

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

Підвищення ефективності вакуумної системи

лінійної доїльної установки

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІз-1-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Яцишин Владислав Станіславович

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович

Рецензент: _____ Потеруха Борис Тарасович

Дніпро 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«26» грудня 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ящишину Владиславу Станіславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності вакуумної системи лінійної доїльної установки

керівник роботи Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«26» грудня 2023 року № 4084

2. Строк подання студентом 12.02.2024 р.

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз вакуумних систем доїльних установок. 2. Теоретичні дослідження роботи вакуумної системи лінійної доїльної установки. 3. Експериментальні дослідження роботи вакуумної системи лінійної доїльної установки. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка удосконалення. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (2 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (4 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (2 аркуші, А4). 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: 26.12.2023 р. _____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 02.01.2024 р.	
2	Теоретичний	до 09.01.2024 р.	
3	Експериментальний	до 18.01.2024 р.	
4	Охорона праці	до 21.01.2024 р.	
5	Економічний	до 29.01.2024 р.	
6	Демонстраційна частина	до 12.02.2024 р.	

Студент

(підпис)

Ящицин В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дудін В.Ю.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ящицин В.С. Підвищення ефективності вакуумної системи лінійної доїльної установки /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

В початковій частині дипломної роботи обґрунтована актуальність обраної теми, сформульовано мету та задачі, і представлені методи досліджень. Аналіз сучасного стану питання дозволив визначити напрямки розв'язання визначених завдань. У другому розділі проведено теоретичне моделювання вакуумної системи лінійної доїльної установки з використанням вагового регулятора, що послужило основою для розробки поліпшеної схеми. На основі результатів експериментальних досліджень підтверджено функціональність розробленої багатоагрегатної схеми вакуумної системи. Окремо проведено аналіз розробленої конструкції з точки зору забезпечення безпеки праці. Здійснено економічне обґрунтування проведених розробок. Робота включає висновки та список використаної літератури.

Ключові слова: вакуумна система, доїльна установка, керування, вакуумний регулятор, коливання, рівновага.

ЗМІСТ

Вступ		7
1	АНАЛІЗ ВАКУУМНИХ СИСТЕМ ДОЇЛЬНИХ УСТАНОВОК	10
1.1	Вплив вакуумного режиму на процес доїння	10
1.2	Аналіз досліджень стабілізації вакуумного режиму на доїльних установках	14
1.3	Вакуумні регулятори	21
1.4	Висновки по розділу	28
2	ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВАКУУМНОЇ СИСТЕМИ ЛІНІЙНОЇ ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ	30
2.1	Аналіз підсистеми стабілізації і розподілу вакууму	30
2.2	Передавальні функції основних ланок вакуумної системи	33
2.3	Структурні схеми і передавальні функції вакуумної системи лінійної доїльної установки	44
2.4	Енергетичні показники роботи системи	46
2.5	Висновки по розділу	48
3	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВАКУУМНОЇ СИСТЕМИ ЛІНІЙНОЇ ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ	50
3.1	Мета і задачі експериментальних досліджень	50
3.2	Методика експериментальних досліджень	50
3.3	Результати експериментальних досліджень	53
3.4	Висновки по розділу	57
4	ОХОРОНА ПРАЦІ	58
4.1	Загальні вимоги	58
4.2	Результати обстеження експериментального зразка вакуумної системи	59
4.3	Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	61
4.4	Висновки по розділу	62

5	ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА УДОСКОНАЛЕННЯ	63
5.1	Вихідні дані	63
5.2	Розрахунок показників економічної ефективності	63
5.3	Висновки по розділу	64
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	66
	БІБЛІОГРАФІЯ	67

ВСТУП

За останні роки великі механізовані ферми сільгосппідприємств прийшли до занепаду, а поголів'я корів різко скоротилося. Особливо постраждало молочне тваринництво, як найбільш складна галузь виробництва. Поголів'я корів у виробничому секторі скоротилося більш ніж в три рази. В результаті питома вага поголів'я дрібних, майже немеханізованих ферм і особистих підсобних господарств виросла з 25 % до 78 %, у зв'язку з чим витрати праці на виробництво одного центнера молока виросли до 9,7 люд. Год., що на порядок вище західноєвропейських.

Збільшення виробництва тваринницької продукції і підвищення її якості - прямий наслідок комплексної механізації і автоматизації виробничих процесів в тваринництві.

Механізація доїння позбавила доярку від професійних захворювань, важкої фізичної праці і забезпечила істотне зростання його продуктивності. В той же час вона породила ряд нових проблем, таких, наприклад, як масові маститні захворювання. Це зумовило зниження продуктивності, строку служби корів і якості молока [5, 8]. За даними основною причиною масових захворювань маститом є підвищений вакуум в системі і перетримання доїльних апаратів на дійках корів у кінці доїння.

Серед ряду проблем механізації і автоматизації фермерських господарств, в першу чергу, слід зазначити надзвичайно низький рівень механізації доїння корів (нижче 10%). Однією з причин цього є відсутність у виробництві надійних малогабаритних доїльних установок з оптимальними параметрами.

Ефективність машинного доїння корів визначається, в основному, технічними характеристиками, умовами експлуатації доїльних установок і стійкістю вакуумної системи. Порушення вакуумного режиму роботи доїльних установок сприяє зниженню рефлексу молоковіддачі і може викликати масові захворювання вимені корів маститом, що призводять до передчасного вибраковування тварин. Маститні захворювання знижують продуктивність корів на 10... 15%.

Для підтримки стійкої роботи доїльних апаратів необхідно, щоб робочий вакуум був в межах 48...53 кПа. Вищий вакуум під дією при перетримках (сухому доїнні) травмує його внутрішні тканини і є основною причиною захворювань на мастит, а при низькому вакуумі знижується інтенсивність і повнота видоювання, і відбувається передчасний запуск корів.

Якість роботи доїльних установок, головним чином, залежить від вакуумної системи, що включає вакуумний насос, що приводиться в роботу електродвигуном, вакуум-регулятор, вакуум-балон, вакуумметр і вакуум-провід.

Вакуумні силові агрегати доїльних установок, які виробляють в Україні мають високу енергоємність. Вони зазвичай працюють в постійному режимі, забезпечуючи в допустимих межах певну величину витрати повітря і глибину робочого вакууму при постійній споживаній потужності двигуна незалежно від навантаження. При низькій вартості енергоносіїв на першому плані була вартість силових агрегатів, і їх спрощення себе виправдовувало. В умовах постійного зростання вартості енергоносіїв ці показники міняються місцями, і обґрунтування енергозберіжних вакуумних силових агрегатів стає особливо актуальним.

Спроби обґрунтування параметрів енергозберіжних вакуумних силових агрегатів робилися неодноразово. Вакуумні силові агрегати і установки відносяться до динамічних систем. Проте при їх дослідженні застосовувалися переважно статичні методи, що не забезпечувало оптимізації їх параметрів. Тому дослідження динамічних процесів стабілізації вакууму в доїльних системах і оптимізація параметрів методом теорії динамічних систем, таких як теорія систем автоматичного регулювання, є актуальними.

Мета досліджень - підвищення ефективності роботи вакуумної системи лінійної доїльної установки за рахунок зменшення енерговитрат на процес створення вакууму.

У відповідності до поставленої мети було визначено основні задачі, що необхідно вирішити:

1. Провести аналіз конструкцій, режимів роботи, параметрів існуючих

вакуумних систем лінійних доїльних установок та пристроїв для регулювання вакууметричного тиску.

2. Теоретично дослідити модель вакуумної системи лінійної доїльної установки з ваговим регулятором.

3. Експериментально визначити перехідні режими роботи регулятора і вакуумної системи лінійної доїльної установки та розробити раціональні схеми енергозберіжних вакуумних систем.

4. Провести оцінку удосконаленої вакуумної системи лінійної доїльної установки з точки зору охорони праці.

5. Провести техніко-економічну оцінку удосконаленої вакуумної системи лінійної доїльної установки

Робоча гіпотеза: зниження енергоспоживання вакуумних систем доїльних установок з ваговим вакуум-регулятором без порушення вакуумного режиму і зоотехнічних вимог до якості процесу машинного доїння корів можливо введенням в структурну схему зворотного зв'язку управління величиною вакууму.

Об'єктом дослідження є вакуумна система лінійної доїльної установки з ваговим вакуум-регулятором.

Предмет дослідження - динамічні процеси у вакуум-регуляторі та вакуумній системі лінійної доїльної установки.

Методи дослідження: аналіз і синтез складних систем з використанням теорії систем автоматичного регулювання, натурний експеримент з використанням математичної статистики і теорії планування експерименту.

1 АНАЛІЗ ВАКУУМНИХ СИСТЕМ ДОЇЛЬНИХ УСТАНОВОК

1.1 Вплив вакуумного режиму на процес доїння

Підвищення рівня механізації процесу доїння дозволило істотно збільшити як виробниче навантаження доярки, так і кількість обслуговуваного нею поголів'я тварин. Окрім позитивних моментів, це привело до появи ряду негативних проблем, пов'язаних з зростанням їх захворювань на мастит, що знижує молоковіддачу, якість молока і строк служби поголів'я. Основною причиною маститних захворювань поголів'я корів є нестабільність вакууму в системі живлення доїльних установок, внаслідок не оптимальних параметрів системи живлення. Перше доїння корів машинами проводилося тільки в стійлах, оскільки на зорі машинного доїння, прив'язне утримання у всьому світі є основним способом. У цих умовах і виникла ідея створення безпечного для тварин доїльного апарату з оптимальними параметрами. Проте створення такого ідеального апарату затягувалося. Щоб виключити перетримання доїльних апаратів і забезпечити тварину від шкідливої дії вакуума на внутрішні тканини вимені, доярка в стійлах могла обслуговувати не більше двох апаратів.

Прагнення збільшити продуктивність праці привело до необхідності доїння корів в спеціально виділених місцях, що дозволяють вести одночасно спостереження і обслуговування значно більшої кількості апаратів при мінімумі переходів. Тому окрім вдосконалення доїльного апарату відпрацьовувалися технологія і організація доїння, покращувалися умови праці доярок, що, у свою чергу, позитивно впливало на розвиток доїльної техніки, склалися певні стереотипи доїння.

На зміну простим стійловим доїльним машинам прийшли механізовані і автоматизовані доїльні установки. В результаті реформування в сільськогосподарському виробництві сталися істотні структурні зміни в тваринницькій галузі, у тому числі в молочному скотарстві України. Роль фермерських (селянських) господарств в збільшенні виробництва сільськогосподарської продукції,

у тому числі і тваринницької, в Україні поступово зростає, проте, слід зазначити низький рівень механізації доїння корів (до 10%), внаслідок відсутності малих типорозмірів доїльних установок.

Незадовільна робота доїльних установок викликається, передусім, порушенням їх вакуумного режиму. Постійність вакуумного режиму в процесі експлуатації обумовлена продуктивністю вакуумного насоса, яка, у свою чергу, визначається надійністю його деталей і вузлів. Із зростанням продуктивності доїльних установок високі вимоги пред'являються і до їх технологічних ліній в частині забезпечення оптимальних умов роботи доїльних апаратів.

Численними дослідженнями вітчизняних і зарубіжних учених встановлено, що продуктивність тварин визначається режимом роботи доїльної установки і, в першу чергу, її вакуумним режимом. Під дією вакууму здійснюється видоювання корів, транспортування молока від місця доїння до машин для його первинної обробки і ряд операцій, пов'язаних з автоматизацією процесів доїння. Коливання вакууму в будь-якій доїльній установці призводять до порушень молоковіддачі тварин і зниженню їх продуктивності.

Згідно У.Г. Уіттлстоуну, швидке і якісне доїння визначається, передусім, рівною і стійкою роботою вакуумного насоса. Крім того, пониження вакууму в магістралі призводить до частого спадання доїльних стаканів з дійок, порушенню процесу доїння, зниженню продуктивності праці операторів і передчасному запуску корів. У зв'язку з цим ряд дослідників займалися вивченням впливу підвищеного вакууму на швидкість доїння, кількісні і якісні показники доїння корів. Так, було встановлено, що сфінктер дійки корови через фізичні властивості тканин може повністю відкриватися тільки при порівняно великому перепаді тисків, що і послужило обґрунтуванням застосування порівняно високого вакууму (48...53 кПа) в процесі доїння корів. Найбільшого поширення набули двотактні доїльні апарати з робочим вакуумом 48 кПа і тритактні апарати з величиною вакууму 53 кПа. За даними підвищення вакууму у вакуумпроводі до 60 кПа при доїнні корів тритактним апаратом («Волга») збільшує вміст жиру

і швидкість виведення молока. Проте при цьому збільшується і небезпека захворювання тварин маститом, особливо при «холостому» доїнні, підвищення вакууму в системі понад 50,5 кПа взагалі неприпустимо, оскільки це сприяє запаленню вимені корів, і служить причиною наповзання доїльних стаканів на дійки.

Робота доїльних апаратів без порушення нормальних фізіологічних процесів у тварин можлива тільки при певному вакуумі, характерному для кожного з них. Більшість сучасних доїльних апаратів в нашій країні і за кордоном працюють при вакуумі в межах 42. .53 кПа, хоча в деяких конструкціях цей діапазон значно ширше (33,3. .93,1 кПа). За відомими даними найбільш оптимальний вакуум під дійкою складає 44 кПа, а щоб уникнути спадання апаратів він повинне підтримуватися в трубопроводі на рівні 50,5 кПа.

Допустимі коливання вакууму на доїльних установках Австралії, встановлені стандартом, складають до 3 кПа, а в Новій Зеландії 1,6 кПа. Стандарти Швеції (фірма De Laval) і Німеччині передбачають найбільшу величину зміни робочого вакууму в системі до 2,7 кПа. Порушення технічних параметрів доїльних установок, різкі зміни їх під час доїння роблять істотний вплив на швидкість молоковіддачі і збільшують тривалість видоювання тварин. Усе вищевикладене відноситься до неавтоматизованих доїльних апаратів.

Автоматизовані доїльні апарати, маніпулятори і дворежимні доїльні апарати стабільністю своєї роботи, постійністю режиму не призводять до аномального доїння. Стабільність і величина вакуумного режиму доїльної установки визначаються конструктивними особливостями вакуумної системи і, в першу чергу, продуктивністю вакуумного насоса. В цілях запобігання значним коливанням вакууму в системі створюються резерви продуктивності вакуумних насосів і місткості системи. Різниця між максимальною і технологічною витратою повітря доїльною установкою характеризує резерв продуктивності вакуумного насоса.

Величезний вклад до розробки і вдосконалення конструкцій вакуумних насосів вніс колектив учених, очолюваний доктором технічних наук

Мжельским М.І. Серед них роботи по обґрунтуванню режимів роботи і параметрів ротаційного вакуумного насоса шлангового типу для малогабаритних доїльних установок, пластинчатих вакуумних насосів двократної дії для доїльних установок, спрямовані на підвищення ефективності машинного доїння корів.

Відомі різноманітні схеми і конструкції засобів отримання вакууму для машинного доїння корів. По характеру дії на відкачуваний газ вакуумні насоси підрозділяються на об'ємні і динамічні. Вакуумні насоси і пристрої динамічного типу - це пристрої, в основному, вторинного приводу. Вони мають досить низький ККД, рівний $0,1 \dots 0,25$. Для забезпечення їх роботи вимагаються потужні компресорні установки, у зв'язку з чим, незважаючи на уявну простоту, вони вимагають великих витрат енергії.

Об'ємні вакуумні насоси працюють на переміщенні газів шляхом періодичної зміни об'єму робочої камери. У машинному доїнні представниками їх являються як поршневі, так і ротаційні насоси. Поршневі вакуумні насоси підрозділяються за типом робочого органу на дискові, плунжерні і мембранні. Нині в багатьох країнах світу набули широкого поширення досконаліші ротаційні вакуумні насоси низького тиску і середньої продуктивності. За конструктивними ознаками ротаційні вакуумні насоси розділяються на пластинчаті, з поршнем, що котиться, водокільцеві, двороторні і шлангові. У деяких господарствах нашої країни знаходять застосування в машинному доїнні корів промислові водокільцеві вакуумні насоси з рідинним поршнем. Ці насоси не мають розподільного механізму, металевих поверхонь, що труться, і не вимагають мастила під час роботи, але мають низький ККД. У ряді випадків при доїнні знаходять застосування двороторні (типу РУТС), шестерні і гвинтові вакуумні насоси. На думку Хлумського В.П. підвищення продуктивності в таких насосах обмежується збільшенням внутрішніх витоків повітря.

Схема розподілу вакууму в доїльних установках має бути наступною: один насос для транспортування молока, інший - для роботи доїльних апаратів, третій - для здійснення автоматизації виробничого процесу на доїльному майданчику. Такий розподіл вакуумних насосів дозволяє мати в системі постійний

рівень вакууму і гарантує безперебійну роботу усього технологічного устаткування, що працює від вакууму.

1.2 Аналіз досліджень стабілізації вакуумного режиму на доїльних установках

Існують різні способи регулювання параметрів доїльного апарату залежно від швидкості молоковіддачі. Як правило, вони базуються зміні частоти пульсацій, співвідношення тактів або вакуумного режиму, а іноді на комплексному регулюванні двох і більше параметрів. Більшість дослідників вважають зміну вакууму під соском залежно від швидкості молоковіддачі основним способом ефективного захисту дійки від його дії. При цьому центральним завданням є вибір регулятора вакууму, який би підтримував заданий закон регулювання.

Аналіз проведених досліджень показав, що, в основному, застосовують два типи регуляторів: дискретної і безперервної дії. До першого можна віднести пристрій фірми «De Laval», застосований в доїльному апараті «Duovac 300». До другого належать синхронні регулятори, що забезпечують пропорційну зміну вакууму залежно від швидкості молоковіддачі. Вони прийнятніші, оскільки дозволяють адекватно реагувати на зміну параметра задовго до припинення витікання молока і сприяють оптимальному режиму доїння. Крім того, зниження вакууму зменшує силу наповзання доїльних стаканів і покращує видоювання корів. Так, В. И. Ломакін вважає, що вакуум в піддійкових камерах необхідно змінювати від H_{\min} до H_{\max} лінійно в межах 33...50 кПа у функції швидкості молоковіддачі.

В той же час, остання залежить від величини вакууму, тобто $I_m=f(P_{\text{вак}})$, тому регулятор повинен мати певний діапазон регулювання, в якому вакуум підтримується на постійному максимальному значенні, а, починаючи з деякого (критичного), відбувалося б його синхронне пониження. Іншими словами, для ділянки з інтенсивною (постійною) молоковіддачею встановлюється постійне

максимальне значення вакууму, а для початкового і кінцевого періодів доїння бажане синхронне регулювання від H_{\max} до H_{\min} . Це дозволить стабілізувати процес доїння, оскільки при безперервному регулюванні може відбуватися необгрунтоване «рискання» вакуумного режиму, що впливає на процес молоко-віддачі.

Пропонований В. В. Кірсановим спосіб (рис. 1.1) регулювання вакууму в піддійковому просторі доїльного апарату забезпечує оптимальний режим доїння і знижує до мінімуму небезпеку травмування молочної залози корови.

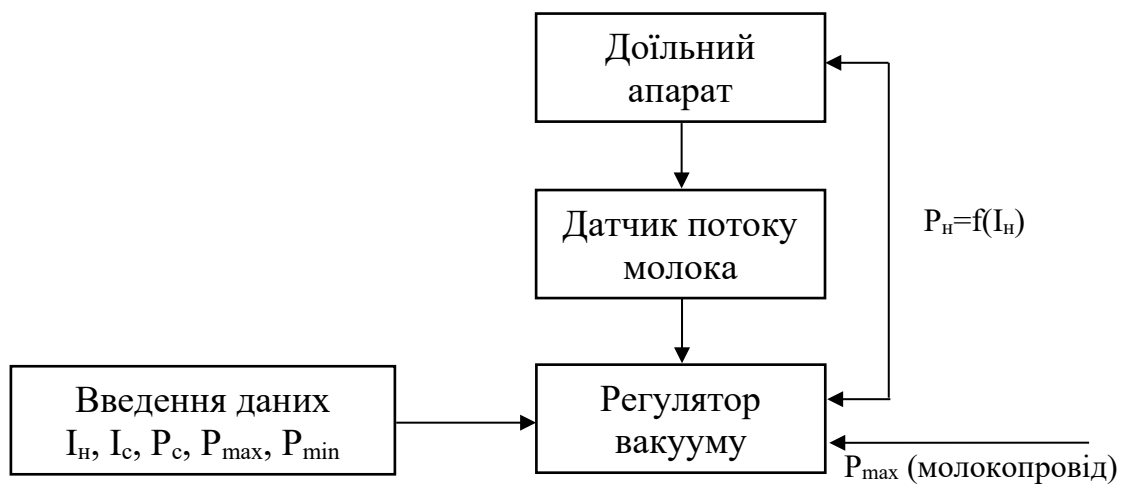


Рисунок 1.1 - Блок-схема регулятора вакууму по В. В. Кірсанову

Згідно з його дослідженнями отримані основні характеристики регулятора дозволяють вирішити завдання синтезу його структурної і технологічної схеми. При дослідженні шляхів і способів стабілізації вакуумного режиму основну увагу зазвичай приділяють технічній стороні проблеми: обгрунтуванню необхідної продуктивності насоса, вибору оптимальної пропускної спроможності молочно-вакуумних комунікацій, розробці досконаліших вакуумних регуляторів [50]. Між тим величезний резерв у вирішенні проблеми знаходиться в руках операторів машинного доїння. Йдеться про правильне виконання таких прийомів, як надягання стаканів на дійки тварини і зняття їх з вимені після закінчення доїння. Дослідженнями (рис. 1.2, 1.3, 1.4) встановлено, що особливістю сучасних апаратів є дуже широкий діапазон споживання повітря. Наприклад,

витрата повітря двотактним апаратом ДА-2М в номінальному режимі невеликий і складає $2,1 \text{ м}^3/\text{год}$ (приблизно таку величину називають і інші автори).

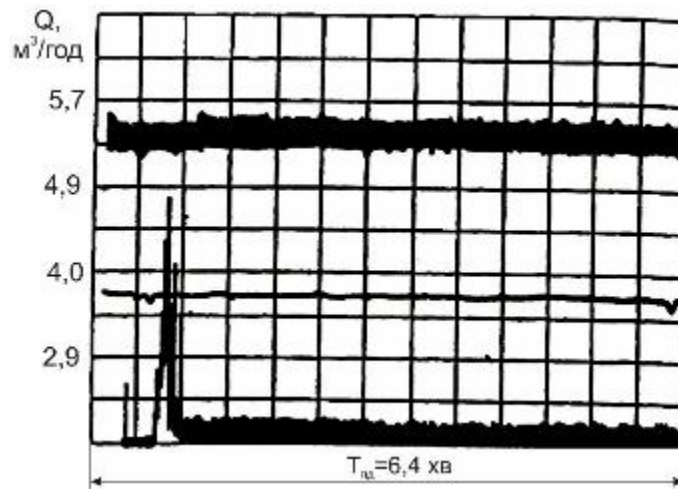


Рисунок 1.2 - Осцилограма величини вакууму і витрати повітря (у молокопроводі внизу; у вакуумпроводі - вгорі) при доїнні апаратом ДА-2М на лабораторному стенді за даними

При одному відкритому стакані він вже набагато більше і рівний $13,8 \text{ м}^3/\text{год}$ (доїння у відро) і $21,6 \text{ м}^3/\text{год}$ (доїння в молокопровід), а при усіх відкритих стаканах ще більше: відповідно до $14,5$ і $35,3 \text{ м}^3/\text{год}$. Звідси ясно, що навіть при видоюванні однієї тварини у вакуумну систему може поступити дуже багато зовнішнього повітря. Причому, як показує осцилограма (рис. 1.2), при правильному виконанні цих прийомів потік повітря в $2...3$ рази перевищує своє номінальне значення (див. піки на нижній кривій).

Та оскільки стакани надівали і знімали дуже швидко, відхилення вакууму (середня крива) не перевищували $2,7 \text{ кПа}$ (20 мм рт. ст.). На рис 1.3 представлена осцилограма з накладенням просмоктування повітря при спаданні молочного шланга. З неї видно, що до виникнення просмоктування вакуум в молокопроводі (крива 2) досить стабільний, його коливання - менше 1 кПа . Періодичні коливання вакууму в колекторі від 48 до 40 кПа (крива 3) визначаються зміною

розрідження і потоку молока в піддійкових камерах доїльних стаканів, що викликається роботою пульсатора, тобто вони закономірні для двотактного апарату ДА-2М.

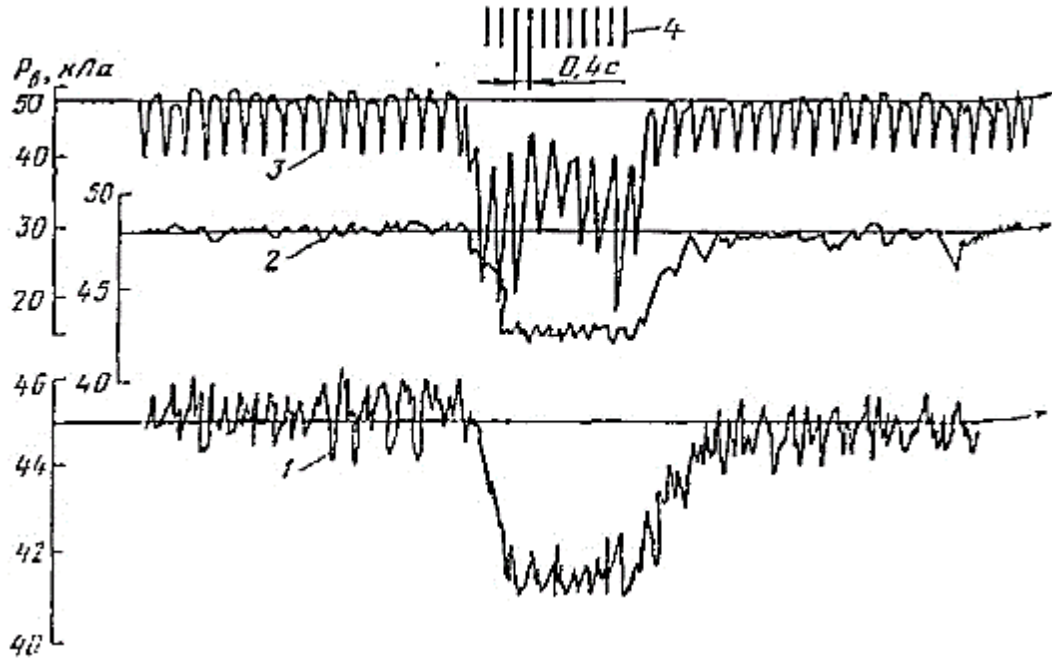


Рисунок 1.3 - Осцилограма величини вакууму при спаді молочного шланга на доїльній установці УДЕ-8 «Ялинка»: 1 - у вакуумпроводі; 2 - в молокопроводі; 3 - в молочній камері колектора; 4 - відмітка часу

Звертає на себе увагу нестабільність розрідження у вакуумпроводі (крива 1). Його коливання від 46 до 44 кПа слід вважати значними (при цьому мінімальному навантаженні), що обумовлено низькою динамічною стійкістю (вібраціями) серійних регуляторів. При просмоктуванні ця картина різко мінялася. Вакуумний режим значно погіршувався одночасно в усіх місцях. У колекторі розрідження знижувалося до 20 кПа, в молокопроводі - до 42,5 кПа, у вакуумпроводі до 41 кПа. Відповідно до цього змінювалися у бік погіршення режими в піддійкових камерах доїльних стаканів, що добре видно на верхній кривій. Подача повітря тривала всього 7 с, і протягом усього цього часу вакуумний режим був порушений, що говорить про погану роботу регуляторів. Вплив просмоктувань на стабільність вакууму в молокопроводі (а з урахуванням наявної

кореляції і в доїльному апараті) при надяганні стаканів на дійки тварини показано на рис 1.4. У першому випадку цей прийом виконували з впусканням повітря в кожен стакан, в другому - тільки через один з них, в третьому - невелика кількість повітря рівномірно поступала в усі стакани і, нарешті, в останньому - стакани поставлені швидко без чутних просмоктувань повітря (тривалість відповідно до 10, 2, 7, 1 с).

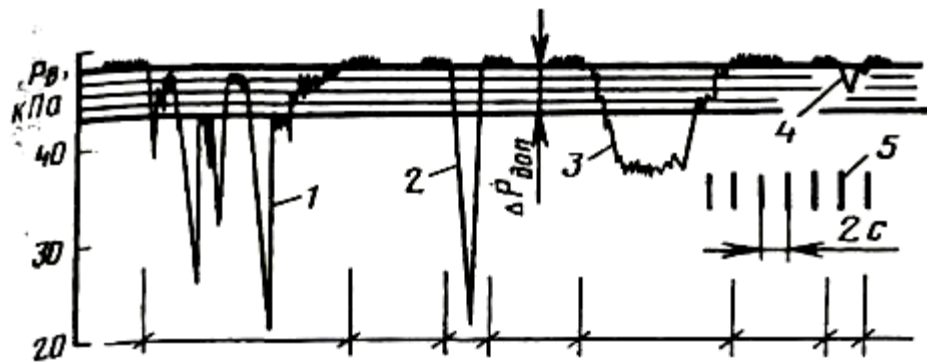


Рисунок 1.4 - Осцилограми вакууму в молокопроводі доїльної установки УДЕ-8 «Ялинка» при різних просмоктуваннях: 1, 2, 3, - неправильне надягання стаканів з великими просмоктуваннями; 4 - правильне надягання стаканів з мінімальними просмоктуваннями; 5 - відмітка часу

З порівняння осцилограм видно, яке значення має правильне надягання стаканів на дійки тварини. У першому і в другому (повітря поступало тільки через один стакан) випадках максимальні відхилення вакууму дуже великі - до 25 кПа. У третьому - нижній рівень вакууму склав 38 кПа, тобто відхилення теж значно перевищувало допустиму величину (5,3 кПа). І тільки в останньому випадку цей показник не виходив з норми. Особливо слід підкреслити неприпустимість передержки стаканів у відкритому стані при знятті апарату з вимені.

Дослідження показали, що для евакуації залишків молока цілком досить однієї секунди при невеликій кількості підсмоктуваного повітря. Що стосується технічної сторони проблеми стабілізації вакуумного режиму, то тут дослідники відмічають наступне. Кожен, хто хоч один раз був присутній на доїнні,

чув характерне шипіння і свист атмосферного повітря. Важко чекати, щоб це явище завтра припинилося. Дуже великі просмоктування на автоматизованих доїльних установках УДА-8 «Тандем» і УДА-16 «Ялинка» через невдалу конструкцію маніпуляторів. Багато повітря поступає через лічильників УЗМ-1 при видаленні з них молока в молокопровід. Забезпечити в цих умовах стабільний вакуумний режим без впровадження надійних і ефективних регуляторів не можна.

На основі узагальнення робіт Є. І. Адміна, Л. П. Карташова, та ін. автори дійшли висновку, що стабільність вакууму можна значно підвищити за умови поліпшення конструкції доїльних установок і лічильників УЗМ-1, підвищення якості їх технічного обслуговування. Серійний регулятор АДМ 08.010. нестійкий в роботі, вимагає для заливки рослинне і дизельне мастило, дуже незручний в обслуговуванні. Цих недоліків не має регулятор РВ-100 і його вдосконалені модифікації.

Забезпечити стабільний вакуумний режим доїльних установок - це означає підвищити продуктивність праці операторів, збільшити продуктивність корів і значно понизити захворюваність тварин маститом. Проблема заслуговує на те, щоб вирішувати її комплексно і негайно. У прагненні зберегти в камерах доїльного апарату і в молокопроводній системі доїльної установки потрібну величину вакууму, різні дослідники по-різному розглядають питання про стабілізацію вакууму на доїльних установках з молокопроводом, прокладеним уздовж корівника.

Клау П. А. і Тиэл К.К. рекомендують застосовувати молокозбірники, встановлені на молокопроводі.

На думку Богдана И.Д. і Богдана И.З. кращим варіантом стабілізації вакууму під діями є доїння корів в прозорі мірні циліндри, розташовані на рівні доїльних стаканів.

Кондур С.І. пропонували збільшити початковий вакуум по усій молокопроводній системі або монтувати молокопровід на рівні доїльних стаканів.

Щоб уникнути втрат магістрального вакууму з підйомом гілок молокопроводу в поперечному проході корівника свого часу Бетін С. і Бейнерт К. рекомендували поперечні гілки молокопроводу укладати на підлогу центрального поперечного проходу.

Питанню збереження необхідного вакууму при доїнні корів в молокопроводі приділяється значна увага. З метою оптимізації вакуумного режиму при машинному доїнні в молокопровід проведений ряд досліджень по вивченню коливань величини вакууму залежно від частоти пульсації, числа доїльних апаратів, висоти розташування і довжини магістральних ділянок доїльної установки ДУ-150 «Даугава».

Зміна величини магістрального вакууму в молокопроводі і вакуумпроводі залежно від числа доїльних апаратів і частоти пульсації (числа пульсов) на гілках доїльної установки «Даугава» показано на рис. 1.5. Досліди проводилися на прямолінійній ділянці і на ділянці центрального вакуум-регулятора доїльної установки.

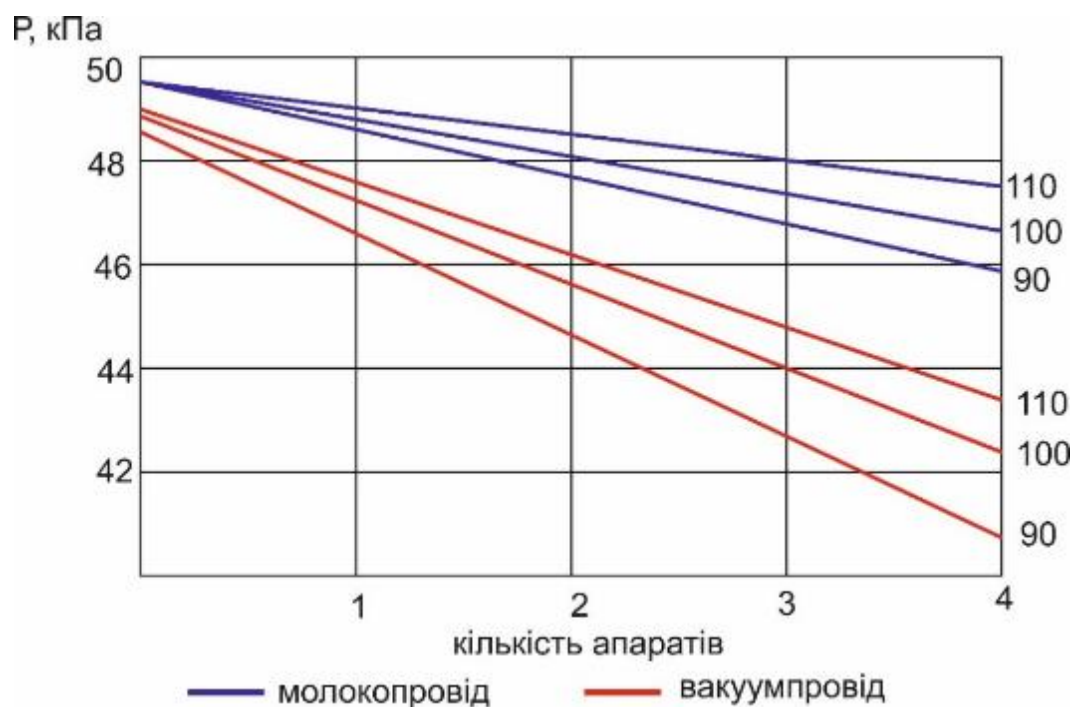


Рисунок 1.5 - Зміна величини магістрального вакууму в молокопроводі і вакуумпроводі залежно від числа доїльних апаратів і частоти пульсації

Як видно з рис. 1.5 найбільше падіння вакууму із збільшенням числа апаратів і частоти пульсації відбувається у вакуумпроводі. Це пояснюється тим, що відсмоктування повітря з вакуумпроводу на доїльних установках «Даугава» можливий тільки через диференціального регулятора (дросель), тобто значне падіння величини вакууму пов'язане із законами дроселювання. Таке положення, на думку авторів, наводить на думку про доцільність вдосконалення конструкції центрального вакуумного регулятора доїльної установки.

1.3 Вакуумні регулятори

Для контролю технічного стану вакуумної лінії останніми роками на фермах використовують вакуумні регулятори різноманітних конструкцій. Основне призначення вакуум-регулятора - підтримка стійкого робочого вакууму в доїльній установці. Проте деякі конструкції вакуум-регуляторів виконані таким чином, що по коливанню вантажу або завдяки спеціальному вузлу можна контролювати величину робочого вакууму або кількість повітря, що проходить через вакуум-регулятора.

Розглянемо основні типи регуляторів вакууму. Вакуум-регулятор по рис. 1.7, а складається з корпусу 1, клапана 2 і вантажу 3. При роботі насоса на клапан від низу до верху діє сила, що виникла від різниці між атмосферним тиском і вакуумом, що створюється в трубопроводі. Під дією цієї сили клапан піднімається і впускає в магістраль атмосферне повітря. Вантаж підбирають такої величини, щоб клапан спрацьовував у той момент, коли вакуум в трубопроводі досягає робочої величини. При зменшенні робочого вакууму клапан опускається, і в магістраль поступає невелика кількість повітря. Якщо маса вантажу вакуумрегулятора більше норми, то величина робочого вакууму в магістралі підвищується; якщо маса вантажу менше норми - знижується.

Під час включення доїльних апаратів кількість повітря, що проходить через вакуум-регулятор, зменшується, оскільки приблизно половина його проходить через доїльні апарати. Такий регулятор повинен стояти точно по рівню.

Його слід періодично оглядати і очищати від бруду. Застосовуються також і швидкодіючі вакуум-регулятори.

Регулятор (рис. 1.7,б) складається з корпусу 1 з кришкою, щільно сполучених між собою. У корпус вставлений впускний патрубок 5, що має у верхній частині клапанне гніздо.

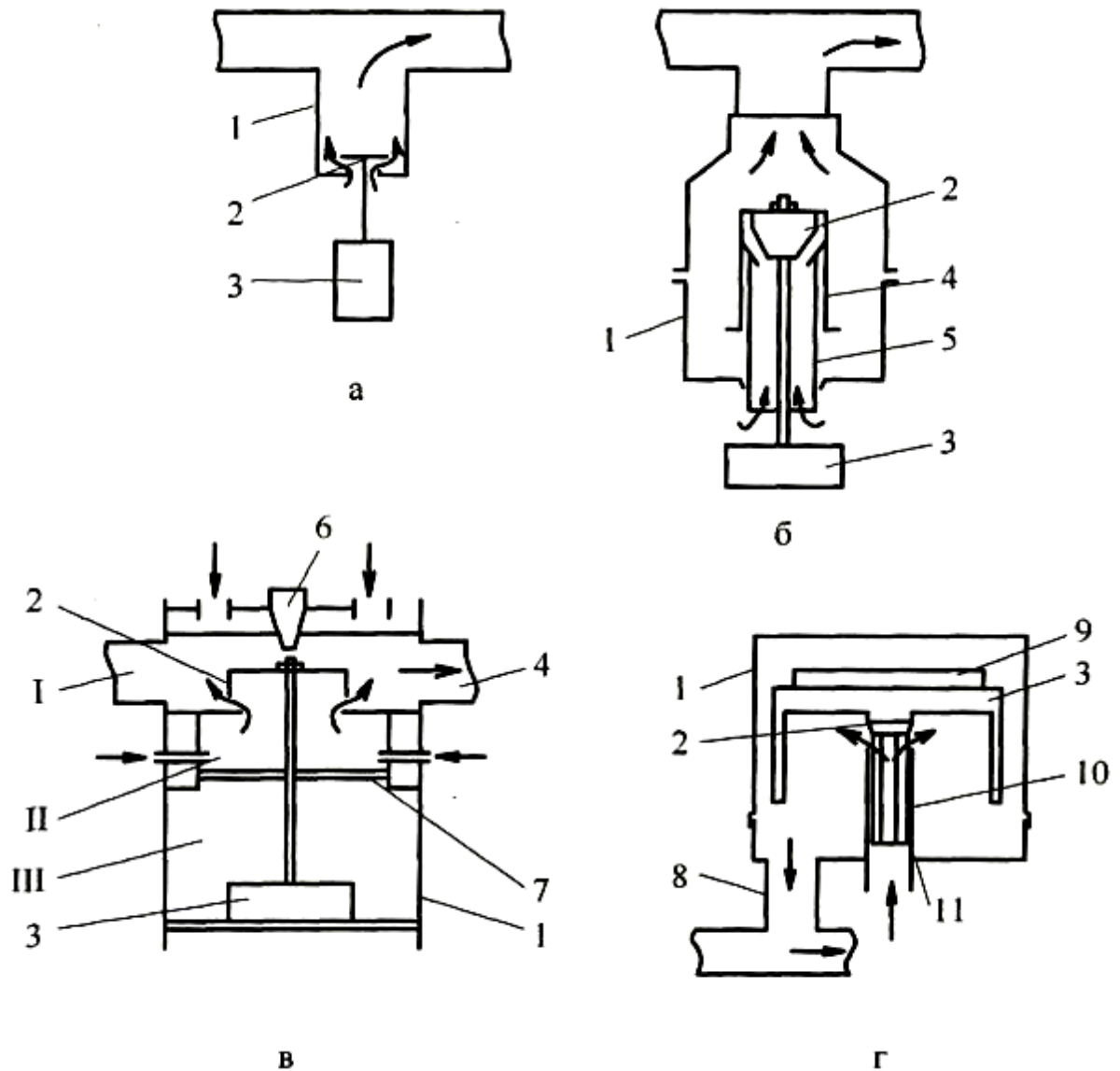


Рисунок 1.6 - Схеми різних вакуум-регуляторів: а - схема простого вакуум-регулятора; б - швидкодіючий вакуум-регулятор; у - трирежимний вакуум-регулятор; г - вакуум-регулятор з верхнім розташуванням клапана; 1 - корпус; 2 - клапан; 3 - вантаж; 4 - рухома втулка; 5 - впускний патрубок; 6 - пробка; 7 - диск; 8 - патрубок; 9 - додатковий вантаж; 10 - напрямна клапана; 11 - трубка; I, II, III - верхня, середня і нижня камери

На патрубок надіта рухома втулка 4 з трапецивидними вікнами для проходження повітря. На шайбі втулки закріплений клапан 2 з кутом конуса менше 45° , до клапана на стержні - вантаж 3. Під час роботи установки підвищення робочого вакууму в магістралі призводить до того, що за рахунок тиску атмосферного повітря клапан піднімається. Повітря, що поступає через клапан, проходить у вакуумну магістраль. Завдяки наявності шайби дефлектора, а також тому, що кут конуса клапана менше 45° і вікна мають форму трапеції, при збільшенні витрати повітря місцеві втрати вакууму різко зменшуються, а при зменшенні витрати - збільшуються. Це забезпечує зменшення коливання вакууму в системі.

Трирежимний швидкодіючий вакуум-регулятор (рис. 1.7, в) одночасно служить і індикатором величини робочого вакууму в системі доїльної установки. Регулятор складається з трьох камер: верхньої, яка вільно сполучається з вакуумним трубопроводом, середньою і нижньою (обидві камери сполучаються з атмосферою). Клапан і диск регулятора змонтовані на одному стержні і розділяють верхню, середню і нижню камери. Протидіючий вантаж розташований внизу на стержні. Відношення діаметрів диска і клапана - двократне. Компенсуюче повітря на усіх режимах роботи регулятора проходить в систему послідовно через атмосферні отвори, середню камеру і клапан. При малих змінах вакууму в системі незначна швидкість повітря не викликає помітних падінь тиску в середній камері. Якщо ж вакуум в системі зміниться, і швидкість проходження повітря по трубопроводу зросте, то в середній камері тиск різко впаде - виникне різниця сил, діючих згори і знизу на диск, і викличе швидкий підйом стержня. Стержень відтісняє хвостовик пробки настільки, що утворюється круговий проміжок між хвостовим отвором і кришкою. Через цей проміжок повітря потрапляє в порожнину клапана, а звідти - в систему. По коливальних рухах пробки і її хвостовика можна визначити приблизне значення вакууму в системі.

У регулятора (рис. 1.7, г) застосований клапан золотниково-дросельного

типу з вікнами змінного перерізу. Цей клапан в порівнянні з клапанами тарілчастого типу і усіченого конуса 45° має кращу характеристику. Вантаж в регуляторі розташований вгорі (клапан розташований над трубопроводом), що виключає попадання в нього рідини під час доїння і при промиванні системи. Статична погрішність цього вакуум-регулятора мінімальна, він відрізняється високою динамічною стійкістю, простий за будовою і в обслуговуванні, надійний в роботі [25]. Регулятор складається з корпусу 1, до якого на нарізці кріплять патрубків 8 для з'єднання регулятора з вакуум-проводом установки і трубку 11. У трубці розміщений регулюючий золотниково-дросельний клапан 2, на верхній його частині встановлений вантаж 3 з доважками 9 для налаштування різної величини вакууму. У нижній частині трубки закріплений повітряний фільтр з сіткою. Пристрій закритий згори кришкою. Найбільш відповідальна частина регулятора - золотниково-дросельний клапан. Ця суцільнометалева деталь забезпечена напрямною 10, виконаною у вигляді порожнистого циліндра з чотирма вікнами змінного профілю: трикутний переріз - безпосередньо у клапана і прямокутний - на іншій частині. Напрямна центрує клапан в трубці і за рахунок легкого тертя згладжує можливі коливання вакууму.

Працює регулятор таким чином. Під час доїння потік повітря, що безперервно міняється, від доїльних апаратів, працюючих і таких, що відключаються, змінює вакуум в системі і, отже, дію його на клапан. При зниженні розрідження клапан під дією вантажу опускається, зменшуючи площу відкритого перерізу вікон. В результаті подача «резервного» повітря різко скорочується або припиняється зовсім і вакуум в системі швидко відновлюється до заданого значення. Регулятор стійко працює при малих і великих витратах повітря, а також при різкозмінних навантаженнях, характерних для багатьох доїльних установок. Так, якщо регулятор використовувати як диференціальний і головний, клапан в основному працює трикутною частиною перерізу вікон, забезпечуючи витрату повітря в межах від 0 до $20 \text{ м}^3/\text{год}$. При більшій витраті повітря (від 30 до $90 \text{ м}^3/\text{год}$) у вакуумних регуляторах діє трикутна і прямокутна частини вікна.

На вітчизняних доїльних установках також застосовують вакуумні регулятори з індикаторами для контролю величини підсосу повітря через вакуум-регулятор (рис. 1.8). Вантаж у такого регулятора підвішений до клапана на пружині 1. На штоку вантажу встановлено дві амортизаційні шайби 5, опущені в мастило, залите в корпус регулятора. Прапорець 3 індикатора, на нижню частину якого діє повітря, що проходить через вакуум-регулятор, показує кількість підсмоктуваного повітря. У лінійних доїльних установках з молокопроводом оптимальна величина підсосу дорівнює 3...7 м³/год.

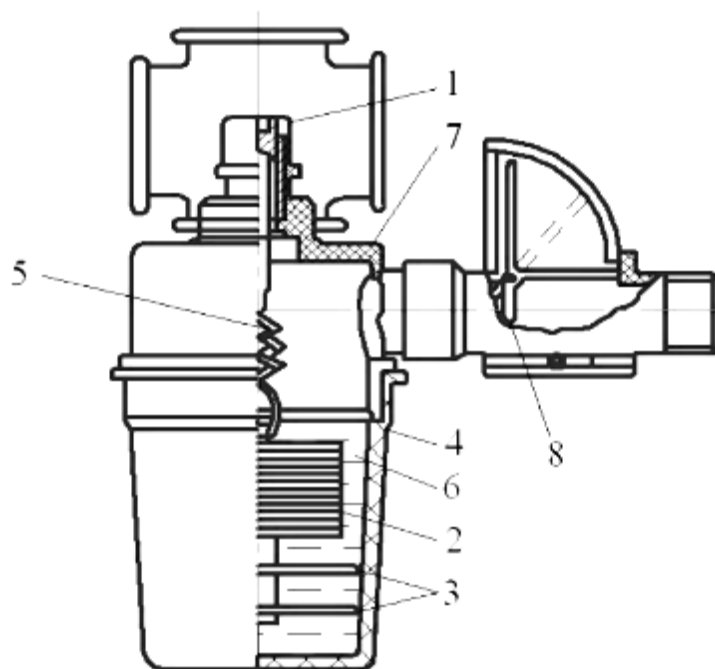


Рисунок 1.8 - Вакуум-регулятор в зборі з індикатором: 1 - пружина; 2 - індикатор; 3 - прапорець індикатора; 4 - регулятор; 5 - шайби

В сучасних доїльних установках змонтовані вакуумметр для визначення величини вакууму в системі, а також вакуумний регулятор з індикатором для підтримки в системі нормальної величини робочого вакууму і контролю величини підсосу повітря в магістральній ділянці вакуум-проводу. До недоліків цієї системи контролю відносяться близьке розташування вакуум-регулятора у вакуумного насоса і невеликі розміри вакуумметрів. Характеризуючи описане

вище, слід зазначити, що, як правило, в приладах, що випускаються промисловістю для тваринництва, не використовуються індикатори, сигналізатори, табло і інші технічні засоби, що інформують оператора про стан тварини, доїльної установки і усієї системи в цілому.

Останніми роками розроблена велика кількість різноманітних засобів представлення інформації, на приладових дошках сучасних систем управління складним устаткуванням встановлені десятки і сотні індикаторних пристроїв. Вакуумний регулятор VSD шведської фірми De Laval є регульований швидкістю привід, який автоматично змінює швидкість насоса для підтримка рівномірного заданого рівня вакууму. Це допомагає поліпшити здоров'я вимені корови, а також понизити енерговитрати на 70% і забезпечити тривалий термін експлуатації насоса. Регулятор вакууму шведської фірми De Laval представлений на рис 1.9,а.

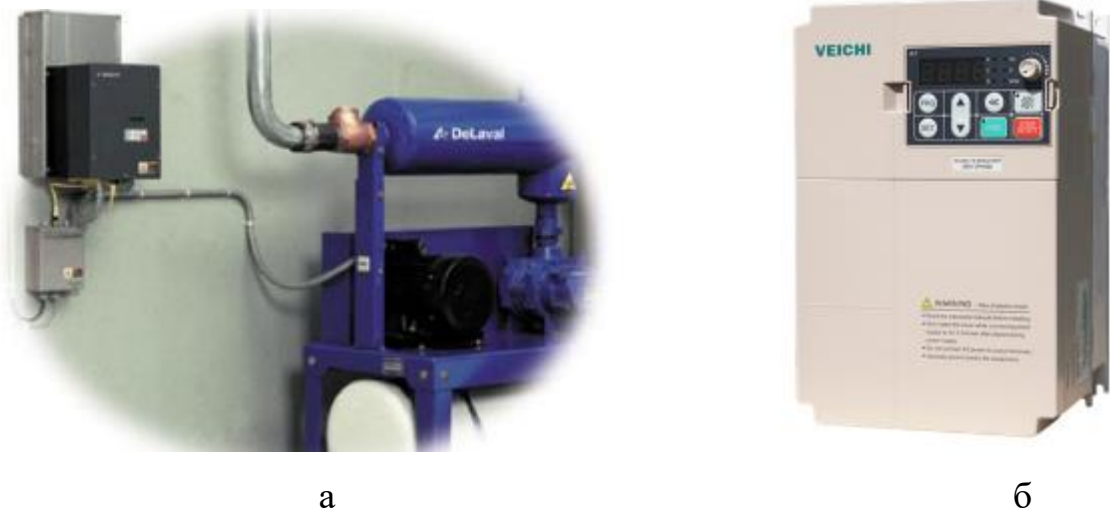


Рисунок 1.9 - Вакуумний регулятор VSD шведської фірми De Laval: а - загальний вигляд регулятора; б - контролер частотно-регульованого електроприводу (VFDC)

Головним елементом такого вакуумного регулятора є контролер частотно-регульованого електроприводу (VFDC) (рис. 1.9,б). Контролер VFDC

(Variable Frequency Drive Controller) є укомплектованим вбудованим мікроконтролером, який може використовуватися з автономними приводами або з інтегрованими безступінчатими електроприводами. Основним його призначенням є регулювання роботи безступінчатого приводу так, щоб в кожен момент часу було встановлено задане значення параметра. До нових можливостей можна віднести автоматичне регулювання параметрів управління і автоматичне включення/виключення двигуна.

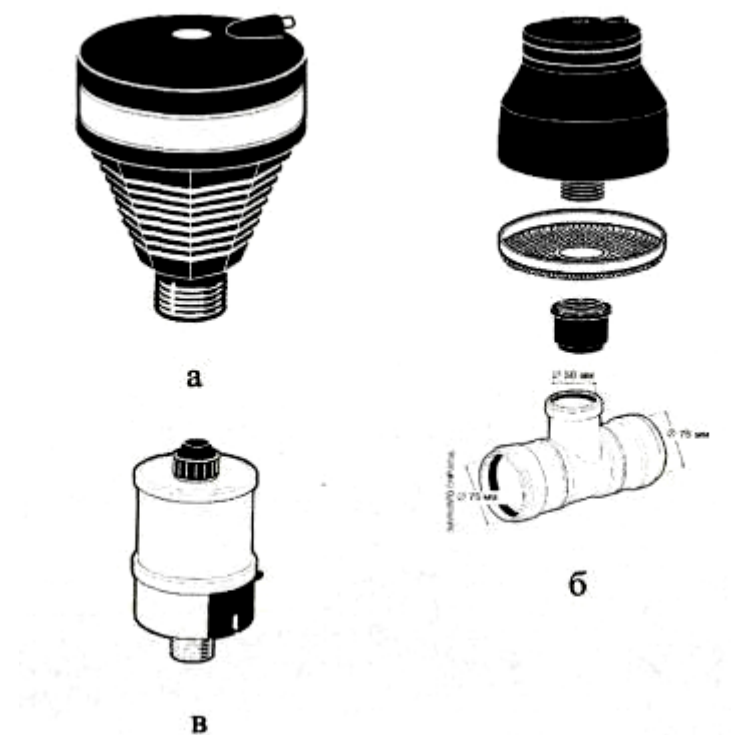


Рисунок 1.10 - Вакуумні регулятори і сенсорний елемент а - вакуумний регулятор VRM 900, б - вакуумний регулятор VRM 2500; в - сенсорний елемент VRS

Контролер може бути підключений до безступінчатого приводу за допомогою використання електропроводки або швидкорознімних з'єднувачів. На нижній стороні контролера розташовані водонепроникні сполучні роз'єми для виконання електричних з'єднань різних типів. Контролер подає на безступінчатий привід сигнал регулювання оборотів двигуна в діапазоні від 0 до 10 В постійного струму і сигнал управління перемиканням реле.

VFDC складається з двох основних вузлів:

- головної монтажної плати з вхідними і вихідними роз'ємами;
- дисплея і клавішного пульта для взаємодії з контролером користувача.

Серворегулятори VRM 900, VRM 2500 і VRM 4000 (рис. 1.10 а, б) регулюють рівень вакууму шляхом зміни об'єму забору повітря, реагуючи на сигнал сенсорного елемента VRS. Пропускна спроможність таких вакуумних регуляторів відповідно до 900, 2500 і 4000 л/хв.

Сенсорний елемент VRS (рис. 1.9, в) сприймає існуючий рівень вакууму і порівнює його із заздалегідь заданим значенням. По окремій лінії сенсорний елемент посилає контрольний сигнал, який активізує регулятора VRM або редуктор VRR.

1.4 Висновки по розділу

Машинне доїння корів займає одне з центральних місць в загальній проблемі механізації і автоматизації молочних ферм. Порушення вакуумного режиму сприяє зниженню рефлексу молоковіддачі і може викликати масові маститні захворювання вимені корів, що призводять до зниження якості молока, молочної продуктивності і передчасному вибраковуванню тварин. Тому в машинному доїнні особливе значення повинне приділятися вакуумному режиму роботи доїльних апаратів.

Для підтримки стійкої роботи доїльних систем необхідно, щоб продуктивність вакуум-насосів стійко забезпечувала трикратну сумарну витрату повітря, усіма апаратами доїльної установки при робочому вакуумі в межах 48-53 кПа.

При колишній дуже низькій вартості енергоносіїв, сумірній з амортизаційними відрахуваннями, на першому плані була вартість силових агрегатів, і спрощення їх конструкції себе виправдовувало. У сучасних умовах ці показники міняються місцями, і обґрунтування енергозбережних вакуумних систем стає особливо актуальним. Спроби обґрунтування параметрів енергозбережних вакуумних силових агрегатів робилися неодноразово і раніше. Проте вакуумні

силові агрегати як і раніше працюють при постійній, зазвичай номінальній потужності двигуна незалежно від корисного навантаження.

Вакуумні системи доїльних установок відносяться переважно до динамічних лінійних систем. Проте їх дослідження здійснюється зазвичай статичними методами, що не забезпечує синтезу вакуумних систем з оптимальними параметрами. Тому дослідження динамічних процесів виробництва і стабілізації вакууму в доїльних системах для оптимізації їх параметрів методами теорії динамічних систем, таких, наприклад, як теорія систем автоматичного регулювання, є актуальним.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВАКУУМНОЇ СИСТЕМИ ЛІНІЙНОЇ ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

2.1 Аналіз підсистеми стабілізації і розподілу вакууму

На підставі численних досліджень динаміки вакуумних доїльних систем і елементів встановлено, що вони усі переважно лінійні. Тому основним науковим принципом (початковим положенням) наших досліджень є лінійність вакуумних доїльних систем, тобто динамічні процеси стабілізації вакууму в доїльних системах можна досліджувати класичними методами теорії лінійних динамічних систем, зокрема, на основі теорії систем автоматичного регулювання.

В принципі в дослідженнях пневматичних елементів і систем, для виведення диференціальних рівнянь зокрема, повинна використовуватися повна система рівнянь газової динаміки. Крім того, до них необхідно додати диференціальні рівняння процесів теплообміну досліджуваних пневматичних елементів. Проте рішення такої системи рівнянь є складним завданням. В той же час, дослідженнями встановлено, що у вакуумній пневмоавтоматиці достатню відповідність практиці дають розрахунки, засновані на прийнятті ряду спрощуючих допущень:

1. Для струменів, дроселів і пневматичних камер, що працюють на низькому вакуумі, в яких витікання повітря відбувається при малих перепадах тисків, не враховується вплив на їх характеристики зміни щільності повітря, пов'язана із зміною тисків, витікання вважається переважно ламінарним і відбувається в докритичних режимах.

2. Приймається, що витратні характеристики дроселів в несталих режимах роботи такі ж, як і в сталих: приймається, що в тому і другому випадках кожної цієї різниці тисків до і після дроселя відповідає одна і та ж витрата повітря (умови квазістаціонарної течії).

3. Беруться середні для пневмокамери величини тисків: вважається, що тиск не міняється від однієї точки камери до іншої.

4. Вводяться спрощуючі допущення відносно процесів зміни стану повітря в камерах (ці процеси залежать від умов теплопередачі через стінки): дослідження проводяться лише для граничних умов, коли процес стану повітря ізотермічний або адіабатичний.

Вакуумна доїльна система складається з двох основних підсистем. Одна з них - вакуумна силова установка - забезпечує відсмоктування необхідного об'єму повітря G з вакуумної системи при певній глибині вакууму P . Для роботи доїльних апаратів, інших виконавчих органів, вакуумних засобів управління і технологічного устаткування система повинна забезпечити стабільно номінальну величину вакууму $P_n \leq P$, розподілити і передати його до споживача на певну відстань. Ці функції виконує друга її частина, що включає вакуумпровід, вакуумбаллон, вакуум-регулювальник, вакуумметри, шланги, крани і доїльні апарати.

Пневматична схема підсистеми стабілізації і розподілу вакууму на доїльній установці представлена на рис 2.1.

Умови рівноваги роботи системи

$$G = G_{\bar{o}} = G_0 + G_1 + G_2 + \dots G_n , \quad (2.1)$$

де G - продуктивність вакуум-насоса;

$G_{\bar{o}}$ - витрата повітря через вакуум-балон;

$G_1, G_2, \dots G_n$ - витрата повітря через доїльні апарати;

G_0 - витрата повітря через вакуум-регулятор.

Або

$$G = G_0 + \sum_1^n G_n , \quad (2.2)$$

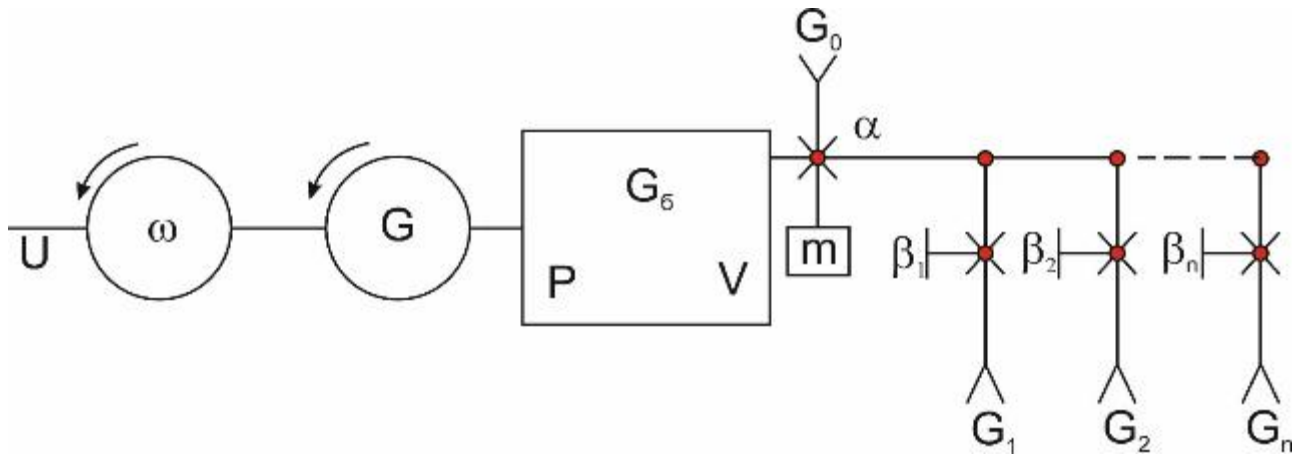


Рисунок 2.1 - Загальна пневматична схема підсистеми стабілізації і розподілу вакууму на доїльній установці

За відсутності навантаження (доїльні апарати відключені) $G=G_0$.

Для нормальної стійкої роботи доїльних апаратів в машинному доїнні приймають 3-х кратну витрату повітря усіма доїльними апаратами.

$$G = 3 \sum_1^n G_n . \quad (2.3)$$

Оскільки підсос повітря через вакуум-регулятор має бути рівним сумарній витраті повітря через доїльні апарати, приймаємо

$$G_{\max} = G_{0\max} = 3 \sum_1^n G_n . \quad (2.4)$$

Таким чином, максимальні продуктивність вакуум-насоса і пропускна спроможність вакуум-регулятора повинні забезпечувати стабільний вакуум у вакуумній системі з витратою, що перевищує в 3 рази сумарну витрату повітря усіма апаратами доїльної установки. Для дослідження процесів стабілізації вакууму в доїльних системах класичними методами теорії систем автоматичного

регулювання і наступного синтезу енергозбережного варіанту системи необхідно, передусім, визначити передавальні функції усіх її ланок.

2.2 Передавальні функції основних ланок вакуумної системи

Для електродвигуна закон рівноваги моментів на його валу описується рівнянням

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_B - M_T, \quad (2.5)$$

де J і ω - приведений момент інерції і кутова швидкість електродвигуна відповідно;

M_B - крутний момент двигуна;

M_T - гальмівний момент зовнішніх сил (момент навантаження).

Відповідно до рівняння (16) передавальна функція електродвигуна має вигляд аперіодичної ланки першого порядку

$$W_{\text{эд}}(s) = \frac{k_1}{T_1 s + 1}, \quad (2.6)$$

де T_1 - постійна часу електродвигуна, с

$$T = J \frac{\omega_x}{M_n}, \quad (2.7)$$

тут - $\frac{M_n}{\omega_x}$ відношення пускового моменту до швидкості холостого ходу;

k_1 - коефіцієнт посилення електродвигуна

$$\kappa = \kappa_m \frac{\omega_x}{M_n}, \quad (2.8)$$

де κ_m - коефіцієнт пропорційності між керуючою дією і сталим крутним моментом.

Передавальну функцію вакуумного насоса можна визначити з його характеристики, згідно якої продуктивність насоса пропорційна його кутовій швидкості. Продуктивність насоса визначається по формулі

$$G = \kappa \cdot \omega, \quad (2.9)$$

де κ - коефіцієнт пропорційності, залежний від конструктивних особливостей вакуумного насоса;

ω - частота обертання ротора вакуумного насоса.

Якщо прийняти за вхідну величину частоту обертання ротора вакуум-насоса, співпадаючу з частотою обертання ротора електродвигуна, а за вихідну - продуктивність G , то передавальна функція цього елемента набере вигляду

$$W_H(s) = \kappa_2, \quad (2.10)$$

тут κ_2 - коефіцієнт посилення вакуумного насоса, тобто він є лінійною безінерційною підсилювальною ланкою.

Загальний вигляд сучасного вітчизняного вакуум-регулятора з масляним демпфером і індикатором представлений на рис. 1.8, а його розрахункова схема - на рис 2.2 .

Передусім, необхідно скласти в загальному вигляді диференційне рівняння клапана (заслінки) вакуум-регулятора з пружиною, вантажем (масою m) і демпфером, якщо за вхідну величину прийняти величину вакууму P у вакуумній системі, а за вихідну величину - переміщення заслінки x і вважати відомими

приведені до точки А сили вакууму системи, діюча на заслінку F_3 , урівноважуваний силами пружини F_n і інерційними F_u .

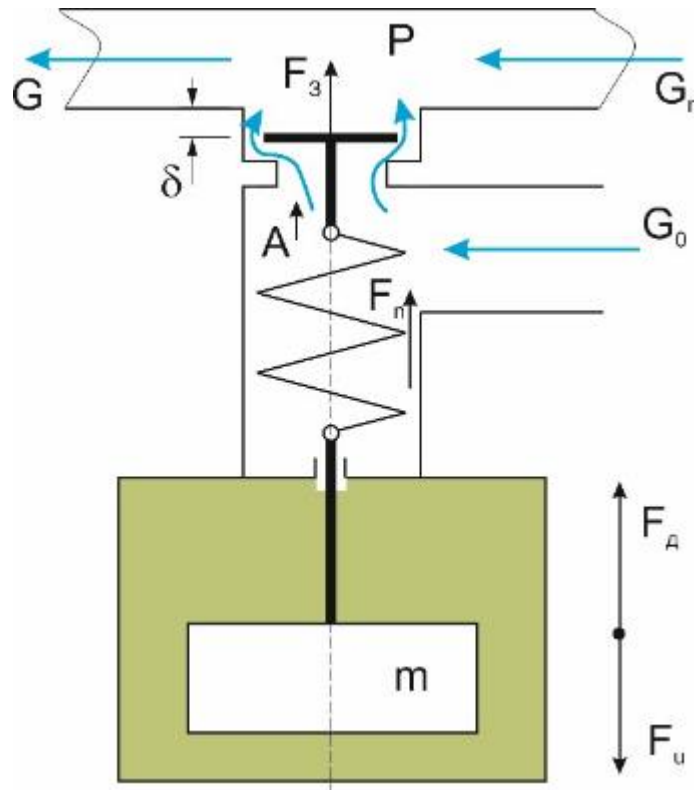


Рисунок 2.2 - Розрахункова схема вакуум-регулятора з масляним демпфером

Виберемо початок відліку як показано на малюнку і складемо рівняння рівноваги сил, приведених до точки А, в загальному вигляді:

$$F_3 = F_u + F_d + F_n, H, \quad (2.11)$$

де F_u - інерційна сила, пропорційна прискоренню a і приведеній масі рухомих частин m (вантаж)

$$F_u = ma, H, \quad (2.12)$$

де m – маса вантажу, кг;

a - прискорення, м]с²;

F_d - сила демпфера, пропорційна швидкості v і коефіцієнту демпфування c_1 .

$$F_d = c_1 v, H, \quad (2.12)$$

де v - швидкість, м]с;

c_1 - коефіцієнт демпфування, кг]с;

F_n - сила пружини, пропорційна переміщенню x і коефіцієнту пружності або жорсткості пружини c_2 .

$$F_n = c_2 x, H, \quad (2.13)$$

де c_2 , - жорсткість пружини, Н]м;

x - переміщення пружини, м.

Підставивши отримані значення у вираз (2.11), рівняння рівноваги сил, прикладених до клапана набере вигляду:

$$F_3 = m \frac{d^2 x}{dt^2} + c_1 \frac{dx}{dt} + c_2 x, \quad (2.14)$$

де F_3 - сила, діюча на заслінку вакуум-регулятора, залежна від площі сопла S_0 і величини вакууму P_H в системі

$$F_3 = P_H S_0, \quad (2.15)$$

де S_0 , - площа сопла, м²;

P_H - величина вакууму в системі, кПа.

З урахуванням вищевикладеного, формула (2.14) набере наступного вигляду:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + c_1 \frac{dx}{dt} + c_2 x = P_H S_0. \quad (2.16)$$

Розділимо усі члени рівняння на c_2

$$\frac{m}{c_2} \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{c_1}{c_2} \frac{dx}{dt} + x = P_H \frac{S_0}{c_2}. \quad (2.17)$$

Позначимо
$$T_6 = \sqrt{\frac{m}{c_2}}; T_0 = \frac{c_1}{c_2}; \kappa_5 = \frac{S_0}{c_2},$$

де T_6, T_0 - постійні часу, с;

κ_5 - коефіцієнт посилення.

Переходячи до гранично малим переміщенню Δx і тиску ΔP , отримаємо рівняння системи:

$$T_6^2 \frac{d^2 \Delta x}{dt^2} + T_0 \frac{d \Delta x}{dt} + \Delta x = \kappa_5 \Delta P_H. \quad (2.18)$$

$$T_6^2 s^2 \Delta x + T_0 s \Delta x + \Delta x = \kappa_5 \Delta P_H, \quad (2.19)$$

де $s = \frac{d}{dt}$ - оператор диференціювання.

$$\Delta x (T_6^2 s^2 + T_0 s + 1) = \kappa_5 \Delta P_H. \quad (2.20)$$

Передавальна функція підвісної системи вакуумного регулятора матиме вигляд:

$$W(s) = \frac{\Delta x(s)}{\Delta P_H(s)} = \frac{\kappa_5}{T_6^2 s^2 + T_0 s + 1}. \quad (2.21)$$

Вираз (2.21) є лінійним диференціальним рівнянням другого порядку. Його характеристичне рівняння:

$$T_6^2 s^2 + T_0 s + 1 = 0. \quad (2.22)$$

має корінь

$$a_{1,2} = \frac{-T_0 \pm \sqrt{T_0^2 - 4T_6^2}}{2T_6^2}. \quad (2.23)$$

З цього виразу витікає, що при $T_0^2 < 4T_6^2$ корені характеристичного рівняння будуть комплексними. Тому перехідний коливальний процес виникатиме у тому випадку, якщо дотримується нерівність $T_0^2 - 4T_6^2 < 0$ або $T_0/T_6 < 0$. Якщо $T_0^2 - 4T_6^2 > 0$ або $T_0/T_6 > 0$, то корені буде дійсними. В цьому випадку перехідний процес не матиме коливального характеру, і система буде стійкою.

З рівняння коливальної ланки отримаємо:

$$\frac{T_0}{T_6} = 2\varepsilon, \quad (2.24)$$

де ε - коефіцієнт розсіювання енергії.

Звідки витікає, що стійкість даної ланки цілком залежить від коефіцієнта розсіювання. Ланка буде стійкою у тому випадку, якщо $\varepsilon > 1$. В даному випадку розсіювання енергії дуже низьке.

$$T_0 = 2\varepsilon T_6. \quad (2.25)$$

Тоді загальна передавальна функція підвісної системи вакуумрегулятора з урахуванням розсіювання енергії набере вигляду:

$$W(s) = \frac{\kappa_5}{T_6^2 s^2 + 2\varepsilon T_6 s + 1}. \quad (2.26)$$

Рівняння рівноваги в системі регулятора буде:

$$P = \frac{G_0}{\alpha} + \sum_1^n \frac{G_n}{\beta_n} + P_n, \quad (2.27)$$

де α - коефіцієнт пропорційності вакуум-регулятора, $\text{м} \cdot \text{с}^2$;

β_n - коефіцієнт пропорційності i -го доїльного апарату, $\text{м} \cdot \text{с}^2$.

За відсутності навантаження у вакуумній системі її рівняння рівноваги буде:

$$P = \frac{G_0}{\alpha} + P_n, \quad (2.28)$$

оскільки

$$G = P \frac{V}{R\theta}, \quad (2.29)$$

де R - газова постійна,

θ - температура, К;

V - об'єм вакуумної системи, включаючи вакуум-балон, труби і молочні ємності, м .

Маса повітря, що накопичується у вакуумній системі в одиницю часу при зміні в ній тиску, буде рівна:

$$\Delta G = \frac{dP}{dt} \frac{V}{R\theta}. \quad (2.30)$$

З іншого боку, зміну маси (витрати) повітря можна представити як

$$\Delta G = G - G_0. \quad (2.31)$$

При ламінарному режимі витікання повітря через клапан вакуум-регулятора

$$G_0 = \alpha (P - P_n). \quad (2.32)$$

Якщо витікання повітря через клапан турбулентне, то

$$G'_0 = \alpha \sqrt{(P - P_n)}, \quad (2.33)$$

де α - коефіцієнт пропорційності клапана вакуум-регулятора при турбулентному витіканні повітря.

У зв'язку з нелінійною залежністю витрати повітря від перепаду вакууму на клапані вакуум-регулятора диференціальне рівняння витрати повітря буде лінійним. Причому цей режим роботи вакуум-регулятора є найбільш загальним.

Режим просмокування повітря через вакуум-регулятор вакуум-насосом буде завжди турбулентним, тоді:

$$G = \beta \sqrt{(P - P)}. \quad (2.34)$$

Для спрощення рішення задачі підсосами повітря в систему можна нехтувати.

Тоді загальна передавальна функція вакуум-регулятора набере вигляду:

$$W_p(s) = \frac{\Delta x(s)}{\Delta P(s)} = \frac{\kappa_5 (T_5 s + 1)}{T_6^2 s^2 + 2\varepsilon T_6 s + 1}. \quad (2.35)$$

На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що для стійкої роботи вантажного вакуумного регулятора обов'язковою умовою є наявність розсіювання енергії в коливальній ланці, що забезпечується масляним демпфером. За відсутності масляних демпферів вантажні вакуум-регулятори під навантаженням працюють на межі коливальної стійкості і не забезпечують стабільності вакууму в доільних системах, що особливо неприйнятно для вакуумних систем управління.

Отримана передавальна функція вакуумного регулятора використовуватиметься нижче для отримання загальної передавальної функції вакуумної доільної системи з метою оптимізації її динамічних параметрів і режимів роботи.

Вакуумний балон є пневматичною місткістю, грає роль вакуумного фільтру, що згладжує коливання вакууму в доільній системі. Він є простою ланкою,

що описується передавальною функцією [56] аперіодичної ланки першого порядку

$$W_B(s) = \frac{K_3}{T_{3s} + 1}, \quad (2.36)$$

де K - коефіцієнт посилення

T_3 - постійна часу вакуумного балона, с.

Доїльний апарат є основним споживачем вакууму створюваного вакуумними силовими агрегатами і різними доїльними системами. Це дуже складна унікальна біотехнічна система, єдина у своєму роді, де для отримання тваринницької продукції - молока - технічний засіб взаємодіє безпосередньо з живим організмом - вим'ям тварини. Динаміка процесів вакуумних приводів двотактних, тритактних і дву-тритактних доїльних апаратів досліджена. Результати досліджень можна було б використовувати і в цій роботі. Проте в наших дослідженнях поставлено конкретне завдання досліджувати динамічні процеси стабілізації вакууму в системі живлення доїльної установки при різних навантаженнях.

Тому доїльний апарат в наших дослідженнях розглядається як динамічне навантаження з різними об'ємами молочної місткості (молокопроводу, доїльного відра і ін.) і режимами витікання повітря під дією вакууму на її вході і виході.

Пневматична схема доїльного відра представлена на рис. 2.3.

Умови рівноваги роботи системи:

$$G = G_B = G_0, \quad (2.37)$$

де G - маса повітря, що проходить через вакуумний шланг, кг;

G_B - маса повітря, що проходить через доїльне відро, кг;

G_0 - маса повітря, що проходить через молочний патрубок, кг.

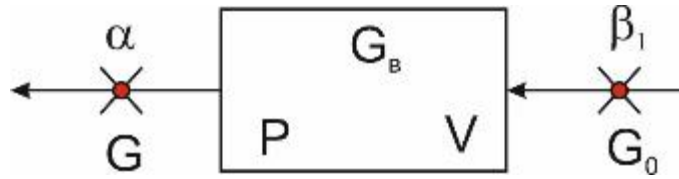


Рисунок 2.3 – Пневматична схема доїльного відра

Рівняння рівноваги вакууму в системі, відповідно до рис 2.3 матиме вигляд:

$$P = \frac{G_0}{\beta} + P_n, \quad (2.38)$$

де P_n - номінальна величина вакууму в системі, Па;

β - коефіцієнт пропорційності молочного патрубку, $\text{м} \cdot \text{с}^2$.

Передавальна функція вакуумної системи при ламінарному режимі витікання повітря через вакуумний шланг і турбулентному через молочний патрубок буде:

$$W_{ДВ1}(s) = \kappa_{\partial\partial1}. \quad (2.39)$$

Таким чином, при наповненому доїльному відрі його передавальна функція є підсилювальною ланкою з коефіцієнтом посилення $\kappa_{ДВ1}$.

Передавальна функція вакуумної системи при турбулентному режимі витікання повітря через вакуумний шланг і турбулентному через молочний патрубок буде:

$$W_{ДВ2}(s) = \kappa_{\partial\partial2}. \quad (2.40)$$

2.3 Структурні схеми і передавальні функції вакуумної системи лінійної доїльної установки

Розглянемо вакуумну доїльну систему, що складається з електродвигуна, вакуумного насоса, вакуумного балона, лінії зв'язку, вакуумного регулювальника і доїльного відра. Структурна схема вакуумної доїльної системи в загальному вигляді представлена на рис 2.4.

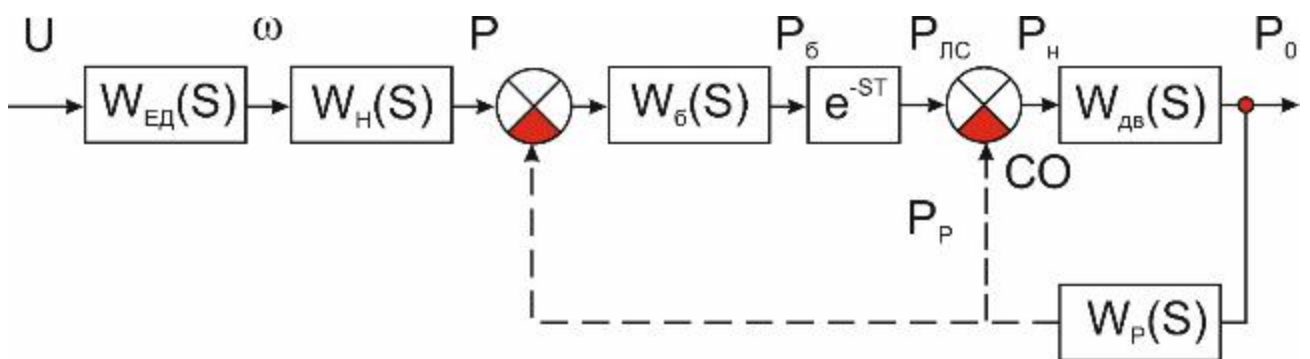


Рисунок 2.4 - Загальна структурна схема вакуумної доїльної системи: на схемі позначені наступні основні ланки системи: $W_{ED}(S)$ - електродвигун, $W_H(S)$ - вакуумний насос, $W_б(S)$ - вакуум-балон; e^{-sT} - вакуум-провід (ланка чистого запізнювання); $W_{дв}(S)$ - доїльне відро; $W_P(S)$ - вакуум-регулятор, CO - порівнюючий орган (заслінка вакуум-регулятора)

Ланка чистого запізнювання e^{-sT} має місце в довгих вакуумних лініях тільки у тому випадку, якщо час запізнювання τ буде співрозмірно з постійними часу регулятора вакууму $W_P(S)$. Для подальших розрахунків приймемо час запізнювання τ рівне нулю.

Крім того, на схемі позначені:

U - напруга живлячої мережі, В;

ω - кутова швидкість обертання ротора електродвигуна, c^{-1} ;

$P_б$ - вакуум на виході з вакуумного балона, кПа;

$P_{лс}$ - вакуум у кінці лінії зв'язку, кПа;

P_0 - атмосферний тиск, кПа;

P_p - вакуум на виході з вакуумного регулятора, кПа;

P_n - вакуум на виході порівнюючого органу (заслінки вакуумного регулятора).

Загальна передавальна функція цієї системи визначиться по формулі:

$$W_0(s) = W_{ED}(s) \cdot W_{BH}(s) \cdot W_B(s) \cdot W_{\Xi}(s), \quad (2.41)$$

$W_{\Xi}(s)$ - передавальна функція еквівалентної молочної системи, що включає молокопровід, молочні місткості або доїльне відро і вакуум-регулятор

$$W_{\Xi}(s) = \frac{W_{ДВ}(s)}{1 + W_{ДВ}(s) \cdot W_p(s)}, \quad (2.42)$$

Розгорнута структурна схема вакуумної доїльної системи представлена на рис 2.5.

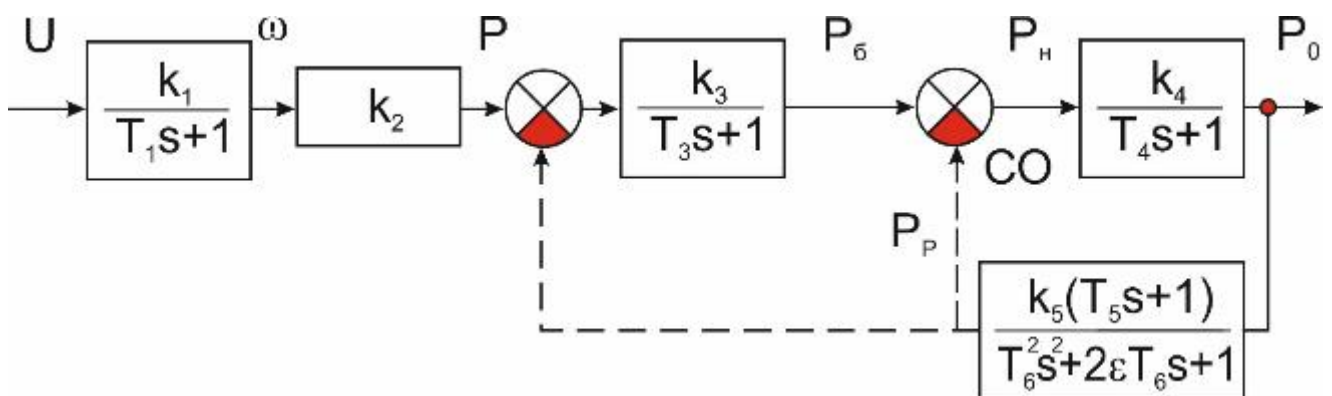


Рисунок 2.5 - Розгорнута структурна схема вакуумної доїльної системи

Тоді загальна передавальна функція системи набуває виду

$$W_0(s) = \frac{k_1}{T_1s+1} \cdot k_2 \cdot \frac{k_3}{T_3s+1} \cdot \frac{k_4}{T_4s+1} \cdot \frac{(T_4s+1) \cdot (T_6^2s^2 + 2\varepsilon T_6s + 1)}{(T_4s+1) \cdot (T_6^2s^2 + 2\varepsilon T_6s + 1) + k_4k_5 \cdot (T_5s+1)},$$

(2.43)

Ця схема (рис 2.5) дозволяє досліджувати стійкість і моделювати динаміку роботи вакуумної системи. Проте з причини високого порядку рівняння дослідження за допомогою класичних критеріїв Гурвіца, Найквіста і Михайлова представляють деяку складність. Тому їх дослідження доцільно провести за перехідними характеристиками, отриманими в результаті комп'ютерного моделювання за допомогою ПЕОМ.

2.4 Енергетичні показники роботи системи

Що стосується енергетичних параметрів, то лінійна вакуумна установка працює з досить високими коливаннями витрати повітря. Якщо скласти циклограму дій оператора машинного доїння при роботі на лінійній доїльній установці з трьома доїльними апаратами та розподіл витрати повітря доїльними апаратами в часі (рис. 2.6), то можна побачити, що максимальна витрата повітря не потрібна весь час її роботи. Підготовчі та заключні операції з вим'ям, перехід від корови до корови, дезінфекція доїльного апарату і т.д. складають той час, який один доїльний апарат не працює, а, отже, і не навантажує вакуумну систему доїльної установки.

При витраті повітря 3,6 м³/год. вітчизняним доїльним апаратом АДУ-1, максимальна витрата повітря на 3 доїльних апарати складе 10,8 м³/год. За цих умов, максимальна витрата повітря доїльними апаратами триває всього 33 % від загального часу роботи, весь інший час – витрата повітря складає 66 % від максимальної (рис. 2.6).

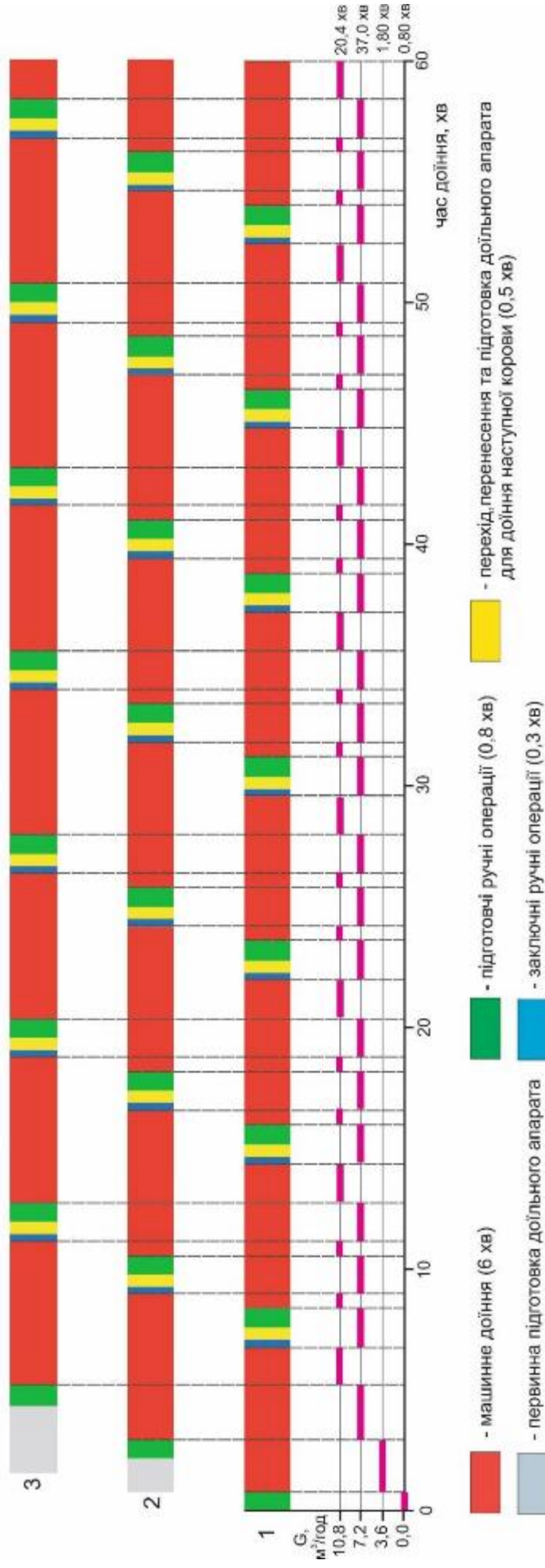


Рисунок 2.6 – Циклограма дій оператора машинного доїння при роботі на лінійній доїльній установці з трьома доїльними апаратами та розподіл витрати повітря доїльними апаратами в часі

Зменшити витрати енергії через недовантаження вакуумної системи можна за рахунок зміни її схеми. Нами пропонується схема, яка замість одного вакуумного насоса буде містити декілька (рис. 2.7), які будуть вмикатися в залежності від поточної витрати повітря (ланка керування TS).

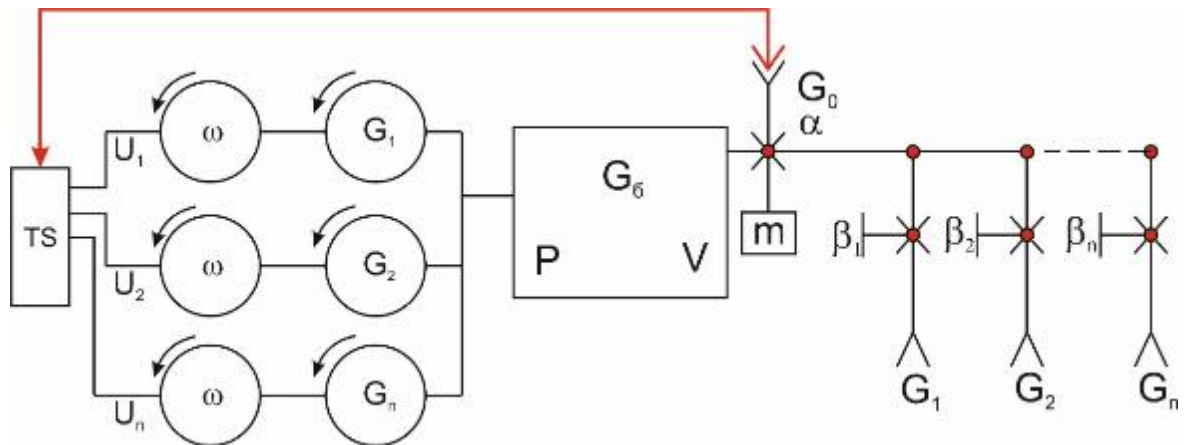


Рисунок 2.7 - Розроблена пневматична схема підсистеми стабілізації і розподілу вакууму на доїльній установці

Такий варіант, на відміну від варіанту керування частотою обертання, а отже і продуктивністю насоса, дозволяє забезпечити роботу силового агрегату в оптимальному режимі, з мінімальною питомою енергоємністю та максимальним ККД насоса. Порівняння розробленої схеми з серійними системами приведено в додатку А.

2.5 Висновки по розділу

1. Аналіз розробленої математичної динамічної моделі вантажного вакуум-регулятора дозволяє зробити висновок, що основним вузлом системи стабілізації вакууму є вакуум-регулятор з коливальною ланкою, що включає наступні елементи: сопло, клапан, пружину і вантаж з амортизаційними шайбами, опущеними в масло, залите в корпус регулятора в якості демпфера, що забезпечує стабільність вакууму і стійкість роботи.

2. Обов'язковою умовою стабілізації і стійкості системи є наявність розсіювання енергії ($\varepsilon > 0$) в коливальній ланці, при $\varepsilon = 0$ вакуум-регулятор працює на коливальній межі стійкості, не забезпечуючи стабільну величину вакууму в доїльних системах в заданих межах ($\pm 2,5\%$) і час регулювання до 5 с, що особливо неприпустимо в вакуумних системах.

3. Загальна передавальна функція системи, що включає електродвигун, вакуумний насос, вакуумний балон, вакуумний регулятор і доїльне відро визначається по формулі (2.43) і дозволяє досліджувати стійкість і моделювати динаміку стабілізації вакууму в доїльній системі.

4. Серійні вакуумні системи лінійних доїльних установок працюють в постійному режимі, забезпечуючи 2...3 кратний запас витрати повітря незалежно від навантаження з перевитратою електроенергії до 50%.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВАКУУМНОЇ СИСТЕМИ ЛІНІЙНОЇ ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Мета і задачі експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень була перевірка правильності зроблених в ході теоретичних досліджень висновків. Програмою і задачами експериментальних досліджень передбачалося проведення досліджень впливу технологічних параметрів вакуумної системи (витрата повітря) на її характеристики в перехідних режимах роботи.

Завдання експериментальних досліджень включали:

- перевірку теоретичних досліджень даної роботи;
- виявлення раціональних режимних параметрів роботи удосконаленої вакуумної системи.

Виходячи з поставлених завдань, програма досліджень містить у собі:

- визначення впливу продуктивності вакуумного насоса на стабільність розробленої схеми;
- визначення впливу витрати повітря доїльним апаратом на показники якості процесу доїння;
- розробка оптимальної для заданих умов схеми вакуумної системи доїльної установки.

3.2 Методика експериментальних досліджень

В ході реалізації програми досліджень для використовувалася спеціальна лабораторна установка (рис. 3.1). Лабораторна установка складається зі стенда «доїльна установка УДМ-100» (лабораторія 024 кафедри ІТС). Джерело вакууму – вакуумний насос УВУ 60/45А, налаштований на продуктивність 45

м³/год. Схемою експериментальної установки передбачено також можливість зменшення, шляхом введення до базової схеми, спеціального шибєрного за-твору, який дає зменшувати витрату повітря на вході до системи до 22 м³/год. В якості навантаження використовували 2 доїльних апарати – попарної дії, з колектором місткістю 150 мл та одночасної дії, з колектором 100 мл. Зазначені доїльні апарати під'єднувались до системи через вакуум-молочний кран. При цьому за допомогою датчиків тиску фіксувалась зміна вакууму в молокопроводі та вакуумпроводі. Запис зазначених показників здійснювали за допомогою аналогового-цифрового перетворювача NI-6008 та ПЕОМ, на якому було встановлено програмне забезпечення Power Graph. Витрату повітря вимірювали електронним витратоміром PR-14RT.

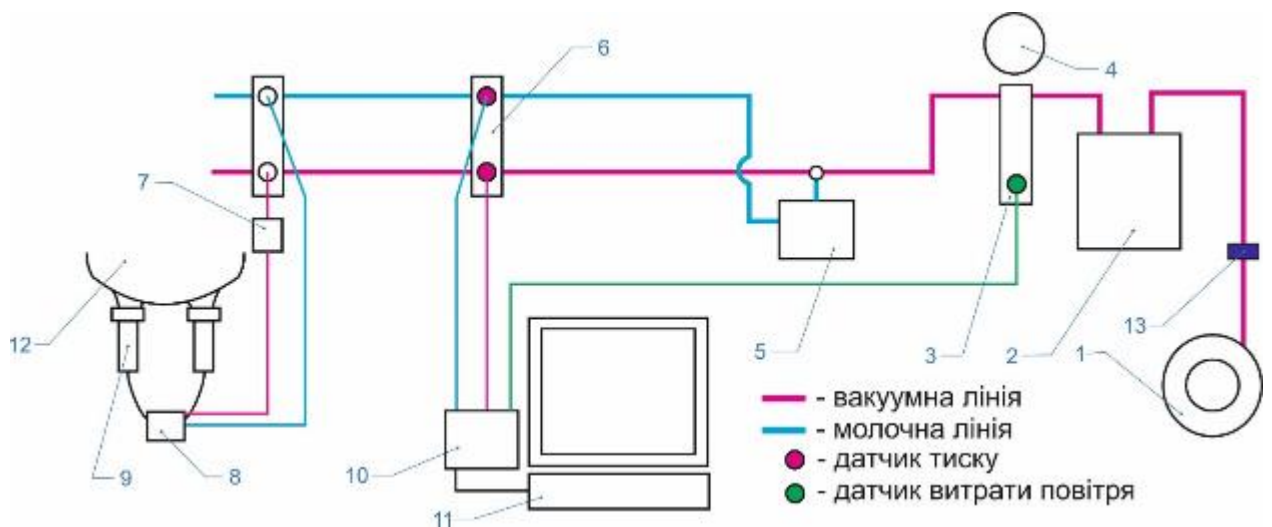


Рисунок 3.1 - Конструкційна схема експериментального стенду: 1 – вакуумнасос; 2 – вакуумбалон; 3 – вакуумрегулятор; 4 – вакуумметр; 5 – молокозбірник; 6 – вакуум-молочний кран; 7 – пульсатор ДА; 8 – колектор ДА; 9 – стакан ДА; 10 – АЦП NI-6008; 11 – ПЕОМ; 12 – макет вимені; 13 – шибєр регулювання продуктивності насоса



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд експериментального стенду

3.3 Результати експериментальних досліджень

В ході експериментальних досліджень було використано 2 доїльних апарати – «Milklain» попарної дії та АДУ-1, одночасної дії. Хід експерименту наступний: вмикався привід вакуумного насоса на продуктивності 45 м³/год, при досягненні вакууму 50 кПа запускали реєстрацію сигналу датчиків тиску в програмному забезпеченні Power Graph.

Далі доїльний апарат під'єднували до установки, за допомогою вакуум-молочного крана та встановлювали доїльні стакани на дійки штучного вимені. Знімали доїльний апарат через 10 секунд після виходу на режим. По завершенню одного експерименту змінювали доїльний апарат. Потім змінювали продуктивність насоса на 22 м³/год та повторювали перераховані вище дії. Отримані в результаті експерименту осцилограми приведено на рис. 3.3-3.6.

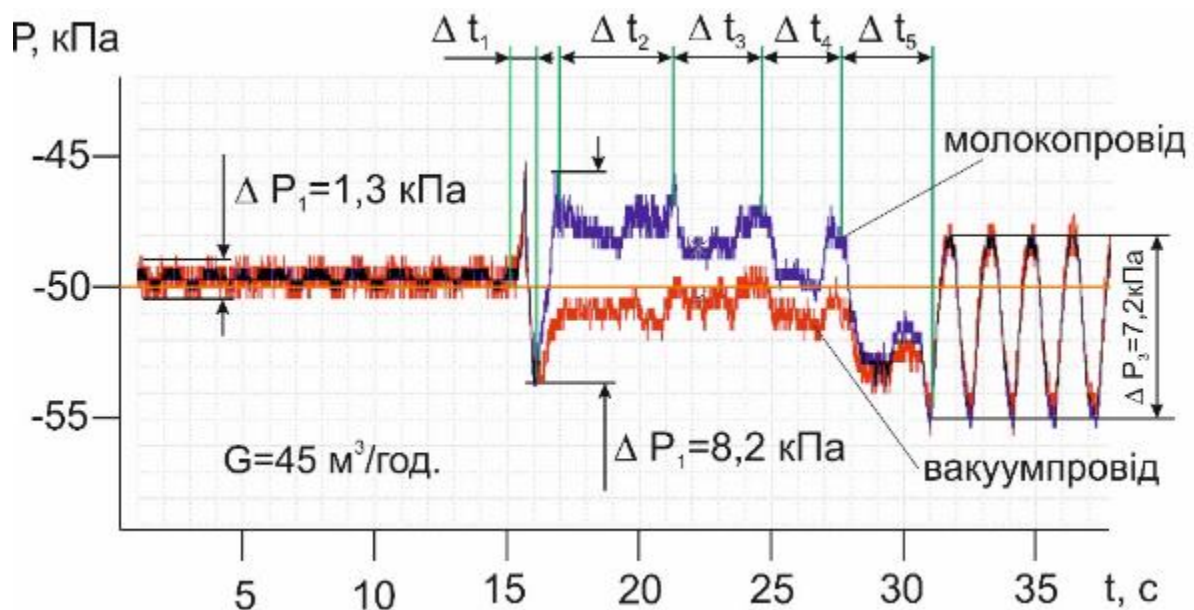


Рисунок 3.3 - Осцилограма зміни тиску в молокопроводі та вакуумпроводі лінійної доїльної установки під час під'єднання доїльного апарату попарної дії за продуктивності насоса 45 м³/год

З рис. 3.3 видно, що після виходу доїльної установки на робочий режим коливання вакууму в системі були в межах 1,3 кПа (ΔP_1), що цілком допустимо згідно зоотехнічних вимог. Під час під'єднання доїльного апарату одночасно до молокопроводу та вакуумної мережі тиск спочатку збільшується, а потім зменшується до 54 кПа (Δt_1). Піки на осцилограмі (початок проміжків часу Δt_2 , Δt_3 , Δt_4 , Δt_5) відповідають моменту встановлення стаканів на дійки штучного вимені, при цьому коливання вакууму у вакуумпроводі знаходяться в межах 2...2,2 кПа. В той же час падіння вакууму в молокопроводі пояснюється надходженням атмосферного тиску через піддійкові камери доїльних стаканів. Падіння вакууму на ділянці Δt_5 пояснюється тим. Що до молочної системи починає надходити робоча рідина та відбувається «запирання» входів атмосферного тиску. Викликає цікавість ділянка встановленого режиму машинного доїння – коливання вакууму циклічні та складають 8,2 кПа, що значно перевищує допустимі зоотехнічними вимогами межі. Ці коливання свідчать про вихід системи за межі рівноваги, рівняння (2.1). При цьому спостерігалися коливання вантажу вакуумрегулятора, що свідчить про те, що розрівноваження системи виникло саме через порушення рівноваги цього елемента.

Це пояснюється тим, що за витрати повітря 45 м³/год., мінімальному навантаженні (один доїльний апарат) та зворотній дії на рівновагу системи з боку пульсатора в системі виникає явище резонансу і регулятор не може забезпечити стабільності встановленого вакууму. Частота коливань вакууму при цьому відповідає частоті пульсацій доїльного апарату.

Зі зменшенням подачі насоса до 22 м³/год., осцилограма змінює характер (рис. 3.4). При цьому в холостому режимі роботи коливання вакууму складають 0,6 кПа, а в режимі машинного доїння система вже не входить в резонанс і всі складові працюють в режимі рівноваги, коливання вакууму при цьому складають 0,9 кПа і є цілком прийнятними. Що стосується перехідних режимів (під'єднання доїльного апарату), то тут, цілком закономірно, спостерігається різке зменшення рівня вакууму, яке пояснюється меншим рівнем запасу продуктивності

насоса. Проте це зменшення не критичне, і триває всього біля 20 секунд, а вакуум 30 кПа достатній для утримання доїльних стаканів на дійках вимені корови.

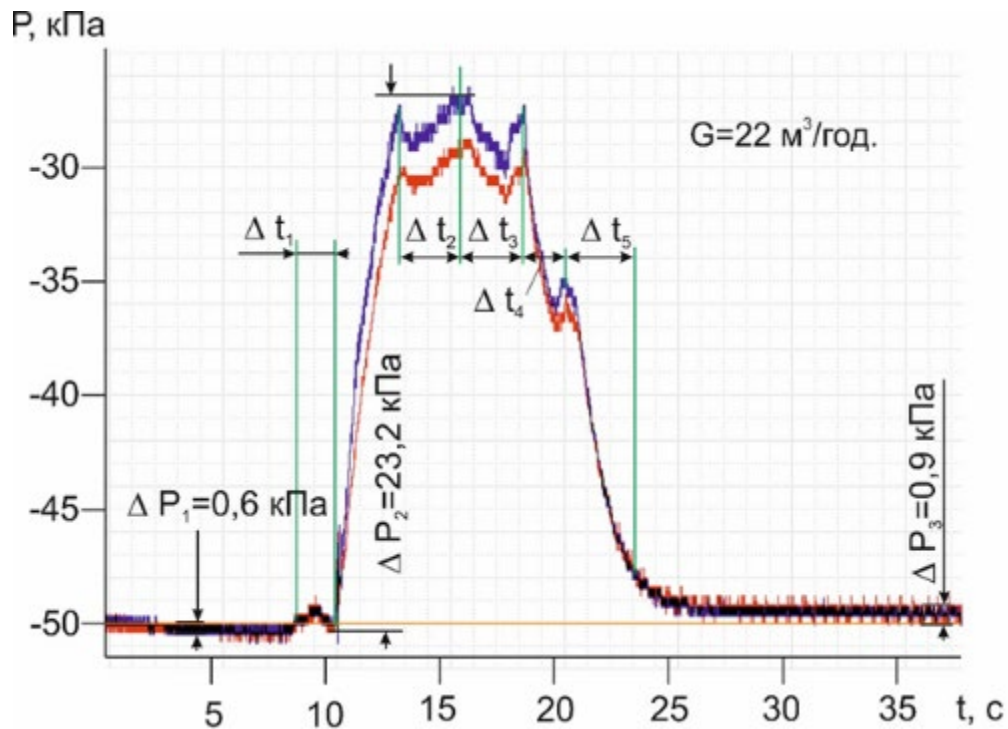


Рисунок 3.4 - Осцилограма зміни тиску в молокопроводі та вакуумпроводі лінійної доїльної установки під час під'єднання доїльного апарату попарної дії за продуктивності насоса $22 \text{ м}^3/\text{год}$

З аналізу рис. 3.4 можна зробити наступні висновки – в холостому режимі роботи коливання вакууму залишаються в межах $1,3 \dots 1,4 \text{ кПа}$; під час під'єднання доїльного апарату до системи та до дійок вим'я характер коливань вакууму близький до доїльного апарату попарної дії; розбалансування системи схоже за характером та відрізняється за амплітудою та частотою. Останнє пояснюється тим, що потік робочої рідини не розподілений в часі, як у попередньому апараті – молоко відбирається одночасно з всіх чвертей, тому його потік інтенсивніший і ефект «запірання» більш яскраво виражений.

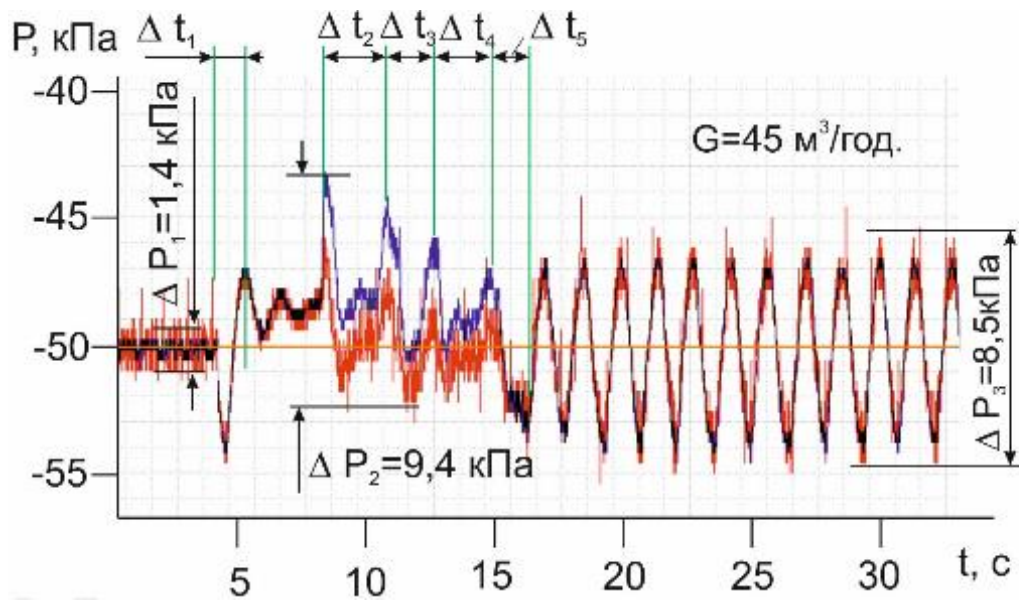


Рисунок 3.5 - Осцилограма зміни тиску в молокопроводі та вакуумпроводі лінійної доїльної установки під час під'єднання доїльного апарату одночасної дії за продуктивності насоса $45 \text{ м}^3/\text{год}$

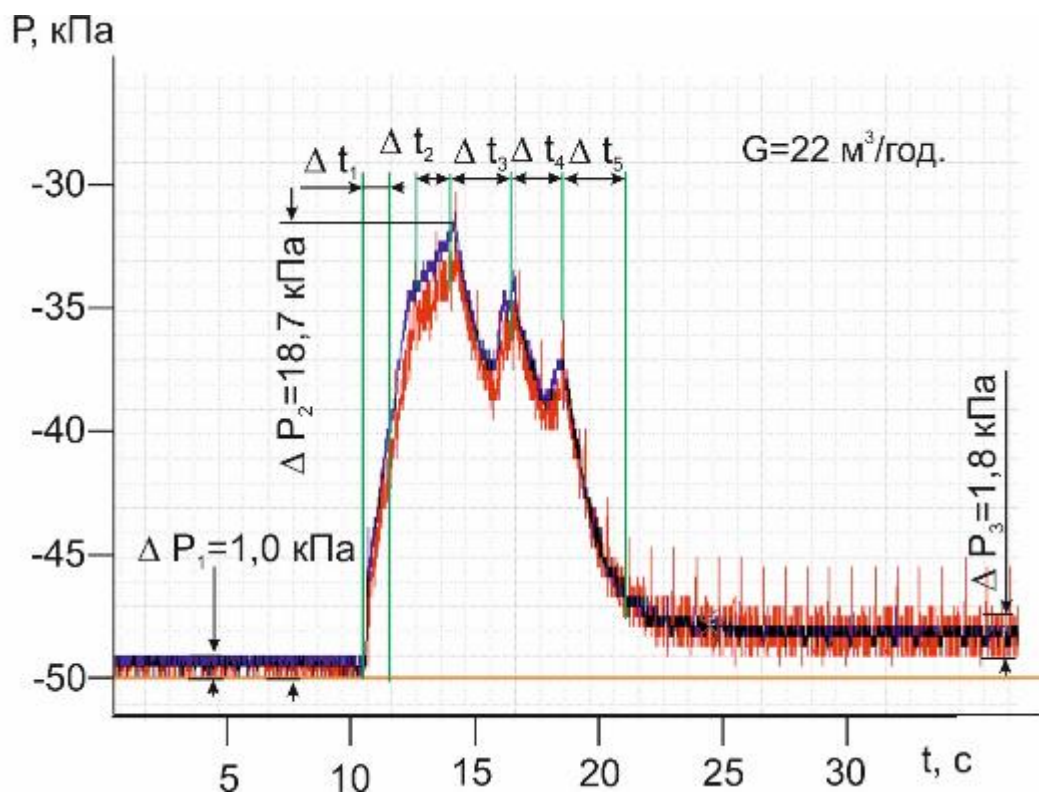


Рисунок 3.6 - Осцилограма зміни тиску в молокопроводі та вакуумпроводі лінійної доїльної установки під час під'єднання доїльного апарату одночасної дії за продуктивності насоса $22 \text{ м}^3/\text{год}$

За продуктивності насоса 22 м³/год характер осцилограми також повторюється, основні відмінності це, по-перше, нижчий рівень падіння вакууму під час під'єднання доїльного апарату, що можна пояснити меншим об'ємом колектора апарату. По-друге, коливання вакууму після виходу на режим доїння вищі, ніж для попарного доїльного апарату, що пояснюється інтенсивнішим потоком молока, як і для попереднього випадку.

3.4 Висновки по розділу

1. За витрати повітря 45 м³/год., мінімальному навантаженні (один доїльний апарат) та зворотній дії на рівновагу системи з боку пульсатора в системі виникає явище резонансу і регулятор не може забезпечити стабільності встановленого вакууму. Частота коливань вакууму при цьому відповідає частоті пульсацій доїльного апарата, а амплітуда сягає 8,2 кПа, що в три рази перевищує межі, встановлені зоотехнічними вимогами.

2. За витрати повітря 22 м³/год. осцилограма змінює характер, при цьому в холостому режимі роботи коливання вакууму складають 0,6 кПа, а в режимі машинного доїння система вже не входить в резонанс і всі складові працюють в режимі рівноваги, коливання вакууму при цьому складають 0,9 кПа і є цілком прийнятними.

3. Доведено, що розроблена в розділі 2 схема є працездатною. Крім того виявлено додатковий позитивний ефект, а саме стабільність вакуумного режиму при мінімальному навантаженні.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні вимоги

Загальні вимоги з охорони праці при роботі з вакуумними системами доїльних установок в Україні.

Ознайомлення з нормативами. Персонал, який працює з вакуумними системами доїльних установок, повинен бути ознайомлений з усіма вимогами стосовно охорони праці, включаючи законодавство України та нормативи в галузі тваринництва.

Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). Обов'язкове використання засобів індивідуального захисту, таких як рукавиці, фартухи, захисні окуляри та інші відповідно до конкретних умов роботи.

Перевірка технічного стану обладнання. Регулярна перевірка та технічне обслуговування вакуумних систем для забезпечення їхньої безпеки та ефективності. Негайна реакція на будь-які поломки або несправності у вакуумній системі.

Очищення та дезінфекція. Регулярне очищення та дезінфекція всіх елементів, які контактують з тваринами або молоком, для попередження захворювань та збереження високих стандартів гігієни.

Правильна організація робочого місця. Забезпечення належної організації робочого простору для уникнення травм та надмірної втоми працівників.

Запобігання травмам та стресу для тварин. Розробка та впровадження процедур та методів роботи, які зменшують стрес для тварин та запобігають можливим травмам під час доїння.

Ефективна система вентиляції. Забезпечення належної вентиляції у приміщенні для уникнення накопичення шкідливих газів або парів.

Інструктаж та навчання персоналу. Проведення регулярних інструктажів з правил безпеки та навчання персоналу в екстрених ситуаціях.

Відпочинок та перерви. Забезпечення працівникам регулярних перерв та можливості відпочинку для підтримання фізичного і психічного здоров'я.

Ці вимоги базуються на чинному законодавстві України та слід враховувати специфічні умови кожного конкретного господарства.

4.2 Результати обстеження експериментального зразка вакуумної системи

При роботі з вакуумними системами доїльних установок можуть виникати різні небезпечні та шкідливі фактори для працівників та тварин. Деякі з них включають:

- великий рівень шуму, що виникає від роботи вакуумних систем, може призводити до пошкодження слуху працівників, які регулярно перебувають в приміщенні.
- можливість вібрацій внаслідок роботи обладнання може викликати дискомфорт для працівників і, в деяких випадках, спричинити виникнення м'язових і суглобових проблем.
- в процесі доїння може утворюватися пил, який містить бактерії та алергени, що може викликати алергічні реакції у працівників.
- використання вакуумних систем може викликати стрес у тварин, що може призвести до негативного впливу на їхню продуктивність та добробут.
- ризик травм під час роботи з обладнанням, яке має рухомі частини, такі як насоси чи шланги, потребує дотримання високих стандартів безпеки та навчання персоналу.
- використання миючих та дезінфікуючих засобів може призводити до виникнення хімічних речовин, які можуть бути шкідливими для здоров'я працівників.

- великі вакуумні насоси можуть виділяти тепло, що може призвести до неприємного термічного впливу на працівників у закритому приміщенні.
- присутність електричних компонентів у вакуумних системах вимагає дотримання високих стандартів електробезпеки для уникнення травм або пожеж.

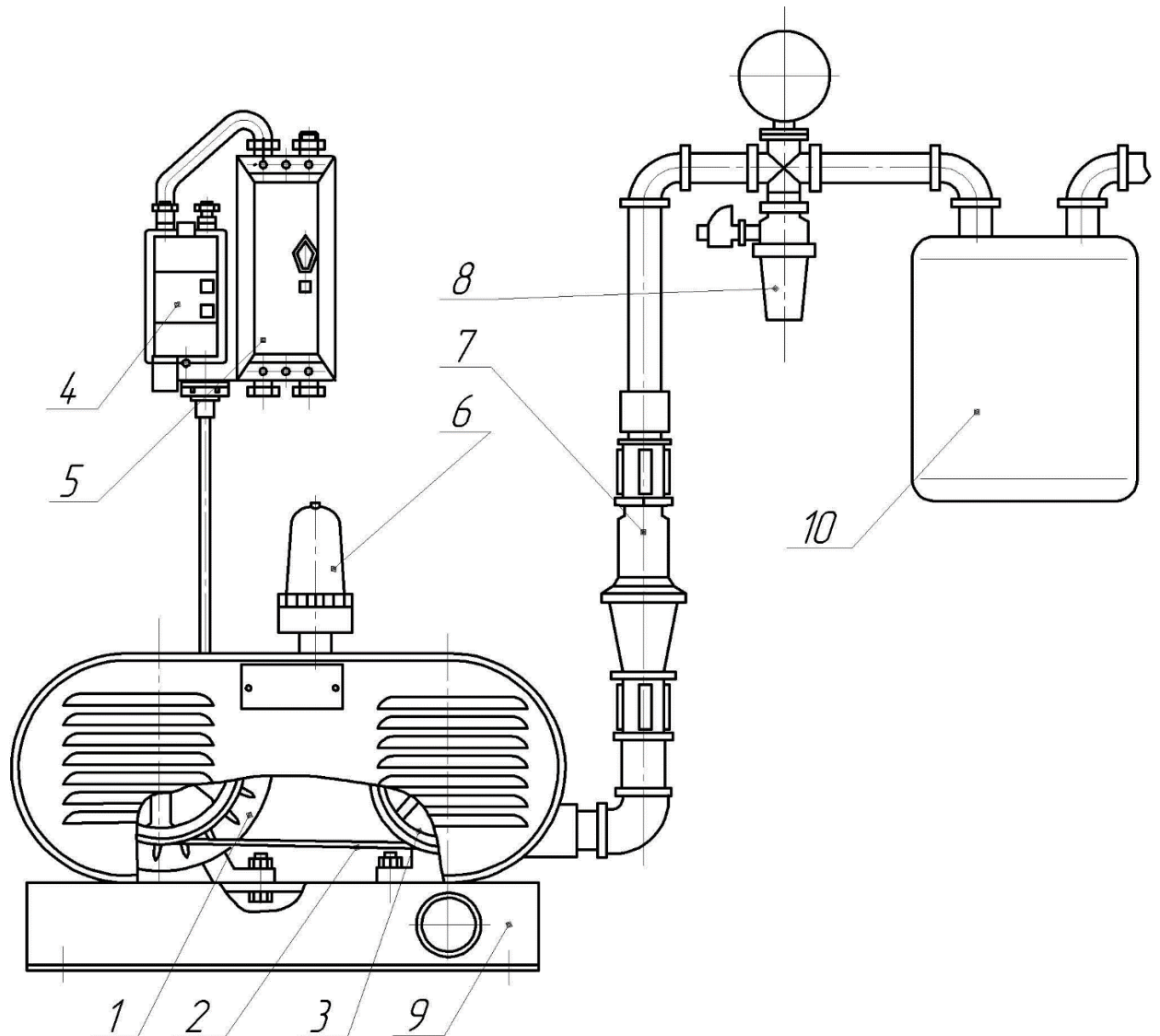


Рисунок 4.1 - Вузли, які потребують певної уваги з точки зору безпеки праці оператора

Забезпечення безпечних умов роботи вимагає ретельного аналізу та управління усіма цими факторами, а також використання відповідних заходів безпеки та захисту.

4.3 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях

Порядок дій під час артилерійського обстрілу на тваринницькій фермі:

Захист від обстрілу. негайно шукайте притулку та місця для приховування. Використовуйте будь-які доступні стійлові будівлі, погріби або інші надійні споруди для захисту від артилерійського обстрілу.

Евакуація тварин. Якщо є можливість, рухайте тварини до безпечного місця. Спрямовуйте їх у безпечний загін або іншу область, де вони можуть уникнути небезпеки.

Збереження годівлі та водопостачання. Забезпечте тваринам доступ до їжі та води в безпечному місці. Відновлюйте годівлю та водопостачання, якщо це можливо, з мірою до доступності ресурсів.

Взаємодія з екстреними службами. Взаємодійте з екстреними службами та слідуйте їхнім вказівкам. Забезпечте доступ до ферми для служб рятування та медичної допомоги.

Співпраця з сусідами. Встановіть контакт із сусідніми фермами та місцевими господарями для обміну інформацією та допомоги.

Евакуація персоналу. Якщо потрібно, організуйте евакуацію персоналу з ферми до безпечного місця.

Звітність та документація. Ведіть звіти про будь-які збитки, травми чи інші проблеми, щоб отримати допомогу від страхових компаній та інших організацій.

Це загальні поради та у реальній ситуації необхідно керуватися конкретними обставинами та інструкціями від місцевих владних органів та служб безпеки.

4.4 Висновки по розділу

На основі діючої нормативної документації було приведено загальні вимоги з охорони праці при роботі з обладнанням для переробки молока. Розроблено проєкт інструкції з охорони праці з удосконаленим сепаратором, приведено порядок дій при ракетному обстрілі.

5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА УДОСКОНАЛЕННЯ

5.1 Вихідні дані

В цьому розділі проведемо порівняння базової вакуумної системи лінійної доїльної установки УДМ-100, оснащеної насосом УВУ 60/45А з удосконаленою ступінчатою вакуумною системою оснащеною 3-ма менш потужними насосами ДА-12.

Таблиця 5.1- Вихідні дані до розрахунку економічних показників

Вихідні дані	Варіанти	
	вакуумна система УДМ-100	розроблена вакуумна система
Тривалість одного доїння, год.	2,3	2,3
Кількість доїнь на добу	2	2
Енергоємність одного доїння, кВт-год.	5,9	3,6
Обслуговуючий персонал, чол.	1	1
Вартість обладнання, грн.	12800	14360

5.2 Розрахунок показників економічної ефективності

Порівнювати вакуумні системи (базову та удосконалену) будемо за питомими експлуатаційними витратами, які включають до свого складу витрати на заробітну платню, витрати на енергоресурси, амортизаційні відрахування та витрати на ремонт і технічне обслуговування. Розрахунок даних показників виконаємо за методиками та рекомендаціями, приведеними в [3, 37].

Таблиця 5.2 - Показники економічної ефективності розробки

Показники	Варіанти		Проектований у % до базового
	вакуумна система УДМ-100	розроблена вакуумна система	
Тривалість одного доїння, год.	2,3	2,3	100
Кількість доїнь на добу	2	2	100
Енергоємність одного доїння, кВт-год.	5,9	3,6	61,0
Балансова вартість обладнання, грн.	36120	55200	152,8
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1	100
Річні експлуатаційні витрати, грн.			
в т.ч.: заробітна платня	100740,00	100740,00	100
амортизаційні відрахування	3612,00	5520,00	152,8
витрати на ТО та ремонт	2889,60	4416,00	152,8
витрати на електроенергію	25755,86	15715,44	61,0
Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	10040,42	-
Строк окупності додаткових капітальних вкладень, років	-	1,9	-

5.3 Висновки по розділу

Порівнюючи економічні показники обох варіантів (табл. 5.2) бачимо, що застосування удосконаленої вакуумної системи у складі доїльної установки

УДМ-100 у порівнянні зі стандартним обладнанням має переваги за експлуатаційними витратами за рахунок економії енергоресурсів. Строк окупності при впровадженні складе 1,9 роки, а економія річних експлуатаційних витрат становить 10040,42 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Вакуумні силові агрегати лінійних доїльних установок працюють при постійній, зазвичай номінальній, потужності двигуна незалежно від корисного навантаження. Вакуумні системи доїльних установок відносяться переважно до динамічних лінійних систем. Проте їх дослідження на сьогодні здійснюється статичними методами, що не забезпечує синтезу вакуумних систем з оптимальними параметрами.
2. Серійні вакуумні системи лінійних доїльних установок працюють в постійному режимі, забезпечуючи 2...3 кратний запас витрати повітря незалежно від навантаження з перевитратою електроенергії до 50%. Розроблена схема вакуумної системи включає в свій склад три вакуумних насоси, продуктивністю 12 м³/год, які вмикаються в залежності від поточної витрати повітря.
3. В результаті експериментальних досліджень доведено, що розроблена багатоагрегатна схема вакуумної системи є працездатною. Крім того виявлено додатковий позитивний ефект, а саме стабільність вакуумного режиму при мінімальному навантаженні.
4. Проведено обстеження удосконаленої вакуумної системи з точки зору охорони праці, встановлена дія небезпечних та шкідливих факторів оператора, для уникнення яких запропоновано відповідні заходи. Для удосконаленої вакуумної установки складена карта контролю показників безпеки.
5. Удосконалена вакуумна система у складі доїльної установки УДМ-100 у порівнянні зі стандартним обладнанням має переваги за експлуатаційними витратами за рахунок економії енергоресурсів. Термін окупності вкладень при впровадженні складе 0,5 роки, а економія річних експлуатаційних витрат становить 3122,15 грн.

Бібліографія

1. Національний проект «Відроджене скотарство» / Міністерство аграрної політики та продовольства України, Національна академія аграрних наук України // [Текст, таблиці, додатки]. – К. : ДІА, 2011. – 44 с.
2. Машкін М. І. Технологія виробництва молока і молочних продуктів: підруч. / М.І. Машкін, Н.М. Париш; М-во аграрної політики України. – К.: Вища школа, 2006. – 351 с.: іл.
3. Романюха І.О., Дудін В.Ю. Курсове і дипломне проектування тваринницьких підприємств: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] / І.О. Романюха, В.Ю. Дудін; за ред. І. Романюхи. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2014. – 418 с.
4. ДСТУ 3662-97. Молоко коров'яче незбиране. Вимоги при закупівлі. Видання офіційне. - Київ. Держстандарт України. 1997, - 8 с.
5. Власенко В.В. Технологія виробництва і переробка молока та молочних продуктів: навч. посіб. для студ. вузів III-IV рівнів акредитації / В.В. Власенко, М.І. Машкін, П.П. Бігун. – Вінниця: ГПАНІС, 2000. – 306 с.
6. Яцюта, М. Актуальні питання в галузі виробництва та переробки молока / М. Яцюта, М. Гелескул, О. Савченко// АгроСвіт. - 2002. - № 5. - С. 22.
7. ISO 8968-1. Milk and Milk Products. Determination of Nitrogen Content—Part 1: Kjeldahl Principle and Crude Protein Calculation. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2014.
8. Дудін В.Ю. Розгорнута індикаторна діаграма ротаційного пластинчатого вакуумного насоса. Вісник харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Технічні системи і технології тваринництва» - Харків: ХНТУСГ, 2014.- Вип. 144. – С. 111 – 117.
9. Дудін В.Ю., Линник Ю.О., Алієв Е.Б. Експериментальні дослідження процесу переміщення молочно-повітряної суміші в доїльній установці з верхнім

молокопроводом . Технічні системи і технології тваринництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка – Харків, 2015. – Вип. 157. – С. 146-152.

10. Дудін В.Ю. Системи промивки доїльних установок. Materiały XII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Kluczowe aspekty naukowej działalności - 2016» Volume 8. Matematyka. Fizyka. Budownictwo i architektura. Rolnictwo. Techniczne nauki.: 7 - 15 stycznia 2016 roku, Przemysł. Nauka i studia – S. 33 – 35

11. Дудін В.Ю. Вакуумний агрегат доїльних установок промислового типу. Науково-виробничий журнал «Техніка і технології АПК», № 2 (77), С. 14-16.

12. Дудін В.Ю. Структура формування ефективності процесу доїння. Materiály XIV Mezinárodní vědecko – praktická konference «Moderní vymoženosti vědy – 2018», Volume 8 : Praha. Publishing House «Education and Science» - S. 53-56. – ISBN 978-966-8736-05-6.

13. <http://www.delaval.ru/Productinformation1/Milking/Products/Milking-point/Cluster/MC115/>

14. Машины для тваринництва та птахівництва // За редакцією В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника, Дослідницьке, УкрНДІВПТ ім. Погорілого – 2009, -207 с.

15. Сайт фірми GEA Farm Technologies [Електронний ресурс]/ Каталог продукції Режим доступу: <http://www.gea-farmtechnologies.com/>, вільний. - Загл. з екрана. - Яз. укр., англ.

16. Сайт фірми DeLaval [Електронний ресурс]/ Каталог продукції Режим доступу: <http://www.delaval.ru/>, вільний. - Загл. з екрана. - Яз. рос.

17. Новітні технології виробництва молока. Колектив авторів. За ред. Кравчука В.І. Дослідницьке, УкрНДІВПТ ім. Л. Погорілого. – 2008 - 70 с.

18. Павленко С.І. Оптимізація конструктивно-режимних параметрів ротаційного вакуумного насоса індивідуальної доїльної установки / С.І. Павленко, В.Ю. Дудін, Е.Б. Алієв // Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві: зб. наук. праць / Ін-т мех. тваринництва НААН. – Запоріжжя, 2011. – № 1(7). – С. 240-252. – ISSN 2075-1591.

19. Павленко С.І. Експериментальні дослідження показників робочого процесу вакуумного насоса / С.І. Павленко, В.Ю. Дудін, В.С. Дубовенко // Вдосконалення технології та обладнання виробництва продукції тваринництва: Вісник харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка – Харків, 2010. – Вип. 93. – С. 464-468.

20. Дудин В.Ю. Обоснование конструктивных параметров и режима работы ротационного вакуумного насоса/ В.Ю. Дудин, С.И. Павленко// Перспективные технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: материалы международной научно-практической конференции (Минск 11-12 апреля 2013 г.) В2 ч. Ч. 2 – минск: БГАТУ – 2013 С. 195 – 197.

21. Павленко С.І. Дослідження умов роботи в спряжені пластина-статор ротаційного вакуумного насоса індивідуальної доїльної установки / С.І. Павленко, В.Ю. Дудін, Е.Б. Алієв, / Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. - К., 2012. - Вип. 170, ч.1, - С.169-180.

22. Алієв Е.Б. Теоретична оцінка показників надійності вакуумної системи доїльні установки / Е.Б. Алієв, Т.А Похальчук // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки: Луганський національний аграрний університет – Луганск, 2011. – Вип. 29. – С. 57-66.

23. Дудін В.Ю. Підвищення ефективності роботи вакуумних установок доїльного обладнання / В.Ю. Дудін, С.І. Павленко, Б.Т. Потеруха // Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві: зб. наук. праць / Ін-т

мех. тваринництва НААН. – Запоріжжя, 2009. – Вип. 3 (3). – С. 8-13. – ISSN 2075-1591

24. Павленко С.І. Обґрунтування деяких конструктивних характеристик ротаційних вакуумних насосів з тангенціальним розміщенням пластин / С.І. Павленко, М.М. Науменко, В.Ю. Дудін // Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві: Вісник харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка – Харків, 2011. – Вип. 108. – С. 159-163

25. Павленко С.І. Обґрунтування окремих параметрів пластинчатих вакуумних насосів / С.І. Павленко, В.Ю. Дудін, М.В. Колончук, Д.Ф. Кольга // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С.Полякова НАН України. – Дніпропетровськ: 2008. – Вип. 75. – С. 258-268.

26. Wycliffe H. Rotary pumps and mechanical boosters – as used on today's high vacuum systems / H. Wycliffe // Vacuum. – № 37. – 1987. – P. 603-607

27. Audi M. Ion pumps / M. Audi, M. de Simon // Vacuum. – № 37. – 1987. – P. 639-636.

28. Kubina Ľ. Decreasing energetic demands of vacuum pumps being used in machine milking with utilization of a frequency convertor / Ľ. Kubina, Š. Kováč // RES. AGR. ENG. – 2002. – № 48. – P. 103-111.

29. Rasmussen M.D. Influence of air intake on the concentration of free fatty acids and vacuum fluctuations during automatic milking / M.D. Rasmussen, L. Wiking, M. Bjerring, H.C. Larsen // Journal of Dairy Science. – 2006. – № 89. – P. 4596-4605.

30. Reinemann D.J. Effects of Milking Vacuum on Milking Performance and Teat Condition / D.J. Reinemann, M.A. Davis, D. Costa, A.C. Rodriguez // Proceedings, AABP- National Mastitis Council. International Symposium on Mastitis and Milk Quality, 13-15.09.2001, Vancouver, Canada. – 2001.

31. Tan J. Analysis of vacuum systems / J. Tan, K.A. Janni, R.D. Appleman // Journal of Dairy Science. – 1993. – № 76. – P. 2204-2212.
32. Закон України «Про охорону праці»
33. НПАОП 0.00-4.21-04. «Типове положення про службу охорони праці»
34. ДСТУ 2293-99 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять»
35. НПАОП 0.00-6.03-93 «Порядок опрацювання і затвердження роботодавцем нормативних актів з охорони праці, що діють на підприємстві»
36. Положення «Про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту» (Наказ Держгірпромнагляду від 24.03.2008 року № 53).
37. ДСТУ 4397: 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.