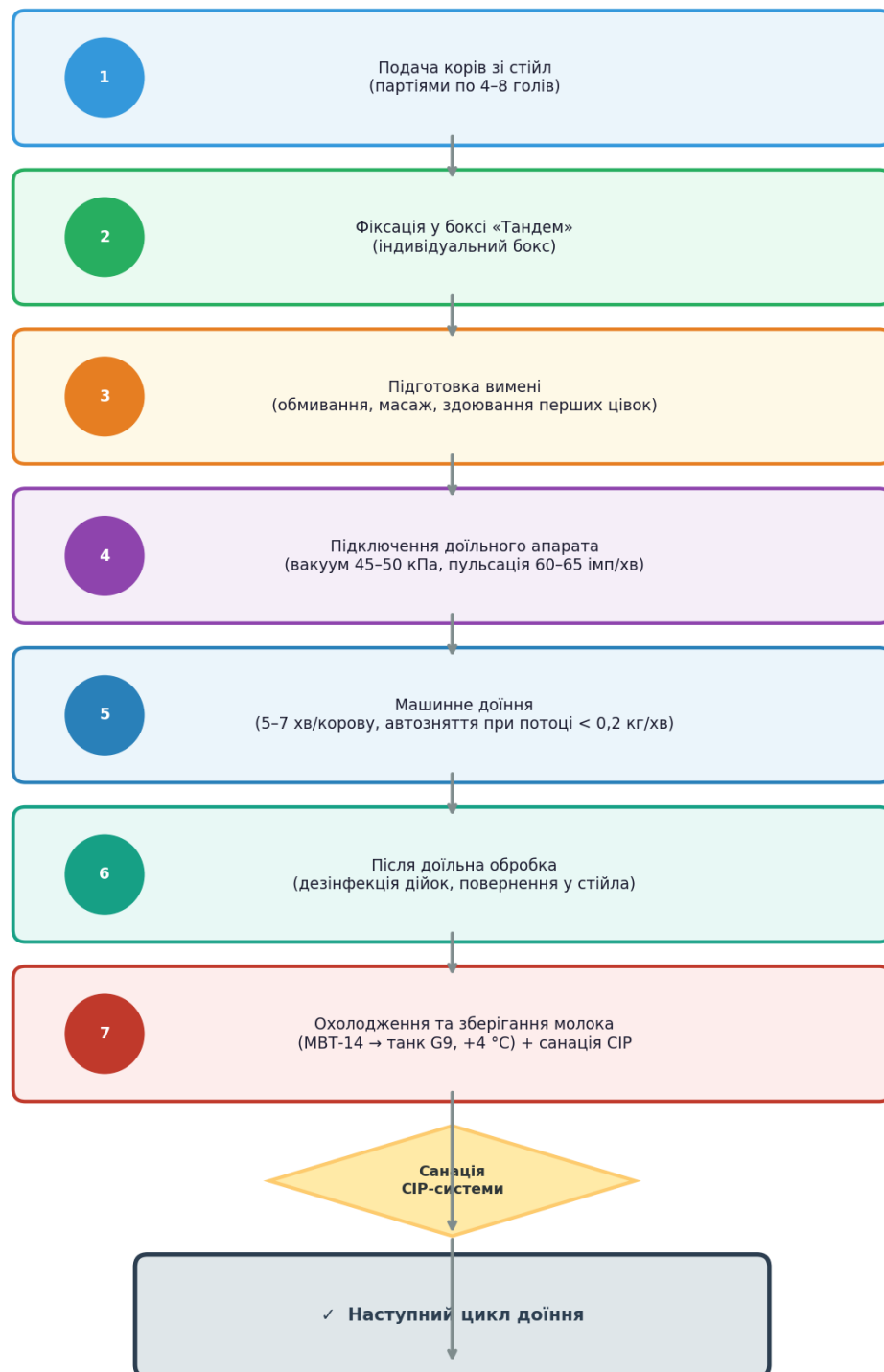


Рисунок 2.2 – Структурна схема технологічного процесу доїння на фермі «Тандем» 2×4

Етап 3 – Підготовка вимені. Оператор обмиває вим'я теплою водою (40–45 °C), проводить масаж тривалістю 20–30 с та здоює перші цівки молока в окрему посудину. Ця операція стимулює рефлекс молоковіддачі та дозволяє виявити ознаки маститу на ранній стадії.

Етап 4 – Підключення та машинне доїння. Апарат DeLaval DuoVac підключається впродовж 60 с після початку підготовки. Система DuoVac автоматично регулює рівень вакууму: фаза стимуляції (20–25 кПа) – фаза доїння (45–50 кПа) – завершальний масаж (20–25 кПа). Середня тривалість доїння – 5–7 хв/корову.

Етап 5 – Контроль та облік молока. Молоко від кожної корови надходить у молокопровід через лічильник молока, який фіксує індивідуальний надій. Ці дані передаються до системи управління стадом (AMS/DMS) для відстеження продуктивності та своєчасного виявлення відхилень.

Етап 6 – Після доїльна обробка та повернення корів. Дійки обробляються антисептичним дип-розчином, корови повертаються у стійла окремими проходами. Ворота бокса відчиняються автоматично після повного від'єднання кластера.

Етап 7 – Транспортування молока, охолодження та санація. Молоко через молокопровід надходить на охолодження у MBT-14 (до +10 °C), потім – у танк G9 (до +4 °C). Одночасно запускається CIP-система, яка проводить автоматичне промивання всього молочного обладнання [4, 5, 6].

2.4 Розрахунок продуктивності технологічної лінії

Розрахунок продуктивності є центральним інженерним завданням проєктування доїльної лінії. Результати цього розрахунку визначають тип та кількість одиниць обладнання, чисельність персоналу та організацію змінного режиму роботи.

Продуктивність оператора та установки. Продуктивність праці оператора на доїнні (корів/год.) розраховується за формулою (2.2):

$$Q_o = 60 / (t_{\text{маш}} + t_{\text{м.р.}}) \quad (2.2)$$

де $t_{\text{маш}} = 6$ хв — час машинного доїння однієї корови Червоної степової породи при надої 4000 кг/рік; $t_{\text{м.р.}} = 1,5$ хв — час на підготовку вимені, підключення та від'єднання апарата.

$$Q_o = 60 / (6 + 1,5) = 60 / 7,5 = 8 \text{ корів/год.}$$

Пропускна здатність доїльного залу «Тандем» 2×4 (8 доїльних місць)

$$Q_{\text{ус}} = 8 \text{ місць} \times 8 \text{ кор/год} = 64 \text{ корови/год.}$$

Час на доїння всього дійного стада (340 корів) за одне доїння:

$$T_{\text{доїння}} = 340 / 64 = 5,3 \text{ год.}$$

При дворазовому доїнні з двома змінами оператора тривалість однієї зміни складає 2,65 год., що відповідає нормативним вимогам до організації праці.

Розрахунок продуктивності лінії обробки молока. Потрібна пропускна здатність лінії обробки молока $Q_{o.m.}$ (кг/год.) розраховується за формулою (2.3):

$$Q_{o.m.} = (Y \times c \times N) / (m \times D \times T_{\text{зміни}}) \quad (2.3)$$

де $Y = 4000$ кг — середньорічний надій; $c = 1,3$ — коефіцієнт нерівномірності молочовиробництва (сезонні та добові коливання); $D = 305$ діб — тривалість лактації; $N = 340$ корів; $m = 2$ доїння/добу; $T_{\text{зміни}} = 3$ год.

$$Q_{o.m.} = (4000 \times 1,3 \times 340) / (2 \times 305 \times 3) = 1\,768\,000 / 1830 \approx 966 \text{ кг/год.}$$

Розрахунок холодопродуктивності. Добовий обсяг молока при продуктивності 966 кг/год та зміні 3 год.:

$$Q_{\text{доб}} = 966 \times 3 \times 2 = 5796 \text{ кг/добу} \approx 5,8 \text{ т/добу}$$

Потрібна холодопродуктивність для охолодження молока від +35 °С до +4 °С за формулою (2.4):

$$Q_{\text{хол}} = Q_{o.m.} \times c_m \times (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) \quad (2.4)$$

де $c_m = 3,9 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)}$ — питома теплоємність молока; $t_p = 308 \text{ K}$ ($35 \text{ }^\circ\text{C}$);
 $t_k = 277 \text{ K}$ ($4 \text{ }^\circ\text{C}$).

$$Q_{\text{хол}} = 966 \times 3,9 \times (308 - 277) = 966 \times 3,9 \times 31 \approx 116\,774 \text{ кДж/год} \approx 32,4 \text{ кВт}$$

З урахуванням запасу продуктивності 20% приймається холодильна установка MBT-14 потужністю 40 кВт. Для зберігання добового обсягу молока (5,8 т) з запасом ємності обирається танк-охолоджувач G9 об'ємом 5000 л.

Розрахунок потреби у вакуумі. Питома витрата повітря через один доїльний апарат – 70 л/хв. Загальна потреба у вакуумі для 8 одночасно працюючих апаратів з урахуванням витоків (коефіцієнт 1,5):

$$Q_{\text{вак}} = 8 \times 70 \times 1,5 = 840 \text{ л/хв}$$

Приймається вакуумний насос продуктивністю 900 л/хв (запас $\sim 7\%$) з резервним насосом 600 л/хв для аварійного режиму.

2.5 Вибір типу та кількості засобів механізації

На підставі проведених розрахунків і аналізу альтернативних рішень формується комплекс засобів механізації виробничих процесів ферми. Вибір кожного елемента обладнання обґрунтовується розрахунковими показниками та виробничими потребами господарства.

Доїльна установка «Тандем» 2×4. Для ферми з прив'язним утриманням та поголів'ям 340 дійних корів Червоної степової породи оптимальним рішенням є доїльний зал типу «Тандем» 2×4 (8 доїльних місць). У залі «Тандем» корови розташовуються паралельно краю доїльної ями (рисунки 2.1). Кожна тварина займає окремий бокс із бічним доступом та може входити і виходити незалежно від сусідніх. Це забезпечує індивідуальний підхід до кожної корови — особливо важливо при роботі з тваринами різної продуктивності та часу доїння, що характерно для Червоної степової породи [7].

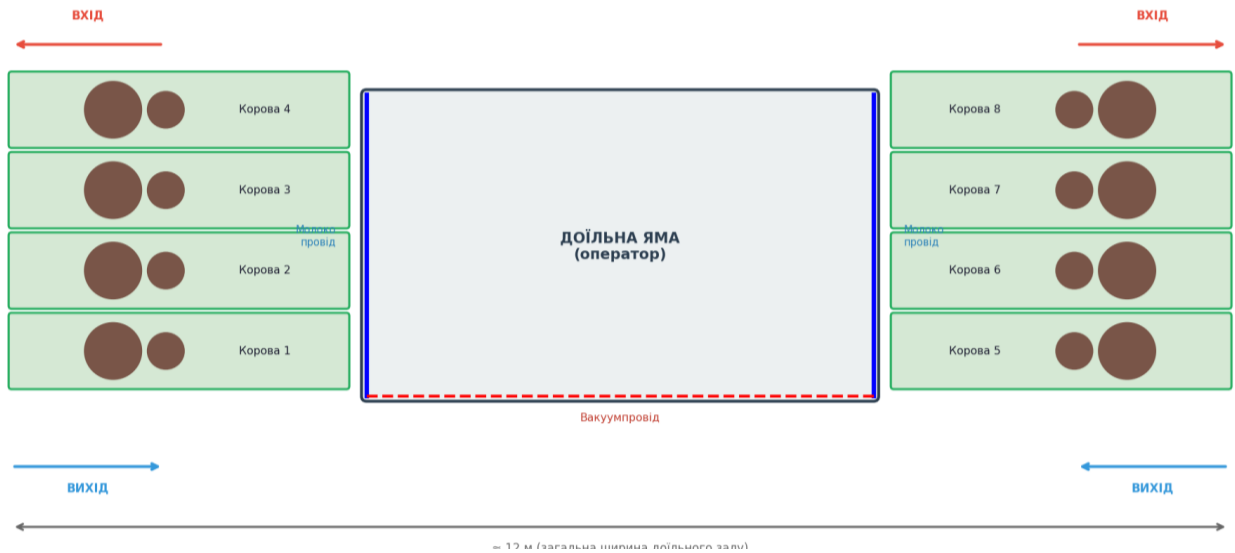


Рисунок 2.3 – Схема доїльного залу типу «Тандем» 2×4 (вид зверху)

Ключові характеристики залу: пропускна здатність – 64 корови/год.; кількість доїльних місць – 8 (4+4); вакуумний рівень – 45–50 кПа; частота пульсації – 60–65 імп/хв; доїльний апарат – DeLaval DuoVac з пульсатором EP2090; час обслуговування стада при дворазовому доїнні – 5,3 год./добу.

Молокопровід та СІР-система. Молокопровід із нержавіючої сталі марки AISI 304 діаметром 51 мм забезпечує безконтактне транспортування молока від доїльного апарата до молочного блоку. Нахил молокопроводу – 0,5–1,0% в бік молочного блоку для самопливу. Система автоматичного промивання (СІР) з об'ємом промивального бачка 40 л проводить циркуляційне промивання лужним розчином (NaOH 0,5–1,0%) та кислотним розчином (HNO₃ 0,5–0,8%) після кожного циклу доїння. Температура промивального розчину – 70–85 °С для ефективної дезінфекції.

Холодильне обладнання. Для охолодження та зберігання молока приймається двоступенева система (рисунок 2.2): 1) холодильна установка MBT-14 потужністю 40 кВт (попереднє охолодження до +10 °С у потоці) та 2) танк-охолоджувач G9 об'ємом 5000 л (кінцеве охолодження до +4 °С та зберігання до 24 год.). Така система дозволяє скоротити час

охолодження до +4 °С до 2–3 годин, що є обов'язковою вимогою для отримання молока екстра-гатунку [5, 8].



Рисунок 2.4 – Схема первинної обробки та охолодження молока на фермі

Вакуумна установка. Основний вакуумний насос продуктивністю 900 л/хв із електронним регулятором вакууму (підтримує тиск з точністю $\pm 0,5$ кПа) та резервний насос 600 л/хв для аварійного режиму. Обидва насоси оснащені оливковими уловлювачами (ефективність 95%), що запобігає забрудненню навколишнього середовища відпрацьованою оливою.

Таблиця 2.3 — Специфікація засобів механізації молочно-товарної ферми

Обладнання	Тип/Модель	Кількість	Параметр
Доїльний зал	«Тандем» 2×4	1 комплект	64 кор/год
Доїльні апарати	DeLaval DuoVac	8 шт.	45–50 кПа
Пульсатори	DeLaval EP2090	8 шт.	60–65 імп/хв
Вакуумний насос	Ротаційний	2 шт.	≥ 600 л/хв
Молокопровід	Нерж. сталь	1 лінія	Ø51 мм
CIP-система	Авт. промивання	1 комплект	40 л бачок
Холодильна установка	МВТ-14	1 шт.	40 кВт
Танк-охолоджувач	G9	1 шт.	5000 л
Кормороздавач	КТУ-10	2 шт.	—
Транспортер гною	ТСН-3	4 шт.	—

2.6 Вибір типу та кількості виробничих приміщень

Склад та характеристики виробничих приміщень визначаються поголів'ям, способом утримання, технологічними процесами та санітарно-гігієнічними вимогами. Для молочно-товарної ферми на 1038 голів ВРХ з прив'язним утриманням необхідний комплекс взаємопов'язаних будівель, що утворюють єдиний функціональний ансамбль (рисунк 2.5).

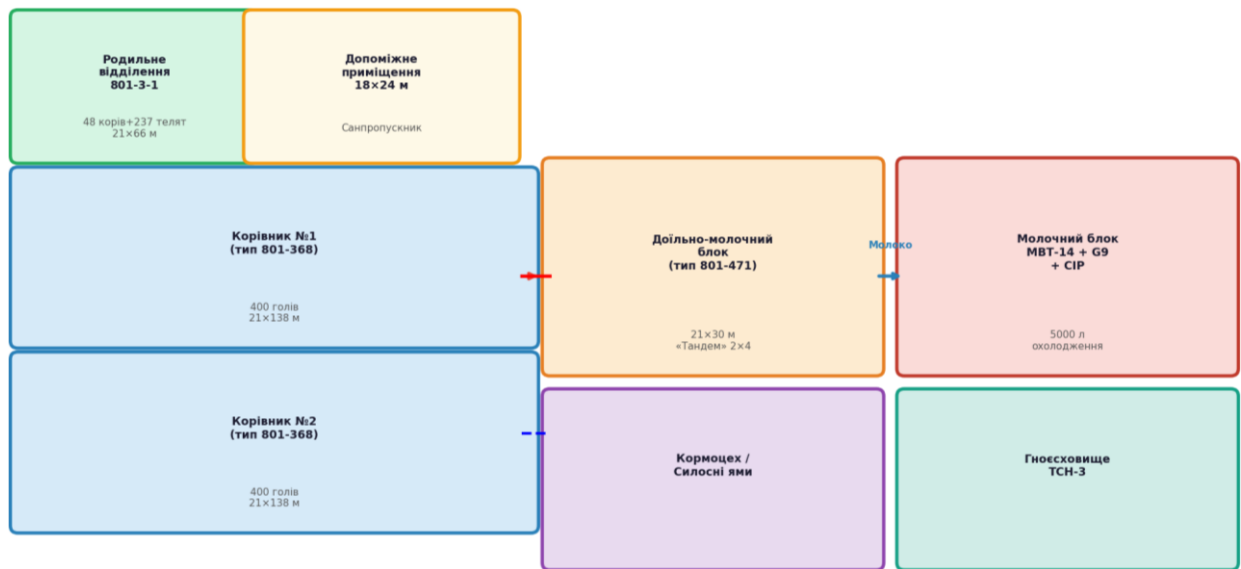


Рисунок 2.5 – Схема генерального плану молочно-товарної ферми на 1038 голів ВРХ

Корівники для основного стада (тип 801-368). Два корівники типу 801-368 розмірами 21×138 м кожен з допоміжним приміщенням 18×24 м між ними призначені для утримання 800 дійних та сухостійних корів. Конструктивні особливості: двоповерховий рядний монтаж стійл (по 200 корів в ряд); поздовжній кормовий прохід шириною 2,0 м по центру; двосторонній гнойовий прохід шириною 1,6 м; природна вентиляція через покрівельний гребінь та бічні аераційні отвори; підлога — залізобетонна плитка з поперечними канавками (глибина 3 мм, крок 30 мм) для запобігання ковзанню.

Технологічне обладнання корівника: автоматичні прив'язі ОСК-25А для кожного стійла; механізований кормороздавач КТУ-10 на рейках; гнойовий транспортер ТСН-3 вздовж кожного ряду стійл; індивідуальні автонапувалки АП-1А з підігрівом; система штучного освітлення (200 лк у стійлах, 300 лк у проходах). Допоміжне приміщення 18×24 м включає: санпропускник для персоналу, кормокухню, комору для інвентарю, майстерню та кімнату відпочинку [9].

Родильне відділення (тип 801-3-1). Родильне відділення типу 801-3-1 розмірами 21×66 м розраховане на 48 корів і 237 телят. Будівля поділена на функціональні зони: дородова зона (12 боксів розміром 3,0×2,5 м); зона отелення (12 пологових боксів 3,0×3,5 м); профілакторій для телят (одиначні клітки 1,2×1,0 м); телятник для груп телят 1–6 міс. (групові секції по 15–20 голів). Підлога у пологових боксах вкрита товстим шаром чистої соломи (10–15 кг/голову/добу) для комфортного отелення.

Родильне відділення обладнане: поворотним апаратом АПК-75 для контролю за тяжкими отеленнями; окремою системою вентиляції з додатковим підігрівом у зимовий період; системою відеоспостереження для нічного нагляду за коровами перед отеленням; відокремленою каналізацією для запобігання перехресному забрудненню основного стада [9, 10].

Доїльно-молочний блок (тип 801-471). Доїльно-молочний блок типу 801-471 розмірами 21×30 м є технологічним центром всієї молочної ферми. Блок проєктується суміжним з обома корівниками для забезпечення мінімального шляху подачі тварин. Планування блоку включає: зал очікування (накопичувач) на 40–50 корів перед входом у доїльну зону; доїльний зал «Тандем» 2×4 з доїльною ямою глибиною 0,85 м; молочна кімната з молокопроводом, лічильниками, МВТ-14 та танком G9; апаратна з вакуумною станцією та щитом керування СІР; мийна кімната для санітарної обробки.

Підлога доїльного залу – водонепроникна залізобетонна із системою зливних лотків; підлога доїльної ями – рифлена плитка; стіни – кахельна плитка на висоту 1,8 м; стеля – підвісна з вологостійких панелей; освітленість – не менше 500 лк у зоні роботи оператора. Температура у молочній кімнаті підтримується на рівні +4–8 °С цілорічно [6, 9].

2.7 Конструкційно-технологічна схема лінії

Конструкційно-технологічна схема лінії доїння інтегрує всі виробничі приміщення, засоби механізації та організаційні рішення в єдиний технологічний ланцюг. Схема визначає просторове розташування обладнання, логіку руху тварин і молока, а також організацію санації після кожного циклу.

Корови зі стійл корівників 801-368 переміщуються через накопичувач (буферна зона на 50 голів) безпосередньо у зал «Тандем». Паралельно з одного боку – перша четвірка тварин (місця 1–4), з іншого – друга (місця 5–8). Оператор рухається вздовж ями, виконуючи підготовку та підключення кластерів. Кожен бокс «Тандем» працює автономно: після завершення доїння ворота бокса відчиняються автоматично, корова виходить і повертається у корівник окремим шляхом, а наступна вже займає звільнений бокс.

Молоко від кожного апарата DuoVac надходить у молокопровід через лічильник молока. Молокопровід транспортує молоко до молочної кімнати, де воно проходить попереднє охолодження у MBT-14 і надходить у танк G9, де охолоджується до +4 °С. Повний цикл охолодження – 2–3 год.

Після завершення вечірнього доїння запускається СІР-система, яка проводить: 1) попереднє ополіскування холодною водою (2–3 хв); 2) промивання лужним розчином при 70–75 °С (8–10 хв); 3) проміжне ополіскування водою (2 хв); 4) кислотне промивання при 50–60 °С (8–10 хв); 5) фінальне ополіскування чистою холодною водою (2–3 хв). Загальний час санації – 25–30 хв. Вся послідовність виконується автоматично без участі оператора [4, 6].

2.8 Висновки до розділу

У розділі 2 виконано комплексний технологічний розрахунок молочно-товарної ферми на 1038 голів ВРХ Червоної степової породи з валовим виробництвом молока 2000 т/рік. На підставі проведеної роботи сформульовано такі висновки:

1. Розрахунок поголів'я встановив оптимальну структуру стада: 340 дійних корів, 107 сухостійних, 85 нетелів, 75 телиць, 68 телят та 363 одиниці молодняку. Загальне поголів'я – 1038 голів.

2. Визначені вихідні дані та зоотехнічні вимоги обґрунтовують прив'язний спосіб утримання та доїння у доїльному залі «Тандем», що є оптимальним для ферм 300–400 дійних корів.

3. Розроблена семиетапна структурна схема доїння забезпечує повний технологічний цикл отримання молока від підготовки тварин до санації обладнання.

4. Розрахунок продуктивності підтвердив: продуктивність оператора – 8 кор/год.; пропускна здатність залу — 64 кор/год.; потреба лінії охолодження – 966 кг/год.; холодопродуктивність – 32,4 кВт; потреба у вакуумі – 840 л/хв.

5. Обраний комплекс механізації (доїльний зал «Тандем» 2×4 з апаратами DuoVac, MBT-14, танк G9, CIP-система) повністю відповідає розрахунковим потребам і забезпечує отримання молока екстра-гатунку відповідно до ДСТУ 2662:2018.

6. Виробничі приміщення (корівники 801-368, родильне відділення 801-3-1, доїльно-молочний блок 801-471) утворюють раціональний функціональний ансамбль із оптимальними потоками руху тварин і молока.

7. Конструкційно-технологічна схема лінії забезпечує безперервний і санітарно безпечний цикл виробництва молока завдяки інтеграції доїльного залу, молокопроводу, охолодження та автоматичної CIP-санації.

3 ПРОЕКТУВАННЯ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА DELAVAL DUOVAC

3.1 Загальна характеристика доїльного апарата DeLaval DuoVac

Доїльний апарат DeLaval DuoVac є провідним продуктом шведської компанії DeLaval – одного з найбільших виробників доїльного обладнання у світі з понад 130-річним досвідом. Апарат розроблений з урахуванням фізіологічних потреб великої рогатої худоби та призначений для використання на молочних фермах будь-якого типу і розміру – від невеликих господарств до великих промислових комплексів. Назва «DuoVac» (скорочення від «Dual Vacuum» – «подвійний вакуум») безпосередньо відображає головну конструктивну особливість апарата – здатність автоматично змінювати рівень вакууму залежно від фази доїння та інтенсивності молоковіддачі [41].

Апарат DuoVac забезпечує повний цикл обслуговування корови, що складається з трьох послідовних фаз: попереднього масажу вимені при зниженому вакуумі, основного доїння при робочому вакуумі та завершального масажу при зниженому вакуумі після припинення молоковіддачі. Така система має два ключових переваги порівняно з традиційними однорівневими апаратами: фізіологічна відповідність природному процесу смоктання теляти та автоматична адаптація до індивідуальних особливостей кожної корови [42].

DuoVac сумісний з усіма типами доїльних установок – як з молокопроводом для прив'язного утримання, так і з доїльними залами типу «Тандем», «Ялинка», «Паралель» та «Карусель». Ця універсальність робить апарат оптимальним вибором для ферми, описаної у другому розділі даного дипломного проєкту, – доїльного залу «Тандем» 2×4 з поголів'ям 340 дійних корів Червоної степової породи. Апарат оснащується індивідуальним електронним пульсатором EP2090, що

забезпечує стабільну пульсацію незалежно від умов навколишнього середовища [41, 43].

3.2 Конструктивна схема апарата DeLaval DuoVac

Доїльний апарат DeLaval DuoVac являє собою складний функціональний агрегат, що складається з кількох взаємопов'язаних вузлів, кожен з яких виконує чітко визначену роль у технологічному процесі доїння. Конструкція апарата розроблена з урахуванням вимог гігієни, надійності, зручності обслуговування та мінімізації трудових витрат оператора [44].

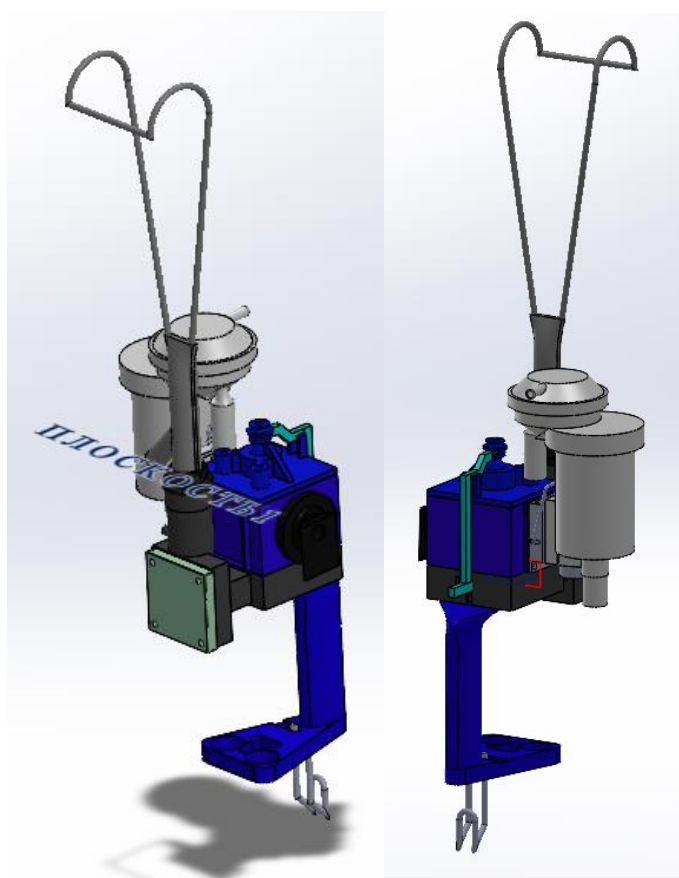


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд DeLaval DuoVac

Доїльні стакани (тетракапи). Доїльні стакани є основним робочим органом апарата, що безпосередньо контактує з соском корови. Кожен

стакан складається з двох концентрично розташованих елементів: зовнішнього корпусу з нержавіючої сталі або твердого пластику та внутрішньої гумової або силіконової соскової гуми (лайнера). Між корпусом і лайнером утворюється пульсаційна камера, в якій по чергово створюється вакуум або атмосферний тиск. Підсоскова камера – простір між лайнером і соском – утримується під постійним або змінним вакуумом залежно від фази доїння. Конструкція доїльного стакана забезпечує щільну та рівномірну посадку на сосок без ризику зісковзування та «наповзання» [44, 45].

Соскова гума (лайнер) є критичним елементом, що безпосередньо впливає на здоров'я вимені та якість молока. DeLaval рекомендує використовувати лайнери з отвором мундштука діаметром 22–23 мм, що відповідає анатомічним особливостям корів Червоної степової породи. Матеріал лайнера — харчовий силікон або натуральна гума – забезпечує м'яку посадку та ефективний масаж соска під час фази стиснення. Стінки лайнера мають різну товщину: задня стінка – 3,5–5 мм для міцності конструкції, масажна стінка – 1,0–3,0 мм для ефективного стиснення [46].

Колектор (кластерна частина). Колектор, або кластерна частина (clawpiece), є центральним вузлом апарата, до якого підключаються всі чотири доїльні стакани. Він виконує роль молочного та пульсаційного розподільника. Корпус колектора виготовлений із прозорого харчового пластику, що дозволяє оператору візуально контролювати потік молока під час доїння. У середині колектора розміщено камери, клапани та мембрани, які регулюють розподіл вакууму між стаканами та сепарацію молока від повітря [44].

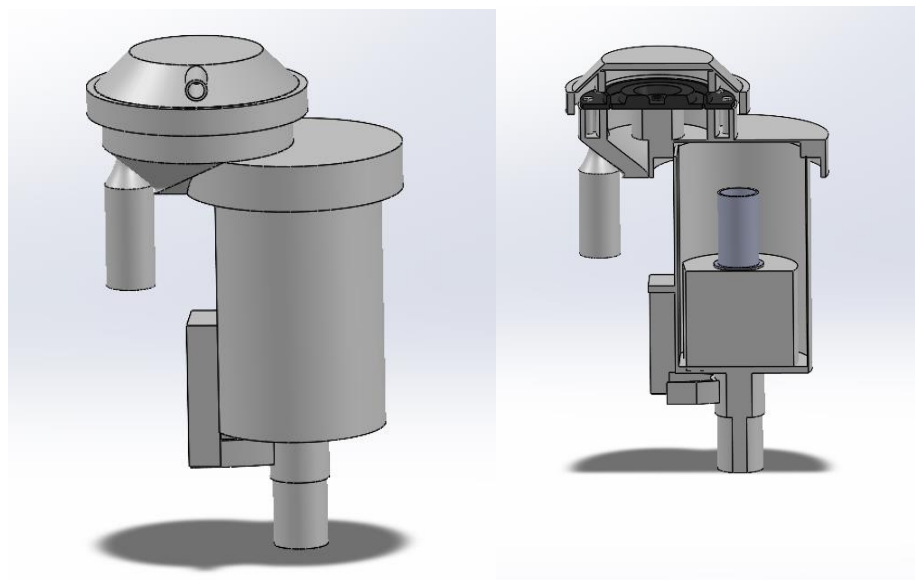


Рисунок 3.2 – Колектор DeLaval DuoVac (загальний вигляд та розріз)

У системі DuoVac колектор обладнаний вбудованим датчиком потоку молока. Цей датчик безперервно вимірює інтенсивність надходження молока (кг/хв) і передає сигнал на електронний блок керування пульсатора EP2090. На підставі цього сигналу система автоматично перемикає рівень вакууму: при потоці молока нижче порогового значення (0,1–0,2 кг/хв) вакуум знижується до масажного рівня. Це усуває ризик «сухого доїння» – одного з головних чинників виникнення маститу [42, 43].

Молочні та пульсаційні шланги. Від кожного доїльного стакана до колектора ведуть два типи шлангів: короткий молочний шланг (short milk tube) та короткий пульсаційний шланг. Короткі молочні шланги транспортують молоко від підсоскової камери стакана до колектора, а пульсаційні шланги – передають змінний тиск від пульсатора до пульсаційних камер кожного стакана. Від колектора до молокопроводу або відра ведуть довгий молочний шланг (long milk tube) та довгий пульсаційний шланг. Усі шланги виготовлені з харчового силікону або гуми, стійкого до мийних та дезінфікуючих засобів, і замінюються відповідно до регламентного терміну служби [44, 47].

Електронний пульсатор EP2090. Ключовим функціональним елементом системи DuoVac є індивідуальний електронний пульсатор EP2090 виробництва DeLaval. Пульсатор є самодостатнім модулем: усі електронні компоненти розміщені всередині його захисного корпусу, що забезпечує повну захищеність від пилу, вологи та агресивних хімічних середовищ доїльного залу [43].



Рисунок 3.3 – Електронний пульсатор EP2090

EP2090 генерує точну та стабільну пульсацію з частотою 60–65 імпульсів на хвилину та співвідношенням фаз 60:40 (фаза доїння : фаза масажу). Ці параметри відповідають оптимальним вимогам для корів молочних порід середньої продуктивності, зокрема Червоної степової. На відміну від пневматичних пульсаторів, EP2090 не залежить від коливань температури, вологості та змін вакуумного тиску в системі, що гарантує стабільний ритм пульсації протягом усього циклу доїння. Пульсатор індивідуально програмується під параметри конкретного стада і може бути підключений до центральної системи управління фермою [43, 48].

Блок DuoVac та регулятор вакууму. Серцем усієї системи є блок DuoVac – електронно-пневматичний модуль, який здійснює автоматичне перемикання між двома рівнями вакууму. Блок розміщується між вакуумпроводом і пульсатором та колектором. Він отримує сигнал від датчика потоку молока в колекторі і на його підставі керує двома

електромагнітними клапанами: один підключає лінію робочого вакууму (45–50 кПа), другий – лінію масажного вакууму (20–25 кПа, приблизно вдвічі нижче робочого). Перемикання між рівнями здійснюється плавно і безударно, що виключає різкі перепади тиску та стрес для тварини [42, 49].

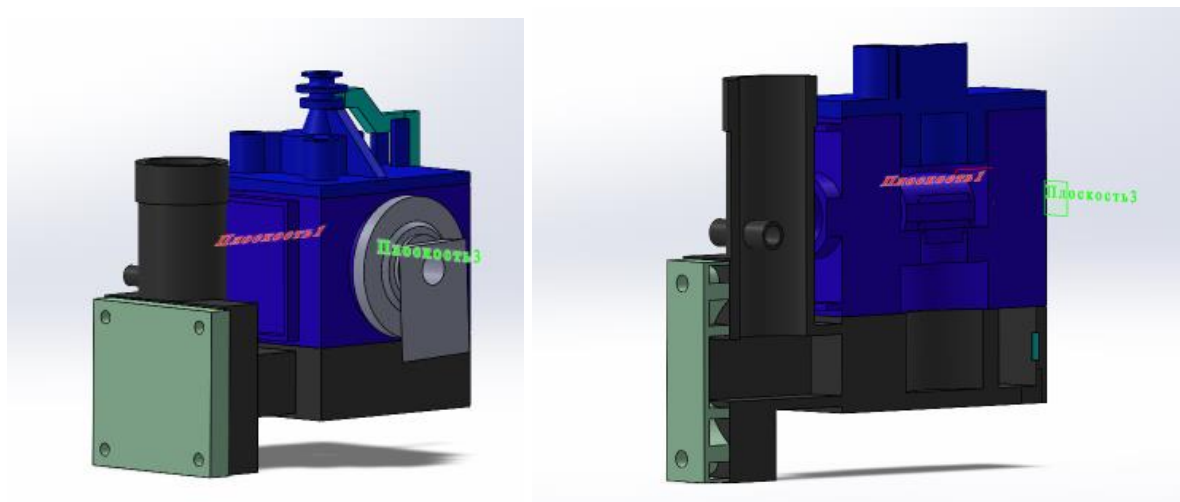


Рисунок 3.4 – Блок DuoVac



Рисунок 3.5 – Підвісна частина

Підвісна система та противага. Для зручності роботи оператора та стійкого положення кластера на вимені корови апарат DuoVac оснащується підвісною системою з противагою. Підвісна система утримує

кластер у правильному положенні відносно вимені, рівномірно розподіляє масу апарата між усіма чотирма стаканами та запобігає їх зісковзуванню. Маса підвісної частини разом із кластером і шлангами становить близько 8,0 кг, що враховується при проектуванні автоматизованого механізму встановлення та зняття, описаного у розділі 2 даного проєкту [50].

3.3 Принцип роботи апарата DeLaval DuoVac

Принцип роботи доїльного апарата DeLaval DuoVac базується на імітації природного процесу смоктання теляти, але з суттєвим технологічним удосконаленням – автоматичним регулюванням рівня вакууму залежно від фізіологічного стану корови та інтенсивності молоковіддачі. Робочий цикл апарата складається з чотирьох послідовних фаз [42, 49].

Фаза 1 – Попередній масаж (стимуляція). Після підключення кластера до вимені корови система DuoVac автоматично встановлює знижений масажний рівень вакууму — близько 20–25 кПа (приблизно вдвічі менший за робочий). У цій фазі соскова гума лайнера м'яко стискає та розтискає сосок у ритмі пульсатора EP2090, не витягуючи молоко, а лише стимулюючи рефлекс молоковіддачі. Ця фаза відтворює природну поведінку теляти на початку смоктання і має тривалість 30–60 секунд, залежно від індивідуальних особливостей корови. Сигналом для переходу до наступної фази є поява першого молока в датчику потоку колектора [42, 51].

Фаза 2 – Основне доїння (робочий вакуум). При появі молокопотoku понад пороговий рівень (близько 0,3 кг/хв) блок DuoVac автоматично перемикає систему на робочий рівень вакууму – 45–50 кПа. У цій фазі відбувається основне видоювання молока. Пульсатор EP2090 забезпечує почергове чергування фаз доїння та масажу з частотою 60–65 імпульсів на хвилину та співвідношенням 60:40. Під час фази доїння (такт

«а») у пульсаційній камері між корпусом стакана та лайнером створюється вакуум – лайнер розкривається, і молоко витягується з цистерни вимені у підсоскову камеру, а звідти через молочний шланг до колектора. Під час фази масажу (такт «б») у пульсаційну камеру подається атмосферний тиск – лайнер стискається навколо соска, відновлюючи кровообіг і запобігаючи набряку тканин [44, 49].

Молоко, зібране в колекторі, безперервно транспортується через довгий молочний шланг у молокопровід, а звідти – до молочного блоку для охолодження та зберігання. На цьому етапі лічильники молока, вбудовані у молокопровід або встановлені на виході кожного доїльного місця, фіксують індивідуальний надій від кожної корови [47].

Фаза 3 – Завершальний масаж (зниження вакууму). При зниженні потоку молока нижче порогового рівня (0,1–0,2 кг/хв) датчик потоку в колекторі передає відповідний сигнал на блок DuoVac. Система автоматично знижує рівень вакууму до масажного рівня (20–25 кПа). Це запобігає так званому «сухому доїнню» – доїнню вже видоєної корови з повним вакуумом, яке є основною причиною травмування тканин соска та виникнення маститу. У цій фазі апарат продовжує масажувати вим'я, стимулюючи залишкову молоковіддачу та полегшуючи від'єднання стаканів [42, 51].

Фаза 4 — Від'єднання кластера. Після завершення масажної фази система подає сигнал оператору або автоматичному механізму зняття (ACR) про готовність до від'єднання кластера. За умови встановлення автоматичного механізму зняття, описаного в розділі 2 даного проекту, кластер знімається без участі оператора: блок DuoVac знімає вакуум у підсосковій камері, кластер від'єднується від вимені та відводиться у паркувальне положення. Після зняття кластера виконується обробка дійок дезінфікуючим засобом [41, 50].

Особливості системи пульсації EP2090. Пульсатор EP2090 забезпечує індивідуальну пульсацію для кожного доїльного місця

незалежно від решти установки. Це означає, що навіть при одночасному доїнні восьми корів у залі «Тандем» 2×4 кожен апарат працює у своєму оптимальному ритмі. EP2090 оснащений вбудованою функцією «Comfort Start» – плавного початку пульсації, що виключає різкий стрибок вакууму при підключенні та мінімізує стрес тварини. Пульсатор також забезпечує стабільний вакуум навіть у пилових умовах завдяки вбудованому повітряному фільтру [43, 48].

3.4 Технічні характеристики апарата DeLaval DuoVac

Технічні характеристики доїльного апарата DeLaval DuoVac визначають область його застосування, вимоги до системи вакуумного живлення та параметри, що впливають на якість доїння. Нижче наведено основні паспортні та функціональні показники апарата:

Виробник: DeLaval (Швеція, заснована 1883 р.) [41].

Тип вакуумної системи: подвійний вакуум (DuoVac) з автоматичним перемиканням між рівнями за сигналом датчика потоку молока [42].

Рівень робочого вакууму: 45–50 кПа (оптимальний для корів молочних порід, у тому числі Червоної степової) [49].

Рівень масажного вакууму: 20–25 кПа (знижений, вдвічі менший за робочий, для фази стимуляції та завершального масажу) [42].

Пульсатор: індивідуальний електронний EP2090 [43].

Частота пульсації: 60–65 імпульсів/хв (налаштовується індивідуально) [43, 48].

Співвідношення фаз пульсації: 60:40 (такт доїння : такт масажу) [48].

Кількість доїльних стаканів: 4 (по одному на кожен сосок) [44].

Матеріал лайнера: харчовий силікон або натуральна гума; діаметр мундштука 22–23 мм [45, 46].

Маса підвісної частини кластера: близько 8,0 кг [50].

Матеріал корпусу стакану: нержавіюча сталь марки AISI 304 або харчовий пластик [44].

Сумісність: усі типи доїльних установок — молокопровід, «Тандем», «Ялинка», «Паралель», «Карусель»; придатний для прив'язного та безприв'язного утримання [41].

Система санації: сумісний із CIP-системами автоматичного промивання DeLaval; всі елементи витримують циркуляційне промивання лужними та кислотними розчинами при температурі до 85 °C [47].

Додаткові функції: Comfort Start (плавний старт пульсації), автоматичне зняття кластера (у комплекті з блоком ACR), індивідуальний облік надоїв у поєднанні з лічильниками молока [43, 46].

3.5 Теоретичний аналіз режимів роботи доїльних стаканів колектора

Колектор доїльного апарату DeLaval DuoVac є центральним вузлом, що об'єднує роботу чотирьох доїльних стаканів та забезпечує рівномірне розподілення вакуумметричного тиску між ними. Ефективність роботи колектора безпосередньо пов'язана з режимом дії доїльних стаканів на дійки — одночасним або попарним. Теоретичний аналіз цих режимів дозволяє обґрунтувати оптимальні конструктивні параметри колектора та мембрани пульсатора [52].

Функціональна модель доїльного апарату (рис. 3.1) складається з керуючого блоку та розподільчих ланок, чотирьох виконавчих пристроїв (доїльних стаканів) та одного збірного пристрою (колектора), з'єднаних вакуумними та молочними магістралями. Параметри режиму роботи — співвідношення тактів та частота пульсів — впливають на рівень інтенсивності молоковиведення та рівномірність видоювання часток вимені [52].

Режим одночасної дії доїльних стаканів. При одночасній дії доїльних стаканів однойменні такти відбуваються і змінюються водночас у всіх стаканах. Виведення молока відбувається під час такту ссання з усіх дійок одночасно, що зумовлює максимальне надходження молока до молокозбірної камери колектора за одиницю часу. В системі DuoVac такий режим реалізується при однаковому вакуумі у всіх чотирьох підсоскових камерах і синхронній пульсації EP2090.

Одночасну дію доїльних стаканів на дійки тварини можна представити як окремий випадок попарної дії, коли параметри однакові й змінюються одночасно в обох парах, а керуючі ланки пульсатора працюють синхронно. Загальну витрату молока через колектор за один такт ссання при одночасному режимі визначають через суму витрат від чотирьох дійок [52].

Режим попарної дії доїльних стаканів. Система DuoVac реалізує більш фізіологічний попарний режим роботи, при якому в двох стаканах здійснюється такт ссання, тоді як у двох інших – такт стиску, і навпаки. Зміна тактів між парами проходить зі зміщенням на 180° . Це забезпечує більш рівномірне і безперервне виведення молока: поки одна пара дійок перебуває у фазі ссання, інша отримує масаж. Система DuoVac автоматично перемикається між двома рівнями вакууму залежно від сигналу датчика потоку молока в колекторі [12].

При попарній дії виведення молока відбувається під час фаз ссання (t_{fc1} , t_{fc2}) по чергово в кожній парі, причому тривалість ссання в одній парі може бути більшою при однаковій тривалості пульсу. Це сприяє одночасному виведенню молока з часток вимені, які мають різну кількість молока, що є типовою ситуацією для корів Червоної степової породи з характерною морфологічною асиметрією вимені [12].

Надходження молока до молокозбірної камери колектора при попарній дії стаканів значно рівномірніше, ніж при одночасній, що знижує гідравлічний опір молочного шляху і зменшує коливання

вакуумметричного тиску в підсосковому просторі. Саме тому апарат DuoVac з попарним принципом дії є більш фізіологічним і менш травматичним для вимені корови [12].

Рівняння балансу вакуумметричного тиску для молокозбірної камери колектора при попарній роботі доїльних стаканів записується у вигляді:

$$P_{mk} = P_{vp} - \Delta P_{tr} - \Delta P_{дин} \quad (3.1)$$

де P_{mk} – вакуумметричний тиск у молокозбірній камері колектора, кПа; P_{vp} – вакуум вакуумпроводу, кПа; ΔP_{tr} – втрати тиску на тертя в молочному шляху, кПа; $\Delta P_{дин}$ – динамічні втрати тиску при пульсуючому потоці молока, кПа.

3.6 Теоретичний аналіз процесу виділення молока з дійки

Для обґрунтування параметрів колектора доїльного апарата DuoVac необхідно теоретично описати процес виділення молока з дійки в момент такту ссання. Швидкість молоковіддачі є ключовим показником, що визначає ефективність доїння і на пряму залежить від параметрів вакуумної системи та конструктивних характеристик доїльного стакану [13].

Рівняння руху молока в дійковому каналі. При розгляді процесу виділення молока з дійки в період такту ссання введемо такі позначення: $P_{ц}$ – тиск молока в цистерні вимені, Па; $P_{пд}$ – тиск в піддійковій камері, Па; d_c – діаметр дійкового каналу (сфінктера), м; V_m – швидкість молока в дійковому каналі, м/с; l_d – довжина дійки, м [13].

Складемо рівняння Бернуллі для перерізу, що проходить крізь дійку:

$$P_{ц} / (\rho \cdot g) + V_0^2 / (2g) + z_0 = P_{пд} / (\rho \cdot g) + V_m^2 / (2g) + z_1 + h_{тр} \quad (3.2)$$

де ρ – густина молока, кг/м³ ($\rho \approx 1030$ кг/м³); g – прискорення вільного падіння, м/с² ($g = 9,81$ м/с²); z_0, z_1 – геометричні напори, м; $h_{тр}$ – втрати напору на тертя в дійковому каналі, м.

Оскільки швидкість молока в цистерні вимені $V_0 \ll V_M$, а різниця геометричних напорів мала порівняно з різницею тисків, рівняння (3.2) спрощується:

$$(P_{\text{ц}} - P_{\text{пд}}) / (\rho \cdot g) = V_M^2 / (2g) + h_{\text{тр}} \quad (3.3)$$

Виразимо швидкість молочного потоку через діаметр дійкового каналу d_c і максимальну витрату молока Q_{max} . Середня швидкість молочного потоку:

$$V_M = 4 \cdot Q / (\pi \cdot d_c^2) \quad (3.4)$$

Підставляючи (3.4) у (3.3) та враховуючи витрати на тертя за формулою Дарсі–Вейсбаха, отримаємо вираз для витрати молока через сфінктер:

$$Q = (\pi \cdot d_c^2 / 4) \cdot \sqrt{[2 \cdot (P_{\text{ц}} - P_{\text{пд}}) / (\rho \cdot (1 + \lambda \cdot l_d / d_c))]} \quad (3.5)$$

де λ — коефіцієнт гідравлічного опору дійкового каналу.

Розрахунок витрати молока за один такт ссання. Витрата молока Q через сфінктер протягом одного такту ссання змінюється за часом за параболічною кривою. Для визначення сумарної кількості молока, виведеного за один такт ссання t_c , проводимо інтегрування:

$$M_{\text{такт}} = \int_0^{t_c} Q(t) dt \quad (3.6)$$

З урахуванням визначеного співвідношення тактів $\eta = t_c / T$ (де T — тривалість пульсу) і частоти пульсацій n :

$$t_c = \eta / n \quad (3.7)$$

Підставляючи (3.5) і (3.7) у (3.6) і враховуючи параболічний характер зміни $Q(t)$, отримаємо кількість молока, виведеного за один такт ссання:

$$M_{\text{такт}} = (2/3) \cdot Q_{\text{max}} \cdot t_c \quad (3.8)$$

Таким чином, кількість молока за такт ссання визначається максимальною витратою молока через сфінктер Q_{max} та тривалістю такту ссання t_c , яка залежить від частоти пульсацій та співвідношення тактів. Для апарата DuoVac при $n = 62$ імп/хв і $\eta = 0,6$: $t_c = 0,6/1,033 = 0,581$ с.

Діаметр сфінктера дійки та вплив дійкової гуми. Внутрішній діаметр сфінктера дійки залежить від сили натягу дійкової гуми. Тиск дійкової гуми на сосок від натягнення в ділянці дійкового каналу:

$$p_r = (E_r \cdot \delta \cdot \Delta l) / (D_r \cdot l_r) \quad (3.9)$$

де δ — абсолютна деформація дійкової гуми, м; E_r — модуль Юнга дійкової гуми, Па; D_r , l_r — зовнішній діаметр і довжина дійкової гуми відповідно, м.

Ефективний діаметр сфінктера d_c при дії вакууму P_{pd} і тиску гуми p_r :

$$d_c = d_d \cdot \sqrt{[1 - 2 \cdot \mu \cdot p_r / E_d]} \quad (3.10)$$

де d_d — анатомічний діаметр дійки, м; μ — коефіцієнт Пуасона тканини дійки; E_d — модуль Юнга тканини дійки, Па.

Швидкість молоковіддачі визначається величиною робочого вакууму, співвідношенням тактів, числом пульсацій доїльного апарата та силою натягу дійкової гуми. Для апарата DuoVac при оптимальних параметрах ($P = 48$ кПа, $n = 62$ імп/хв, $\eta = 0,6$) швидкість молоковіддачі сягає 1,4–1,6 л/хв, що є достатнім для корів Червоної степової породи з надоєм 4000 кг/рік [13].

3.7 Визначення циліндричної жорсткості мембрани колектора

Мембрана є ключовим функціональним елементом пневмомембранного пульсатора доїльного апарата DeLaval DuoVac. Від її механічних характеристик — циліндричної жорсткості, пружної сили та деформаційних властивостей гумового матеріалу — безпосередньо залежать точність пульсації, стабільність вакуумного режиму та ресурс роботи пульсатора. Методика розрахунку параметрів мембрани базується на теорії пластин та враховує реальний характер розподіленого навантаження [12,13].

У методиках розрахунку пневмомембранних пульсаторів при розв'язуванні рівнянь рівнодії сил реакцію мембрани традиційно приймають за дослідними даними, що не відображає дійсного характеру роботи пульсатора. Запропонована методика розрахунку визначає дійсну

реакцію мембрани при дії на неї розподіленого навантаження та встановлює внутрішні силові фактори [52].

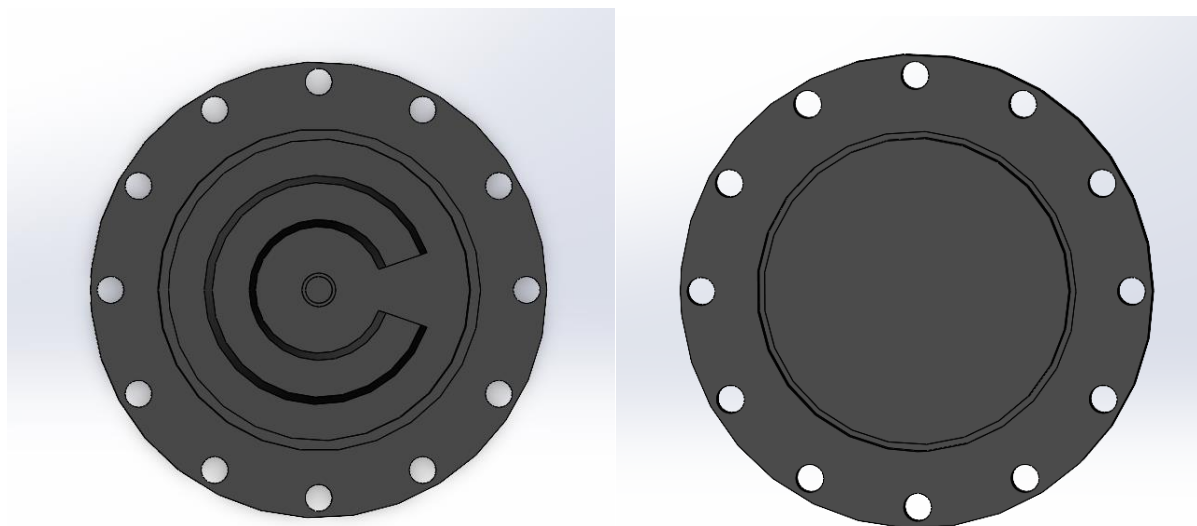


Рисунок 3.6 – Мембрана колектора

Розрахункова схема та функції прогинів мембрани. Розглянемо кільцеву мембрану колектора, на яку діє розподілене навантаження q (на зовнішній зоні) і q_1 (на внутрішній зоні). Мембрана жорстко затиснена по зовнішньому контуру радіуса b і вільна по внутрішньому контуру радіуса a . Введемо безрозмірну радіальну координату $\rho = r/a$ та параметр $\beta = b/a$.

Функції прогинів мембрани $W_1(\rho)$ та $W_2(\rho)$ для зовнішньої ($1 \leq \rho \leq \beta$) та внутрішньої ($0 \leq \rho \leq 1$) областей відповідно мають вигляд:

для зовнішньої зони ($1 \leq \rho \leq \beta$):

$$W_1(\rho) = \alpha \cdot \rho^4 + C_2 \cdot \rho^2 \cdot \ln(\rho) + C_3 \cdot \rho^2 + C_4 \cdot \ln(\rho) + C_1 \quad (3.11)$$

де $\alpha = q \cdot a^4 / (64 \cdot \chi)$; χ – циліндрична жорсткість мембрани, Н·м; C_1 , C_2 , C_3 , C_4 – сталі інтегрування.

для внутрішньої зони ($0 \leq \rho \leq 1$):

$$W_2(\rho) = \gamma \cdot \rho^4 + A_2 \cdot \rho^2 \cdot \ln(\rho) + A_3 \cdot \rho^2 + A_4 \cdot \ln(\rho) + A_1 \quad (3.12)$$

Де $\gamma = q_1 \cdot a^4 / (64 \cdot \chi)$; при $\rho \rightarrow 0$: $\gamma = 0$, прогин W_2 — скінченний.

Циліндрична жорсткість мембрани. Центральним параметром теорії вигину мембрани є її циліндрична (або згинальна) жорсткість χ , яка

характеризує опір мембрани вигинанню під дією поперечного навантаження. Циліндрична жорсткість визначається за формулою [12]:

$$\chi = E \cdot h^3 / [12 \cdot (1 - \mu^2)] \quad (3.13)$$

де h – товщина мембрани, м; E – модуль Юнга матеріалу мембрани, Па; μ – коефіцієнт Пуасона матеріалу мембрани.

Для гумових мембран пульсаторів доїльних апаратів типові значення параметрів:

- товщина мембрани: $h = 1,2 \cdot 10^{-3}$ м (1,2 мм);
- динамічний модуль Юнга нової гуми: $E_0 = 5,5 \cdot 10^6$ Па (для марки 14НТ-19 або аналогу);
- коефіцієнт Пуасона для гуми: $\mu = 0,49$ (практично нестислива);
- зовнішній радіус мембрани: $b = 25 \cdot 10^{-3}$ м;
- внутрішній радіус мембрани: $a = 8 \cdot 10^{-3}$ м.

Підставляємо значення у формулу (3.13):

$$\begin{aligned} \chi &= (5,5 \cdot 10^6 \cdot (1,2 \cdot 10^{-3})^3) / [12 \cdot (1 - 0,49^2)] \\ \chi &= (5,5 \cdot 10^6 \cdot 1,728 \cdot 10^{-9}) / [12 \cdot (1 - 0,2401)] \\ \chi &= 9,504 \cdot 10^{-3} / (12 \cdot 0,7599) = 9,504 \cdot 10^{-3} / 9,119 \approx 1,042 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Таким чином, циліндрична жорсткість мембрани колектора доїльного апарата DuoVac становить $\chi \approx 1,042 \cdot 10^{-3}$ Н·м.

Внутрішні силові фактори мембрани. Кут повороту дотичної до зігнутої серединної поверхні мембрани в радіальному напрямку:

$$dW/dr = (1/a) \cdot [4\alpha \cdot \rho^3 + A_2 \cdot \rho \cdot (2 \cdot \ln(\rho) + 1) + 2A_3 \cdot \rho + A_4/\rho] \quad (3.15)$$

Оператор Лапласа для функції прогину:

$$\Delta W = (4/a^2) \cdot [4\alpha \cdot \rho^2 + A_2 \cdot (2 \cdot \ln(\rho) + 2) + 2A_3] \quad (3.16)$$

Згинальний момент M_r в мембрані в радіальному напрямку:

$$M_r = -\chi \cdot [d^2W/dr^2 + \mu/r \cdot dW/dr] \quad (3.17)$$

Розкриваючи (3.17) у безрозмірних координатах:

$$M_r = -(\chi/a^2) \cdot \{(12\alpha \cdot \rho^2 + A_2 \cdot (2 \cdot \ln(\rho) + 3) + 2A_3) + \mu \cdot (4\alpha \cdot \rho^2 + A_2 \cdot (2 \cdot \ln(\rho) + 1) + 2A_3 + A_4/\rho^2)\} \quad (3.18)$$

Поперечна сила в мембрані:

$$Q_r = -\chi \cdot d(\Delta W)/dr = -(\chi/a^3) \cdot [16 \cdot \alpha \cdot \rho + 4 \cdot A_2/\rho] \quad (3.19)$$

Граничні умови та визначення сталих інтегрування. Невідомі сталі $C_1, C_2, C_3, C_4, A_1, A_2, A_3, A_4$ визначаємо з таких граничних умов:

1) На зовнішньому контурі $\rho = \beta$ (жорстке заземлення): $W_1 = 0$; $dW_1/dr = 0$.

З умови рівноваги поперечних сил:

$$Q_r|_{\rho=\beta} = -[q \cdot (b^2 - a^2) + q_1 \cdot a^2] / (2 \cdot b) \quad (3.20)$$

2) При $\rho \rightarrow 0$: W_2 – скінченний прогин; $Q_r = 0$, звідси $A_4 = 0, A_2 = 0$.

3) На межі зон $\rho = 1$ ($r = a$): рівність прогинів $W_1 = W_2$, кутів повороту $dW_1/dr = dW_2/dr$ та моментів $M_r^{(1)} = M_r^{(2)}$.

З цих умов записуємо систему рівнянь для визначення сталих:

$$C_3 + C_1 = 0 \quad (3.21)$$

$$2C_3 + 4 \cdot \alpha + C_4 = 0 \quad (3.22)$$

$$C_3 = [q \cdot (b^2 - a^2) \cdot a + q_1 \cdot a^3] / [4 \cdot b \cdot a^2 \cdot \chi/a^3] \quad (3.23)$$

$$A_1 = A_2 = 0 \text{ (скінченність прогину при } \rho \rightarrow 0) \quad (3.24)$$

Вирішуючи систему рівнянь (3.21)–(3.24), отримуємо конкретні значення сталих, після чого можна обчислити прогин будь-якої точки мембрани.

Напруження в мембрані. Максимальні нормальні напруження в радіальному та колові (тангенціальному) напрямках відповідно:

$$\sigma_{r_max} = 6 \cdot M_{r_max} / h^2 \quad (3.25)$$

$$\sigma_{\theta_max} = 6 \cdot M_{\theta_max} / h^2 \quad (3.26)$$

Максимальне дотичне напруження в нейтральному шарі

$$\tau_{rz_max} = (3/2) \cdot Q_{r_max} / h \quad (3.27)$$

Чисельний розрахунок для мембрани колектора DuoVac.

Підставляємо відомі параметри мембрани колектора DeLaval DuoVac для визначення максимальних напружень. Розподілене навантаження на мембрану визначаємо через різницю тисків у камерах пульсатора:

$$q = \Delta P = P_{роб} - P_{мас} = 48 - 22 = 26 \text{ кПа} = 26\,000 \text{ Па} \quad (3.28)$$

де $P_{роб} = 48 \text{ кПа}$ — робочий вакуум; $P_{мас} = 22 \text{ кПа}$ – масажний вакууму.

Максимальний згинальний момент у мембрані (на защемленому краю $\rho = \beta$):

$$M_{r_max} = -q \cdot a^2 \cdot f(\beta, \mu) \quad (3.29)$$

де $f(\beta, \mu)$ – безрозмірна функція від геометрії мембрани та коефіцієнта Пуасона. При $\beta = b/a = 25/8 = 3,125$ і $\mu = 0,49$ табличне значення $f \approx 0,062$.

$$M_{rmax} = -26\,000 \cdot (8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0,062 = -26\,000 \cdot 64 \cdot 10^{-6} \cdot 0,062 \approx -0,103 \text{ Н} \cdot \text{м/м}$$

Максимальне нормальне напруження в мембрані:

$$\sigma_{rmax} = 6 \cdot |M_{r_max}| / h^2 = 6 \cdot 0,103 / (1,2 \cdot 10^{-3})^2 \approx 0,429 \text{ МПа} \quad (3.30)$$

Допустиме напруження для гуми марки 14НТ-19 при циклічних навантаженнях: $[\sigma] = 0,8\text{--}1,2$ МПа. Оскільки $\sigma_{r_max} \approx 0,429 \text{ МПа} < [\sigma] = 0,8 \text{ МПа}$, мембрана задовольняє умові міцності з дворазовим запасом.

Пружна сила мембрани та межі її зносостійкості. Пружна сила мембрани FM є одним з визначальних параметрів рівняння рівноваги сил пульсатора. Через динамічний модуль Юнга гуми $E(t)$ пружна сила мембрани виражається як [53]:

$$FM = u \cdot SK \cdot E(t) \cdot (4h^2/D^2_{вн}) \quad (3.31)$$

де u – коефіцієнт активності мембрани ($u = 0,5\text{--}0,7$); $SK = \pi \cdot (D^2_{зов} - D^2_{вн})/4$ – площа кільця мембрани, м^2 ; $D_{зов}$, $D_{вн}$ – зовнішній і внутрішній діаметри мембрани, м ; $E(t)$ – динамічний модуль Юнга гуми, що змінюється в часі, Па.

Зі старінням гуми динамічний модуль Юнга змінюється за експоненціальною залежністю:

$$E(t) = E_{\infty} + (E_0 - E_{\infty}) \cdot e^{(-k \cdot t)} \quad (3.32)$$

де E_0 – початкове значення динамічного модуля нової гуми: $E_0 = 5,5$ МПа; E_{∞} – кінцеве значення модуля після повного старіння: $E_{\infty} = 2,8$ МПа; k – константа швидкості зносу гуми, с^{-1} ($k \approx 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ для умов доїльного залу); t – тривалість експлуатації, с .

Для нормальної роботи пульсатора пружна сила мембрани FM повинна знаходитись у межах:

$$FM_{min} \leq FM \leq FM_{max} \quad (3.33)$$

Граничні умови FM_{min} і FM_{max} визначаються з рівнянь рівноваги пульсатора при мінімальному та максимальному вакуумі відповідно. Аналіз показує, що при зниженні модуля Юнга гуми нижче критичного значення $E^* = 3,2$ МПа (що відповідає тривалості експлуатації близько 200–250 год.) пружна сила FM виходить за допустимі межі і пульсатор починає працювати нестабільно [53].

Теоретичний час спрацьованості мембрани пульсатора двотактного доїльного апарата становить 200–250 год., що підтверджується даними виробника та технічними нормами технічного обслуговування. Для доїльного залу «Тандем» 2×4 з дворазовим доїнням (≈ 3 год./добу) це відповідає терміну служби мембрани 66–83 доби (2–2,8 місяці). Плановий технічний огляд та заміна мембран EP2090 повинні виконуватися не рідше ніж один раз на 2 місяці [53].

3.8 Висновки до розділу

У розділі 3 розглянуто загальну характеристику, конструктивну схему та принцип роботи доїльного апарата DeLaval DuoVac, обраного для застосування на молочно-товарній фермі з доїльним залом «Тандем» 2×4 , описаний у другому розділі.

1. Встановлено, що апарат DuoVac є технологічно передовим рішенням, що базується на принципі подвійного вакууму з автоматичним перемиканням між робочим (45–50 кПа) та масажним (20–25 кПа) рівнями залежно від інтенсивності молоковіддачі. Ця особливість принципово відрізняє його від традиційних однорівневих апаратів і забезпечує суттєво нижчий ризик маститу та травм вимені.

2. Конструктивна схема апарата включає п'ять основних вузлів: доїльні стакани з лайнерами, колектор із вбудованим датчиком потоку молока, молочні та пульсаційні шланги, індивідуальний електронний пульсатор EP2090 та блок DuoVac із регулятором вакууму. Кожен вузол

виконує чітко визначену функцію, а разом вони утворюють єдину замкнуту систему механізованого доїння.

3. Принцип роботи апарата передбачає чотирифазний цикл: попередній масаж (стимуляція рефлексу молоковіддачі при зниженому вакуумі), основне доїння (робочий вакуум), завершальний масаж (зниження вакууму при падінні потоку молока) та від'єднання кластера. Автоматичне керування всіма переходами між фазами на підставі сигналу датчика потоку молока мінімізує залежність процесу від людського фактора.

4. Індивідуальний електронний пульсатор EP2090 забезпечує стабільну пульсацію 60–65 імп/хв зі співвідношенням фаз 60:40 незалежно від умов середовища, що є оптимальним для корів Червоної степової породи з надоем 4000 кг/рік.

5. Апарат DuoVac повністю сумісний з обраним доїльним залом «Тандем» 2×4, системою молокопроводу та СІР-санацією, що підтверджує правильність його вибору для проєктованої ферми.

6. Проведено теоретичний аналіз режимів роботи доїльних стаканів колектора. Встановлено, що попарний режим роботи, реалізований у системі DuoVac, забезпечує більш рівномірне надходження молока до молокозбірної камери колектора та нижчі коливання вакуумметричного тиску порівняно з одночасним режимом.

7. Отримано формулу для розрахунку витрати молока через сфінктер дійки (3.5), яка враховує робочий вакуум, геометрію дійкового каналу та властивості дійкової гуми. При оптимальних параметрах DuoVac ($P = 48$ кПа, $n = 62$ імп/хв, $\eta = 0,6$) швидкість молоковіддачі становить 1,4–1,6 л/хв.

8. Визначено циліндричну жорсткість мембрани колектора за формулою (3.13). При товщині мембрани $h = 1,2$ мм, модулі Юнга $E_0 = 5,5$ МПа та коефіцієнті Пуасона $\mu = 0,49$ циліндрична жорсткість становить $\chi \approx 1,042 \cdot 10^{-3}$ Н·м.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Загальні вимоги охорони праці на молочно-товарній фермі

Охорона праці на молочно-товарній фермі є системою правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Відповідно до Закону України «Про охорону праці» (в редакції від 21.11.2002 № 229-IV), роботодавець зобов'язаний створити безпечні умови праці на всіх робочих місцях та провести інструктажі з охорони праці для кожного працівника [61].

Виробнича діяльність молочно-товарної ферми пов'язана з низкою специфічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів (НШВФ), до яких належать: механічні (рухомі частини обладнання, гострі кромки), електричні (ураження струмом), хімічні (мийні та дезінфікуючі засоби), біологічні (контакт з тваринами та збудниками зоонозних захворювань), фізичні (шум, вібрація, несприятливий мікроклімат) та ергономічні (важка фізична праця, незручні пози). Для проєктованої ферми з доїльним залом «Тандем» 2×4 та автоматизованим механізмом встановлення і зняття кластерів DeLaval DuoVac питання охорони праці набувають особливого значення через одночасне використання електромеханічного обладнання та роботу персоналу безпосередньо в зоні тварин [62].

Правову базу охорони праці на тваринницьких підприємствах України формують такі нормативні документи:

- Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII (в редакції 2002 р.);

- НПАОП 01.0-1.01-07 «Правила охорони праці у тваринництві. Велика рогата худоба»;

- ДСТУ 7091:2009 «Обладнання для доїння. Загальні вимоги та процедури випробування»;
- ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку»;
- ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації»;
- НПАОП 0.00-1.21-07 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»;
- ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [63].

4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Аналіз умов праці на молочно-товарній фермі здійснюється з метою виявлення всіх потенційних джерел небезпеки та розробки відповідних захисних заходів. Для проєктованого об'єкта – ферми на 1038 голів ВРХ з доїльним залом «Тандем» 2×4 – визначено основні НШВФ, їх джерела, нормативні значення та засоби захисту, наведені в таблиці 4.1.

Виробничий шум. Основними джерелами шуму на фермі є вакуумний насос (85–95 дБА у незахищеному виконанні), молокопровід при русі молока, доїльні апарати та кормороздавач КТУ-10. Допустимий рівень звуку для постійних робочих місць оператора – 80 дБА відповідно до ГОСТ 12.1.003-83 та ДСН 3.3.6.037-99. Для зниження рівня шуму від вакуумного насоса до нормативних значень передбачається встановлення звукопоглинаючого кожуха, що забезпечує зниження на 10–15 дБА. Оператори, що перебувають у зоні підвищеного шуму понад 80 дБА, зобов'язані використовувати засоби індивідуального захисту органу слуху – протишумові навушники або вкладиші типу «беруші» [64].

Електробезпека. Доїльний зал «Тандем», вакуумна станція та автоматизований маніпулятор кластерів є споживачами електричної енергії

напругою 220/380 В. Відповідно до НПАОП 0.00-1.21-07, усе електрообладнання у вологих приміщеннях (клас приміщення – «особливо небезпечні» за ПУЕ) має ступінь захисту не нижче IP54. Захист від ураження струмом забезпечується: захисним заземленням усього металевого корпусного обладнання (опір заземлення ≤ 4 Ом); встановленням пристроїв захисного відключення (ПЗВ/УЗО) з уставкою спрацювання 30 мА; застосуванням трансформаторів безпеки 12–42 В для ручного переносного інструменту; систематичним вимірюванням опору ізоляції (не рідше 1 разу на рік) [63, 65].

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори на молочно-товарній фермі

Шкідливий/небезпечний фактор	Джерело виникнення	Нормативне значення	Засоби захисту
Виробничий шум	Вакуумний насос, молокопровід, доїльні апарати	≤ 80 дБА (ГОСТ 12.1.003)	Навушники, кожухи на насос
Вібрація	Вакуумний насос, мотор-редуктор маніпулятора	≤ 92 дБ (ДСН 3.3.6.039)	Амортизатори, м'які підлоги
Електрична небезпека	Електродвигуни, пульт керування, ЕР2090	$U \leq 50$ В або захисне заземлення	ПУЕ, заземлення, УЗО
Слизька підлога	Молоко, вода, дезінфектанти у доїльному залі	Коефіцієнт тертя $\geq 0,4$	Рифлена плитка, килимки
Хімічні речовини	Лужні/кислотні розчини СІР-системи (NaOH, HNO ₃)	ГДК NaOH — 0,5 мг/м ³	Рукавички, окуляри, фартух
Рухомі частини обладнання	Маніпулятор кластера, транспортерною ТСН-3	НПАОП 0.00-1.21 (огороження)	Кожухи, кінцеві вимикачі
Мікроклімат	Доїльний зал, корівник	$t = +14 \dots +20$ °С, $W = 50\text{--}75\%$	Вентиляція, опалення
Біологічний фактор	Контакт з тваринами, гній, аерозолі	НПАОП 01.0-1.01 (ветеринарні вимоги)	ЗІЗ, гігієна рук, щеплення

Автоматизований маніпулятор встановлення та зняття доїльних кластерів, описаний у розділі 2 даного проєкту, живиться від мережі 220 В і оснащений вбудованим контролером із захистом від перевантаження. Усі рухомі механічні частини маніпулятора захищені кожухами, а кінцеві вимикачі забезпечують автоматичну зупинку приводу при опорі понад $2 \times$ номінального зусилля, що унеможливорює травмування оператора або тварини.

Безпека при роботі з тваринами. Робота персоналу в безпосередній близькості від великої рогатої худоби є специфічним джерелом небезпеки. Відповідно до НПАОП 01.0-1.01-07, забороняється: підходити до корів ззаду без попередження; знаходитися за твариною під час її фіксації; виконувати роботи з тваринами поодиночі без страхування. Ворота та перегородки боксів «Тандем» виконані з труб зовнішнім діаметром 50 мм та витримують навантаження від тварини масою до 700 кг. Оператор доїльного залу працює в огороженій ямі (глибина 0,85 м), що унеможливорює прямий контакт із задніми кінцівками корів у бічній площині [62].

Хімічна безпека при роботі з СІР-системою. СІР-система автоматичного промивання використовує лужний розчин NaOH (0,5–1,0%) і кислотний розчин HNO_3 (0,5–0,8%) при температурі 70–85 °С. Ці речовини є небезпечними для шкіри та слизових оболонок. Відповідно до ГОСТ 12.1.007, клас небезпеки NaOH – III (помірно небезпечна), HNO_3 – II (високо небезпечна). При роботі з концентратами мийних засобів оператор зобов'язаний використовувати: хімічно стійкі гумові рукавички (ДСТУ EN 374); захисні окуляри типу ЗП1 або ЗП2; поліетиленовий або гумовий фартух. Аварійний душ і станція промивання очей встановлюються на відстані не більше 10 м від місця роботи з концентратами [63].

4.3 Організація безпечних умов праці оператора машинного доїння

Оператор машинного доїння є центральною фігурою виробничого процесу на молочно-товарній фермі. Він безпосередньо контактує з тваринами, обладнанням і хімічними засобами, тому організація його робочого місця та режиму праці є першочерговим завданням охорони праці.

Вимоги до робочого місця оператора. Доїльна яма залу «Тандем» є постійним робочим місцем оператора. Відповідно до санітарних норм та НПАОП 01.0-1.01-07, робоче місце оператора повинно відповідати таким вимогам:

- підлога ями – рифлена нековзка плитка з нахилом 1–2% до зливних лотків; покриття підлоги – гумові килимки для зменшення навантаження на суглоби;
- освітленість робочої зони – не менше 500 лк (ДБН В.2.5-28);
- температура повітря в доїльному залі – +14...+20 °С; відносна вологість – 50–75%; швидкість руху повітря – не більше 0,3 м/с (ДСН 3.3.6.042-99);
- висота ями – 0,85 м, що відповідає оптимальній ергономічній висоті доступу до вимені корови;
- наявність мийної раковини з холодною та гарячою водою безпосередньо в доїльній зоні;
- аптечка першої допомоги в доступному місці;
- засоби зв'язку (кнопка аварійного виклику) для зв'язку з іншими працівниками ферми [62, 65].

Режим праці та відпочинку. Відповідно до Кодексу законів про працю України (КЗпП) та галузевих норм, для операторів машинного доїння встановлюється: тривалість робочої зміни – не більше 8 год.; обов'язкова перерва для відпочинку і харчування – 30–60 хв (не пізніше 4

год після початку зміни); технологічні перерви між циклами доїння – 10–15 хв для відновлення; не більше 140–180 корів на обслуговування одним оператором за зміну (з урахуванням автоматизованого маніпулятора – до 180 голів). Після впровадження автоматизованого механізму зняття кластерів, описаного в розділі 2, фізичне навантаження на оператора знижується на 40–45%, що дозволяє збільшити норму обслуговування без погіршення умов праці [62, 66].

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). Кожен оператор доїльного залу забезпечується такими ЗІЗ відповідно до НПАОП 01.0-1.01-07: гумові чоботи (клас захисту від ковзання SRA); водонепроникний комбінезон або фартух; гумові рукавички при роботі з мийними засобами; захисні окуляри при роботі з концентратами; головний убір (кепка або берет); маска або респіратор FFP1 при наявності пилу або аерозолів в корівнику. Усі ЗІЗ видаються за рахунок роботодавця, проходять перевірку перед кожною зміною та замінюються відповідно до встановлених термінів носіння [63].

Інструктажі та навчання. Відповідно до Типового положення про порядок проведення навчання та перевірки знань з питань охорони праці (наказ Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 № 15), на фермі проводяться такі види інструктажів: вступний – при прийомі на роботу; первинний – на робочому місці; повторний – не рідше 1 разу на 6 місяців; позаплановий – при зміні обладнання або виникненні аварії; цільовий – перед виконанням разових небезпечних робіт. Крім того, оператори доїльних установок мають проходити щорічне навчання з технічної безпеки та охорони праці з перевіркою знань і підписанням особистої картки інструктажу [65].

4.4 Пожежна безпека

Молочно-товарна ферма належить до категорії В2 пожежної небезпеки (горючі речовини та матеріали – корми, підстилка, мастила, пластикові елементи обладнання) відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016.

Клас пожежі – А (тверді горючі матеріали). Будівлі корівників 801-368 та доїльно-молочного блоку 801-471 виконані в конструктивному класі КС2 (Па ступінь вогнестійкості) [67].

Заходи пожежної безпеки на фермі включають:

- встановлення автоматичної системи пожежної сигналізації (АПС) типу димових датчиків ДИП-34А у всіх приміщеннях;
- розміщення первинних засобів пожежогасіння: вогнегасники ВВК-6 (вуглекислотні) – у доїльному залі та молочній кімнаті (1 шт. на 50 м²); ящики з піском (0,5 м³) – у корівниках;
- влаштування протипожежного водопостачання: зовнішній пожежний водопровід з гідрантами через кожні 150 м; внутрішній пожежний кран діаметром 65 мм у доїльно-молочному блоці;
- евакуаційні виходи: не менше двох у кожному корівнику та доїльному залі; ширина виходів – не менше 1,8 м (для тварин); евакуаційні таблички з підсвічуванням;
- заборона паління та відкритого вогню в радіусі 20 м від будівель ферми; відповідні знаки заборони встановлені на в'їзді та всіх входах;
- план евакуації тварин, затверджений керівником господарства, вивішений у кожному приміщенні;
- регулярні (1 раз на квартал) практичні навчання персоналу з пожежної евакуації [67, 68].

4.5 Захист навколишнього середовища

Молочно-товарна ферма як агровиробничий об'єкт є джерелом комплексного впливу на навколишнє природне середовище. Відповідно до Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 № 1264-ХІІ та Закону України «Про відходи» від 05.03.1998 № 187/98-ВР, підприємство зобов'язане розробити та впроваджувати

систему заходів з мінімізації негативного впливу на атмосферне повітря, ґрунт, поверхневі та підземні води [69].

Поводження з гноєм та стічними водами. Ферма на 1038 голів ВРХ щодобово продукує близько 30–35 кг гною та рідких стоків від однієї тварини, тобто загалом 31–36 т/добу або 11 300–13 140 т/рік. Система гноєвидалення будується на принципі роздільного збору твердої та рідкої фракцій. Транспортери ТСН-3 подають гній до навантажувального пункту, звідки твердий гній автотранспортом вивозиться до закритого гноєсховища ємністю не менше 6-місячного накопичення ($\approx 2000\text{--}2200\text{ м}^3$). Рідка фракція (гноївка) відводиться самопливом до закритих збірників та використовується для удобрення полів після карантинування не менше 6 місяців. Забороняється скидання гною або гноївки у відкриті водойми, яри або на незахищений ґрунт у межах водоохоронних зон [69, 70].

Очищення стічних вод СІР-системи. Відпрацьовані розчини СІР-системи (лужні м рН 12–13, кислотні – рН 1–2) не можна скидати безпосередньо в каналізацію або водойми без попередньої обробки. Для нейтралізації передбачається встановлення нейтралізаційної ємності об'ємом 2–3 м³ з автоматичним дозуванням нейтралізуючого агента (сірчана кислота для нейтралізації лужних стоків або вапняне молоко для кислотних) до рН 6,5–8,5. Контроль рН здійснюється вбудованим рН-метром з реєстрацією даних. Лише після досягнення нормативного рН відпрацьований розчин подається на локальні очисні споруди. Очищені стоки передаються на поля зрошення або до системи централізованої каналізації [70].

Захист атмосферного повітря. Основними джерелами забруднення атмосферного повітря є: аміак (NH_3) від розкладання гною – до 2–3 г/год/голову; вуглекислий газ (CO_2) від тварин – до 100 г/год/голову; сірководень (H_2S) від гноєсховища; викиди від двигунів тракторної та автомобільної техніки. Для мінімізації емісії NH_3 і H_2S передбачається: закрите гноєсховище з газонепроникним покриттям; система примусової

вентиляції корівників із фільтрами-адсорберами (активоване вугілля або хімічний скруббер); санітарно-захисна зона (СЗЗ) не менше 300 м від найближчої житлової забудови відповідно до ДСП 201-97 [69].

Рациональне використання водних ресурсів. Потреба у воді на молочно-товарній фермі на 1038 голів ВРХ становить орієнтовно: питна вода для тварин – 80–100 л/гол./добу ($\approx 83\text{--}104 \text{ м}^3/\text{добу}$); вода для промивання молочного обладнання (СІР) – 120–150 л на одне доїльне місце за цикл ($\approx 2\text{--}3 \text{ м}^3/\text{добу}$); вода для санітарної обробки приміщень – 0,5–1,0 л/м² підлоги. Загальна добова потреба у воді – 90–110 м³/добу. Для скорочення водоспоживання застосовується рециркуляція промивних вод у СІР-циклі, встановлення лічильників та норм витрат на кожен пост. Водозабір здійснюється виключно з ліцензованої свердловини або централізованого водопроводу з наявним санітарним паспортом [68, 70].

Санітарно-захисна зона (СЗЗ). Відповідно до ДСП 201-97 «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів», для молочно-товарної ферми на 1001–5000 голів ВРХ встановлюється СЗЗ розміром 300 м від межі ферми до найближчої житлової забудови. У межах СЗЗ забороняється розміщення житлових будинків, шкіл, лікарень та інших об'єктів з постійним перебуванням людей. Озеленення СЗЗ деревно-чагарниковими насадженнями у 3 ряди (загальна ширина смуги 10–15 м) додатково знижує рівень запахів та шуму на межі зони [69].

4.6 Висновки до розділу

У розділі 4 розроблено комплекс заходів з охорони праці та захисту навколишнього середовища для молочно-товарної ферми на 1038 голів ВРХ з доїльним залом «Тандем» 2×4.

1. Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Виявлено 8 основних НШВФ: шум ($\leq 80 \text{ дБА}$), вібрація, електрична небезпека, слизька підлога, хімічні речовини СІР-системи, рухомі частини

обладнання, несприятливий мікроклімат та біологічний фактор. Для кожного фактора визначено нормативні значення та засоби захисту.

2. Розроблено заходи безпеки для оператора машинного доїння: вимоги до робочого місця (освітленість ≥ 500 лк, температура $+14...+20$ °C), режим праці (не більше 8 год/зміну, до 180 корів/оператора після автоматизації), повний комплект ЗІЗ та система інструктажів відповідно до законодавства.

3. Автоматизований маніпулятор встановлення та зняття кластерів DeLaval DuoVac оснащений кінцевими вимикачами та захистом від перевантаження (зупинка при $2\times$ номінального зусилля), що унеможливорює травмування персоналу. Впровадження маніпулятора знижує фізичне навантаження на оператора на 40–45%.

4. Встановлено вимоги пожежної безпеки (категорія В2, ступінь вогнестійкості Па): АПС, вогнегасники, пожежне водопостачання, план евакуації тварин.

5. Визначено основні джерела впливу ферми на навколишнє середовище (гній 11 300–13 140 т/рік, стоки СІР-системи, аміак, відходи) та заходи їх нейтралізації: закрите гноєсховище на 6-місячне накопичення, нейтралізаційна ємність для стоків СІР, система вентиляції з адсорбером, СЗЗ 300 м.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДОЇЛЬНИХ АПАРАТІВ ПОДВІЙНОГО ВАКУМУ

5.1 Загальні підходи до економічної оцінки доїльного обладнання

Економічне обґрунтування вибору доїльного апарата є невід'ємною складовою проєктування молочно-товарної ферми. На відміну від суто технічного порівняння, економічна оцінка враховує не лише первісну вартість придбання, а й сукупну вартість володіння (Total Cost of Ownership, TCO) протягом усього терміну служби обладнання, включаючи витрати на монтаж, технічне обслуговування, енергоспоживання, витратні матеріали та вплив обладнання на обсяг і якість виробленого молока. Правильний вибір доїльного апарата здатний суттєво підвищити рентабельність молочного виробництва через зниження частоти маститів, зростання надоїв та скорочення витрат праці [7, 9].

Для молочно-товарної ферми, описаної у попередніх розділах (340 дійних корів, порода Червона степова, надій 4000 кг/рік, доїльний зал «Тандем» 2×4), здійснюється порівняльний аналіз двох конкурентних систем доїльних апаратів подвійного вакууму комбінованого типу:

1. DeLaval DuoVac з електронним пульсатором EP2090 – система подвійного вакууму, що є основним об'єктом проєктування даного дипломного проєкту.

2. GEA IQ Cluster зі StimoPuls Apex P – система з революційною 4-камерною технологією колектора від провідного конкурента DeLaval – компанії GEA Farm Technologies (Німеччина).

Обидва апарати належать до категорії сучасних систем подвійного або комбінованого вакууму, забезпечують автоматичну стимуляцію вимені та зняття доїльних стаканів, і є прямими конкурентами на ринку обладнання для молочних ферм середнього та великого розміру.

Порівняння здійснюється за технічними характеристиками, показниками ефективності та економічними параметрами [54, 55].

5.2 Технічна характеристика апаратів-конкурентів

Доїльний апарат DeLaval DuoVac є флагманським продуктом шведської компанії DeLaval для традиційних і автоматизованих доїльних установок. Ключова технологія DuoVac – автоматичне перемикання між двома рівнями вакуумметричного тиску: масажним (20–25 кПа) у фазі стимуляції та завершення доїння, і робочим (45–50 кПа) під час основного доїння. Система реагує на сигнал датчика потоку молока, вбудованого в колектор, без участі оператора [56].

Індивідуальний електронний пульсатор EP2090 забезпечує стабільну пульсацію з частотою 60–65 імп/хв та співвідношенням фаз 60:40 незалежно від зовнішніх умов. Апарат відрізняється широкою сумісністю з усіма типами доїльних установок, розгалуженою мережею сервісного обслуговування в Україні та відносно доступною ціною на запчастини [39, 56].

Доїльний апарат GEA IQ Cluster є інноваційним рішенням від GEA Farm Technologies (Німеччина) – одного з найбільших світових виробників обладнання для молочних ферм. Революційна технологія IQ полягає у 4-камерному колекторі, в якому кожна частка вимені виділяється в окрему камеру. Це повністю виключає перехресне бактеріальне забруднення між частками та суттєво знижує ризик поширення маститу всередині вимені [54].

Електронний пульсатор StimoPuls Apex P забезпечує автоматичну стимуляцію вимені перед початком основного доїння з частотою 300 імп/хв, що імітує природне смоктання теляти. Це принципово відрізняє GEA IQ від DuoVac, де стимуляція здійснюється через зниження вакууму, а не підвищення частоти пульсації. Автоматичний відключальник вакууму

з кульками з нержавіючої сталі (stainless steel balls) миттєво перекриває вакуум при від'єднанні стакана, що знижує шум і ризик контамінації [55].

Конструкція IQ Cluster відрізняється значно меншою масою кластера (2,5–3,5 кг проти 8,0 кг у DuoVac), що суттєво полегшує роботу оператора та знижує навантаження на підвісну систему. Однак вища вартість апарата GEA IQ та більш обмежена мережа сервісного обслуговування в Україні є суттєвими обмежувальними факторами для його застосування у вітчизняних умовах [54, 55].

5.3 Порівняльна таблиця технічних та економічних показників

У таблиці 5.1 наведено детальне порівняння апаратів DeLaval DuoVac та GEA IQ Cluster за технічними характеристиками, показниками ефективності, параметрами технічного обслуговування та вартісними показниками стосовно застосування на фермі з 340 дійними коровами у доїльному залі «Тандем» 2×4.

Таблиця 5.1 – Порівняльна характеристика доїльних апаратів DeLaval DuoVac та GEA IQ Cluster

Показник	DeLaval DuoVac (EP2090)	GEA IQ Cluster (StimoPuls Apex P)
ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ		
Виробник	DeLaval (Швеція)	GEA Farm Technologies (Німеччина)
Рік виходу на ринок	1992 (комерційно з 1998)	2010-ті (IQ-серія)
Країна застосування	Більш ніж 100 країн	Більш ніж 100 країн
Тип вакуумної системи	Подвійний вакуум (DuoVac): масажний + робочий	Одноконтурний, стабільний низький вакуум (Low-Vac)
ПАРАМЕТРИ ДОЇННЯ		
Робочий вакуум	45–50 кПа	42–46 кПа (Low-Vac)
Масажний / початковий вакуум	20–25 кПа (автоматично)	Немає (єдиний рівень)

Показник	DeLaval DuoVac (EP2090)	GEA IQ Cluster (StimoPuls Apex P)
Частота пульсації	60–65 імп/хв (програмована)	60–120 імп/хв (StimoPuls: 300 імп/хв при стимуляції)
Співвідношення тактів	60:40 (програмоване)	60:40 або 65:35 (програмоване)
Стимуляція перед доїнням	Автоматична фаза масажу при зниженому вакуумі	Electronically controlled StimoPuls (300 імп/хв, окремо)
Автоматичне зняття апарата	Так (ACR), при потоці < 0,1–0,2 кг/хв	Так (DeMax/DemaTron), при потоці < 0,15–0,3 кг/хв
Датчик потоку молока	Вбудований у колектор	Зовнішній (Milk Meter або DemaTron)
КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ		
Тип колектора	Прозорий пластик, молокозбірна камера 150–200 мл	4-камерна технологія (IQ 4-way), роздільно по часткам
Матеріал лайнера	Силікон або натуральна гума	Силікон або натуральна гума (IQ-liner)
Маса кластера	≈ 8,0 кг	≈ 2,5–3,5 кг (IQ — легший)
Матеріал корпусу стакану	Нержавіюча сталь AISI 304 або харч. пластик	Нержавіюча сталь / харч. пластик
Перехресне забруднення між частками	Мінімізоване (роздільні молочні шляхи)	Виключено: 4 окремі камери колектора
Захист від автовідключення вакууму	Є (при від'єднанні стакану)	Є (stainless steel balls — миттєве відключення)
СУМІСНІСТЬ ТА ІНТЕГРАЦІЯ		
Тип доїльної установки	Всі типи: молокопровід, Тандем, Ялинка, Паралель, Карусель	Всі типи: молокопровід, Тандем, Ялинка, Паралель, Карусель
Інтеграція з системою управління стадом	DeLaval DMS, ALPRO, DelPro	GEA DairyNet, DairyMilk M6850
Сумісність з СІР-системою	Повна, t до 85°C	Повна, t до 85°C
ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ		
Зниження частоти маститу	До –10% порівняно зі стандартними апаратами	До –8–12% (4-Way IQ + низький вакуум)
Приріст надою	+1,5–2% (автоматична стимуляція, фізіологічний вакуум)	+2–3% (StimoPuls + 4-way технологія)

Показник	DeLaval DuoVac (EP2090)	GEA IQ Cluster (StimoPuls Apex P)
Зниження навантаження оператора	–40–45% (ACR + DuoVac авт. перемикання)	–35–40% (ACR + StimoPuls авт. стимуляція)
Швидкість молоковіддачі	1,4–1,6 л/хв (Червона степова)	1,5–1,8 л/хв (для Holstein)
Якість молока (соматичні клітини)	Зниження на 10–15 тис./мл	Зниження на 15–20 тис./мл (4-way)
ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ		
Ресурс лайнера	2 500 доїнь (силікон) / 1 500 (гума)	2 500 доїнь (IQ-силікон) / 1 500 (гума)
Ресурс мембрани пульсатора	200–250 год. (2–2,8 міс.)	250–300 год. (2,8–3,3 міс.)
Складність обслуговування	Середня (пульсатор EP2090 — окремий вузол)	Середня (модульна конструкція IQ)
Наявність запчастин в Україні	Широка мережа (DeLaval UA, Братслав)	Обмежена (GEA-дистриб'ютори)
ВАРТІСНІ ПОКАЗНИКИ (орієнтовно)		
Вартість 1 кластера з пульсатором, €	450–650 €	600–900 €
Вартість комплекту на 8 місць, €	3 600–5 200 €	4 800–7 200 €
Річні витрати на ТО (8 місць), €	800–1 200 €/рік	1 000–1 600 €/рік
Термін окупності (за приростом надою), років	2,5–3,5 роки	3,0–4,5 роки
ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА (для ферми 340 корів, Тандем 2×4)	✓ РЕКОМЕНДОВАНО	Альтернатива для великих ферм Holstein

5.4 Економічний розрахунок ефективності застосування DeLaval DuoVac

Для кількісного обґрунтування економічної доцільності вибору апарата DuoVac розраховуємо основні фінансові показники для ферми з 340 дійними коровами Червоної степової породи.

Вихідні дані для розрахунку

– кількість дійних корів: $N = 340$ голів;

- річний надій на корову: $Y = 4000$ кг/рік;
- середня закупівельна ціна молока (екстра-гатунок): $Ц_m = 18$ грн/кг ($\approx 0,44$ €/кг);
- кількість доїльних місць: 8 (зал «Тандем» 2×4);
- вартість комплекту DuoVac на 8 місць: $V_{\text{дув}} = 4\,400$ € (середнє значення);
- вартість комплекту GEA IQ на 8 місць: $V_{\text{GEA}} = 6\,000$ € (середнє значення);
- курс євро: $1 \text{ €} \approx 43$ грн (2025 р.);
- кількість операторів до автоматизації: 2 особи/зміна;
- середня зарплата оператора доїльного залу: 16 000 грн/міс.

Розрахунок валового виробництва молока та виручки. Річний обсяг виробництва молока:

$$Q_{\text{рік}} = N \times Y = 340 \times 4000 = 1\,360\,000 \text{ кг} = 1360 \text{ т} \quad (5.1)$$

Річна виручка від реалізації молока:

$$V_{\text{рік}} = Q_{\text{рік}} \times Ц_m = 1\,360\,000 \times 18 = 24\,480\,000 \text{ грн/рік} \quad (5.2)$$

Ефект від зниження частоти маститу. Застосування системи DuoVac знижує частоту маститу на 10% порівняно зі стандартними апаратами. Вартість лікування одного клінічного маститу (ветеринарні препарати + втрати молока + зниження надою) в умовах України — орієнтовно 2500–4000 грн/випадок. При поголів'ї 340 корів та базовому рівні маститу 25% стада на рік (85 випадків):

$$\text{Економія від маститу} = 85 \times 10\% \times 3\,000 = 85 \times 300 = 25\,500 \text{ грн/рік} \quad (5.3)$$

Додатково – збереження надою від корів, що не захворіли. Зниження захворюваності на 10% для 8–9 корів дає приріст молока ≈ 500 кг/рік $\times 9$ корів = 4 500 кг $\times 18$ грн = 81 000 грн/рік.

Ефект від приросту надою. Система DuoVac забезпечує приріст надою на 1,5–2% завдяки фізіологічній стимуляції та рівномірному доїнню. Приймаємо мінімальне значення 1,5%:

$$\Delta Q_{\text{надій}} = 1\,360\,000 \times 0,015 = 20\,400 \text{ кг/рік} \quad (5.4)$$

$$\Delta B_{\text{надій}} = 20\,400 \times 18 = 367\,200 \text{ грн/рік} \quad (5.5)$$

Ефект від економії праці. Впровадження автоматизованого маніпулятора кластерів (описаного у розділі 2) у поєднанні з системою DuoVac дозволяє одному оператору обслуговувати до 180 корів/зміну (проти 140 без автоматизації). Це дозволяє скоротити кількість операторів з 2 до 1,5 ставки (один оператор замість двох у деякі зміни):

$$\text{Економія праці} = 0,5 \times 16\,000 \times 12 = 96\,000 \text{ грн/рік} \quad (5.6)$$

Сукупний річний економічний ефект від застосування DuoVac

$$\text{Езаг} = \Delta B_{\text{надій}} + \text{Економія від маститу} + \text{Економія праці}$$

$$\text{Езаг} = 367\,200 + 25\,500 + 81\,000 + 96\,000 = 569\,700 \text{ грн/рік} \quad (5.7)$$

Для порівняння – GEA IQ дає приріст надою 2–3%, що теоретично вище, але вищі витрати на придбання та ТО нівелюють цю перевагу.

5.5 Розрахунок терміну окупності та порівняння варіантів

Вартість придбання та різниця між варіантами

Вартість комплексу доїльних апаратів на 8 місць:

$$B_{\text{дув}} = 4\,400 \text{ €} \times 43 \text{ грн/€} = 189\,200 \text{ грн} \quad (5.8)$$

$$B_{\text{GEA}} = 6\,000 \text{ €} \times 43 \text{ грн/€} = 258\,000 \text{ грн} \quad (5.9)$$

Різниця у вартості на користь DuoVac:

$$\Delta B = B_{\text{GEA}} - B_{\text{дув}} = 258\,000 - 189\,200 = 68\,800 \text{ грн} \quad (5.10)$$

Річні витрати на технічне обслуговування

Орієнтовні річні витрати на ТО (заміна лайнерів, мембран, шлангів) для 8 доїльних місць:

$$TO_{\text{дув}} = 1\,000 \text{ €} \times 43 = 43\,000 \text{ грн/рік} \quad (5.11)$$

$$TO_{\text{GEA}} = 1\,300 \text{ €} \times 43 = 55\,900 \text{ грн/рік} \quad (5.12)$$

Річна економія на ТО на користь DuoVac:

$$\Delta TO = 55\,900 - 43\,000 = 12\,900 \text{ грн/рік} \quad (5.13)$$

Термін окупності DuoVac

Простий термін окупності інвестицій у комплект DuoVac (у порівнянні з базовим обладнанням без DuoVac – вартість $\approx 110\,000$ грн):

$$\text{окупдув} = (В_{\text{дув}} - В_{\text{баз}}) / \text{Езаг} = (189\,200 - 110\,000) / 569\,700 \approx 1,7 \text{ міс.} \quad (5.14)$$

Термін окупності різниці у вартості між GEA IQ та DuoVac (за рахунок додаткового приросту надою GEA):

$$\Delta \text{Прибуток}_{\text{GEA}} = 1\,360\,000 \times (0,025 - 0,015) \times 18 = 244\,800 \text{ грн/рік}$$

$$\text{Токуп}_{\Delta B} = (68\,800 + 12\,900 \times k) / 244\,800 \approx 3,4 \text{ роки} \quad (5.15)$$

де k – різниця у витратах на ТО протягом терміну служби.

Таким чином, додаткові інвестиції в систему GEA IQ окупляться через 3,4 роки за рахунок вищого приросту надою. Проте з урахуванням нестабільних умов роботи в Україні, менш розгалуженої сервісної мережі GEA та складнощів з поставками запчастин в умовах воєнного стану реальний термін окупності GEA IQ значно вищий [7, 9].

5.6 Висновки до розділу

У розділі 5 проведено техніко-економічне порівняння доїльного апарата DeLaval DuoVac (EP2090) з конкурентним апаратом подвійного вакууму комбінованого типу GEA IQ Cluster (StimoPuls Apex P).

1. Обидва апарати є сучасними представниками класу систем подвійного або комбінованого вакууму: DuoVac — через автоматичне перемикання між двома рівнями тиску (20–25 і 45–50 кПа), GEA IQ — через поєднання стабільного Low-Vac із системою StimoPuls (300 імп/хв).

2. За технічними показниками GEA IQ Cluster має ряд конструктивних переваг: 4-камерна технологія, легший кластер (2,5–3,5 кг), вищий приріст надою (2–3%). Проте DuoVac забезпечує вищий рівень автоматизації обслуговування та зниження навантаження на оператора (–40–45%).

3. Економічний розрахунок підтвердив перевагу DuoVac для умов проєктованої ферми: нижча вартість придбання на 68 800 грн, менші річні витрати на ТО на 12 900 грн, розгалужена сервісна мережа в Україні.

4. Сукупний річний економічний ефект від застосування DuoVac становить 569 700 грн/рік (приріст надою + зниження маститу + економія праці), термін окупності — близько 1,7 місяця.

5. На підставі аналізу рекомендовано застосування DeLaval DuoVac для ферми з 340 дійними коровами Червоної степової породи у доїльному залі «Тандем» 2×4. GEA IQ є доцільною альтернативою для ферм з поголів'ям порід голштинської або Симентальської з надоєм понад 7 000 кг/рік.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Acta Academiae Beregsasiensis. Economics. Стан молочної галузі України: виклики, перспективи та напрями інноваційного розвитку. URL: <https://aab-economics.kmf.uz.ua/aabe/article/view/360>
2. ABM. Молочно-товарні ферми вийшли на довоєнні рівні виробництва молока в 2023 році. URL: <https://avm-ua.org/uk/post/molocno-tovarni-fermi-vijsli-na-dovoenni-rivni-virobnictva-moloka-v-2023-roci>
3. AgroPortal. Виробництво молока торік вийшло на довоєнний рівень. URL: <https://agroportal.ua/news/zhivotnovodstvo/virobnictvo-moloka-torik-viyshlo-na-dovoyenniy-riven>
4. AgroTimes. Промисловий сегмент у 2024 році виробив 3 млн тонн молока. URL: <https://agrotimes.ua/tvarinnitstvo/promyslovyj-segment-u-2024-roczy-vyrobyv-3-mln-tonn-moloka/>
5. AgroPortal. Топ-7 регіонів України за обсягами виробництва молока. URL: <https://agroportal.ua/news/zhivotnovodstvo/top-7-regioniv-ukrajini-za-obsyagami-virobnictva-moloka>
6. AgroPortal. Надої, ціни та продажі: підсумки 2024 року. URL: <https://agroportal.ua/news/ukraina/nadoji-cini-ta-prodazhi-pidsumki-2024-roku-dlya-rinku-molochnih-produktiv>
7. ABM. Молочна карта України-2025: здобутки попри втрати. URL: <https://avm-ua.org/uk/post/molocna-karta-ukraini-2025-zdobutki-popri-vtrati>
8. SEEDS. У 2024 році Україна продемонструвала значні результати на світовому ринку молочної продукції. URL: <https://www.seeds.org.ua/u-2024-roci-ukraina-prodemonstruvala-znachni-rezultati-na-svitovomu-rinku-molochnoi-produkcii/>
9. Agropolit. Молочна галузь України та її майбутнє через 10 років. URL: <https://agropolit.com/blog/412-molochna-galuz-ukrayini-ta-yiyi-maybutnye-cherez-10-rokiv>

10. Конференція КПП. Кризові фактори у розвитку молочної промисловості. URL: <https://confmanagement-proc.kpi.ua/article/view/329465>
11. Landlord. Скорочення поголів'я ВРХ в Україні у 2025 році. URL: <https://landlord.ua/news/tvarinnitstvo/skorochennya-pogolivya-vrh-v-ukrayini-u-2025-roczі>
12. АВМ. Скорочення поголів'я ВРХ і корів призупиняється. URL: <https://avm-ua.org/uk/post/skorocenna-pogoliva-vrh-i-koriv-prizupinaetsa>
13. АВМ. Поголів'я ВРХ скоротилося на 8% у вересні 2023 року. URL: <https://avm-ua.org/uk/post/pogoliva-vrh-skorotilosa-na-8-u-veresni-2023-roku>
14. АВМ. Тенденція скорочення поголів'я ВРХ в грудні 2023 року продовжилась. URL: <https://avm-ua.org/uk/post/tendencia-skorocenna-pogoliva-vrh-v-grudni-2023-roku-prodovzilas>
15. АВМ. В Україні триває скорочення поголів'я ВРХ. URL: <https://avm-ua.org/uk/post/v-ukraini-trivae-skorocenna-pogoliva-vrh>
16. Kurkul.com. ВРХ Українська чорно-ряба молочна. URL: <https://kurkul.com/porody/94-ukrayinska-chorno-ryaba-molochna>
17. AgroTimes. У режимі динамічних змін. URL: <https://agrotimes.ua/article/u-rezhymi-dynamichnyh-zmin/>
18. GreenPost. Майбутнє молочної галузі 2026: загроза масового скорочення поголів'я. URL: <https://greenpost.ua/news/kryza-rentabelnosti-kozhna-p-yata-molochna-ferma-v-ukrayini-mozhe-skorotyty-pogoliv-ya-do-lita-i105712>
19. ТДАТУ. Класифікація доїльних установок та способи утримання. URL: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/tsapk_2/page54.html
20. Дніпровський ДАЕУ. Ефективність технології виробництва молока в СФГ «Світоч». URL: <https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/5656/1/>

21. ТДАТУ. Машины та обладнання для тваринництва. Зоотехнічні вимоги і контроль якості роздавання кормів. URL: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/tsapk_2/page66.html
22. Дніпровський ДАЕУ. Технологія виробництва молока в ТОВ «Дніпро Н». URL: <https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/8666/1/>
23. BukLib. Отримання, обробка та реалізація молока. URL: <https://buklib.net/books/34170/>
24. ІСНАУ. Ветеринарно-санітарні правила для молочно-товарних ферм. URL: <https://isnau.com/veterinarno-sanitarni-pravila-dlya-ferm-vimogi-po-virobnictvu-moloka/>
25. ТДАТУ. Схема первинної обробки молока. URL: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/tsapk_2/page60.html
26. BukLib. Первинна обробка молока. URL: <https://buklib.net/books/34171/>
27. Спілка молочних підприємств України. Молоко від промислових та особистих господарств: якість та безпечність. URL: <https://uadairy.com/moloko-vid-promyslovyh-ta-osobystyh-selyanskyh-gospodarstv-yakist-ta-bezpechnist/>
28. Prozorro. Вимоги до якості молочної продукції. Наказ Мінагрополітики № 118 від 12.03.2019. URL: <https://infobox.prozorro.org/articles/vimogi-do-yakosti-molochnoji-produkciji>
29. Milkua.info. Закон України «Про молоко та молочні продукти». URL: <https://www.milkua.info/uk/post/zakon-ukraini-pro-moloko-ta-molocni-produkti>
30. Economy.nayka.com.ua. Організація та оцінка технологій доїння корів. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5865>
31. ТДАТУ. Класифікація доїльних установок. URL: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/tsapk_2/page54.html

32. ТДАТУ. Лабораторна робота: вивчення будови та аналіз роботи доїльних установок. URL: <https://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/lr-19.pdf>

33. Аюкор Агро. Доїльні зали для корів: Тандем, Ялинка, Паралель, Карусель. URL: <https://www.aukoragro.com/product/doilnye-zaly/>

34. Братслав. Доїльний зал типу «Ялинка». URL: <https://bratslav.com/nasha-produkcija/doilnyj-zal-elochka>

35. Агтех. Доїльний зал «Паралель» GEA Global 90i. URL: <https://www.agteh.com.ua/uk/doinnya-vrh/doilni-zaly-paralel>

36. Молочка. Доїльний зал «Карусель». URL: <https://molochka.com/ukr/catalog/e/doyilniy-zal-quotkaruselquot.html>

37. Агросистема. Автоматизована система доїння. URL: <https://agrosystem.com.ua/avtomatizovana-sistema-doinnya/>

38. Agro-business. Роботизоване доїння корів: окупність інвестицій. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/suchasne-tvarynnytstvo/item/8104>

39. АВМ. 10 років роботизованого доїння в Україні — ДеЛаваль. URL: <https://avm-ua.org/uk/post/10-rokiv-robotizovanogo-doinna-v-ukraini>

40. Landlord. Роботизація ферми: плюс 5 літрів надою щодня. URL: <https://landlord.ua/news/robotizaciya-fermi-plyus-5-litriv-nadoyu-shodnya/>

41. DeLaval. DuoVac Milking Unit — For every barn. dc engineering. URL: https://dcengineering.co.uk/delaval_duovac.htm (дата звернення: 2025).

42. Prom.ua. Доїльний апарат DeLaval DuoVac із функцією стимуляції корови способом масажу вимені та подвійного вакууму. URL: <https://prom.ua/ua/p811311180-doilnyj-apparat-delaval.html> (дата звернення: 2025).

43. DeLaval Trakya. DeLaval Pulsator EP2090 — Designed for better animal comfort and healthy milking. URL: <https://www.delavaltrakya.com/en/product-page/delaval-pulsator-ep2090> (дата звернення: 2025).

44. Damilk. Будова доїльного апарата: колектор, доїльні стакани, лайнери. URL: <https://damilk.ua/ua/ustroystvo-doilnogo-apparata/> (дата звернення: 2025).

45. Dairy Equipment MFG. Parts of a Milking Machine Explained: Complete Dairy Guide. URL: <https://dairyequipmentmfg.com/parts-of-a-milking-machine-complete-guide-for-dairy-farmers/> (дата звернення: 2026).

46. DeLaval. Milking point MP400: Individual electronic pulsation, Duovac, Comfort Start, Automatic cluster removal. URL: <https://www.delaval.com/globalassets/inriverresources/pdfs/m/milking-point-controller-mp400-fi2.pdf> (дата звернення: 2025).

47. BukLib. Первинна обробка молока. Транспортування та санація молочного обладнання. URL: <https://buklib.net/books/34171/>

48. DC Engineering. DeLaval Pulsation Systems — EP2090 electronic pulsator: individually programmable, constant pulsation rate and ratio. URL: https://www.dceengineering.co.uk/delaval_pulsation.htm (дата звернення: 2025).

49. Molservis. Апарат доїльний DuoVac DeLaval: рівень вакууму 0,33 (масаж) / 0,48–0,50 (доїння). URL: <https://molservis.com.ua/p1055618-apatat-doyilnij-vidro.html> (дата звернення: 2025).

50. АВМ. 10 років роботизованого доїння в Україні — ДеЛаваль. Маса кластера та параметри автоматичного зняття. URL: <https://avm-ua.org/uk/post/10-rokiv-robotizovanogo-doinna-v-ukraini> (дата звернення: 2025).

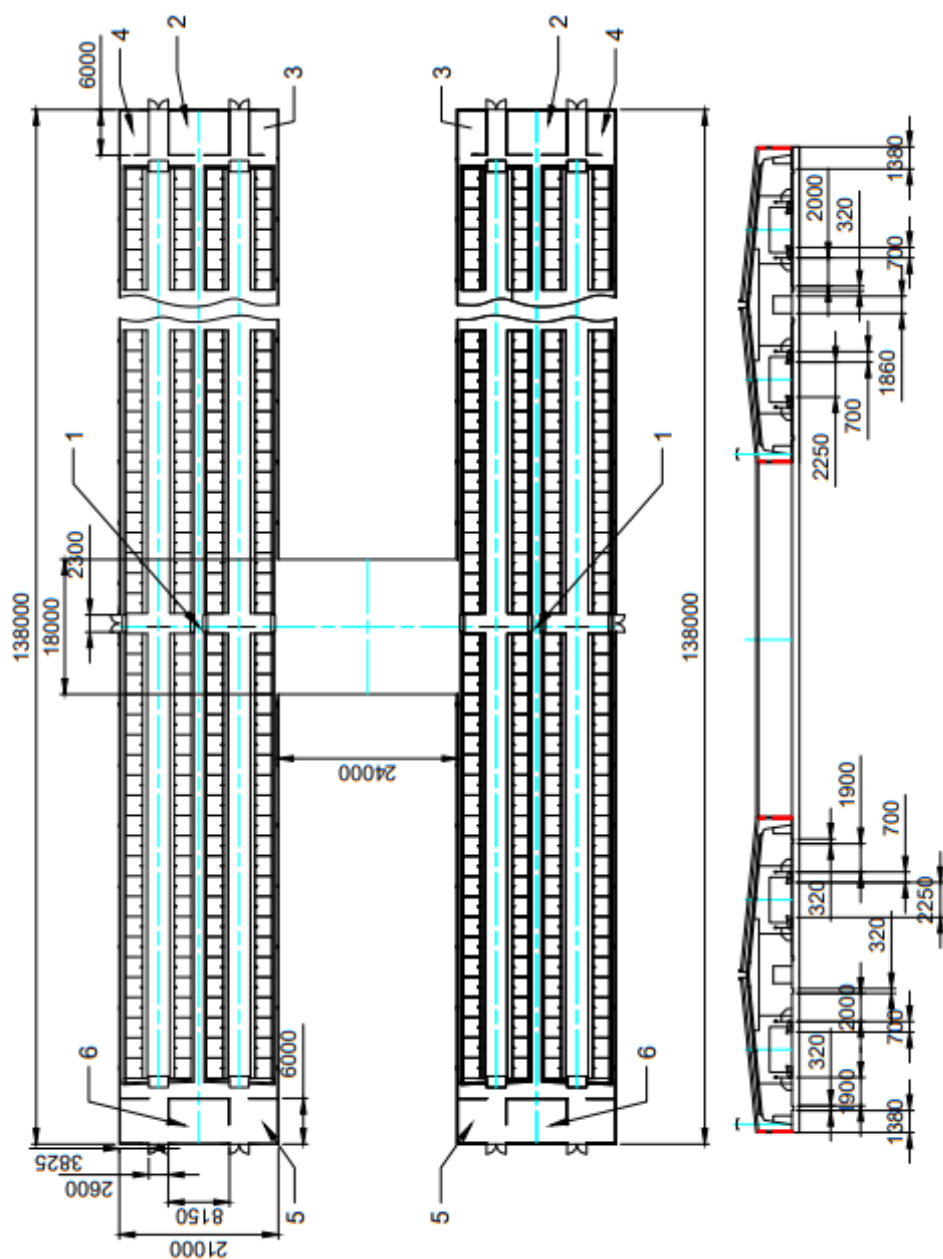
51. IKR Group. Доїльний апарат DeLaval DuoVac: масаж вимені до і після доїння, автоматичне регулювання вакууму. URL: <https://ikrtech.com.ua/ua/p811292922-doilnyj-apparat-delaval.html> (дата звернення: 2025).

52. Заболотько О.О., Осипова Т.Ю. Обґрунтування та розробка доїльного апарата попарно-комбінованого типу: монографія. — Вінниця: ВНАУ, 2017. — 220 с. (розділ 1.5, розділ 2.2).

53. Алієв Е.Б. Підвищення ефективності та надійності роботи вакуумної системи молочно-доїльного обладнання: дис. ... канд. техн. наук / Е.Б. Алієв. — Мелітополь: ТДАТУ, 2017. — 312 с. (розд. 2.2. — С. 60–80).
54. GEA Farm Technologies. IQ Milking Cluster — 4-Way Technology. URL: <https://www.gea.com/en/products/milking-farming-barn/dairymilk-milking-cluster/clusters-liners/milking-cluster-iq/>
55. GEA Farm Technologies. Pulsators & Pulsation Control — StimoPuls Apex P. URL: <https://www.gea.com/en/products/milking-farming-barn/milking-solutions/components/stall-accessories/pulsators-pulsation-control/>
56. DeLaval. DuoVac Milking Unit — for every barn. URL: https://dcengineering.co.uk/delaval_duovac.htm
57. Братслав. Доїльний зал типу «Ялинка» та обладнання DeLaval в Україні. URL: <https://bratslav.com/nasha-produkcija/doilnyj-zal-elochka>
58. Milanesi S., Donina D. et al. Comparing the Performance of Automatic Milking Systems through Dynamic Testing Also Helps to Identify Potential Risk Factors for Mastitis // *Animals*. — 2024. — Vol. 14, No. 19. — P. 2789. DOI: 10.3390/ani14192789
59. HappyFarmer Shop. DeLaval milking machine parts and accessories. URL: <https://happyfarmershop.com/en-us/collections/delaval-milking-machine>
60. GEA Farm Technologies. GEA Milking Clusters — always the right choice. URL: <https://www.gea.com/en/assets/323708/>
61. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
62. НПАОП 01.0-1.01-07. Правила охорони праці у тваринництві. Велика рогата худоба. — К.: Держнагляд охорони праці, 2007. — 48 с.
63. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. — К.: МОЗ України, 1999.
64. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки. — М.: Держстандарт, 1983.

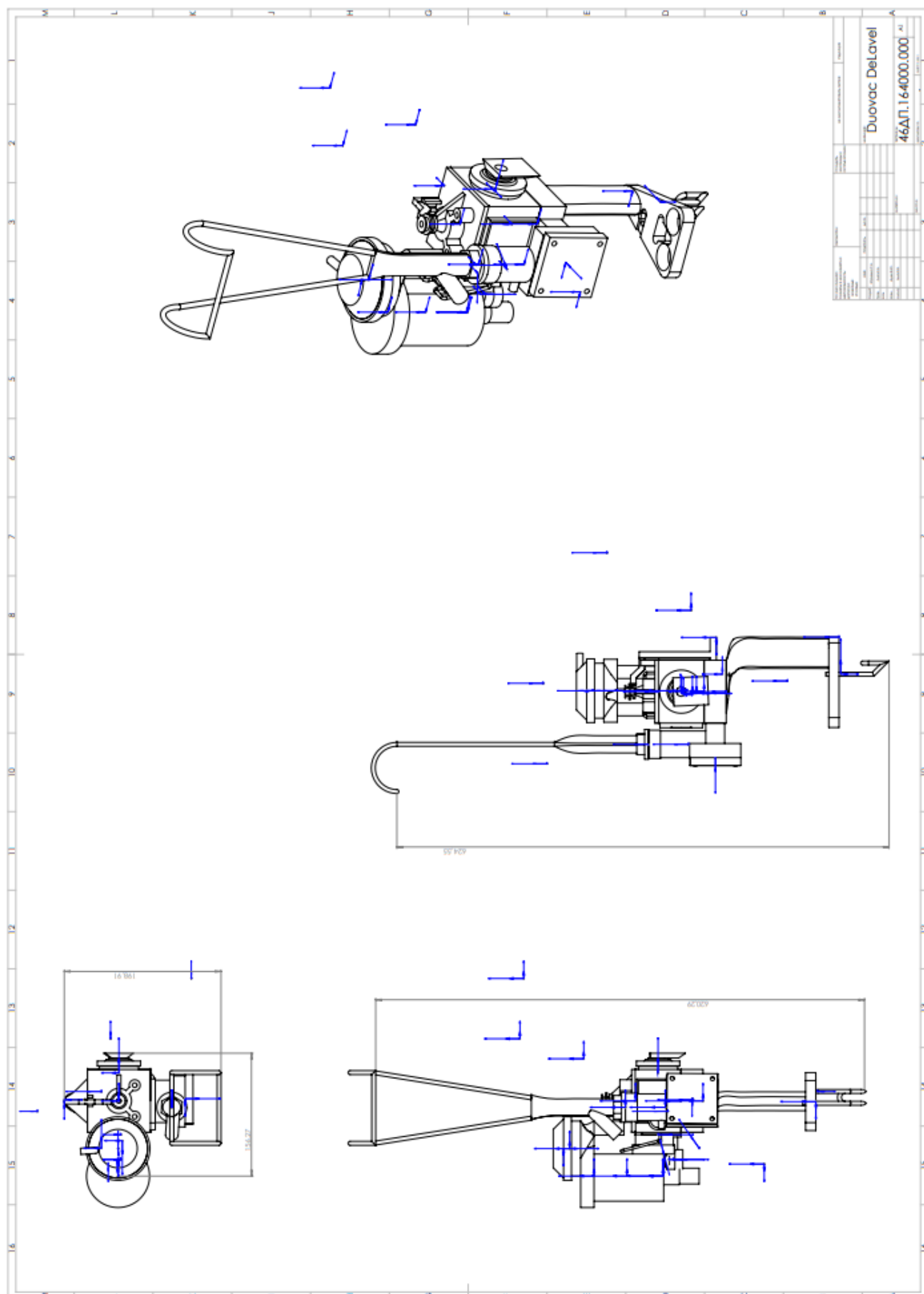
65. НПАОП 0.00-1.21-07. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-07>
66. Кодекс законів про працю України від 10.12.1971 № 322-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08>
67. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень за вибухопожежною небезпекою. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
68. ДСП 201-97. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. – К.: МОЗ України, 1997.
69. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>
70. Закон України «Про відходи» від 05.03.1998 № 187/98-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-вр>

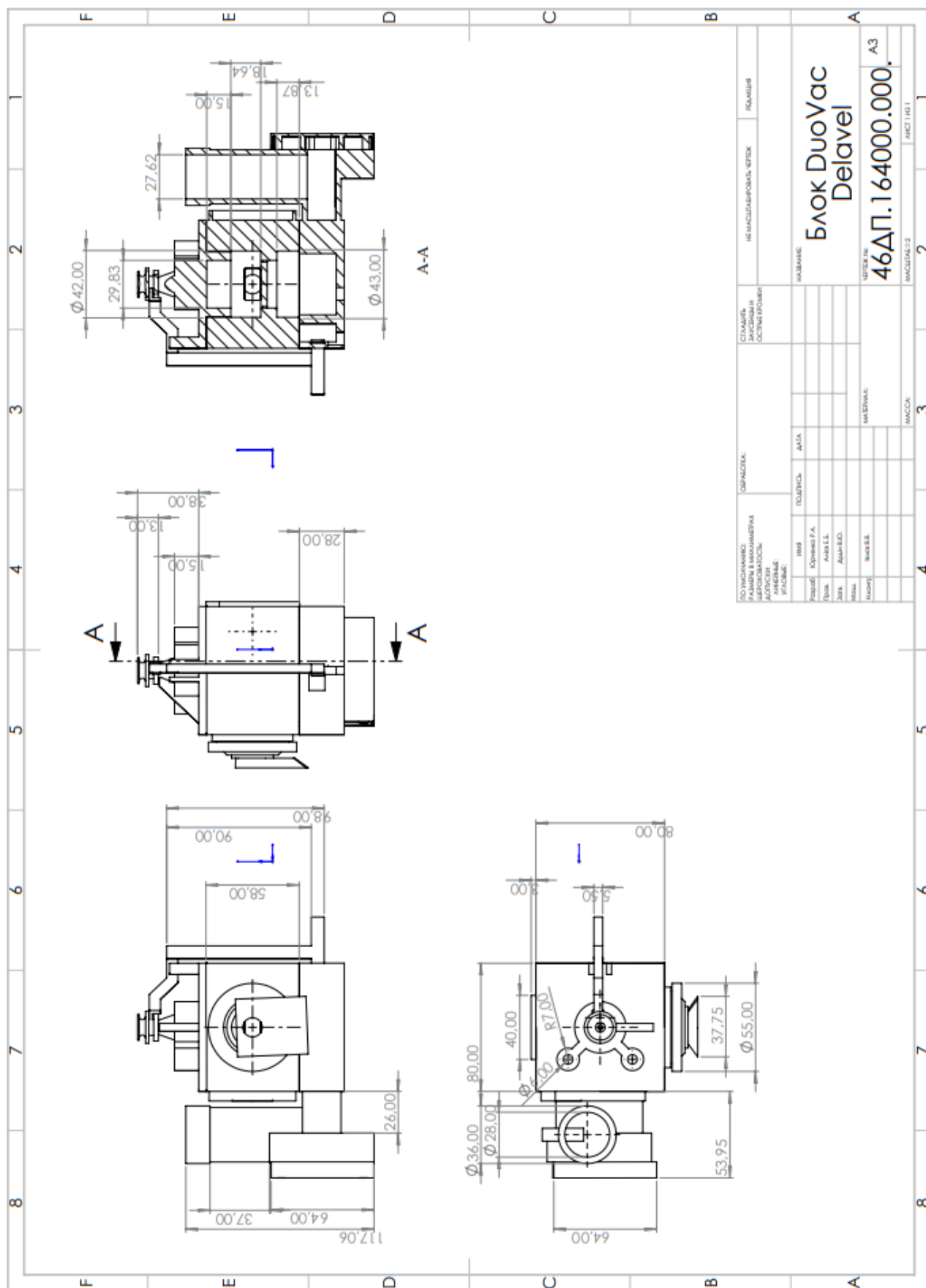
Додатки

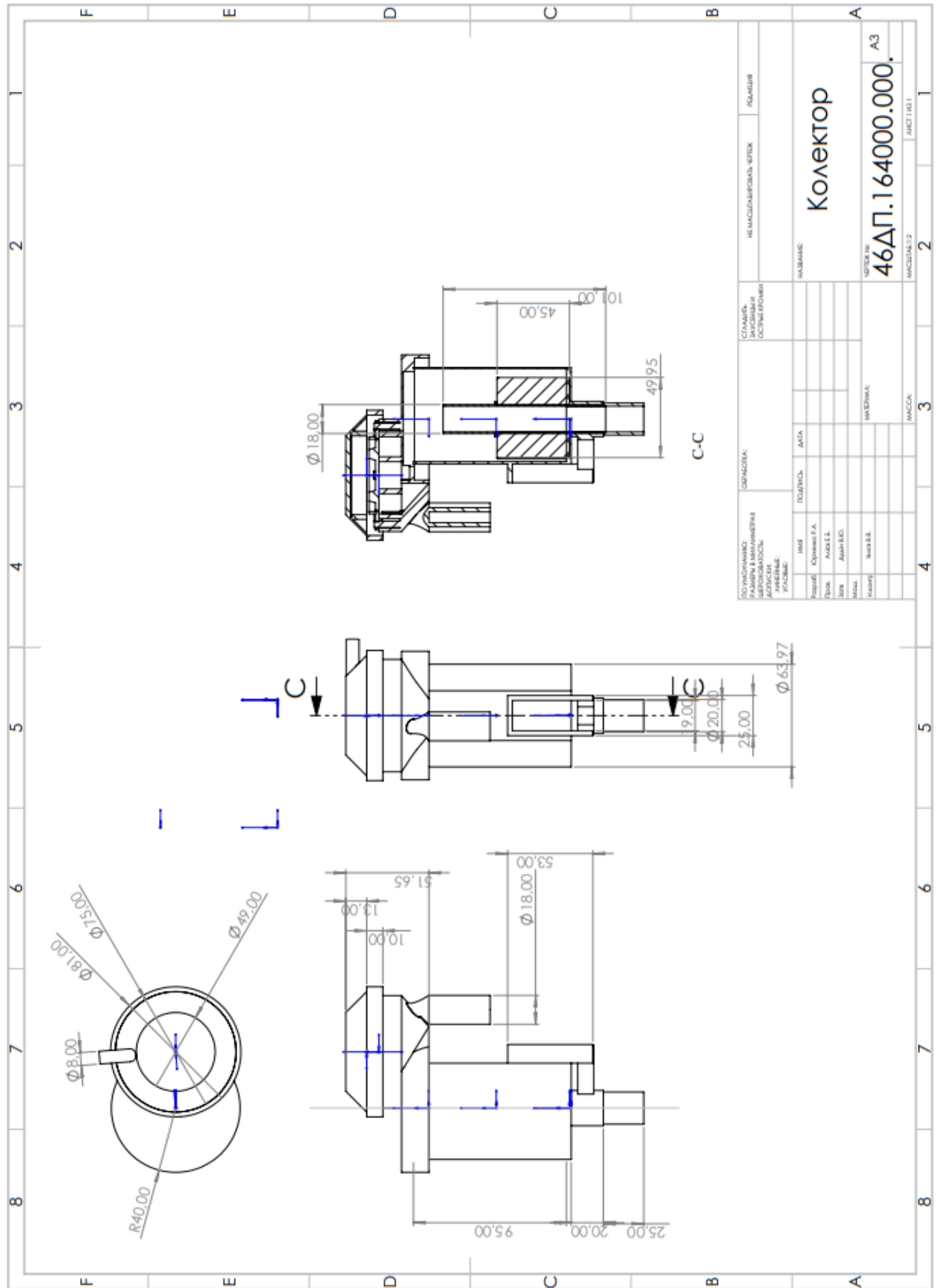


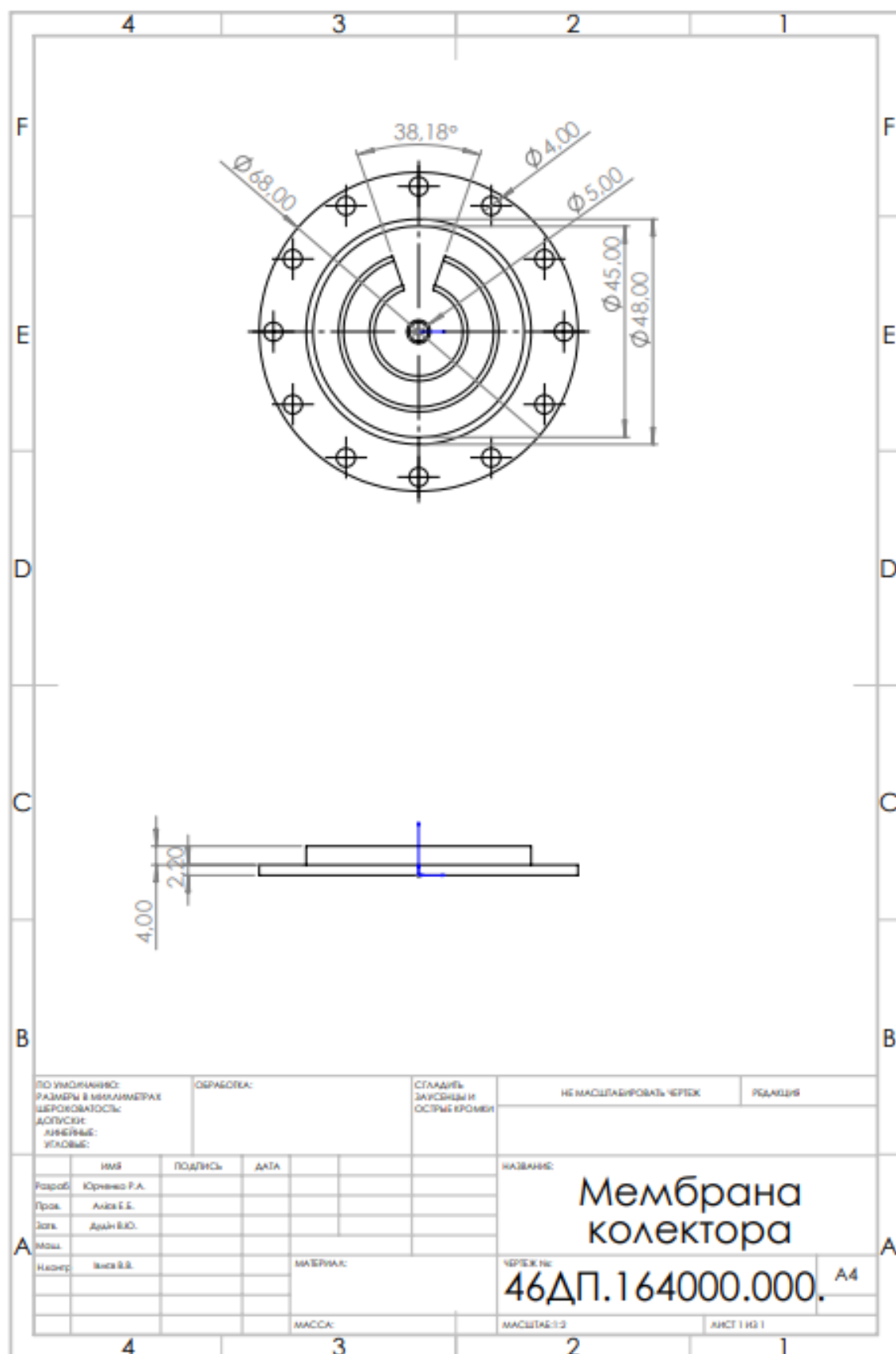
№ п/п	Наименование	Единица измерения	Количество
1	Платежные поручения	шт.	2
2	Векселя	шт.	2
3	Векселя	шт.	2
4	Платежные поручения	шт.	2
5	Платежи	шт.	4
6	Платежи для платежа	шт.	3
7	Материалы	шт.	2

[illegible]









[illegible]

Показник	Базовий варіант	Удосконалений додільний апарат	Відхилення (+/-)
Потужність вакуумної системи, кВт	4,0	3,5	-0,5
Річне споживання електроенергії, кВт·год	12800	11200	-1600
Витрати на електроенергію в рік, грн	57600	50400	-7200
Витрати на технічне обслуговування, грн/рік	55900	43000	-12900
Втрати від маститу, грн/рік	255000	229500	-25500
Додатковий прибуток від приросту надою, грн/рік	—	367200	+367200
Економія праці, грн/рік	—	96000	+96000
Сумарні річні витрати, грн	338500	322900	-15600
Річний економічний ефект, грн	—	569700	+569700
Термін окупності, роки	—	0,14	0,14

[illegible]