

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

УДК 637.116

Кваліфікаційна робота на правах
рукопису

КЛИМЧУК Анатолій Анатолійович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ДОЇЛЬНОГО
АПАРАТА ЗІ СТИМУЛЮЮЧИМ ЕФЕКТОМ**

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., Медведський О. В.

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Климчук А. А. **Обґрунтування параметрів та режимів роботи доїльного апарата зі стимулюючим ефектом.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021 р.

У кваліфікаційній роботі подана оцінка конструкцій доїльних апаратів та їх елементів на присутність можливості реалізувати механізм стимулювання молоковіддачі за рахунок виникнення стимулюючих дій. Доведено, що відомі конструкційні рішення не задовольняють встановленим вимогам до машинного доїння корів.

Запропоновано підвищити ефективність доїльного апарата за рахунок удосконалення конструкції доїльного стакану. Розроблений пристрій генерування стимулюючих подразнень за рахунок створення до восьми мікроколивань дійкової гуми під час такту стиску. В основі конструктивного рішення використовується пневматично керований клапанний механізм.

Обґрунтовано конструкцію розробленого стимулюючого пристрою доїльного стакану, що забезпечує генерування механічних мікроколивань з одночасним незначним зниженням тиску у піддійковому просторі доїльного стакану.

Ключові слова: доїльний апарат, стимулювання молоковіддачі, генератор коливань, вакуумметричний тиск, дросельна трубка.

ANNOTATION

Klymchuk A. A. **Substantiation of parameters and modes of operation of the milking machine with stimulating effect.** – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in 208 – agroengineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2021.

The qualification work evaluates the designs of milking machines and their elements for the presence of the possibility to implement the mechanism of stimulating milk production due to the emergence of stimulating actions. It is proved that the known design solutions do not meet the established requirements for machine milking of cows.

It is proposed to increase the efficiency of the milking machine by improving the design of the milking cup. A device for generating stimulating stimuli by creating up to eight micro-oscillations of teat rubber during the compression stroke has been developed. The basis of the design solution is a pneumatically controlled valve mechanism.

The design of the developed stimulating device of the milking cup is substantiated, which provides the generation of mechanical micro-oscillations with a simultaneous slight decrease in pressure in the suction space of the milking cup.

Key words: milking machine, milk stimulation, oscillation generator, vacuum gauge pressure, throttle tube.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ РЕАЛІЗАЦІЇ СТИМУЛЮЮЧОГО ЕФЕКТУ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА	6
1.1. Встановлення відповідності доїльних апаратів фізіологічним вимогам машинного доїння	6
1.2. Оцінка технічних рішень доїльних апаратів з реалізацією стимулюючих подразнень під час доїння	7
1.3. Висновки до розділу 1	12
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ СТИМУЛЮЮЧОГО МОЛОКОВІДДАЧУ ДОЇЛЬНОГО СТАКАНА	13
2.1. Обґрунтування конструкції доїльного стакана	13
2.2. Висновки до розділу 2	16
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗРОБЛЕНОГО ДОЇЛЬНОГО СТАКАНА	17
3.1. Встановлення геометричних параметрів розробленого пристрою стимулювання молоковіддачі	17
3.2. Висновки до розділу 3	25
ВИСНОВКИ	26
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	28

ВСТУП

Актуальність теми. Більшість сучасних доїльних апаратів, що широко застосовуються в Україні, працюють у незмінному режимі, що не відповідає характеру молоковіддачі, а тому не можуть забезпечити адаптованих режимів роботи. Найважливішою складовою в доїльному апараті, що відповідає за пристосованість машинного доїння фізіології молоковіддачі тварини, є доїльний стакан та пульсатор. Доїльний стакан безпосередньо контактує із дійкою тварини та забезпечує виведення молока, а пульсатор генерує імпульси змінного вакуумметричного тиску.

Найчастіше доїльні апарати обладнані пневмомембранними пульсаторами та двокамерними доїльними стаканами, що викликано їх простотою будови та експлуатації та не потребують підведення додаткової енергії. Але таке обладнання не достатньо задовольняє встановленим зоотехнологічними та фізіологічним вимогам до машинного доїння корів. Це, в першу чергу стосується адаптації режимів роботи до інтенсивності молоковиведення та відсутності стимулюючих подразнень. Вчені [1, 2] відзначають, що присутність в конструкції доїльного апарата стимулюючих подразнень позитивно впливає на повноту молока виведення та збереження здоров'я корів.

Відомі конструктивні рішення втілення реалізації стимулюючих подразнень під час машинного доїння корів значно ускладнюють конструкцію доїльного апарата та недостатньо ефективні. Тому виникає необхідність у розробці нових конструкційних рішень доїльних апаратів, які відповідають необхідним фізіологічним особливостям, що зумовлює актуальність досліджень кваліфікаційної роботи.

Мета і задачі досліджень. Мета досліджень – підвищення ефективності машинного доїння корів за рахунок удосконалення доїльного апарата шляхом розроблення доїльного стакана з механізмом стимулювання молоковіддачі.

У кваліфікаційній роботі необхідно вирішити наступні завдання:

- провести ґрунтовний аналіз доїльних апаратів та їх складових на предмет відповідності фізіології машинного доїння корів;

- встановити конструктивно-технологічні особливості доїльних стаканів доїльного апарата з механізмом стимулювання молоковіддачі;
- розробити структурно-функціональну схему конструкції доїльного стакану з механізмом стимулюючих подразнень;
- виконати дослідження розробленого механізму доїльного стакану для стимулювання молоковіддачі, встановити його конструктивні параметри та оцінити ефективність використання.

Об'єкт дослідження – конструкція доїльного стакану доїльного апарата з механізмом стимулювання молоковіддачі.

Предмет дослідження – вплив конструкційно-технологічних параметрів удосконаленого доїльного стакану на режимні характеристики машинного доїння.

Методи досліджень. При вирішенні поставлених завдань використовували теоретичні дослідження із застосуванням теорії математичного моделювання та використанням основних положень пневматики, теоретичної механіки, програмне середовище Excel.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень кваліфікаційної роботи викладено у роботах:

1. Климчук А. А. Покращення транспортувальних характеристик доїльних апаратів. *Біоенергетичні системи : Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції*. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. Ч. 2 С. 59–60.

2. Климчук А. А. Обґрунтування параметрів та режимів роботи доїльного апарата зі стимулюючим ефектом. *Матеріали науково-практичної конференції «Наукові читання–2020»*. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. С. 99–101.

3. Климчук А. А. Встановлення відповідності доїльних апаратів фізіологічним вимогам машинного доїння. *Збірник тез науково-практичної конференції I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей*. 18 січня 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 15–17.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота включає вступ, три розділи основної частини, загальні висновки, список використаних літературних джерел та додатки, викладена на 30 сторінках комп'ютерного тексту.

РОЗДІЛ 1

ОЦІНКА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ РЕАЛІЗАЦІЇ СТИМУЛЮЮЧОГО ЕФЕКТУ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА

1.1. Встановлення відповідності доїльних апаратів фізіологічним вимогам машинного доїння

Машинне доїння корів вважається найбільш відповідальним та трудомістким процесом процесу виробництва молока. Під час доїння проходить дві фази: молоковіддачі і молоковиведення. Молоко утворюється і збирається в молочній залозі тварини, але основна його частина (до 90 %) знаходиться у альвеолах вимені, а тому досить важко піддається безпосередньому виведенню без обов'язково процесу молоковіддачі. Реакція молочної залози в наслідок чого молоко виводиться до цистерн вимені із альвеол називається моловіддачею. Такий процес неможливий без виділення спеціального гормону – окситоцину, що формується у головному мозку тварини та потоками крові надходить до вимені корови [1, 2, 3].

Накопичене у цистернах дійок молоко виводиться шляхом молоковиведення, яке відбувається за рахунок різниці тисків з обох боків сфінктера шляхом створення надлишкового тиску всередині дійки (витискання) або зниження тиску (створення вакууму) за її межами [3, 4].

Таким чином, молоковіддача є задачею зоотехнологічною, а молоковиведення – науково-технічною. Саме за принципом створення розрідження під дійкою тварини працюють сучасні доїльні апарати. У зв'язку із цим технічні засоби машинного доїння корів мають відповідати встановленим вимогам з метою повноти видоювання та збереження здоров'я тварин [4, 5, 6].

До доїльних апаратів ставляться наступні зоотехнічні вимоги [7, 8, 9, 10]:

- режим роботи апарата повинен адаптуватись до інтенсивності молоковіддачі для забезпечення оптимальної швидкості доїння;

- повинен бути передбачений процес стимуляції молоковіддачі за рахунок чого буде досягаться повне виведення молока та не буде потреби у додоюванні, доїльні стакани повинні мати температуру яка відповідає температурі вимені корови;
- доїльний апарат повинен мати пристрої для керування співвідношенням тактів та частоти пульсації;
- необхідно забезпечити належну безпеку для тварини під час процесу доїння;
- молоко повинне бути у закритому потоці для усунення впливу рук людини, це зменшить його бактеріологічне забруднення;
- варто передбачити можливість обліку видоєного молока від корови;
- використання засобів сигналізування про закінчення молоковіддачі та автоматичного відключення з автоматичним зніманням доїльних стаканів з дійок корови підвищить рівень безпеки;
- доїльний апарат повинен бути простим за будовою, що сприятиме якісному промиванню та очищенню;
- перехідні процеси повинні мати мінімальні витрати часу, зміні тисків між суміжними просторами має бути миттєвою;
- транспортуюча система доїльного апарата має відповідати найбільшій інтенсивності молоковіддачі;
- колектор доїльного апарата повинен убезпечити від потоку молока у зворотному напрямку;
- співвідношення тактів та частота пульсації доїльного апарата має бути незмінними в процесі доїння [7, 8, 9, 10].

Виконаємо оцінку технічних рішень доїльних апаратів щодо забезпечення у своїх конструкціях вищенаведених вимог до машинного доїння корів.

1.2. Оцінка технічних рішень доїльних апаратів з реалізацією стимулюючих подразнень під час доїння

Серійний доїльний апарат АДУ-1-09 (рис. 1.1) забезпечує мікроколивання тиску в міжстінкових камерах стаканів при такті сання. Ці мікроколивання передаються дійковою гумою на дійку корови що забезпечує стимулювання молоковіддачі [11, 12, 13, 14].

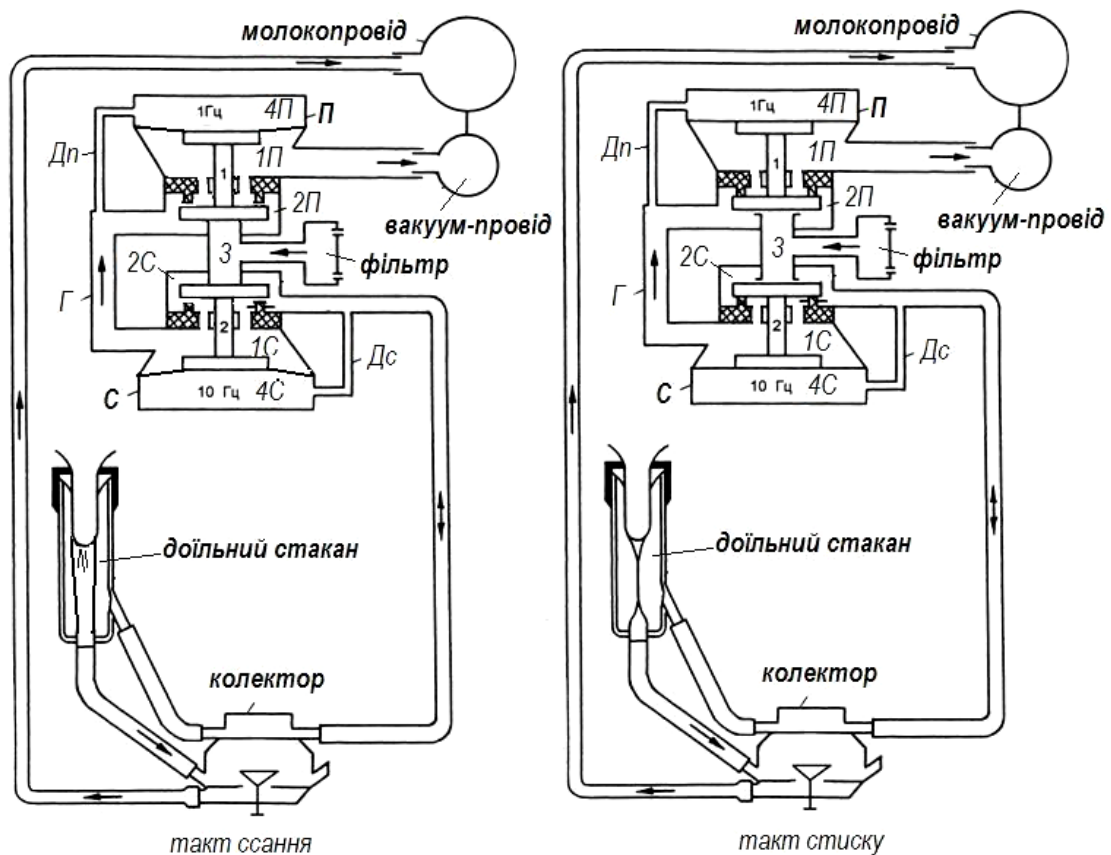


Рис. 1.1. Функціонально-технологічна схема доїльного апарата зі стимулюючим ефектом АДУ-1-09: 1 – клапан низькочастотного блока; 2 – клапан високочастотного блока; 3 – камера атмосферного тиску; Г – з'єднувальний канал блоків; Дп, Дс – відповідно довгий і короткий дросельні канали; 1П, 1С – камери постійного вакууму низькочастотного та високочастотного блоків; 2П, 4П, 2С, 4С – камери змінного тиску низькочастотного та високочастотного блоків

Пульсатор доїльного апарата (рис. 1.1) складається з низькочастотного (П) та стимулюючого (С) блоків, що послідовно з'єднаних між собою. Низькочастотний блок має поширену для двотактних доїльних апаратів частоту

пульсацій $66 \pm 6 \text{ хв}^{-1}$ ($1,1 \pm 0,1 \text{ Гц}$), а високочастотний здатен вібрувати із частотою $630 \pm 90 \text{ хв}^{-1}$ ($10,5 \pm 15 \text{ Гц}$) (рис. 1.2). За період такту стиску відбувається приблизно сім мікроколивань дійкової гуми із амплітудою коливань 1–2 мм, що сприяє стимуляції рефлексу молоковіддачі. Це позитивно впливає на повноту виведення із долей вимені молока, що сприятиме збереженню здоров'я корів.

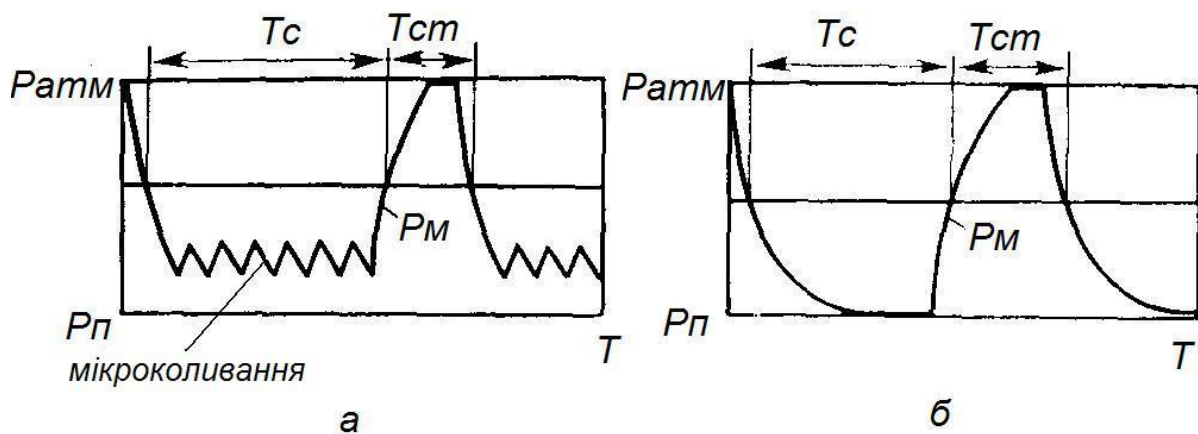


Рис. 1.2. Порівняльна оцінка зміни тиску в міжстінних просторах доїльних стаканів доїльного апарата: *а* – зі стимулюючим ефектом; *б* – звичайний пневматичний доїльний апарат; $P_{атм}$ – атмосферний тиск в міжстінній камері; $P_{п}$ – вакууммеричний тиск в піддійковій камері; $P_{м}$ – характер зміни тиску в міжстінній камері; $T_{с}$ – тривалість такту ссання; $T_{ст}$ – тривалість такту стиску

Але ефективність запропонованої конструкції доїльного апарата знижується зі збільшенням довжини повітропроводів між пульсатором та колектором, особливо це відчутно при доїнні у верхній молокопровід, із-за виникнення додаткових втрат тиску. Окрім цього, такий пульсатор не може реалізувати попарний режим доїння, котрий є найбільш поширеним у світі. Тому, розробники доїльного обладнання звернули увагу на можливість

наділення доїльного стакана пристроями стимулювання рефлексу молоковіддачі.

Винахідники [15] запропонували конструкцію доїльного стакана, який створює стимуляцію процесу молоковіддачі за рахунок виникнення мікроколивань (рис. 1.3). В конструкції реалізовано реалізацію стимулюючої дії тим, що верхня циліндрична частина гільзи з'єднана з сильфоном, а сильфон з'єднаний з нижньою циліндричною частиною гільзи. Таким чином відбувається імітація ссання молока телям, котре здійснює стимуляцію (підштовхуючи вим'я мордою або лобом, щоб молоко з вимені підтікало в дійки), або ручного доїння при якому стимуляцію здійснює оператор, тягнучи за дійки [15].

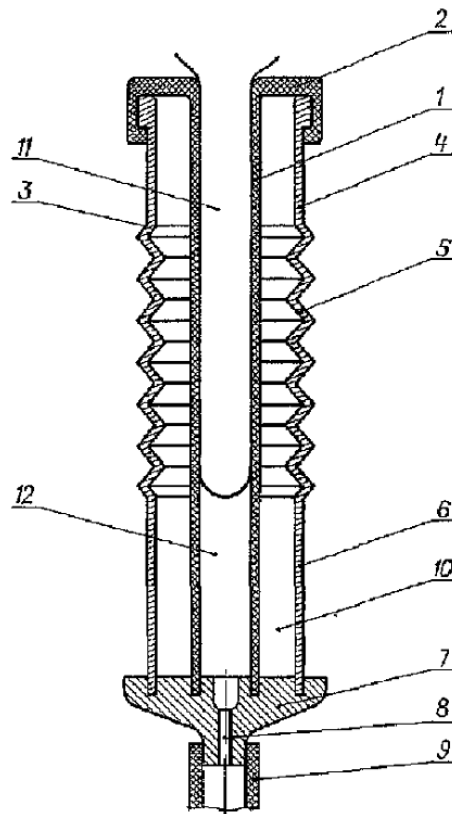


Рис. 1.3. Стимулюючий доїльний стакан: 1 – дійкова гума; 2 – присосок; 3 – корпус стакана; 4 – гільза верхня; 5 – сильфон; 6 – гільза нижня; 7 – нижня основа; 8 – молочний канал; 9 – молочний шланг; 10 – міжстінкова камера; 11 – доля вимені; 12 – піддійкова камера [15]

Наведений на рис. 1.3 доїльний стакан складається з дійкової гуми 1, яка виготовлена як одне ціле з присоском 2, корпуса стакана 3, що складається сільфону 5, з верхньої циліндричної частини гільзи 4 та нижньої циліндричної частини гільзи 6, які виготовлені з металу або пластику. Знизу дійкової гуми 1 і нижньої циліндричної частини гільзи 6 закріплено нижню основу 7, яка закінчується молочним каналом 8, через який молоко поступає в молочний шланг 9 і звідти в доїльне відро або в молокопровід. Міжстінкова камера 10 знаходиться між дійковою гумою 1 і корпусом стакана 3. Дійка вимені 11 знаходиться всередині дійкової гуми 1. Між дійкою вимені 11 і основою 7 знаходиться піддійкова камера 12 [15].

Принцип роботи вказаного доїльного стакана (рис. 1.3) полягає в наступному. Сильфон корпуса 5 доїльного стакана забезпечує його видовження під час такту ссання. Це видовження призводить до стимуляції процесу молоковіддачі у корів. Гофрована вставка розширюється, що сприяє видовженню доїльного стакана, що імітує руки оператора, який тягне дійки вниз, тобто сприяє стимуляції процесу молоковіддачі. Сильфон працює лише на стиск чи розтяг або згин, тому не роздається в сторони протилежні до місцезнаходження дійки 11, тобто нема нераціональних витрат енергії [15].

Таким чином, вказане удосконалення доїльного стакана дає можливість покращити стимуляцію процесу молоковіддачі при зменшених енерговитратах.

Недоліком даного рішення є складність конструкції та виражена схильність до наповзання доїльних стаканів, що знижує кількість надоеного молока. Окрім цього відбувається тільки симуляція видовження дійкової гуми, що не можна вважати повноцінним механізмом відповідно до зоотехнологічних вимог. Тим не менш, вчені вказали на можливість наділяти доїльні апарати стимулюючою функцією за допомогою удосконалення доїльного стакана. Але таке рішення може бути використане у доїльних апаратах тільки з двотактним режимом роботи. Окрім цього матеріал сільфон не захищено від впливу зовнішніх факторів, зокрема можливого механічного пошкодження. Прослідковується, також можлива залежність режимів роботи доїльного

стакана від зміни частоти пульсації при зміні вакуумметричного тиску у системі, що негативно впливатиме на стереотип [16, 17, 18] машинного доїння для тварин.

Незважаючи на різноманітність запропонованих конструкцій доїльних стаканів, відсутні рішення, що в повній мірі задовольняли б зоотехнічні та зооветеринарні вимоги.

1.3. Висновки до розділу 1

1. Оцінка серійних доїльних апаратів вказала на неможливість виконання ними всіх вимог до доїльного обладнання. Зокрема, це стосується забезпечення якісних та безпечних для здоров'я тварин стимулюючих подразнень під час машинного доїння корів.

2. Надання доїльному апарату стимулюючих подразнень під час машинного доїння корів можливе за рахунок удосконалення конструкції доїльного стакану. Це дасть змогу застосовувати нове технічне рішення на доїльних апаратах з відмінними режимами роботи, наприклад як одночасного так і попарного доїння або попарно-суміщеного [19], як найбільш раціонального щодо сучасного рівня техніки.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ СТИМУЛЮЮЧОГО МОЛОКОВІДДАЧУ ДОЇЛЬНОГО СТАКАНА

2.1. Обґрунтування конструкції доїльного стакану

Першочерговим завданням при удосконаленні або розробці нової конструкції доїльного стакану є повна відповідність зоотехнічним, зоогігієнічним та зооветеринарним вимогам. Наявність стимулюючого ефекту сприяє повноті видоювання тварин, тому при розробці доїльного стакану врахували дану позицію найперше.

Запропонована конструкція доїльного стакану доїльного апарату увібрала позитивні риси відомих конструкційних рішень доїльних стаканів, викладених у попередньому розділі. Це, в першу чергу, наявність механізму стимуляції молоковіддачі під час доїння та відсутність осьового переміщення дійкової гуми із-за зміни режиму навантаження дійки тварини, що дозволить забезпечити повноцінне молоковиведення без машинного додоювання. На рис. 2.1 зображена структурно-функціональна схема розробленої конструкції доїльного стакану.

Принцип роботи розробленого доїльного стакану полягає в наступному. Під час такту ссання (рис. 2.1) у камері *C1* та камері *C2* створюється вакуумметричний тиск, який поширюється через патрубок 3 змінного тиску від пульсатора доїльного апарату та молочну трубку від молокопроводу або молочного відра. При цьому дійкова гума випрямлена, що сприяє відкриттю сфінктера дійки. Відбувається виведення молока – такт ссання. За таких умов клапан 4 закритий. Це пояснюється дією вакуумметричного тиску з обох боків мембрани 5, яка знаходиться в рівноважному стані, а зовні на клапан діє атмосферний тиск, який сприяє притисканню клапана до свого сідла.

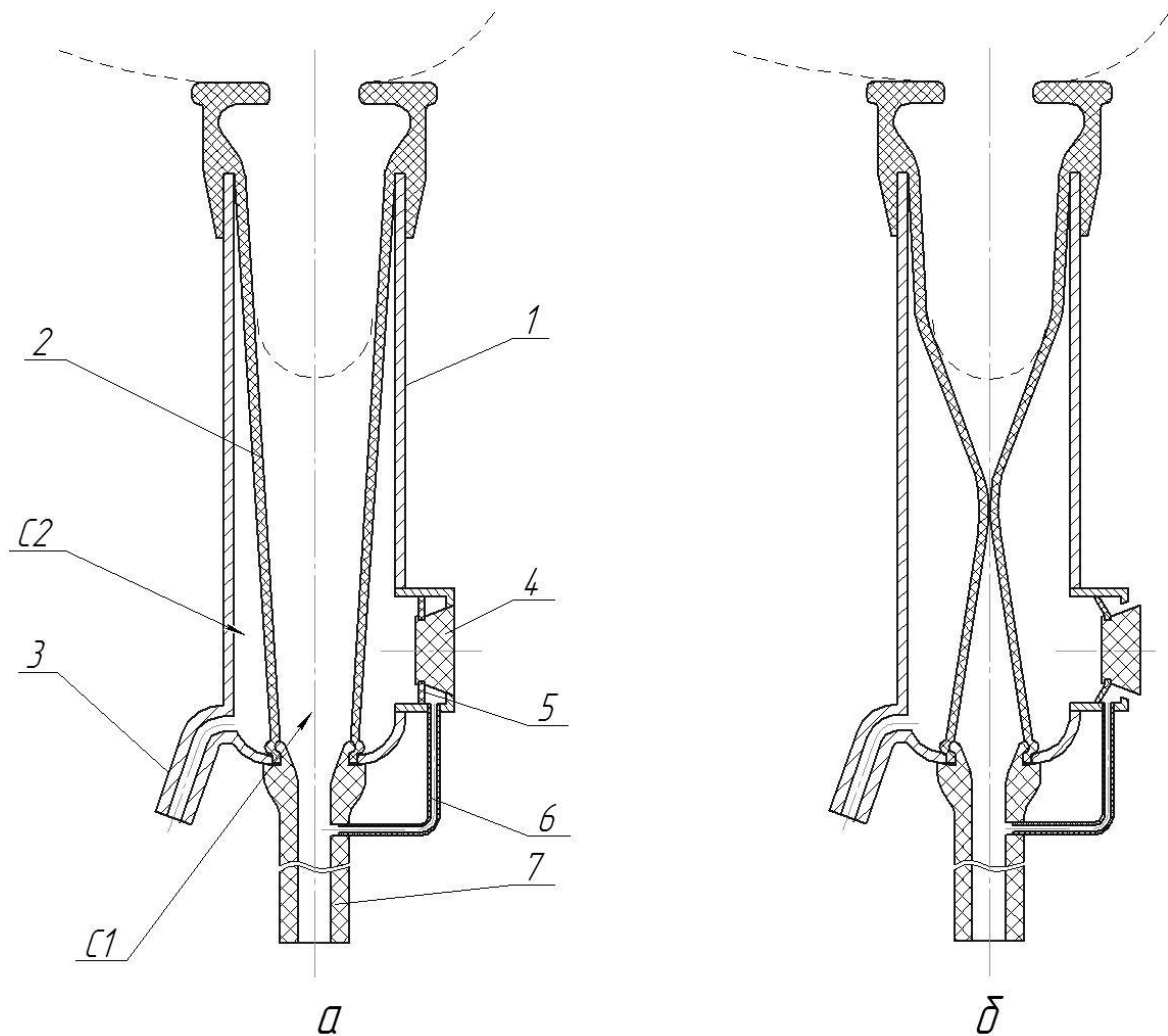


Рис. 2.1. Структурно-функціональна схема розробленого доїльного стакана: *а* – такт ссання; *б* – такт стиску; 1 – гільза; 2 – дійкова гума; 3 – патрубок змінного тиску; проміжна вставка; 4 – клапан; 5 – мембрана клапана; 6 – дросельна трубка; 7 – молочна трубка; *C1* – піддійкова камера; *C2* – міжстінна камера

Під час такту стиску у просторі *C1* зберігається вакуум, а у міжстінний простір *C2* потрапляє атмосферний тиск, який надходить через патрубок змінного тиску від другої камери пульсатора доїльного апарата. За рахунок різниці тисків дійкова гума стискається, сфінктер дійки закривається й молоковиведення припиняється – відбувається такт стиску. В цей час з боку міжстінного простору *C2* на мембрану 5 діє атмосферний тиск, що тисне й на клапан ззовні. За рахунок того, що площа поверхні мембрани 5 більша за площу

клапана 4, мембрана вигинається вбік клапана. Клапан 5 відкривається допускаючи атмосферний тиск через трубку 6 у піддійковий простір *С1*. Внаслідок цього рівень вакууму під дією знижується до 36–38 кПа. Як тільки тиск з обох боків мембрани 5 вирівнюється, клапан 4 закривається. Між мембраною та клапаном якийсь час буде атмосферний тиск. Але по трубці 6 в простір між клапаном 4 та мембраною 5 пошириться вакуум з молочної трубки 7. В цей момент часу клапан 4 знову відкривається і вакууметричний тиск в просторі *С1* знизиться. Виникають мікроколивання (рис. 2.2) [20].

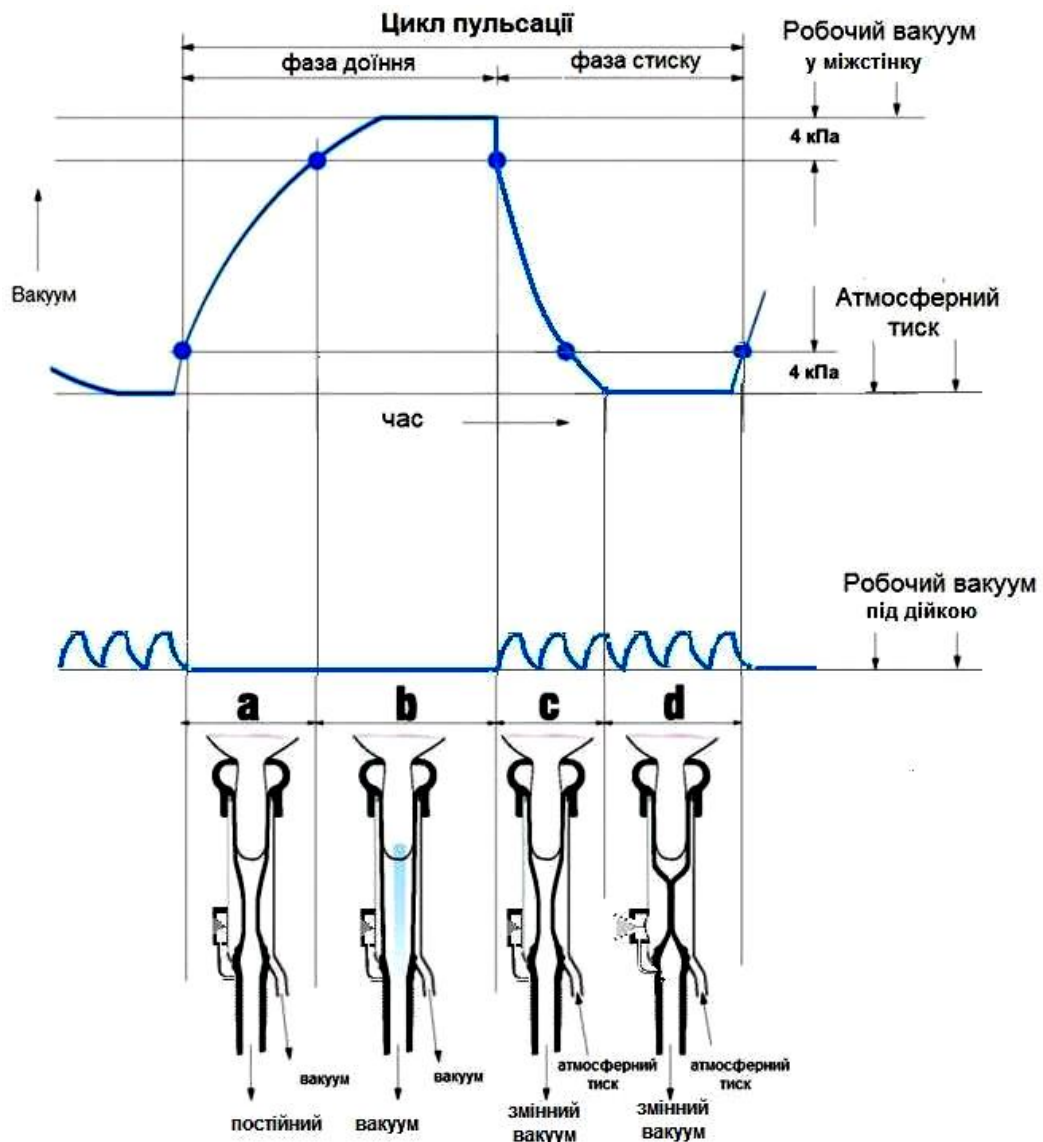


Рис. 2.2. Циклограма зміни тиску та виникнення мікроколивань у піддійковому просторі доїльного стакана при застосуванні розробленого клапана

Періодичні зміни тиків у піддійковому просторі за рахунок відкривання-закривання клапана 4 під час такту стиску, призводять ще й до мікроколивань дійкової гуми (рис. 2.2). Мікроколивання виконують стимулюючу дію на дійки корів, забезпечуючи повноту молоковиведення, а знижений рівень вакууму убезпечує тварину від захворювань на мастит. Припиняються мікроколивання дійкової гуми при настанні такту ссання, так як з обох боків мембрани буде вакуумметричний тиск, а клапан закриється під дією атмосферного тиску.

2.2. Висновки до розділу 2

Запропонована конструкція доїльного стакана усуває недоліки серійних доїльних апаратів, котрі позбавлені ефекту стимулювання повноти молоковіддачі за рахунок виникнення стимулюючих подразнень. Розроблений клапанний механізм забезпечує появу мікроколивань дійкової гуми під час такту стиску за рахунок багаторазової зміни положення клапана. При цьому запропонований механізм має два способи прояву стимулюючої дії (мікроколивань) – за рахунок механічного впливу від відкривання-закривання клапана та за рахунок зниження рівня вакуумметричного тиску під дійкою тварини, що позитивно вплине на здоров'я вимені корови, знизивши негативну дію високого вакууму.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗРОБЛЕНОГО ДОЇЛЬНОГО СТАКАНА

3.1. Встановлення геометричних параметрів розробленого пристрою стимулювання молоковіддачі

Розрахунково-технологічна схема роботи розробленого клапанного механізму наведена на рис. 3.1 [21].

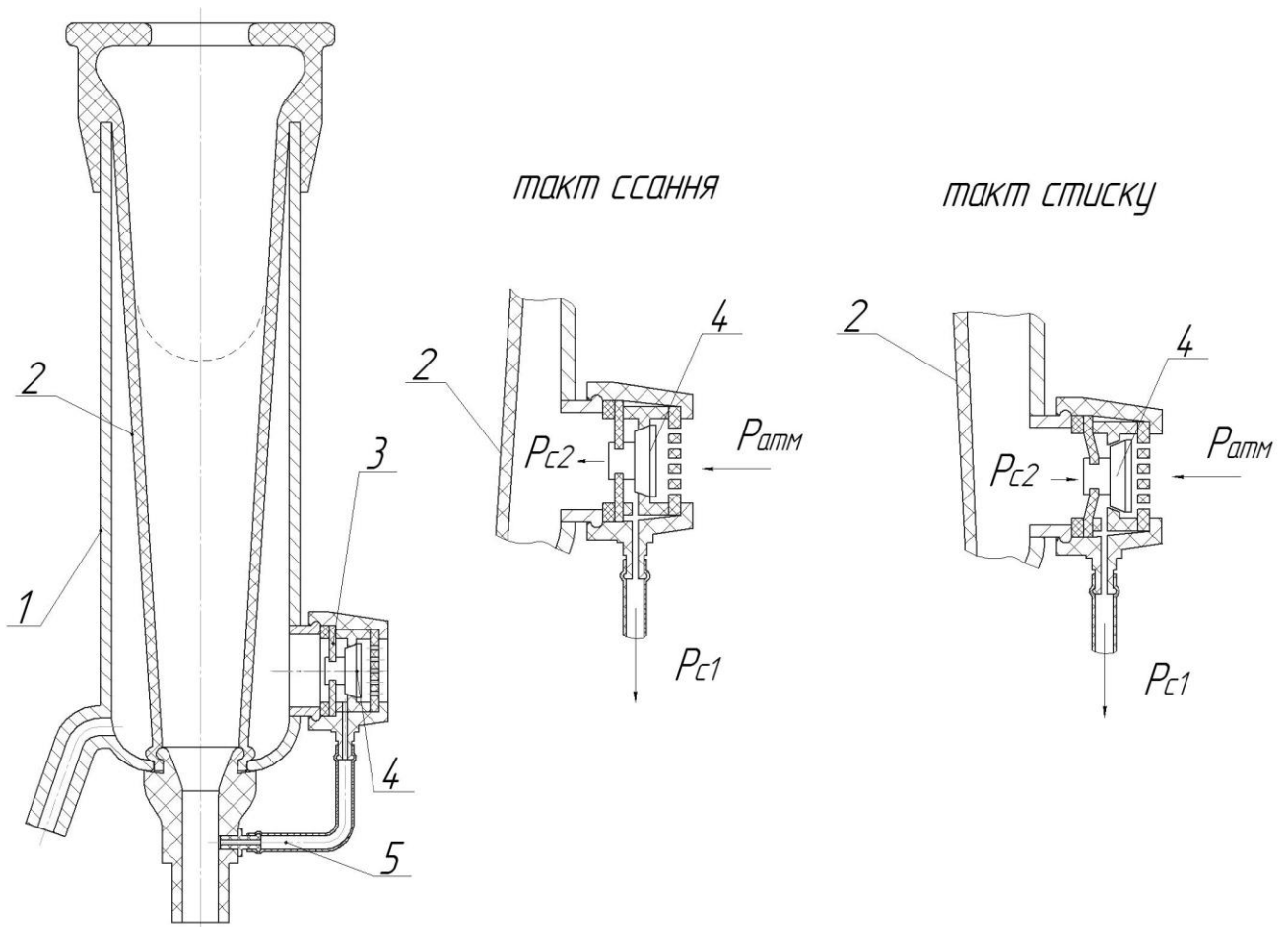


Рис. 3.1. Схема напрямку дії сил на клапанний механізм доїльного стакана: 1 – гільза (корпус); 2 – дійкова гума; 3 – мембрана; 4 – клапан; 5 – дросельна трубка

Мета розрахунку полягає у визначенні основних конструкційних параметрів складових механізму появи мікроколивань під час зміни тиску в просторах $C1$ та $C2$ (див. рис. 2.1) в такт ссання та стиску.

З цією метою, для початку, необхідно встановити рівняння рівноваги дії сил з обох боків клапанного механізму. Так, на клапан під час такту ссання (рис. 3.1) будуть діяти тиски що притискають його до сідла. Це тиск на клапан $P_{кл}$, що рівний атмосферному тиску $P_{атм}$, та тиск під мембраною P_{c2} , рівний тиску в міжстінному просторі $C2$. Тиск, що діє над мембраною P_{c1} рівний тиску у піддійковій камері доїльного стакана та сила пружності мембрани буде прагнути відкрити клапан. В такому випадку, сила яка гарантовано тримає клапан закритим, визначається відповідно до умови:

$$F_{зк} = F_{кл} + F_{c2} - F_{c1} - F_{мб} > 0, \quad (3.1)$$

де $F_{кл}$ – сила, яка діє на клапан з боку середовища, Н;

F_{c2} – сила з якою притягується клапан до сідла через дію на мембрану вакуумметричного тиску міжстінного простору доїльного стакана, Н;

F_{c1} – сила яка прагне відкрити клапан через дію на мембрану вакуумметричного тиску піддійкового простору доїльного стакана, Н;

$F_{мб}$ – сила пружності мембрани, Н.

З врахуванням того, що сила визначається як добуток рівня тиску у заданій порожнині на площу конструкційного елемента дії тиску [22, 23], рівняння (3.1) можна записати у вигляді

$$F_{зк} = P_{атм} S_{кл} + P_{c2} S_{мб} - P_{c1} S_{мб} - P_{c1} S_{мб} \lambda, \quad (3.2)$$

де $S_{кл}$ – площа клапана, м²;

$S_{мб}$ – площа мембрани, м²;

P_{c2} – абсолютний тиск в міжстінній камері, Па;

P_{c1} – абсолютний тиск в піддійковій камері, Па;

$P_{кл}$ – абсолютний тиск зовні клапана рівний атмосферному тиску,
 $P_{кл}=P_{атм}=101325$ Па;
 λ – коефіцієнт, що враховує пружні властивості мембрани.

Виконаємо ряд математичних перетворень, запишемо:

$$F_{зк} = 0,785 \cdot (P_{атм} \cdot d_{кл}^2 + P_{с2} \cdot d_{мб}^2) - 0,785 \cdot P_{с1} \cdot d_{мб}^2 \cdot (1 + \lambda). \quad (3.3)$$

Відповідно до рівняння (3.3) сила утримання клапана у закритому положенні залежить від геометричних параметрів мембрани та клапана (рис. 3.2).

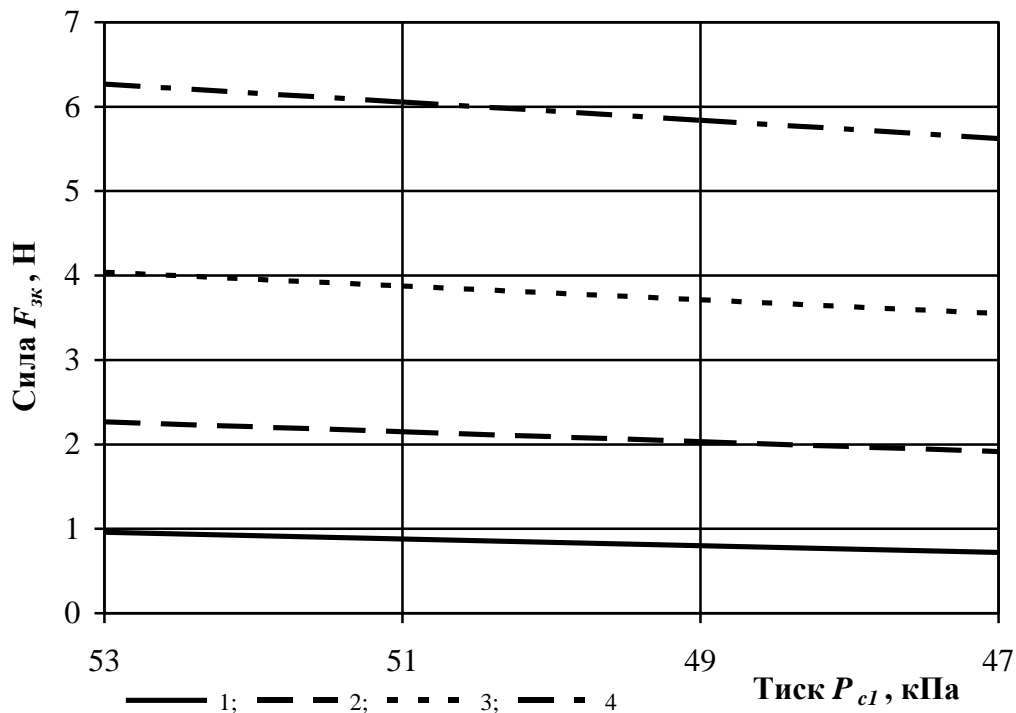


Рис. 3.2. Залежність результуючої сили притискування клапана до сідла від рівня вакуумметричного тиску у піддійковому просторі доїльного стакана та співвідношення діаметра клапана до діаметра мембрани: 1 – $d_{кл}/d_{мб}=0,6$; 2 – $d_{кл}/d_{мб}=0,6666$; 3 – $d_{кл}/d_{мб}=0,7143$; 4 – $d_{кл}/d_{мб}=0,75$

Зменшення рівня вакуумметричного тиску під дією тварини (рис. 3.2) від 53 до 47 кПа викликає зменшення сили притискання клапана до його сідла та втримання закритим під час такту ссання на 10–25 %. Причому більше відсоткове значення притаманне найменшому співвідношенню діаметрів клапана та мембрани. Зі збільшенням значення співвідношення діаметра клапана до діаметра мембрани сили притискання клапана до його сідла зростає на 85 % при тиску 53 кПа та на 87 % при тиску 47 кПа. Таким чином геометричні параметри клапана та мембрани мають більш суттєвий вплив на силу притискання ніж рівень вакуумметричного тиску у піддійковому просторі доїльного стакана.

Коефіцієнт λ , що враховує пружні властивості мембрани можна знайти за формулою [9]:

$$\lambda = \frac{\frac{1}{3} + \frac{d_{\kappa}}{d_{\text{мб}}} + \left(\frac{d_{\kappa}}{d_{\text{мб}}}\right)^2}{1 + \frac{2d_{\kappa}}{d_{\text{мб}}} + \left(\frac{d_{\kappa}}{d_{\text{мб}}}\right)^2}, \quad (3.4)$$

де d_{κ} , $d_{\text{мб}}$ – відповідно, діаметр клапана та мембрани, м.

Під час такту стиску (рис. 3.1) тиск в міжстінній камері $C2$ змінюється на атмосферний, тобто $P_{c2}=P_{\text{атм}}$ кПа, а в просторі під діями залишається незмінним, тобто рівним P_{c1} . Сила що діє на клапан ззовні також залишається постійною. Для відкривання клапана необхідне виконання умови:

$$F_{\text{вк}} = F_{c2} + F_{c1} - F_{\text{мб}} - F_{\text{кл}} > 0, \quad (3.5)$$

де $F_{\text{вк}}$ – сила, яка прагне відкрити клапан, Н;

$F_{\text{кл}}$ – сила яка перешкоджає відкриттю клапана, Н;

$F_{\text{мб}}$ – сила на подолання пружності мембрани, Н;

F_{c2} – сила з боку міжстінної камери, Н;

F_{c1} – сила з боку піддійкового простору доїльного стакана, Н.

Виконавши ряд математичних перетворень рівняння (3.5) набуде виду:

$$F_{вк} = 0,785 \cdot d_{мб}^2 (P_{c1} + P_{c2} - P_{c1} \cdot \lambda) - 0,785 \cdot P_{атм} \cdot d_{кл}^2. \quad (3.6)$$

Результати досліджені подано у вигляді графічних залежностей для зручності аналізу на рис. 3.3.

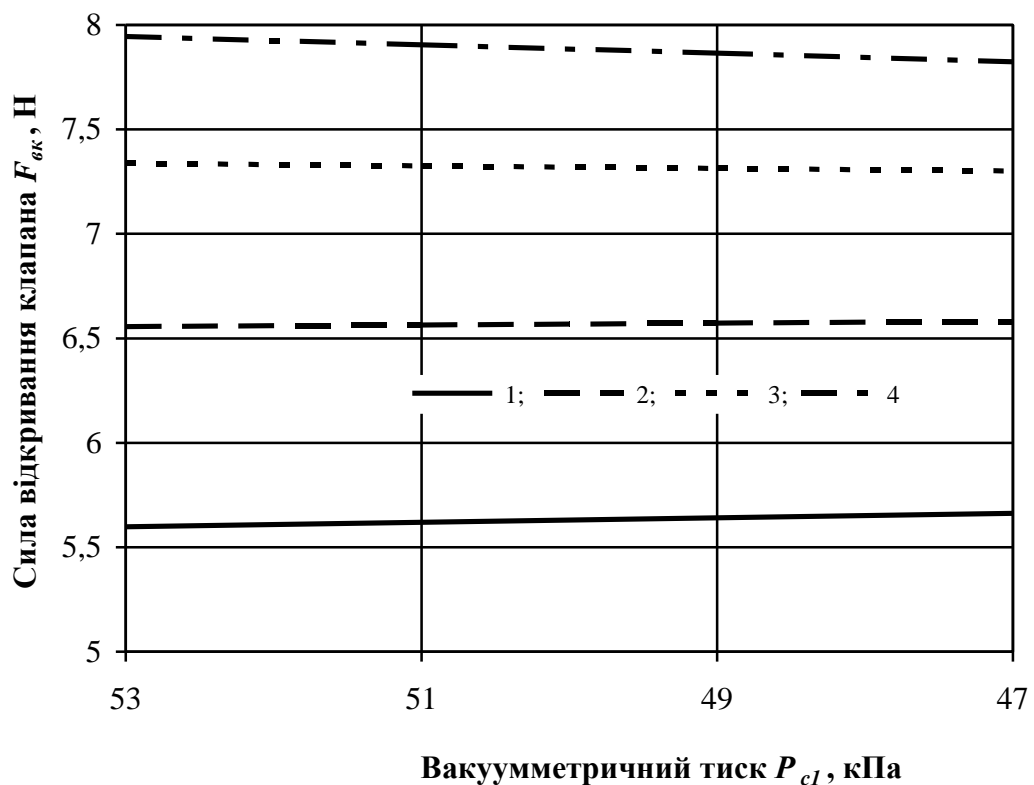


Рис. 3.3. Залежність результуючого зусилля відкривання клапана від рівня вакуумметричного тиску у піддійковому просторі доїльного стакана та співвідношення діаметра клапана до діаметра мембрани: 1 – $d_{кл}/d_{мб}=0,6$; 2 – $d_{кл}/d_{мб}=0,6666$; 3 – $d_{кл}/d_{мб}=0,7143$; 4 – $d_{кл}/d_{мб}=0,75$

Вплив рівня вакуумметричного тиску (рис. 3.3) на зусилля відкривання клапана ($F_{вк}$) знаходиться на рівні 0,3–1,5 %, що є не суттєвим для

досліджуваного діапазону співвідношення параметрів клапана та мембрани. Значний вплив, на рівні 27–29 %, має співвідношення діаметра клапана до діаметра мембрани розробленого механізму генерування мікроколивань дійкової гуми. Таким чином, навіть найменше співвідношення вказаних діаметрів забезпечить гарантоване відкриття клапана під час такту стиску. При цьому, запропоноване рішення буде актуальним як для двотактних так і для тритактних доільних апаратів.

При відкритому положенні клапана тиск над мембраною, через деякий проміжок часу, зміниться з вакуумметричного на атмосферний. Якщо з обох боків мембрани встановиться однаковий тиск, то під дією пружних сил мембрани та сили притискування на клапан з боку атмосферного тиску – клапан закриється. Необхідне зусилля для короткотривалого закривання клапана при вказаних умовах визначимо шляхом аналізу графічних залежностей на рис. 3.4.

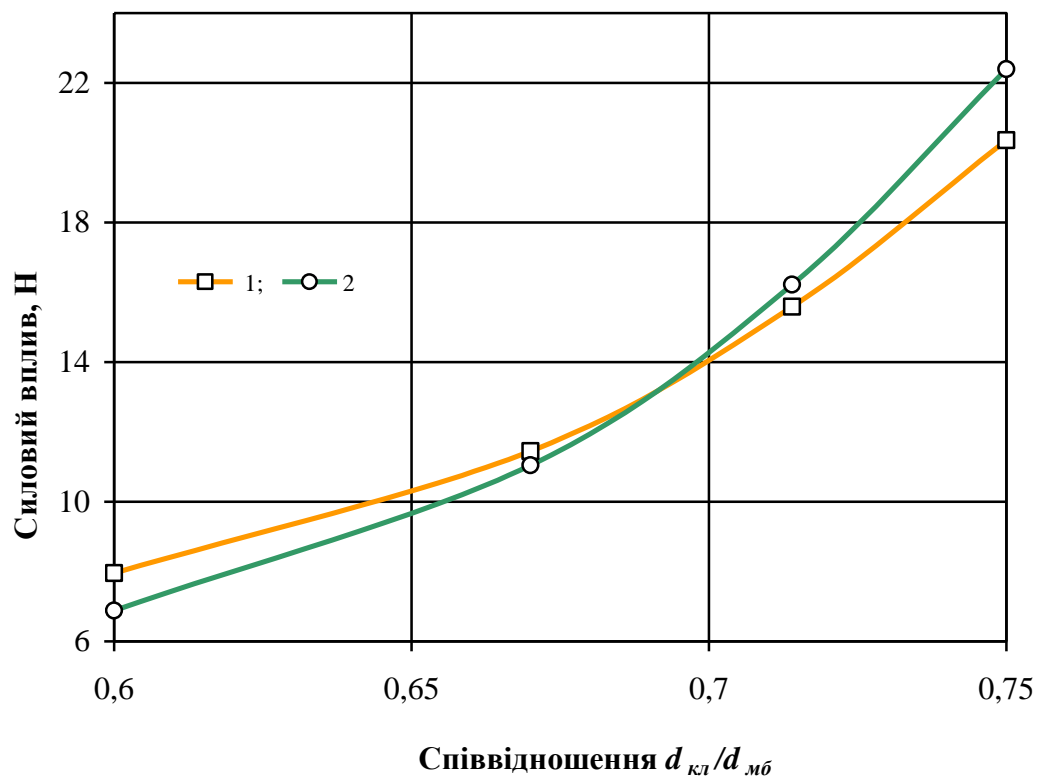


Рис. 3.4. Співвідношення сил, що діють на клапанний механізм під час такту стиску: 1 – зусилля котре прагне тримати клапан відкритим; 2 – зусилля котре прагне закрити клапан

Як видно з рис. 3.4. для короткотривалого закривання клапана маємо використовувати співвідношення діаметра клапана до діаметра мембрани котре перевищує величину $d_{к\lambda}/d_{мб}=0,70$. При меншому значенні співвідношення геометричних параметрів клапанного механізму короткотривалого закривання клапана не буде, а тому не буде реалізовано фізичний принцип функціонування розробленого доїльного стакана.

Повітря з надмембранного простору буде відсмоктуватись через дросельну трубку до молочної трубки доїльного стакана, що знизить рівень вакууму під дією корови. Через деякий момент часу, із-за того що тиск над мембраною знизиться, клапан черговий раз відкриється. Так буде тривати з деякою періодичністю до завершення такту стиску.

Тривалість процесу зміни тисків у просторі над мембраною визначається за формулою [7, 10]:

$$t = \frac{V}{76 \cdot k_p} \ln \left(\psi \frac{P_{c1}}{P_{c2}} \right), \quad (3.7)$$

де V – об'єм камери над мембраною, см³;

ψ – коефіцієнт, що впливає на час залежно від різниці тисків;

k_p – коефіцієнт Пуазейля.

Коефіцієнт Пуазейля визначається за відомою формулою [22, 23]:

$$k_p = \frac{\pi \cdot d_o^4}{128 \cdot l_o \cdot \eta_s}, \quad (3.8)$$

де d_o – діаметр трубки, см;

l_o – довжина трубки, см;

η_s – динамічна в'язкість повітря, $\eta_s=0,000181$ г/см×с.

Коефіцієнт впливу часу залежно від тисків (ψ) визначається з врахування абсолютних значень тисків з обох боків мембрани у момент перемикання клапана [10, 23]:

$$\psi = \frac{152 - P_{c2}}{152 - P_{c1}}, \quad (3.9)$$

де P_{c2} – тиск в міжстінній камері, мм.рт.ст.;

P_{c1} – тиск в піддійковій камері, мм.рт.ст.

Графічно вплив геометричних параметрів розробленого механізму на кількість періодичних змін положення клапана зображено на рис. 3.5.

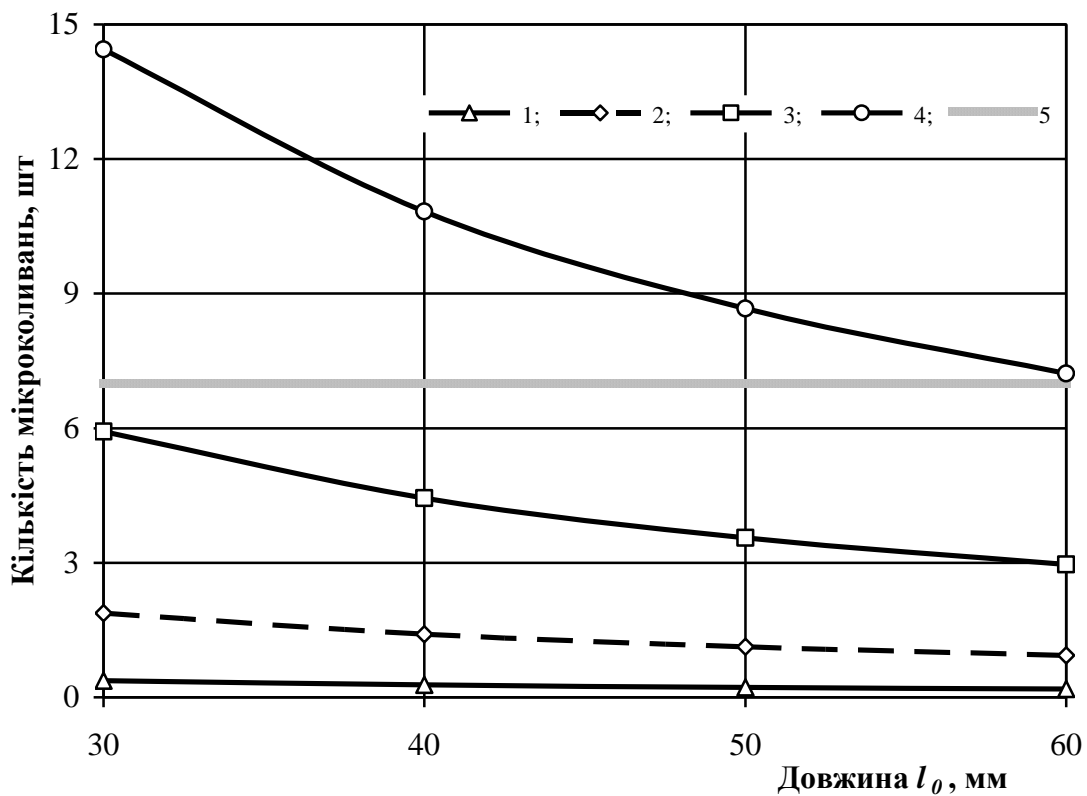


Рис. 3.5. Залежність частоти мікроколивань дійкової гуми від довжини дросельної трубки l_0 при її діаметрі: 1 – $d_0=1$ мм; 2 – $d_0=1,5$ мм; 3 – $d_0=2$ мм; 4 – $d_0=2,5$ мм; 5 – сім мікроколивань, як у серійного пульсатора.

Аналіз графічних залежностей на рис. 3.5 вказує на суттєвий вплив діаметра дросельної трубки та її довжини на тривалість зміни тиску у просторі

над мембраною розробленого механізму стимулюючих подразнень. Так, збільшення довжини (l_o) дросельної трубки від 30 до 60 мм викликає зменшення кількості мікроколивань у два рази, незалежно від її діаметра. При збільшенні діаметра (d_o) дросельної трубки від 1,5 мм до 2,5 мм кількість мікроколивань зростає у 8 разів, незалежно від її довжини та об'ємі камери над мембраною $1,2 \text{ см}^3$. Зі збільшенням об'єму простору над мембраною час спрацювання пристрою також зростає, тому необхідно прагнути мінімізувати його величину.

Таким чином, довжина дросельної трубки визначається конструкційними особливостями та компоновочними рішеннями при удосконаленні доїльного стакана. Але, встановлено, що чим коротший дросельний канал тим менше часу на зміну положення клапана за рахунок зменшення втрат по довжині трубки.

3.2. Висновки до розділу 3

1. Розроблений клапанний пристрій забезпечує основне своє призначення, котре полягає у генеруванні мікроколивань дійкової гуми під час такту стиску. Саме ці мікроколивання й створюватимуть стимулюючий ефект для повноти молоковіддачі.

2. Дослідження конструкційних та геометричних параметрів розробленого пристрою вказали на залежність режимів його функціонування від діаметра мембрани та діаметра клапана. При цьому інтенсивність мікроколивань визначається, також, довжиною та діаметром дросельного каналу, котрий поєднує камеру над мембраною та піддійковим простором доїльного стакана. При проектуванні варто керуватися значенням співвідношення $d_{кл}/d_{мб}$ більшим за 0,70, при довжині дросельної трубки не більше 60 мм при діаметрі не менше ніж 2,5 мм.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз конструкційних особливостей серійних доїльних апаратів різних виробників виявив їх невідповідність щодо зоотехнологічних вимог до машинного доїння корів. Зокрема, це стосується забезпечення стимулюючих подразнень під час машинного доїння корів для забезпечення повноти молоковіддачі. Встановлено, що покращення доїльного апарату можливе шляхом надання йому здатності створювати стимулюючі подразнення під час машинного доїння корів безпосередньо через удосконалену конструкцію доїльного стакана. Причому, нове технічне рішення повинно задовольняти доїльні апарати з режимом роботи як одночасного так і попарного доїння.

2. Розроблена конструкція доїльного апарата з механізмом створення стимулюючих подразнень під час такту стиску. Запропонований клапанний механізм забезпечує виникнення мікроколивань дійкової гуми під час машинного доїння у такті стиску завдяки багаторазовій зміні положення клапана. За рахунок механічного впливу від відкривання-закривання клапана виникають мікроколивання дійкової гуми, а за рахунок зниження рівня вакуумметричного тиску під дійкою тварини, коли відкритий клапан, зменшується негативна дія високого вакууму на дійку тварини, що позитивно вплине на здоров'я вимені корови в цілому.

3. Теоретичні дослідження вказали на несуттєвий вплив рівня вакуумметричного тиску (оцінювали зміну тиску від 53 до 47 кПа) у піддійковому просторі доїльного стакана на величину зусилля утримання клапана закритим під час такту ссання. Зростаюче співвідношення діаметра клапана до діаметра мембрани викликає збільшення сили притискання на 85 % при тиску 53 кПа та на 87 % при тиску 47 кПа. Геометричні параметри клапана та мембрани є визначальними при проектуванні запропонованого механізму стимулюючих подразнень навіть для низьковакуумних доїльних апаратів. Під час такту стиску рівень впливу співвідношення діаметра клапана до діаметра мембрани на зусилля відкривання клапана має на 27–29 % суттєвіший вплив

ніж рівень вакуумметричного тиску в доїльному стакані у просторі під дійкою. При цьому найменше співвідношення вказаних діаметрів забезпечить гарантоване відкривання клапана під час такту стиску як для двотактних так і для тритактних доїльних апаратів.

4. Встановлено, що для короткотривалого закривання клапана під час такту стиску необхідно застосовувати співвідношення діаметра клапана до діаметра мембрани починаючи від $d_{кл}/d_{мб}=0,70$. При меншому значенні співвідношення $d_{кл}/d_{мб}$ короткотривалого закривання клапана не відбудеться, а тому не буде реалізовано фізичний принцип функціонування розробленого доїльного стакана.

5. Встановлено суттєвий вплив діаметра дросельної трубки та її довжини на тривалість зміни тиску у просторі над мембраною розробленого механізму стимулюючих подразнень. Доведено, що зі збільшенням довжини (l_o) дросельної трубки від 30 до 60 мм зменшується вдвічі кількість мікроколивань, а при збільшенні її діаметра (d_o) від 1,5 мм до 2,5 мм кількість мікроколивань зростає у 8 разів. Результатом досліджень є обґрунтування раціональних параметрів дросельної трубки. Так, діаметр трубки має бути не менше 2,5 мм, довжина до 50 мм при об'ємі камери над мембраною $1,2 \text{ см}^3$. За таких геометричних параметрів буде відбуватись більше восьми мікроколивань дійкової гуми доїльного стакана під час такту стиску при робочому вакуумметричному тиску доїльного апарата на рівні 47 кПа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технология производства молока на промышленной основе. / под ред. Е. И. Админа. К.: Урожай, 1983. 168 с.
2. Вальдман З. К. Физиология машинного доения коров. Л.: Колос, 1977. 190 с.
3. Велиток И. Г. Технология машинного доения коров. М.: Колос, 1975. 248 с.
4. Велиток И. Г. Физиология молокоотдачи при машинном доении. К.: Урожай, 1974. 118 с.
5. Смоляр В. Рівень захворюваності корів на мастит за використання різних типів доїльних установок. *Техніка і технології АПК*. 2014. №1. С 17–20.
6. Фененко А. І. Техніко-технологічні аспекти удосконалення біотехнічної ланки «машина-тварина» процесу виробництва молока. *Механізація і електрифікація сільського господарства*. 2007. Вип. 91. С 65–77.
7. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І. Машини та обладнання для тваринництва : підручник. К. : Кондор, 2012. 713 с
8. Климчук А. А. Встановлення відповідності доїльних апаратів фізіологічним вимогам машинного доїння. *Збірник тез науково-практичної конференції I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей*. 18 січня 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 15–17.
9. Карташов Л. П. Машинное доение коров. М. : Колос, 1982 301 с.
10. Фененко А. І. Механізація доїння корів. Теорія і практика. К., 2008. 200 с.
11. Гриневич И. И. Доение коров с увеличенной частотой пульсации резины доильных стаканов. *Зоотехния*. 1993. № 3. С. 14–16.

12. Дмитрів В. Т. *Машиновикористання в тваринництві : курс лекцій*. Львів : ЛДАУ, 2002. 202 с.
13. Кондур С. М. Адаптування режиму роботи доїльного апарата до умов доїння. *Механізовані процеси сільськогосподарського виробництва : зб. наук. пр.* Львів : Львів. держ. с.-г. ін-т, 1996. С. 82–85.
14. Дмитрів В. Т. Дослідження інтенсивності молоковіддачі при різних режимах роботи доїльних апаратів. *Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження*. 2006. № 10. С. 226–230.
15. Доїльний стакан : деклараційний патент на винахід 53341 Україна : МПК А01J 5/08. № 2002043658 / Чайковський Б. П., Лисий В. А., Занічковська Л. В., Павлик Н. І., Петришак Р. А. ; заявл. 30.04.2002; дата публ. 15.01.2003, Бюл. № 1.
16. Гриневич И. И. Зависимость изменения частоты пульсации доильного аппарата от колебаний рабочего вакуума. *Мех. и электр. с.-х.* 1991. №10. С. 22–26.
17. Луценко М. М. Розробка зоотехнічних основ функціонування біотехнічних систем доїння і напрямків їх удосконалення : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня д-ра с.-х. наук. К.: УДАУ, 1993. 44 с.
18. Луценко М. М., Іванишин В. В., Смоляр В. І. Перспективні технології виробництва молока: монографія. К.: Видавничий центр «Академія», 2006. 192 с.
19. Заболотько О. О. Обґрунтування параметрів доїльного апарата попарно-комбінованого типу : дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. К., 2000. 150 с.
20. Медведський О. В., Климчук А. А. Обґрунтування параметрів та режимів роботи доїльного апарата зі стимулюючим ефектом. *Матеріали науково-практичної конференції «Наукові читання–2020»*. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. С. 99–101.

21. Медведський О. В., Климчук А. А. Покращення транспортувальних характеристик доїльних апаратів. *Біоенергетичні системи : Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції*. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. Ч. 2 С. 59–60.
22. Бойко А. В. Гідрогазодинаміка : підручник. Х. : НТУ «ХП», 2007. 444 с.
23. Розанов Л. Н. Вакуумная техника : учебник. М. : Высш. шк., 1990. 320 с.