

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

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

УДК 637.113

Кваліфікаційна робота на правах
рукопису

ПЕННЕР Олександр Володимирович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ВАКУУМНОГО
РЕГУЛЯТОРА ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ**

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

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

(підпис)

(ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
к.т.н., доц. Медведський О.В.

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Пеннер О. В. **Обґрунтування конструкційних параметрів вакуумного регулятора доїльної установки.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023 р.

У кваліфікаційній роботі проаналізовано відомі конструкційні рішення регуляторів вакуумметричного тиску доїльних установок. Визначено переваги та недоліки, намічено шляхи удосконалення. Встановлено, що одним із шляхів покращення системи регулювання вакуумметричного тиску доїльної установки є зміна принципу регулюючого впливу.

Отримано аналітичні залежності визначення діючих на дисковий клапан сил. Встановлено, що сила повітряного потоку визначає висоту піднімання дискового клапана, а сила струму у соленоїді визначається висотою виступу сідла клапана.

За результатами проведених досліджень отримано рівняння регресії та поверхні відгуку, котрі описують взаємозв'язок рівня вакуумметричного тиску, інтенсивності потоку повітря, швидкості молоковіддачі та сили електричного струму у соленоїді розробленого регулятора вакууму.

Ключові слова: інтенсивність потоку, швидкість молоковіддачі, рівень вакууму, соленоїд, дисковий клапан

ANNOTATION

Penner O. V. **Justification of the design parameters of the vacuum regulator of the milking plant.** – Qualification work on manuscript rights.

Qualification work for a master's degree in specialty 208 – agroengineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2023

In the qualification work, known design solutions of vacuum pressure regulators of milking units are analyzed. Advantages and disadvantages are identified, ways of improvement are outlined. It has been established that one of the ways to improve the system of regulating the vacuum pressure of the milking unit is to change the principle of regulatory influence.

Analytical dependences for determining the forces acting on the disc valve were obtained. It was found that the force of the air flow determines the height of the lift of the disc valve, and the strength of the current in the solenoid is determined by the height of the protrusion of the valve seat.

According to the results of the research, the regression equation and the response surface were obtained, which describe the relationship between the level of vacuum pressure, the intensity of the air flow, the speed of milk delivery and the strength of the electric current in the solenoid of the developed vacuum regulator.

Key words: flow intensity, milk yield rate, vacuum level, solenoid, disk valve

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПІДТРИМАННЯ РОБОЧОГО ВАКУУММЕТРИЧНОГО ТИСКУ	7
1.1. Аналіз конструкцій вакуумних регуляторів сучасних доїльних установок	7
1.2. Визначення шляхів покращення режимних характеристик регуляторів тиску доїльних установок	10
1.3. Висновки до розділу 1	14
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНО- ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВАКУУМНОГО РЕГУЛЯТОРА	15
2.1. Розроблення конструкційної схеми регулятора вакууму доїльного апарата	15
2.2. Силовий аналіз розробленого регулятора вакуумметричного тиску	18
2.3. Висновки до розділу 2	24
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ РОЗРОБЛЕНОГО ВАКУУМНОГО РЕГУЛЯТОРА	25
3.1. Дослідження впливу потоку повітря на параметри роботи вакуумного регулятора	25
3.2. Встановлення впливу інтенсивності молоковіддачі на режими роботи вакуумного регулятора	27
3.3. Висновки до розділу 3	29
ВИСНОВКИ	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	32

ВСТУП

Актуальність теми. Отримання одного із головних продуктів харчування людини – молока – неможливе без здійснення надскладного технологічного процесу машинного доїння корів. Складність визначається великою множиною змінних факторів, основним серед яких є вплив технічних засобів, зокрема доїльного апарата, на живий організм – лактуючу корову. Тільки за умови дотримання усіх зоотехнічних та санітарно-гігієнічних вимог технологічним обладнанням забезпечить отримання молока без значної шкоди для здоров'я тварини. В першу чергу це стосується підтримання заданого рівня вакуумметричного тиску у піддійковому просторі доїльного стакана доїльного апарата. В загальному, це підтримання стабільного вакуумметричного тиску у молокопроводній системі доїльної установки.

Для забезпечення заданого рівня вакуумметричного тиску у вакуум-проводі та молокопроводі доїльної установки використовується вакуумний регулятор. Найбільшого поширення набули вакуумні регулятори гравітаційного принципу дії. Особливість їх функціонування полягає в тому, що зі зміною рівня вакууму у вакуум-проводі вагова система такого регулятора перекриває доступ повітря ззовні, що дозволяє вакуумному насосу видалити зайвий об'єм повітря у вакуум-проводі. Як тільки тиск встановиться до заданого робочого рівня, гравітаційний вакуумний регулятор буде забезпечувати його підтримку за рахунок допуску потоку повітря через відкритий клапанний механізм. Доїльна установка, як правило оснащена двома регуляторами – головним та диференційним. Один підтримує заданий тиск у вакуум-проводі, інший – у молокопроводі. Основною проблемою такого типу регулювання вакуумметричного тиску є значна інерційність гравітаційних вакуумних регуляторів, існуючі модифікації суттєво не покращують його характеристики. Але основний недолік залишається – це неможливість підтримання вакуумметричного тиску для кожного доїльного апарата доїльної установки. Окрім цього, це не дозволяє впровадити системи автоматичного контролю рівня вакуумметричного тиску.

Таким чином, розроблення вакуумного регулятора для підтримання заданого рівня вакуумметричного тиску відмінного від гравітаційного принципу дії для кожного окремого доїльного апарата є важливим науково-технічним завданням.

Мета і задачі досліджень. Мета досліджень спрямована на підвищення ефективності вакуумного регулятора доїльної установки шляхом обґрунтування його конструкційних параметрів та режимів роботи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- виконати оцінку відомих конструкцій вакуумних регуляторів доїльних установок для встановлення шляхів його удосконалення;
- розробити конструкційну схему вакуумного регулятора для доїльного апарата доїльної установки;
- встановити вплив геометричних та технологічних параметрів вакуумного регулятора на забезпечення бажаного рівня вакуумметричного тиску під час машинного доїння корів;
- встановити ефективність використання вакуумного регулятора з адаптивною до молоковіддачі корови системою керування.

Об'єкт дослідження – вакуумний регулятор доїльного апарата адаптивний до зміни швидкості молоковіддачі.

Предмет дослідження – вплив конструкційно-технологічні параметрів на режими роботи вакуумного регулятора доїльного апарата.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження виконувалися при використанні відомої методології імітаційного моделювання із використанням базових положень гідро-газодинаміки, вакуумної техніки та основних законів термодинаміки. Широко використовувались підходи з використанням обчислень диференційних та інтегральних рівнянь.

Результати отриманих досліджень оброблялись за допомогою відомого математичного апарату за допомогою програмного забезпечення Excel.

Апробація результатів роботи. Отримані у кваліфікаційній роботі результати досліджень доповідались та отримали схвалення на наукових конференціях, викладені в роботах:

1. Пеннер О. В. Аналіз конструкцій вакуумних регуляторів сучасних доїльних установок. *Студентські читання–2023* : матеріали науково-практичної конференції. 25 жовтня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 137–139.

2. Медведський О. В., Пеннер О. В. Розроблення конструкційної схеми регулятора вакууму доїльного апарата. *Інженерні процеси та системи* : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених. 14-15 червня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 76–79.

3. Медведський О. В., Пеннер О. В. Силовий аналіз розробленого регулятора вакуумметричного тиску. *Біоенергетичні системи* : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції. 15-17 листопада 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 91–94.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота має три розділи основної частини, висновки, список використаних джерел, який включає перелік із 20-ти назв. Текст магістерської роботи подано державною мовою, викладено на 33 сторінках друкованого тексту, має 12 ілюстрацій результатів досліджень.

РОЗДІЛ 1

ОЦІНКА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПІДТРИМАННЯ РОБОЧОГО ВАКУУММЕТРИЧНОГО ТИСКУ

1.1. Аналіз конструкцій вакуумних регуляторів сучасних доїльних установок

В доїльних установках для встановлення та підтримання заданого робочого вакуумметричного тиску під час машинного доїння корів використовується вакуумний регулятор. Найбільшого поширення у вітчизняних доїльних установках набули вакуумні регулятори гравітаційного типу (рис. 1.1).

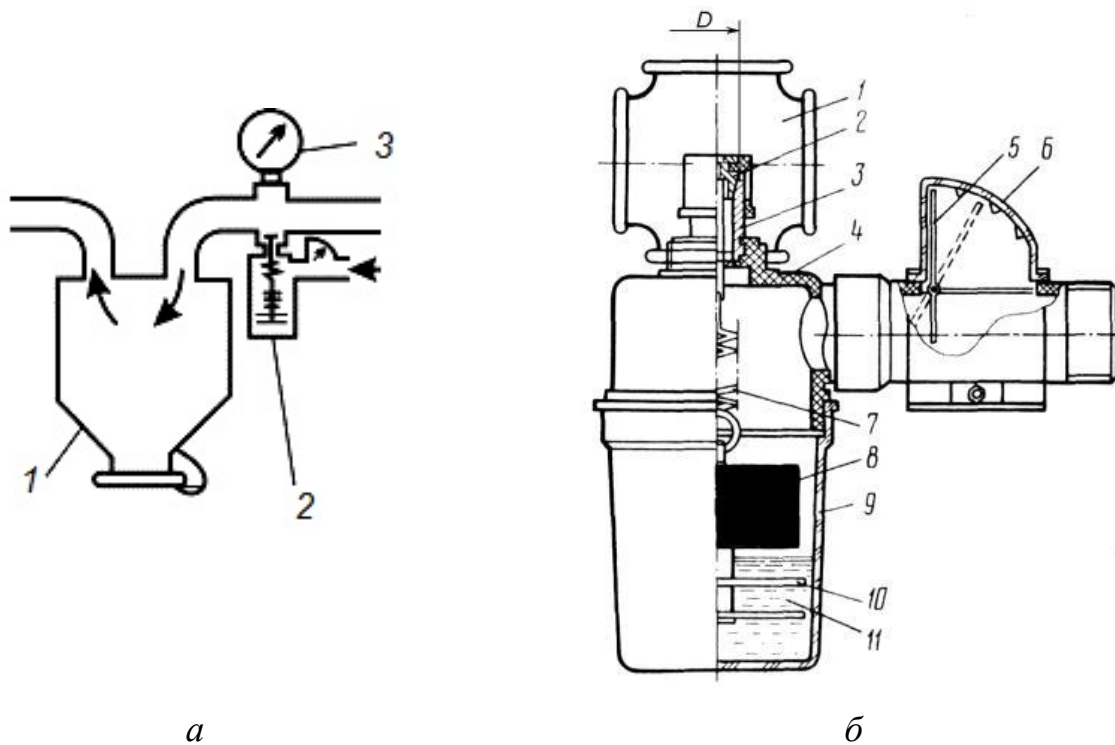


Рис. 1.1. Вакуумний регулятор гравітаційного принципу дії АД-08.000:
a – схема установки: 1 – вакуумний балон вакуумної установки; 2 – регулятор вакууму; 3 – вакуумметр; *б* – будова вакуумного регулятора: 1 – трійник; 2 – клапан; 3 – сідло клапана; 4 – корпус регулятора; 5 – індикатор руху повітря; 6 – корпус індикатора; 7 – пружина; 8 – вантаж; 9 – прозорий ковпак корпусу регулятора; 10 – шайби; 11 – машинна олива [1-4].

Принцип роботи гравітаційного регулятора полягає в наступному. Для встановлення заданого рівня вакуумметричного тиску у вакуум-проводі доїльної установки підбирають необхідної ваги вантаж 8, який підвішений на пружині 7 та сполучений із клапаном 2. За умови відповідності роботи вакуумного насоса та рівня вакуумметричного тиску у вакуум-проводі клапан 2 закритий. Як тільки вакуумметричний тиск у вакуум-проводі стає вищим за заданий, клапан 2 відкривається і впускає порцію повітря, інтенсивність якого відзначається за допомогою індикатора 5. Так триває до моменту виникнення небажаної втрати вакуумметричного тиску під час підключення доїльного апарата або через інші нештатні випадки. При зниженні рівня вакуумметричного тиску клапан 2 закривається і підсмоктування повітря припиняється. Це триває до моменту відновлення бажаного рівня вакууму у вакуум-проводі.

Пружина 7 виконує функцію поглинання різких відкривань та опускань клапана 2. Для усунення небажаних додаткових коливань пружини використовується взаємодія шайб 10 із моторною оливою.

Основною перевагою вакуумного регулятора даного типу є його простота виконання та зрозумілий алгоритм роботи. Для регулювання необхідного рівня вакуумметричного тиску використовуються змінні вантажі у вигляді шайб певної ваги які додаються до загального вантажу 8.

Недоліками гравітаційного регулятора можна вважати неможливість досить точно підібрати необхідну вагу вантажів. Окрім цього постійне відкривання та закривання клапана спричиняє збовтування моторного мастила. Під час збовтування виділяються краплини мастила які можуть потрапити до вакуум-проводу доїльної установки, а запах мастила може поширитись до молокопроводу що вплине на якісні показники молока. [5]

Вітчизняний виробник доїльного обладнання ТДВ «Брацлав» пропонує модифікований варіант вакуумного регулятора гравітаційного типу без використання місткості для моторної оливи (рис. 1.2).

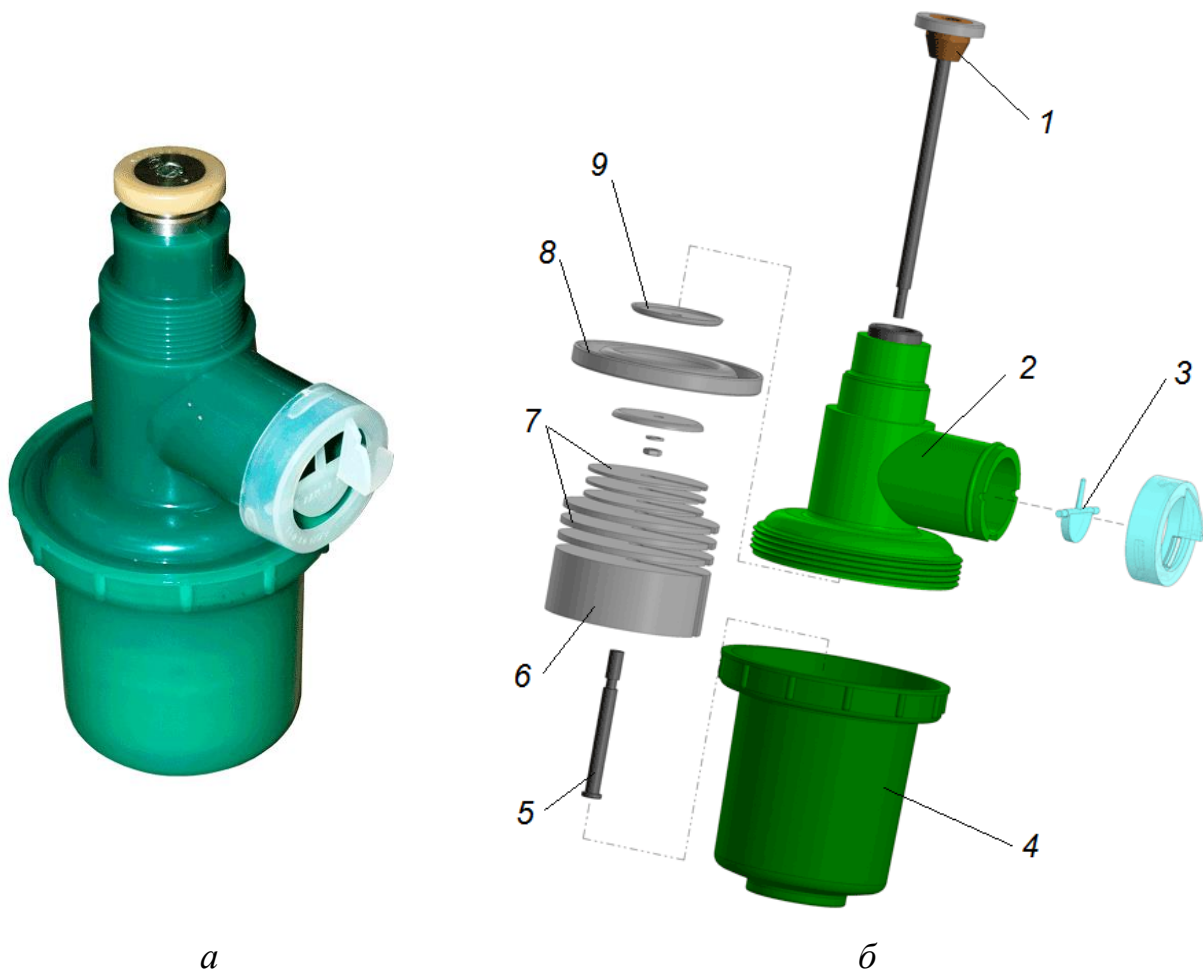


Рис. 1.2. Вакуумний регулятор АДМ 08-200 виробництва ТДВ «Брацлав»: *а* – загальний вигляд; *б* – будова вакуумного регулятора: 1 – клапан; 2 – корпус регулятора; 3 – індикатор руху повітря; 4 – ковпак корпусу регулятора; 5 – стрижень; 6 – вантаж основний; 7 – додаткові шайби вантажу; 8 – мембрана; 9 – шайба мембрани. [6]

Принцип роботи регулятора АДМ 08.200 аналогічний до вакуумного регулятора АД-08.00 (рис. 1.1). Основна відмінність полягає в тому, що пружина заманена на мембрану відповідної жорсткості. Таке рішення дозволило позбутися інерційності пружини та присутності моторної оливи. Покращено можливість встановлення заданого вакуумметричного тиску із точністю ± 1 кПа [6] за рахунок комплектування ваговими дисками різного розміру та ваги.

До недоліків можна віднести відсутність механізму підтримання стабільного вакуумметричного тиску без мікроколивань, оскільки мембрана також має певну інерційність при взаємодії із ваговими дисками.

Незважаючи на широке поширення розглянутих конструкцій вакуумних регуляторів доїльних установок їм притаманний спільний технологічний недолік – вони підтримують тиск у всій вакуумній системі доїльної установки. При цьому відомо [1-4], що втрати вакуумметричного тиску визначаються роботою доїльних апаратів. Це зумовлено тим, що швидкість молоковіддачі корів змінюється протягом періоду доїння однократного доїння, відповідно і змінюються потреби у енергії вакууму у молокопроводі доїльної установки.

1.2. Визначення шляхів покращення режимних характеристик регуляторів тиску доїльних установок

Для вирішення проблеми інерційності клапанного механізму вакуумного регулятора гравітаційного типу спрямоване технічне рішення викладене у роботі [7]. Винахідники пропонують позбутися вагового принципу регулювання вакуумметричного тиску (рис. 1.3).

Запропонований регулятор вакуумметричного тиску працює наступним чином. За умови бажаного робочого вакууму у вакуум-проводі 20 клапан 4 буде опущений донизу. В такому положенні клапан 4 перебуває за рахунок того, що сили F_1 та F_2 врівноважуються між собою. Так, сили тиску повітря з атмосферним тиском під клапаном не достатньо для відкриття клапана 4. Це відбувається тому, що сили стиску внутрішнього сільфона 8, який визначається тиском у порожнині зовнішнього сільфона 7 від одночасної дії вакуумметричного тиску з патрубку 13 та атмосферного тиску через отвори 2, достатньо для врівноваження системи. [7]

При збільшенні рівня вакуумметричного тиску у вакуум-проводі 20, сила F_1 буде перевищувати силу F_2 і клапан 4 відкриється, впустивши порцію

атмосферного тиску через отвір 6. Через деякий час тиск у вакуум-проводі відновиться до робочого рівня і завдяки перевищенню сили F_2 над силою F_1 клапан 4 закриється. У внутрішній порожнині сільфона 7 перед використанням регулятора встановлюється постійний рівень вакуумметричного тиску, змінити який можна лише шляхом зміни об'єму внутрішнього простору завдяки гвинтовому механізму 17 та 18. [7]

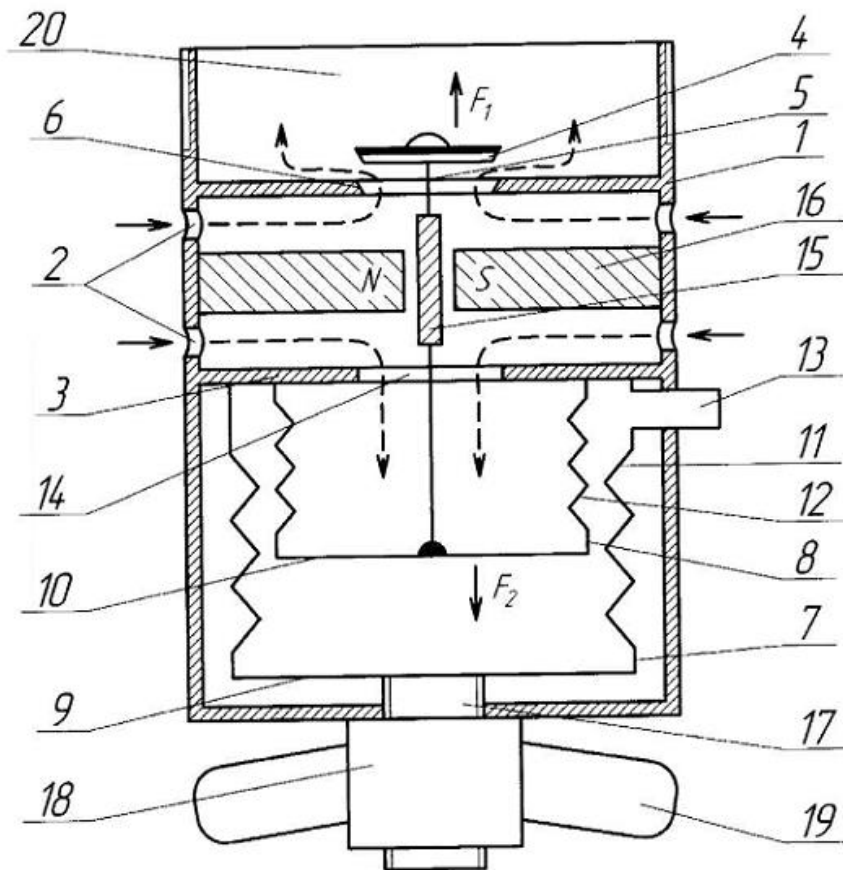


Рис. 1.3. Регулятор вакууму доїльного агрегату: 1 – корпус; 2 – отвори бокові; 3 – переділка; 4 – клапан; 5 – шток; 6 – сідло клапана; 7 – сільфон зовнішній; 8 – сільфон внутрішній; 9, 10 – робочі пласкі поверхні; 11, 12 – гофровані бокові поверхні; 13 – патрубок; 14 – отвір сполучний; 15 – короткозамкнений виток пластини; 16 – магніт постійний; 17 – гвинт; 18 – гайка; 19 – пелюстка; 20 – патрубок вакуум-проводу

Постійний магніт 16 та пластина із короткозамкненим витком 15 призначені для зниження інтенсивності коливань клапана 4 під час його відкривання-закривання. Забезпечується ефект сповільнення завдяки

індукуванню вихрових струмів під час коливального руху короткозамкненого витка 15 у постійному магнітному полі – закон Ленца. [7]

Запропонований регулятор вакуумметричного тиску має суттєву перевагу перед серійними регуляторами (АД-08.000 та АДМ 08-200) доїльних установок за рахунок відсутності вагового механізму, що дає можливість його використання у різних площинах простору. Окрім цього, механізм гасіння коливань значно ефективніший ніж у АД-08.000, а регулятор АДМ 08-200 взагалі не має можливості демферувати коливання клапана від частих відкривань-закривань.

Важливим для машинного доїння є адаптована величина рівня вакуумметричного тиску залежно від швидкості молоковіддачі корови. На вирішення проблеми регулювання вакууму безпосередньо у доїльному апараті спрямований винахід [8] диференційного регулятора доїльного апарата (рис. 1.4).

Робота регулятора вакууму проходить наступним чином. Перед доїнням поплавок 9 знаходиться на упорах 16. При цьому пропускний клапан 7 перекриває отвір 19. Через патрубок 13 відсмоктується повітря із міжстінного простору доїльних стаканів. Через патрубок 12 молоко рухається від колектора доїльного апарата у молочну камеру 2 і далі у доїльне відро 15. З доїльного відра повітря відкачується через трубку 14 та патрубок 13. [8]

За допомогою клапана 8 відбувається дроселювання повітря яку надходить через патрубок 13. При цьому в камері змінного вакууму 4 встановлюється задана величина вакуумметричного тиску. Молоко із молочної камери 2 через канал 17 надходить у доїльне відро 15. [8]

При збільшенні інтенсивності надходження молока поплавок 9 піднімається і через шток 6 піднімає клапан 7, камера 3 та камера 4 сполучаються між собою через отвір 19. В камерах 3 та 4 встановлюється вищий рівень вакууму, який через клапан 8 поширюється до трубки 14 і далі до доїльного відра 15. Вищий рівень вакууму сприятиме збільшенню інтенсивності молоко відведення. [8]

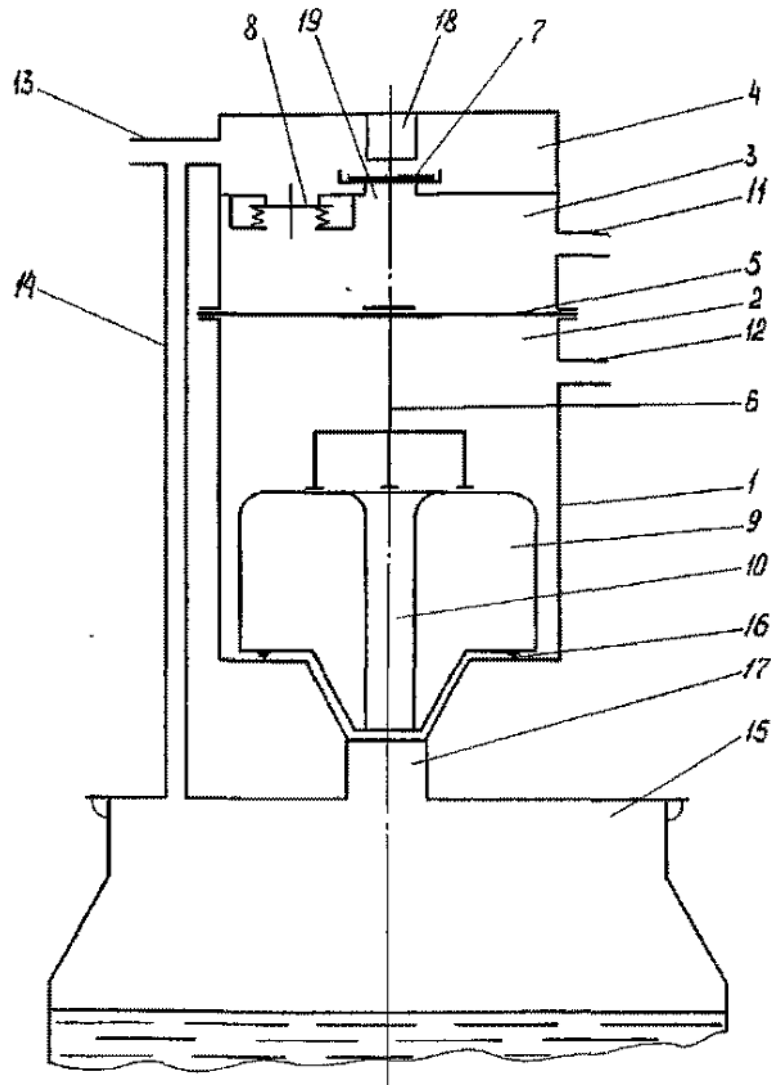


Рис. 1.4. Регулятор вакуумметричного тиску [8]: 1 – корпус; 2 – приймальна камера для молока; 3 – камера постійного вакууму; 4 – камера змінного вакууму; 5 – мембрана; 6 – штовхач; 7 – клапан пропускний; 8 – дросельний клапан; 9 – поплавок; 10 – осьовий канал; 11 – патрубок вакуум-проводу; 12 – патрубок колектора; 13 – патрубок пульсатора; 14 – з'єднувальна трубка; 15 – доїльне відро; 16 – упори; 17 – патрубок горловини; 18 – обмежувач; 19 – отвір.

За умови великої інтенсивності надходження молока у камеру 2, коли поплавок впирається через шток в обмежувач 18, молоко до доїльного відра надходитиме через додатковий канал 10. Якщо інтенсивність надходження молока до молочної камери 2 знижується то і поплавок 9 опускається. В такому випадку клапан 7 закривається і у доїльному апараті через патрубок 13

наводиться нижчий рівень вакууму ніж у камері 3 за рахунок дроселювання клапаном 8. В такому випадку відбувається процес машинного додоювання із зниженим рівнем вакуумметричного тиску. [8]

Перевагою розглянутого вакуумного регулятора (рис. 1.4) є можливість підлаштовувати рівень вакууму до інтенсивності молоковіддачі. А це наближає до вирішення зоотехнічних та зооветеринарних вимог до машинного доїння корів.

Але до недоліків регулятора вакууму (рис. 1.4) належить безпосередній контакт молока із виконавчими механізмами регулятора. Це може викликати погіршення технологічних властивостей молока. Окрім цього, конструкція регулятора не передбачає інших можливостей встановлення, наприклад на молокопроводі чи вакуум-проводі, що ускладнює його використання для високопродуктивних доїльних установок.

1.3. Висновки до розділу 1

1. Оцінка конструкцій та особливостей використання серійних регуляторів вакуумметричного тиску вказала на ряд притаманних недоліків. Основним спільним недоліком є висока інерційність виконавчих механізмів що не дозволяє підтримувати стабільний вакуумметричний тиск у вакуум-проводі. Окрім цього підтримується однаковий тиск у вакуум-проводі всієї доїльної установки без врахування потреб кожного доїльного апарата.

2. Відомі конструкційні рішення винахідників не дозволяють позбутись недоліків вакуумних регуляторів. Так, позбавлення регулятора вагового механізму усуває проблему високої інерційності, але не дозволяє керувати рівнем вакууму безпосередньо у доїльному апараті. Регулятор вакууму для доїльного апарата забезпечує регулювання тиску залежно від інтенсивності молоковіддачі, але має складну будову та контакт із потоком молока.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВАКУУМНОГО РЕГУЛЯТОРА

2.1. Розроблення конструкційної схеми регулятора вакууму доїльного апарата

Адаптоване машинне доїння передбачає узгодження інтенсивності молоковіддачі та рівня вакуумметричного тиску у піддійковому просторі доїльних стаканів (рис. 2.1). [9]

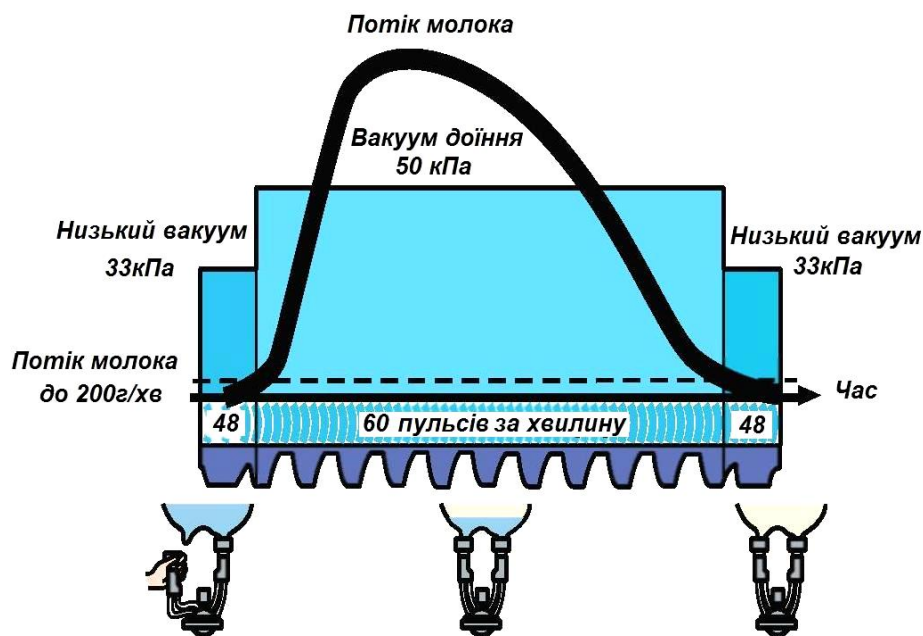


Рис. 2.1. Рівень вакуумметричного тиску відповідно до інтенсивності молоковіддачі під час машинного доїння корів [9]

На початку доїння, коли інтенсивність потоку молока незначна вченими [9] рекомендується проводити доїння при рівні вакуумметричного тиску 33-34 кПа та частоті пульсації 48 хв⁻¹. За умови зростання інтенсивності молоковіддачі необхідно підвищувати рівень вакуумметричного тиску у молокопроводі до 48-54 кПа для забезпечення ефективного транспортування молока. При цьому варто збільшувати і частоту пульсації. В кінцевому етапі

машинного доїння корів інтенсивність молоковіддачі знижується, що потребує і зниженого рівня вакуумметричного тиску та частоти пульсації. За таких умов можна досягти максимального комфорту для корів під час машинного доїння та збереження здоров'я тварин. [9]

В магістерській роботі пропонується конструкція вакуумного регулятора, яка дозволяє регулювати рівень вакуумметричного тиску у піддійковому просторі доїльних стаканів залежно від інтенсивності молоковіддачі (рис. 2.2).

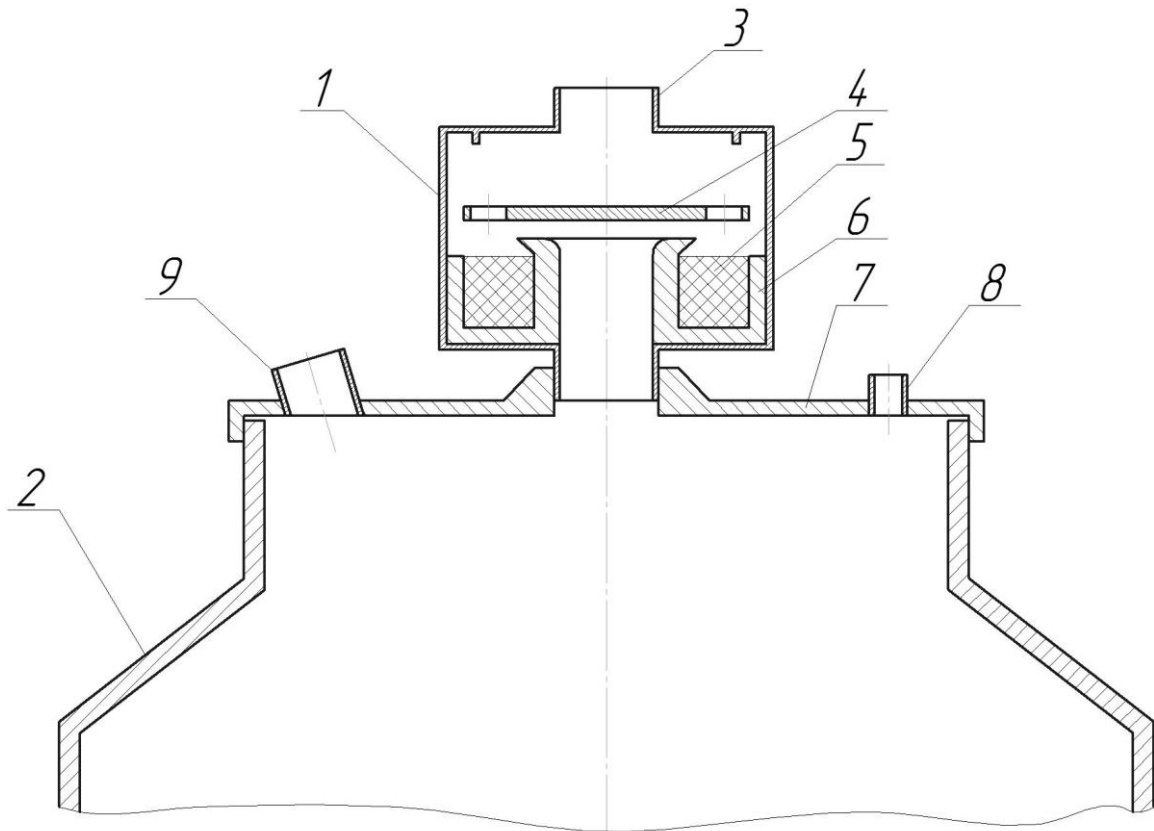


Рис. 2.2. Схема вакуумного регулятора з електромагнітом: 1 – корпус регулятора вакууму; 2 – молочне відро; 3 – патрубок вакуум-проводу; 4 – дисковий клапан; 5 – витки електромагніта; 6 – магнітопровідник; 7 – кришка молочного відра; 8 – патрубок пульсатора; 9 – патрубок молочного шланга колектора [10]

Принцип роботи розробленого вакуумного регулятора полягає в наступному. Молочне відро через патрубок 3 (рис. 2.2) за допомогою шланга сполучається із вакуум-проводом. Під дією потоку повітря від молочного відра

та відповідної сили електричного магніта 5 дисковий клапан 4 займає положення, яке відповідає бажаному рівню вакуумметричного тиску у піддійковому просторі доїльних стаканів. В свою чергу, рівень вакууму у піддійковому просторі доїльних стаканів, і відповідно у молочному відрі, визначається інтенсивністю молоковіддачі. [10]

У початковий момент доїння, коли відбувається припуск, інтенсивність молоковіддачі незначна. В такому випадку давач інтенсивності потоку перетворює отриману інформацію в електричний сигнал – рівень струму на витки електромагніта. За незначної інтенсивності молоковіддачі (до 0,2 л/хв) електромагніт, долаючи опір сили яка піднімає диск у повітряному потоці, притягує клапан 4 до патрубка. В наслідок дроселювання, тиск у молочному відрі знизиться до 34 кПа, на відміну від тиску у вакуум-проводі – 50 кПа. Знижений вакуум буде і піддійковому просторі доїльних стаканів та відповідати рівню. [10]

При зростанні інтенсивності молоковіддачі, керуючий сигнал визначить рівень електричного струму у витках електромагніту, відповідно до якого диск 4 підніметься у повітряному потоці над магнітопровідником на величину, яка зменшить до мінімуму дроселювання. В такому випадку тиск у молочному відрі зрівняється із тиском у вакуум-проводі. Машинне доїння інтенсифікується під дією вищого рівня вакууму (50 кПа) у молочному відрі. При сповільненні інтенсивності молоковіддачі, зросте сила притягання клапана 4 до вихідного патрубка і вакуумметричний тиск у молочному відрі зменшиться. [10]

Такий режим роботи дозволить збільшити повноту видоювання корів без шкоди для здоров'я тварин. Не буде застосовуватись операція машинного додоювання корів, що зменшить затрати праці на процес в цілому.

Оскільки пульсатор під'єднаний через патрубок 8, то рівень вакууму у міжстінному просторі доїльних стаканів під час такту ссання буде відповідати тиску у молочному відрі. Частота пульсації електромагнітного пульсатора встановлюється залежно від відповідного етапу доїння (див. рис. 2.1).

Подальша робота полягає у встановленні необхідного співвідношення сил які діють на клапан 4 для отримання заданої величини вакуумметричного тиску для кожного періоду доїння. [10]

2.2. Силовий аналіз розробленого регулятора вакуумметричного тиску

Робота розробленого регулятора вакуумметричного тиску полягає у зміні опору проходження повітряного потоку між зазором який утворюється дисковим клапаном та внутрішнім каналом магнітопровідника (рис. 2.3).

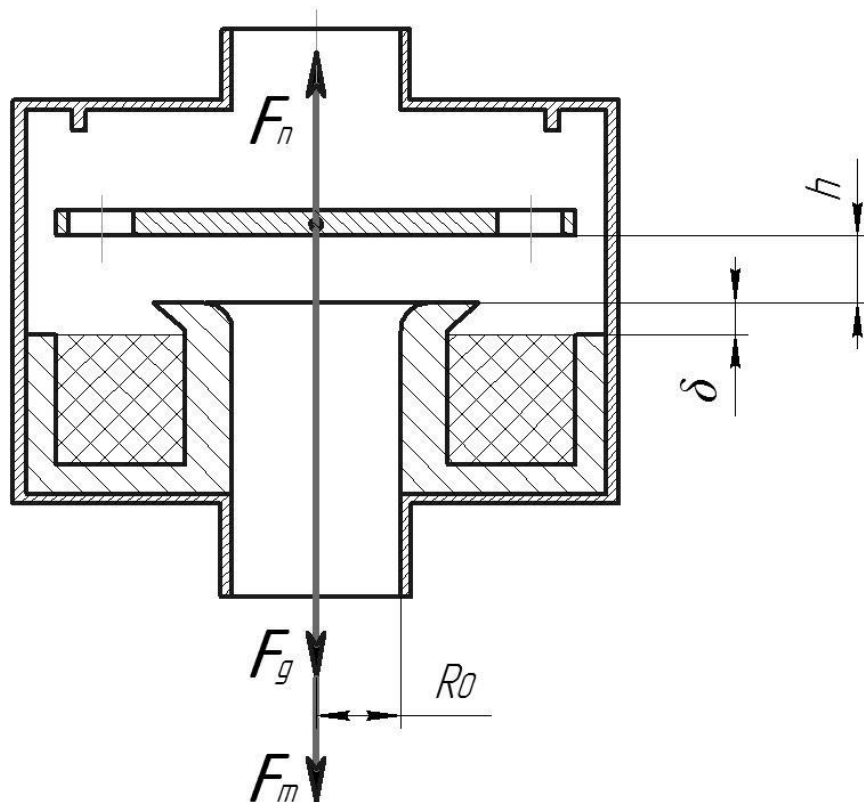


Рис. 2.3. Схема дії сил на дисковий клапан розробленого регулятора: F_n — сила потоку повітря; F_g — сила ваги; F_m — сила притягання магніта; R_0 — радіус вхідного отвору;

Тиск у молочному відрі буде відрізнятися від тиску у вакуум-проводі, можна знайти із рівняння:

$$P_{\bar{o}} = P_n - \Delta P_{\bar{e}} - \Delta P_l, \quad (2.1)$$

де P_n – тиск у вакуум-проводі, кПа;

$\Delta P_{\bar{e}}$ – втрати тиск у вакуумному регуляторі, кПа;

ΔP_l – лінійні втрати тиску, кПа;

Тиск, який втрачається у шлангах та інших елементах доїльного апарата можна знайти із відомого виразу: [11]

$$\Delta P_l = \lambda \frac{L_n}{d_n} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \rho, \quad (2.2)$$

де λ – коефіцієнт який залежить від матеріалу шланга; [11]

L_n – загальна довжина шлангів, м;

d_n – внутрішній діаметр шлангів, м;

g – прискорення земного тяжіння, м/с²;

ρ – густина повітря, кг/м³.

У розробленому регуляторі величину втрат тиску можна визначити за пропонованою залежністю:

$$\Delta P_{\bar{e}} = \frac{F_m + F_g - F_n}{S_{\bar{o}}} + \Delta P_{\bar{\xi}}, \quad (2.3)$$

де F_m – сила притягання магніта, Н;

F_g – сила ваги, Н;

F_n – сила потоку повітря, Н;

$\Delta P_{\bar{\xi}}$ – втрати тиску викликана конструкцією регулятора, кПа;

$S_{\bar{o}}$ – площа дискового клапана, м².

При виконанні умови рівноваги, коли клапан буде у стані витання, рівняння (2.3) набуде вигляду: $\Delta P_{\bar{e}} = \Delta P_{\bar{\xi}}$.

Силу, яка піднімає дисковий клапан у повітряному потоці можна визначити як:

$$F_n = \frac{k_\delta \cdot Q_n^2 \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot R_0^2}, \quad (2.4)$$

де k_δ – коефіцієнт форми дискового клапана; [12-14]

Q_n – потік повітря, м³/с;

R_0 – радіус вхідного отвору, м (див. рис. 2.3).

Відповідно до отриманого рівняння (2.4), побудували графічні залежності впливу повітряного потоку та величини піднімання клапана на зусилля піднімання (рис. 2.4).

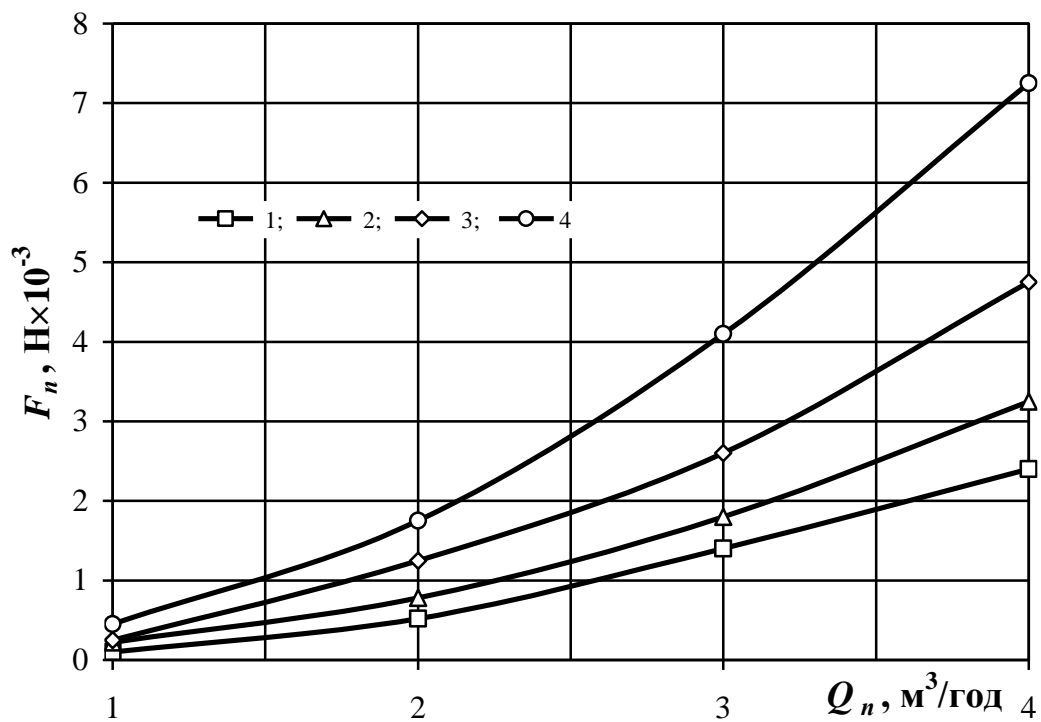


Рис. 2.4. Залежність сили потоку повітря (F_n) від інтенсивності повітряного потоку (Q_n) через регулятор за величини радіусу вхідного отвору:

1 – $R_0=0,004$ м; 2 – $R_0=0,005$ м; 3 – $R_0=0,006$ м; 4 – $R_0=0,007$ м.

Відповідно до отриманого графіка (рис. 2.4) можна зробити висновок, що зі збільшенням потоку повітря зростає сила з якою піднімається дисковий клапан розробленого регулятора вакууму не залежно від величини радіусу вхідного отвору. Більшому радіусу вхідного отвору (R_0 , див. рис. 2.3) відповідає більша сила потоку повітря. Так, за умови $R_0=0,004$ м при зміні потоку повітря від 1 до 4 м³/год сила потоку зростає на 0,0023 Н, а за умови $R_0=0,007$ м – на 0,0068 Н. [15]

Сила ваги дискового клапана буде постійною за умови незмінних габаритних та вагових параметрів. Тому, в розрахунках можна скористатися залежністю:

$$F_g = m_{кл} \cdot g, \quad (2.5)$$

де $m_{кл}$ – маса дискового клапана розробленого регулятора, кг.

Для забезпечення автоматичної роботи розробленого регулятора вакуумметричного тиску, відповідно до рекомендацій [16-17] необхідно, щоб виконувалась умова паралельності вертикального переміщення відносно площини сідла клапана. Дисковий клапан буде підніматись над сідлом клапана у випадку коли сила потоку повітря буде перевищувати силу електромагніту. Але сила електромагніту має бути достатньою для утримання дискового клапана на певній висоті над сідлом. Саме висота піднімання дискового клапана визначає величину втрат тиску та наведення бажаного вакуумметричного тиску у молочному відрі відповідно до режиму машинного доїння корів.

З врахуванням рекомендацій [18-20] отримали рівняння визначення сили електромагніту розробленого регулятора:

$$F_m = \frac{(I \cdot W)^2 \cdot S_m \cdot \mu_0}{2 \cdot (\delta + h)^2}, \quad (2.6)$$

де I – сила електричного струму, А;

W – кількість витків електромагніту;

S_m – площа поверхні магнітопровідника, м²;

μ_0 – величина магнітної проникності, Гн/м;

δ – величина захисного виступу сідла клапана, м;

h – величина піднімання дискового клапана, м.

За результатами обрахунку (2.6) сили електромагніту отримали графічні залежності (рис. 2.5-2.6).

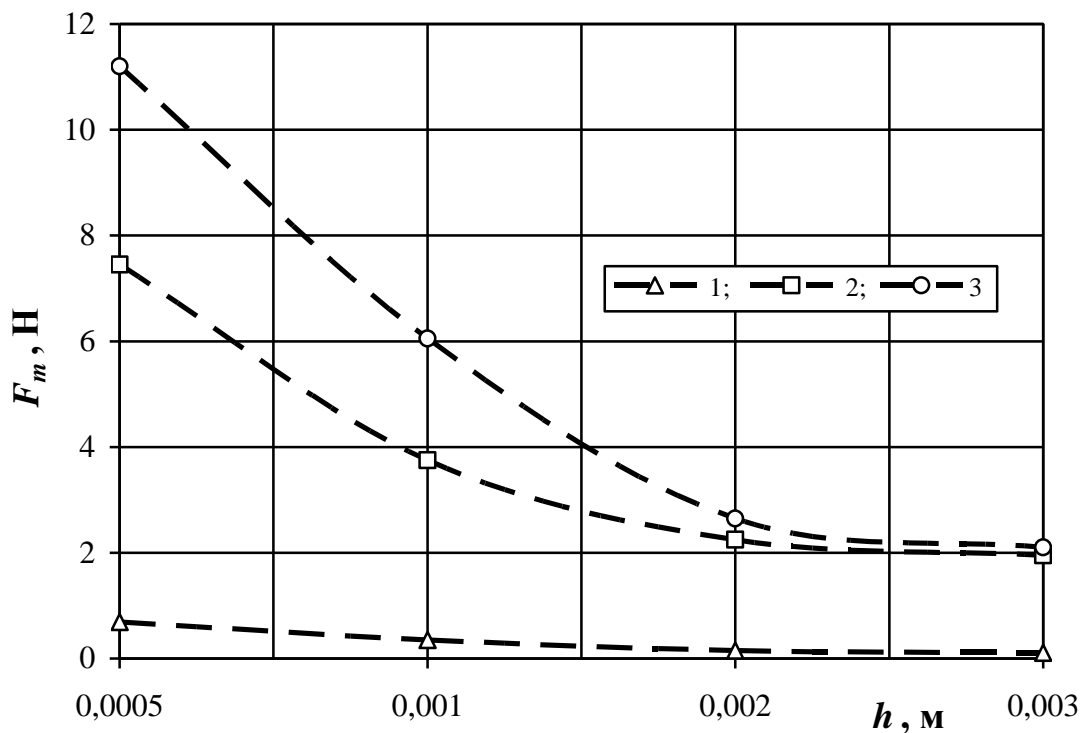


Рис. 2.5. Залежність сили електромагніту (F_m) від висоти піднімання дискового клапана (h) при виступі висоти сідла $\delta=0,001$ м та добутку сили електричного струму на кількість витків ($I \times W$): 1 – 100 А; 2 – 300 А; 3 – 400 А.

Відповідно до графічних залежностей на рис. 2.5, зі збільшенням висоти піднімання дискового клапана сила притягання електромагніту знижується

незалежно від ампер-виткової характеристики. При збільшенні ампер-виткової характеристики суттєво зростає сила притягання електромагніту.

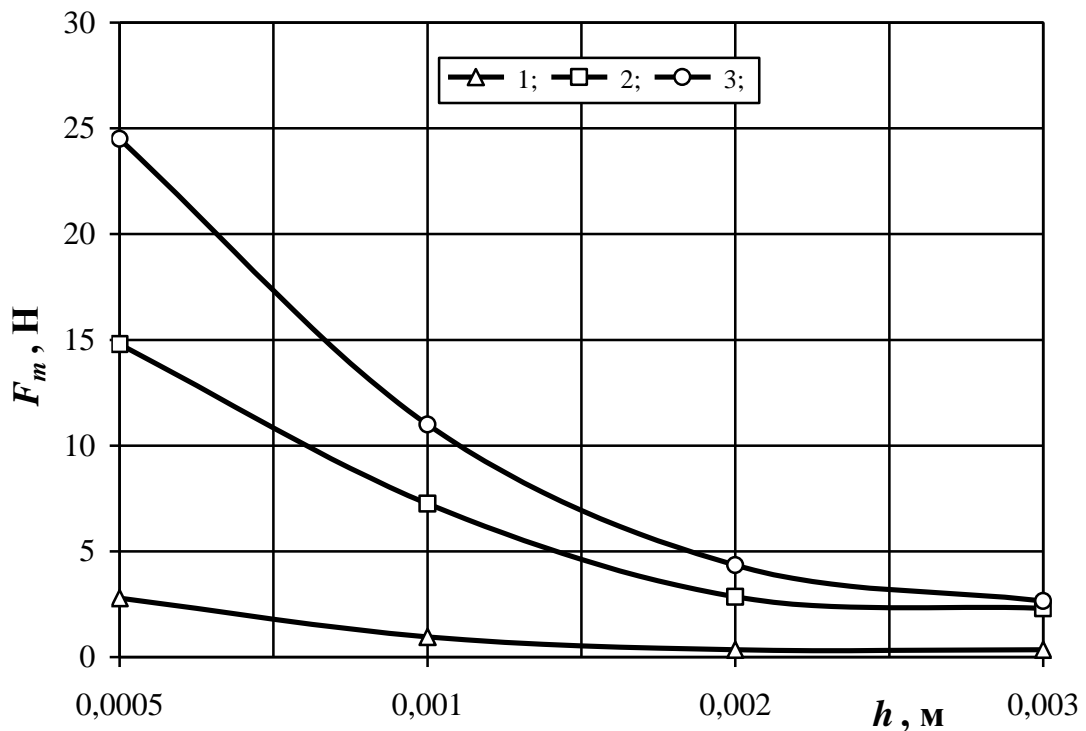


Рис. 2.6. Залежність сили електромагніту (F_m) від висоти піднімання дискового клапана (h) при виступі висоти сідла $\delta=0,0005$ м та добутку сили електричного струму на кількість витків ($I \times W$): 1 – 100 А; 2 – 300 А; 3 – 400 А.

Аналогічно до рис. 2.5, сила притягання електромагніту знижується при збільшенні відстані від сідла до дискового клапана (рис. 2.6). Але при зменшенні виступу сідла до $\delta=0,0005$ м сила притягання електромагніту суттєво зростає, порівняно із виступом $\delta=0,001$ м. Так, при ампер-витковій характеристиці $I \times W=100$ А за умови $\delta=0,001$ м та $h=0,0005$ м сила $F_m=0,7$ Н, а при $I \times W=100$ А за умови $\delta=0,0005$ м та $h=0,0005$ м сила $F_m=2,7$ Н, тобто зростає на 2 Н. При збільшенні ампер-виткової характеристики до $I \times W=400$ А за умови $\delta=0,001$ м та $h=0,0005$ м сила $F_m=11$ Н, за умови $\delta=0,0005$ м та $h=0,0005$ м сила $F_m=24$ Н, тобто зростає на 13 Н.

Слід відмітити, що сила притягання електромагніту інтенсивно зменшується при збільшенні висоти піднімання дискового клапана від 0,0005 до 0,002 м, а в діапазоні висоти піднімання від 0,002 до 0,003 м сила електромагніту майже не змінюється.

2.3. Висновки до розділу 2

1. Отримано аналітичні залежності для визначення діючих сил на дисковий клапан розробленого регулятора вакуумметричного тиску.

2. Встановлено, що зі збільшенням потоку повітря зростає сила з якою піднімається дисковий клапан розробленого регулятора вакууму не залежно від величини радіусу вхідного отвору. Більшому радіусу вхідного отвору буде відповідати більша сила потоку повітря.

3. Встановлено, що при зменшенні виступу сідла від 0,001 до 0,0005 м суттєво зростає сила притягання електромагніту. Так, при ампер-витковій характеристиці на рівні 100 А та висоті виступу 0,001 м та висоті клапана 0,0005 м сила притягання становить 0,7 Н, а при висоті виступу 0,0005 м при тій же висоті піднімання сила притягання зростає до 2,7 Н. Значно більше зростання сили притягання електромагніту спостерігається при зростанні ампер-виткової характеристики до 400 А, до 11 Н та до 24 Н, відповідно для висоті виступу 0,001 м та 0,0005 м.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ РОЗРОБЛЕНОГО ВАКУУМНОГО РЕГУЛЯТОРА

3.1. Дослідження впливу потоку повітря на параметри роботи вакуумного регулятора

Пропускна спроможність розробленого вакуумного регулятора визначається геометричними параметрами прохідного отвору та величиною піднімання дискового клапана над площиною сідла. Саме величина піднімання клапана визначає регульований рівень вакуумметричного тиску у доїльному апараті, а на величину піднімання впливає сила електричного струму у соленоїді електромагніту (рис. 3.1).

Таким чином, рівень вакуумметричного тиску у доїльному апараті залежить від величини сили струму у соленоїді та інтенсивності потоку повітря при роботі доїльного апарата під час машинного доїння корів.

За результатами проведених досліджень отримали масив дослідних даних. На основі отриманих дослідних даних отримали рівняння регресії, яке поєднує взаємозв'язок рівня вакуумметричного тиску у доїльному апараті ($P_{\text{вак}}$), інтенсивність потоку повітря через вихідний отвір регулятора та силу електричного струму якою повинна житися соленоїд електромагніту для підтримання заданого рівня вакууму (рис. 3.1).

$$P_{\text{вак}} = 53,7097 - 1,799Q_n + 54,5364I_m + 0,1Q_n^2 - 1186,67I_m^2 - 1,4444Q_nI_m, \quad (3.1)$$

де Q_n – потік повітря, м³/с;

I_m – струму у соленоїді, А.

Отримане рівняння регресії (3.1) на адекватність порівнювали за допомогою критерія Фішера, який мав розрахункове значення 0,7591, а при числі вільностей 3 дана величина менша за табличне значення.

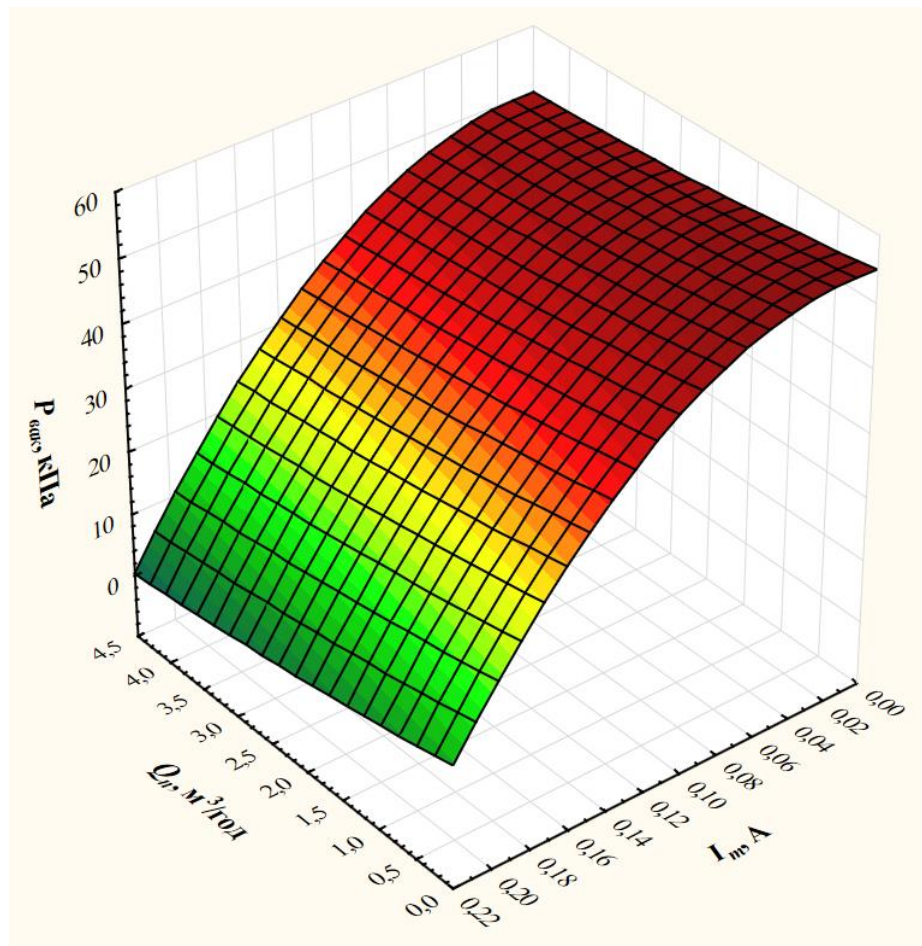


Рис. 3.1. Залежність рівня вакуумметричного тиску ($P_{\text{вак}}$) у молочному відрі доїльного апарата від інтенсивності потоку повітря (Q_n) через регулятор вакууму та величину сили струму (I_m) у соленоїді.

Відповідно до отриманої поверхні відгуку (рис. 3.1), зі збільшенням сили електричного струму I_m рівень вакуумметричного тиску $P_{\text{вак}}$ у доїльному апараті знижується для досліджуваного діапазону інтенсивності потоку повітря Q_n через регулятор вакууму. Це пояснюється тим, що для зниження рівня вакуумметричного тиску у піддійковому просторі доїльних стаканів необхідно прикладати вищу силу притягання дискового клапана до електромагніту. При цьому зниження тиску відбувається за рахунок збільшення опору проходження повітряного потоку при незмінній його інтенсивності, яка відповідає режиму роботи доїльного апарата.

Так, при збільшенні сили струму від 0,025 до 0,2 А рівень вакууму знижується з 53,2 до 15,1 кПа за умови потоку повітря $1 \text{ м}^3/\text{год}$. За потоку

повітря 4 м³/год та при збільшенні сили струму від 0,025 до 0,2 А рівень вакууму знижується з 50,4 до 10,6 кПа. Отже, керуючи силою струму у соленоїді можна змінювати рівень вакуумметричного тиску у доїльному апараті.

3.2. Встановлення впливу швидкості молоковіддачі на режими роботи вакуумного регулятора

Проведені дослідження дозволили отримати набір даних за допомогою яких отримали поверхню відгуку (рис. 3.2) та рівняння регресії (3.2).

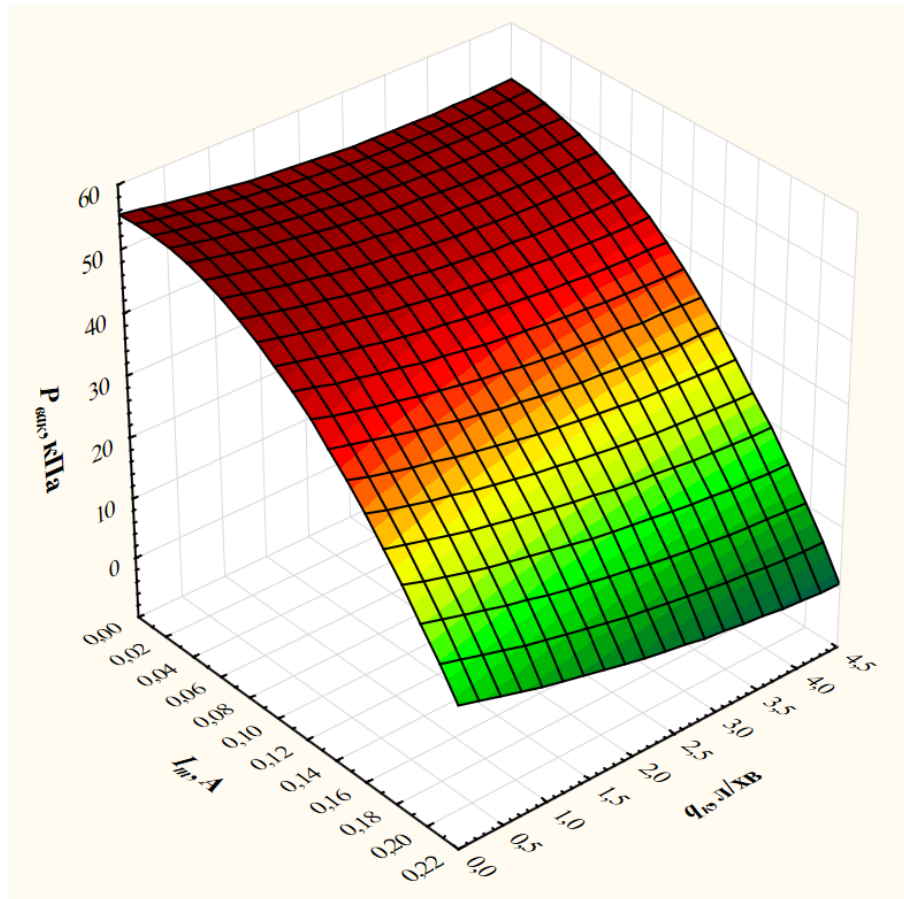


Рис. 3.2. Залежність рівня вакуумметричного тиску ($P_{\text{вак}}$) у молочному відрі доїльного апарата від величини сили струму (I_m) у соленоїді та швидкості молоковіддачі (q_k).

Дослідження (рис. 3.2) підтвердили теоретичні передумови, відповідно до яких при зростанні швидкості молоковіддачі знижується рівень

вакуумметричного тиску. Причиною є переповнення молокозбірної камери колектора доїльного апарата молоком. Для покращення процесу вивільнення молока із молочної камери колектора необхідно збільшити рівень вакуумметричного тиску. Це досягається шляхом зменшення сили електричного струму у соленоїді розробленого регулятора. В наслідок зменшення сили притягання електромагніту, дисковий клапан підніметься, що знизить втрати тиску у регуляторі та сприятиме зростанню вакууму у молочної камері колектора.

Таким чином, за допомогою встановлення у соленоїді заданої величини електричного струму відповідно до швидкості молоковіддачі забезпечиться бажаний рівень вакуумметричного тиску у піддійковому просторі доїльних стаканів.

Рівняння регресії, яке поєднує досліджувані величини має вигляд:

$$P_{\text{вак}} = 53,8903 - 3,0181q_k + 49,3364I_m + 0,3892q_k^2 - 112,11I_m^2 - 4,1978q_k I_m, \quad (3.2)$$

де q_k – швидкість молоковіддачі, л/хв.

Рівняння регресії (3.2) оцінювали на адекватність за допомогою критерія Фішера, який мав розрахункове значення 0,5691, а при числі вільностей 3 дана величина менша за табличне значення.

Для визначення втрат тиску який спричиняє конструкція розробленого вакуумного регулятора, скористаємося виведеною, відповідно до рекомендацій [11], аналітичною залежністю:

$$\Delta P_{\xi} = 0,5 \cdot \xi \cdot \frac{Q_n^2}{S_d^2} \cdot \rho, \quad (3.3)$$

де ΔP_{ξ} – втрати тиску викликана конструкцією регулятора, кПа;

S_d – площа дискового клапана, м²;

ρ – густина повітря, кг/м³;

ξ – коефіцієнт, який визначає втрати тиску в місцевих опорах конструкції.

Відповідно до рекомендацій [11] та проведених досліджень було встановлено, що коефіцієнт втрат тиску в місцевих опорах буде знаходитись в межах 0,18-1,36 при зміні висоти піднімання дискового клапана від 3 до 1 мм. Більше значення коефіцієнта відповідає меншій висоті відкривання клапана.

3.3. Висновки до розділу 3

1. Встановлено, що пропускна спроможність розробленої конструкції регулятора вакууму визначається його геометричними параметрами прохідного отвору та величиною піднімання дискового клапана над площиною сідла. Доведено, що зі збільшенням сили електричного струму у соленоїді рівень вакуумметричного тиску у доїльному апараті знижується для досліджуваного діапазону інтенсивності потоку повітря (від 0,5 до 4 м³/год) через регулятор вакууму.

2. Дослідженнями встановлено, що при зростанні швидкості молоковіддачі знижується рівень вакуумметричного тиску. Доведено, що за допомогою встановлення у соленоїді електромагніту заданої величини електричного струму відповідно до швидкості молоковіддачі можна забезпечити бажаний рівень вакуумметричного тиску у піддійковому просторі доїльних стаканів.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз конструкцій та особливостей використання серійних регуляторів вакуумметричного тиску вказав на ряд притаманних недоліків. Спільним недоліком можна вважати високу інерційність виконавчих механізмів що не дозволяє підтримувати стабільний вакуумметричний тиск у вакуум-проводі. Окрім цього підтримується однаковий тиск у вакуум-проводі всієї доїльної установки без врахування потреб кожного доїльного апарата.

2. Відомі конструкційні рішення вчених та винахідників у галузі машинного доїння корів не дозволяють суттєво покращити функціонування вакуумних регуляторів доїльних установок. Розроблений регулятор вакуумметричного тиску з електромагнітним приводом дискового клапана. За рахунок зміни сили електричного струму у соленоїді змінюється ступінь відкривання клапана залежно від режимів роботи доїльного апарата.

3. Встановлено, що зі збільшенням потоку повітря через розроблений регулятор вакууму зростає сила з якою піднімається над сідлом дисковий клапан. Доведено, що більшому радіусу вхідного отвору буде відповідати більша сила потоку повітря. Визначено, що оптимальною величиною вихідного отвору буде радіус $R_0=10$ мм при зовнішньому габариті соленоїда $d_c=46$ мм.

4. Встановлено, що при зменшенні виступу сідла для диска клапана від 0,001 до 0,0005 м суттєво зростає сила притягання електромагніту. Значно більшою спостерігається сила притягання електромагніту при зростанні ампер-виткової характеристики соленоїда. Доведено, що оптимальною величиною для розробленого регулятора вакууму буде ампер-виткова характеристика $I \times W=400$ А. Так, при зменшенні виступу сідла від 1 до 0,5 мм при зміні висоти піднімання дискового клапана від 3 до 1 мм сила притягання зростає від 11 Н до 24 Н. Висота виступу сідла приймається рівною $\delta=0,5$ мм. Зі збільшенням висоти піднімання дискового клапана сила притягання електромагніту знижується, тому висота піднімання обмежена на рівні $h=1-3$ мм.

5. Отримали рівняння регресії, яке поєднує взаємозв'язок рівня вакуумметричного тиску у доїльному апараті, інтенсивність потоку повітря через вихідний отвір регулятора та силу електричного струму якою повинен живитися соленоїд електромагніту для підтримання заданого рівня вакууму. Встановлено, що зі збільшенням сили електричного струму у соленоїді рівень вакуумметричного тиску у доїльному апараті знижується для досліджуваного діапазону інтенсивності потоку повітря (від 0,5 до 4 м³/год) через регулятор вакууму. Це пояснюється тим, що для зниження рівня вакуумметричного тиску у піддійковому просторі доїльних стаканів необхідно збільшити опір проходження повітря за рахунок зменшення зазору між диском клапана та сідлом. Отже, керуючи силою струму у соленоїді можна встановлювати рівень вакуумметричного тиску який відповідає режиму роботи доїльного апарата.

6. Отримали рівняння регресії, яке встановлює взаємозв'язок між рівнем вакуумметричного тиску, швидкістю молоковіддачі та силою електричного струму у електромагніту залежно від режиму роботи доїльного апарата. Встановлено, що за умови збільшення швидкості молоковіддачі до 4 л/хв необхідно збільшити величину вакуумметричного тиску до 53 кПа за рахунок зниження до 0,025 А сили струму у соленоїді розробленого регулятора.

7. Використання регульованої величини вакуумметричного тиску залежно від швидкості молоковіддачі дозволяє збільшити повноту видоювання, зменшити негативний вплив на здоров'я тварин та збільшити продуктивність праці операторів машинного доїння корів. В цілому, підвищується ефективність машинного доїння корів, оскільки тиск регулюється для кожного доїльного апарата окремо. Це дає змогу отримати економічний ефект від застосування розробленого регулятора вакуумметричного тиску в розмірі 120,95 грн в рік з розрахунку на одну дійну корову.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Машинне доїння корів та первинна обробка молока. / за ред. А. І. Фененко. 2-е вид. перероб. і доп. К.: Урожай, 1990. 216 с.
2. Посібник-практикум: машини та обладнання для тваринництва / І. І. Ревенко та ін. К.:Кондор, 2011. 396 с.
3. Машини та обладнання для тваринництва / за ред. І. Г. Бойко. Харків : Видавництво ХНТУСГ, 2006. 279 с.
4. Хомик Н. І., Довбуш А. Д. Машини та обладнання для тваринництва : курс лекцій. ч. 2. Тернопіль : Видавництво ТНТУ, 2013. 224 с.
5. Пеннер О. В. Аналіз конструкцій вакуумних регуляторів сучасних доїльних установок. *Студентські читання–2023* : матеріали науково-практичної конференції. 25 жовтня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 137–139.
6. Вакуумний регулятор АДМ-08.200 : веб-сайт. URL : <https://bratslav.com/katalog-zapasnikh-chastin/adm08200>
7. Регулятор вакууму доїльного агрегату : пат. 99577 Україна : МПК А01J 7/00. № а 2011 14704 ; заявл. 12.12.2011 ; опубл. 27.08.2012, Бюл. № 16.
8. Регулятор вакууму : пат. 54128 Україна : МПК А01J 7/00. № 2002054143 ; заявл. 21.02.2002 ; опубл. 17.02.2003, Бюл. № 2.
9. Фененко А. І. Механізація доїння корів. Теорія і практика: монографія. К., 2008. 198 с.
10. Медведський О. В., Пеннер О. В. Розроблення конструкційної схеми регулятора вакууму доїльного апарата. *Інженерні процеси та системи* : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених. 14-15 червня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 76–79.
11. Бойко А. В. Гідрогазодинаміка : підручник. Х. : НТУ «ХПІ», 2007. 444 с.

12. Лобода В. Б. Фізичні основи вакуумної техніки: навч. посіб. Суми: ВТД «Університетська книга», 2011. Ч. 1. 253 с.
13. Митропольський І. Є., Грицак Р. В. Вакуумна техніка: навч. посіб. Ужгород. Видавництво УжНУ «Говерла», 2018. 138 с.
14. Шимон Л. Л. Техніка фізичного експерименту: навч. посіб. Частина 1. Фізичні основи вакуумної техніки. Ужгород: Вид. УжНУ «Говерла», 2008. 400 с.
15. Медведський О. В., Пеннер О. В. Силовий аналіз розробленого регулятора вакуумметричного тиску. *Біоенергетичні системи* : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції. 15-17 листопада 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 91–94.
16. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування : навч. посібник / Барало О. В., Самойленко П. Г., Гранат С. Є., Ковальов В. О. К.: Аграрна освіта, 2010. 557 с.
17. Технічні засоби автоматизації / М. В. Лукінюк, В. П. Лисенко, В. Є. Лукін, А. М. Гладкий, С. А. Шворов, А. А. Руденський, А. А. Заверткін. Ніжин.: Видавець ПП Лисенко М. М., 2018. 455 с.
18. Титаренко М. В. Електротехніка: навч. посібник. К.: Кондор, 2004. 240 с.
19. Малинівський С. М. Загальна електротехніка. Львів: Ви-во Львівської політехніки, 2001. 596 с.
20. Городжа А. Д. Загальна електротехніка. К.: КНУБА, 2000. 150 с.