

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

УДК 631.363

Кваліфікаційна робота на правах
рукопису

АВРАМЧУК Віталій Вікторович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЇ ТА РЕЖИМІВ
РОБОТИ КОЛЕКТОРА ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА**

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

Аврамчук В. В. **Обґрунтування параметрів конструкції та режимів роботи колектора доїльного апарата.** – 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 проаналізовано відомі конструкційні рішення колекторів серійних доїльних апаратів провідних світових виробників. Встановлено, що недостатньо ефективно реалізовано спосіб вивільнення молочної камери колектора від молока, особливо під час доїння високопродуктивних корів.

Кваліфікаційна робота вирішує науково-технічне завдання підвищення ефективності функціонування колектора доїльного апарата за рахунок обґрунтування конструкційних параметрів та режимів роботи системи вивільнення молочної камери колектора від молока.

Виконані аналітичні та експериментальні дослідження дозволили встановити взаємозв'язок між геометричними параметрами вертикальної молочної трубки, рівнем вакуумметричного тиску, параметрами інтенсивності молоковіддачі та оптимального потоку повітря через повітророзподільник.

Ключові слова: діаметр молочної патрубку, повітряний канал, інтенсивність молоковіддачі, вакуумметричний тиск, молочна камера.

ANNOTATION

Avramchuk V. V. **Substantiation of design parameters and modes of operation of the milking machine collector.** – Qualification work on the rights of the manuscript.

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

In the qualification work the known design decisions of collectors of serial milking machines of the leading world manufacturers are analyzed. It is established that the method of releasing the milk chamber of the collector from milk is not implemented effectively enough, especially during milking of highly productive cows.

Qualification work solves the scientific and technical problem of increasing the efficiency of the collector of the milking machine by substantiating the design parameters and modes of operation of the system of releasing the milk chamber of the collector from milk.

Analytical and experimental studies have established the relationship between the geometric parameters of the vertical milk tube, the level of vacuum pressure, the parameters of the intensity of milk production and the optimal air flow through the air distribution system.

Key words: diameter of a milk branch pipe, air channel, intensity of milk yield, vacuum gauge pressure, milk chamber.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙНИХ РІШЕНЬ КОЛЕКТОРІВ ДОЇЛЬНИХ АПАРАТІВ	7
1.1. Оцінка конструкційно-технологічних схем колекторів доїльних апаратів	7
1.2. Аналіз впливу режимів роботи колекторів доїльного апарата на параметри потоку молока	11
1.3. Висновки до розділу 1	13
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ КОЛЕКТОРА З ВЕРТИКАЛЬНОЮ МОЛОЧНОЮ ТРУБКОЮ	14
2.1. Встановлення режимних характеристик потоку молока у колекторі ..	14
2.2. Теоретичне обґрунтування конструкційно-технологічної схеми колектора з верхнім виведенням молока	16
2.3. Висновки до розділу 2	18
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ КОЛЕКТОРА З ВЕРТИКАЛЬНИМ ВИВІЛЬНЕННЯМ МОЛОКА	19
3.1. Визначення впливу інтенсивності потоку повітря на ефективність вивільнення молочної камери колектора	19
3.2. Встановлення впливу геометричних та технологічних параметрів колектора на ефективність роботи доїльного апарата	25
3.3. Висновки до розділу 3	28
ВИСНОВКИ	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	31

ВСТУП

Актуальність теми. Колектор доїльного апарата виконує одну із найважливіших функцій в системі технології машинного доїння корів. А саме, забезпечення ефективного виведення отриманого від долей вимені корови молока до доїльного відра або молокопроводу доїльної установки. Присутність на ринку різноманітних конструкційних рішень колекторів доїльних апаратів вказує на постійний пошук оптимального технічного рішення.

У деяких роботах вчених відзначається [1, 2], що невідповідність конструкційних та геометричних параметрів колекторів до режимів молоковиведення доїльним апаратом може призвести до негативних наслідків. Так, під час доїння високопродуктивних корів може спостерігатись переповнення молочної камери колектора молоком із-за недосконалості конструкції або необґрунтованості параметрів молочних патрубків та вакуумного режиму роботи доїльного апарата. В свою чергу, у переповненому молоком колекторі знижується вакуумметричний тиск, що може викликати спадання доїльних стаканів. Окрім цього можливий зворотний тік молока, а це викличе негативну дію на дійки вимені і, як наслідок, можливе захворювання корів на мастит. Рух молока у системі його транспортування буде нестабільним та пульсуючим, що викличе його спінювання та втрату технологічних показників якості [3].

Таким чином, удосконалення колектора доїльного апарата з метою покращення функціональності та відповідності фізіології машинного доїння корів є актуальною проблемою сьогодення, вирішення якої сприятиме підвищенню технологічної якості незбираного молока.

Мета і задачі досліджень. Мета досліджень – підвищення ефективності колекторів доїльного апарата шляхом обґрунтування раціональних конструкційно-технологічних параметрів системи виведення молока до молокопроводу доїльної установки.

Для досягнення поставленої мети підлягають вирішенню такі завдання:

- оцінити техніко-технологічні параметри колекторів серійних доїльних апаратів;
- обґрунтувати напрям удосконалення колектора, розробити конструкційно-технологічну схему колектора з вертикальним молочним патрубком;
- обґрунтувати параметри розробленої конструкції колектора доїльного апарата, встановити взаємозв'язок геометричних параметрів системи виведення молока з технологічними режимами роботи доїльного апарата;
- встановити ефективність використання розробленого колектора та вплив на технологічну якість молока під час машинного доїння корів.

Об'єкт дослідження – колектор доїльного апарата із вертикальною системою виведення молока із молочної камери.

Предмет дослідження – вплив геометричних параметрів розробленого колектора з верхнім виведенням молока на технологічні показники роботи доїльного апарата.

Методи досліджень. При вирішенні основних завдань на кваліфікаційну роботу використовували основні положення теорії математичного моделювання із застосуванням положень гідро-газодинаміки, теплотехніки та вакуумної техніки. Теоретичні дослідження проводились з метою отримання аналітичних залежностей, які дозволяють встановити конструкційно-технологічні параметри колектора доїльного апарата із верхнім відведенням молока.

Обробка та аналіз результатів досліджень здійснювалась з використанням теорії ймовірності, кореляційного та регресійного аналізу, використовувався комп'ютерний програмний продукт Excel.

Апробація результатів роботи. Результати пошукових та теоретичних досліджень за тематикою кваліфікаційної роботи пройшли апробацію на внутрішньовузівських міжфакультетських та міжнародній конференціях, відображені у наступних опублікованих роботах:

1. Аврамчук В. В. Конструкційно-технологічні рішення колекторів доїльного апарата. *Наукові читання–2021* : матеріали науково-практичної

конференції. 20 травня 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 25–27.

2. Медведський О. В., Аврамчук В. В. Характеристика потоку суміші молока та повітря у молокопроводі. *Біоенергетичні системи* : матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Житомир: Поліський національний університет, 2021. Том 2. С. 38–39.

3. Медведський О. В., Аврамчук В. В. Вплив технологічного процесу машинного доїння на конструкцію колектора доїльного апарата. *Студентські читання–2021* : матеріали науково-практичної конференції. 15 листопада 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 20–22

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота включає вступ, три розділи основної частини, загальні висновки, список використаних літературних джерел (21 найменування), викладена на 32 сторінках комп'ютерного тексту, проілюстрована 12 рисунками.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙНИХ РІШЕНЬ КОЛЕКТОРІВ ДОЇЛЬНИХ АПАРАТІВ

1.1. Оцінка конструкційно-технологічних схем колекторів доїльних апаратів

Колектор доїльного апарата призначений для розподілення змінного тиску від пульсатора до міжстінкових просторів доїльних стаканів, збирання молока, виведеного від окремих часток вим'я, з піддійкових просторів доїльних стаканів та його транспортування в молокозбірник (доїльне відро), забезпечення такту відпочинку в тритактних доїльних апаратах [4, 5].

Залежно від прийнятого режиму роботи пульсатора доїльного апарата колектори бувають (рис. 1.1) [6]:

- за кількістю реалізованих тактів – двотактні та тритактні;
- за конструкційними особливостями – двокамерні, трикамерні та чотирикамерні.

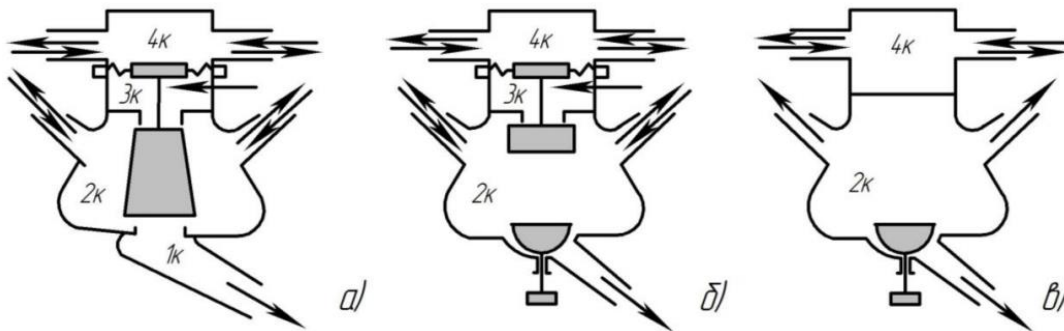


Рис. 1.1. Конструкційні схеми колекторів доїльних апаратів: *а* – тритактне виконання *б* – низьковакуумне виконання; *в* – двотактне виконання; 1к – камера з незмінним вакуумметричним тиском; 2к – камера для накопичення молока від доїльних стаканів; 3к – камера з незмінним атмосферним тиском; 4к – камера розподілу вакуумметричного або атмосферного тиску до міжстінкових просторів доїльних стаканів [6].

Колектори доїльного апарата різних виробників мають відмінний матеріал конструкційних елементів, відрізняються об'ємами молочних камер, мають різний дизайн та технологічні характеристики та особливості функціонування.

Так колектор для тритактного доїльного апарата (рис. 1.1, *a*) має складну конструкцію. Складність конструкції викликає складність сервісних дій та експлуатації такого колектора. Недоліком тритактного колектора є присутність клапана, який спричиняє перешкоди потоку молока, викликає диспергування та відкладення молочного жиру [4, 6].

Проміжним варіантом є низьковакуумний колектор (рис. 1.1, *б*), який дозволяє знизити рівень вакуумметричного тиску під дійкою корови та інтенсифікує вивільнення молочної камери від молока. Але з такою конструкцією важко реалізувати попарний режим доїння [4, 6].

Найбільш поширеним є двотактне виконання колектора доїльного апарата (рис. 1.1, *в*). Такий колектор дає змогу реалізувати попарний режим та швидке доїння. Недоліком двотактного колектора є переповнення молочної камери молоком, оскільки недосконала система нижнього підводу повітря [4, 6].

Будь-який доїльний апарат складається з пульсатора, підвісної частини, комплекту гнучких шлангів різного діаметра та молокозбірної місткості. До складу підвісної частини доїльного апарата входять доїльні стакани, колектор та гнучкі прозорі повітря- або молокопроводні шланги різного діаметра, котрі поєднуються в одну систему.

Колектор та доїльні стакани поєднуються у підвісну частину доїльного апарата (рис. 1.2) [5]. Доїльні стакани безпосередньо контактують із долями вимені корови, забезпечують реалізацію тактів пульсатора доїльного апарата. Під час такту ссання, молоко із піддійкових просторів доїльних стаканів спрямовується до молочної камери колектора, а звідти через молочний патрубок і гнучкий молочний шланг до доїльного відра або до молокопроводу доїльної установки.



Рис. 1.2. Колектор доїльного апарата із нижнім відведенням молока виробництва фірми «DeLaval»: 1 – стакан доїльний; 2 – молочна камера колектора; 3 – розподільна камера колектора для попарного режиму доїння; 4 – патрубок молочний.

Колектори із нижнім відведенням надоєного молока мають деякі недоліки пов'язані із ефективністю даного процесу. Це, в першу чергу, стосується випадків доїння високопродуктивних корів. Так, внаслідок переповнення молочної камери виникають суттєві перепади тиску, що негативно впливає на здоров'я тварин. Окрім цього, до молочної камери надходить повітря із інтенсивністю залежно від різниці тисків. Тому, зі зниженням вакуумметричного тиску у молочній камері із-за її переповнення погіршуються умови виведення молока до молочного відра або до молокопроводу доїльної установки [7, 8].

Для вирішення поданої вище проблеми, виробник доїльного обладнання фірма «DeLaval» пропонує колектор доїльного апарата з верхнім відведенням молока до молочного патрубку і далі до молокопроводу або молочного відра (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Колектор доїльного апарата із верхнім виведенням молока фірми «DeLaval»: 1 – стакани доїльні; 2 – патрубки розподільної камери; 3 – патрубок молочний; 4 – молочна камера [9, 10].

Верхнє розташування молочного патрубку покращує процес виведення молока із молочної камери за рахунок отримання більш рівномірного потоку молока та відсутності суттєвих коливань вакуумметричного тиску. За умови такого рішення надходженню повітря ніщо не перешкоджає, тобто йому не потрібно проходити через молоко. Це, також, сприяє зменшенню спінювання молока та втрати якісних властивостей за рахунок збереження цілими жирових кульок. Але наявність запобіжного клапана та відсутність систем убезпечення від можливого падіння вказує на деяку невідповідність такого колектора вимогам машинного доїння корів.

Тому, виникає наукове завдання пошуку технічного рішення конструкції колектора доїльного апарата з можливістю ефективного виведення накопиченого у молочній камері молока.

1.2. Аналіз впливу режимів роботи колекторів доїльного апарата на параметри потоку молока

Продуктивність корів на молочних фермах постійно зростає, що є наслідком селекційних процесів, а також, створенням комфортних умов утримання та годівлі повноцінними кормовими раціонами. Використання неадаптованих доїльних апаратів може спричинити деякі проблеми. Зокрема, при доїнні високопродуктивних корів за рахунок інтенсивної молоковіддачі може виникати переповнення молочної камери колектора, що спонукає зворотний рух молока, може бути і спадання доїльних стаканів з вимені, при цьому виникає коливання вакуумметричного тиску у піддійковому просторі доїльних стаканів та їх наповнення на долі вимені корови. Все це негативно впливає на здоров'я вимені корови та технологічну якість отриманого молока.

Використання доїльних апаратів із недостатньою пропускною спроможністю під час доїння високопродуктивних корів може викликати їх неповне видоювання, що призводить до втрати продуктивності корів, зниження жирності отриманого молока та погіршення здоров'я корів із-за можливого виникнення маститів [11, 12].

За таких умов на тваринницьких підприємствах, як вихід із вказаної ситуації, можна запроваджувати наступні заходи [8, 12]:

- триразове доїння, яке вимагає додаткових витрат трудових ресурсів, при цьому зростають витрати електроенергії, що не може бути економічно доцільним заходом;
- використання обладнання закордонного виробництва, що вимагає додаткових витрат на навчання операторів машинного доїння, використання дорогих комплектуючих та фірмового технічного обслуговування, що також вимагає додаткових матеріальних видатків, окрім цього, виробник молока буде залежний від курсу валют, що вимагатиме тримати деякі резерв коштів.

Тому актуальною є проблема розроблення доїльного апарату, який би забезпечував високу швидкість видоювання за умови стабільного

вакуумметричного тиску у піддійковому просторі доїльних стаканів та забезпечував збереження здоров'я корів та їх високу продуктивність. Такий доїльний апарат має відповідати не тільки сучасним технічним і технологічним вимогам, але і фізіологічним особливостям тварини.

Колектор доїльного апарата можна розглянути як змішувач молока з повітрям, при цьому утворюється суміш, що надходить до молокопроводу чи доїльного відра. Повітря, яке надходить до колектора забезпечує достатній перепад тиску для покращення роботи колектора та формує кращу пропускну спроможність доїльного апарата в цілому. Для різних доїльних апаратів притаманна своя подача повітря, яка може варіювати до 6,6 л/хв. для апаратів типу АДУ та до 10–11 л/хв. для доїльних апаратів іноземного виробництва [6].

Рух молока та повітря у суцільному потоці (рис. 1.4) характеризується різноманітними формами та режимами. Під час руху суміші повітря та молока молокопроводом, повітря може бути розподілене по всьому перетину гнучкого молокопроводу або у вигляді маленьких бульбашок, або у вигляді досить великих порожнин, що займають увесь перетин молокопроводу. Можливий, також, рух повітря у самому центрі молокопроводу, а рух молока буде здійснюватись по його стінках, утворюючи плівку. В такому випадку межа поділу рідкої та газоподібної фаз може бути як гладкою, так і нечітко визначеної форми у вигляді хвилястих ліній [7, 8, 11].

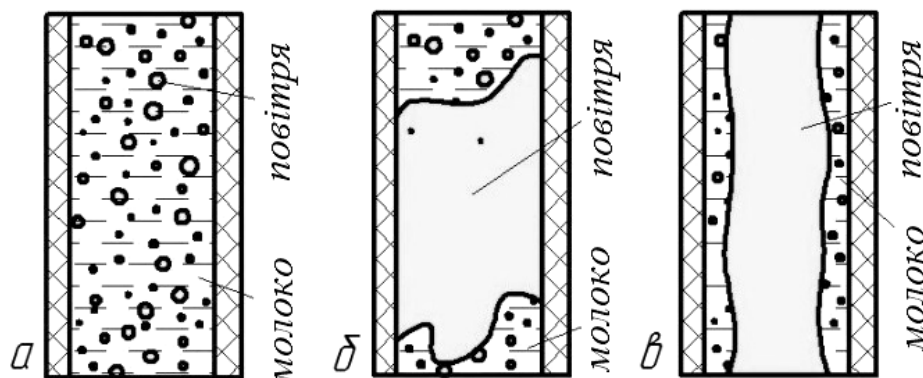


Рис. 1.4. Рух сумішки молока та повітря гнучким молокопроводом доїльного апарата [8]: а – бульбашковий; б – пробковий; в – кільцевий.

Як видно із рис. 1.4, структура молочно-повітряної суміші під час машинного доїння може мати три основні форми: кільцевої; пробкової та бульбашкової. Варто зауважити, що чіткої межі між структурами руху немає. Так, при збільшенні подачі повітря при постійній інтенсивності молоковіддачі або при зменшенні подачі молока і незмінному надходженні повітря спостерігається перехід від кільцевої структури до пробкової та бульбашкової. Якщо виконати попередні дії у зворотному напрямку, то будуть спостерігатися інша послідовність зміни фаз руху суміші молока та повітря у спільному молокопроводі [7, 8].

Таким чином, необхідно забезпечити оптимальне співвідношення повітря та молока у спільному потоці, що сприятиме підвищенню продуктивності доїльного апарата.

1.3. Висновки до розділу 1

1. Колектори доїльних апаратів різних виробників доїльного обладнання відрізняються своєю різноманітністю за конструкційним вирішенням системи виведення молока із молочної камери. Найбільш поширеними є системи нижнього виведення молока, але із-за можливих проблем з переповненням молочної камери сучасні доїльні апарати оснащують колекторами верхнього виведення, які наділені вищою стабільністю технологічного процесу.

2. Встановлено, що однією із перешкод стабільної роботи колектора доїльного апарата є розузгодження інтенсивності надходження повітря та швидкості молоковіддачі, що викликає різні режими руху молока гнучким молокопроводом до доїльного відра або молокопроводу. Під час удосконалення колекторів рекомендується вибирати бульбашковий режим руху молока, який забезпечує найбільш сприятливі умови для повного виведення молока з молочної камери.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ КОЛЕКТОРА З ВЕРТИКАЛЬНОЮ МОЛОЧНОЮ ТРУБКОЮ

2.1. Встановлення режимних характеристик потоку молока у колекторі

В колекторі доїльного апарата відбувається формування суміші молока із повітрям під час машинного доїння корів. Надходження повітря сприяє покращенню транспортуючих властивостей доїльного апарата. За даними деяких вчених [8, 13, 14], максимальна подача повітря до колектора доїльного апарата не повинна перевищувати 14 л/хв. Повітря до молочної камери колектора має надходити через спеціальний отвір у заданій кількості, щоб не спричинити надлишкову пульсацію потоку молока. Надлишкова пульсація сприяє спінюванню молока і, як наслідок, втраті якості надоеного молока, оскільки руйнуються жирові кульки. При надходженні повітря до колектора у неконтрольованій кількості за умови високої інтенсивності молоковіддачі може виникнути значне падіння вакуумметричного тиску, що спричинить погіршення режимних характеристик доїльного апарата. Але адекватна робота доїльного апарата в частині транспортування молока до молочного відра чи молокопроводу неможлива без додаткового надходження повітря, оскільки створюється необхідний перепад тисків між колектором та молокопроводом [8].

Дослідженнями вчених [14, 15] рекомендується подача повітря до колектора доїльних апаратів в межах 2–6 л/хв. Але за умови недостатньої інтенсивності повітряного потоку можуть виникати проблеми із своєчасним вивільненням від молока колектора доїльного апарата. Це може спостерігатись під час доїння високопродуктивних корів. Тому, сучасними дослідженнями [8] встановлено, що ефективною інтенсивністю надходження повітря буде величина яка не перевищує 8 л/хв. Таке обмеження пояснюється можливою небезпекою спадання доїльних стаканів із вимені корови за рахунок суттєвого

зниження вакуумметричного тиску. При цьому слід враховувати збільшену потребу у надходженні повітря при збільшенні інтенсивності молоковіддачі під час доїння високопродуктивних корів.

Для визначення структури потоку у молочному шлангові доїльного апарата сумішки молока та повітря та оцінці відомих меж режимів потоку, рекомендується використовувати коефіцієнт повітровмісту. Він визначається як відношення потоку повітря до потоку молочно-повітряної суміші [7, 8]:

$$\beta = \frac{Q_a}{Q_c} = \frac{Q_a}{Q_a + Q_m}, \quad (2.1)$$

де Q_a – інтенсивність надходження повітря до молочної камери колектора, м³/с;

Q_c – інтенсивність потоку суміші молока і повітря, м³/с;

Q_m – інтенсивність молотовіддачі під час машинного доїння корів, м³/с.

За даними [7, 15, 16], оптимальне значення коефіцієнта β знаходиться в межах 0,45–0,55. Але, в загальному, даний коефіцієнт знижується зі зростанням інтенсивності молоковіддачі.

З врахуванням рівняння (1), можна встановити інтенсивність потоку суміші молока та повітря:

$$Q_c = Q_m \left(\frac{Q_a}{Q_m} + 1 \right), \quad (2.2)$$

Відповідно до залежності (2.2), відношення інтенсивності подачі повітря до інтенсивності молоковіддачі можна назвати коефіцієнтом абсолютного вмісту повітря. Таким чином, інтенсивність подачі повітря буде знаходитись в прямій залежності від інтенсивності молоковіддачі, що є логічним. В свою чергу, інтенсивність подачі повітря до молочної камери колектора доїльного апарата буде визначатись площею поперечного перерізу отвору [17].

Тому, подальшими дослідженнями необхідно встановити оптимальні параметри отвору для подачі повітря та місце його розташування відносно вихідного молочного патрубка.

2.2. Теоретичне обґрунтування конструкційно-технологічної схеми колектора з верхнім виведенням молока

Аналіз результатів досліджень проведених у попередніх розділах вказує, що одним із напрямків підвищення ефективності роботи колектора є розроблення раціональної конструкційно-технологічної схеми колектора з верхнім відведенням молока, який забезпечив велику пропускну здатність системи виведення. Пропонується конструкція колектора із системою верхнього виведення молока (рис. 2.1), яка забезпечить стабільну роботу доїльного апарата незалежно від режимів доїння.

Принцип роботи запропонованого колектора наступний. Перед початком машинного доїння корів за допомогою фіксуючого штока 4 піднімають об'ємний клапан 5 доверху. У такому положення молочний патрубок 6 сполучається із вертикальною молочною трубкою 7 та молочною камерою колектора та піддйковим простором доїльних стаканів – відбувається такт ссання. Молоко, яке надходить від доїльних стаканів у молочну камеру, підіймається по вертикальній трубці до молочного патрубка і далі транспортується гнучким молочним шлангом до молочного відра або молокопроводу доїльної установки. Перевагою такого технічного рішення є відсутність поплавкового клапана, який присутній у конструкціях серійних колекторів доїльних апаратів. За рахунок цього на шляху потоку молока не буде ніяких перешкод, що сприяє швидкому вивільненню молочної камери колектора від молока.

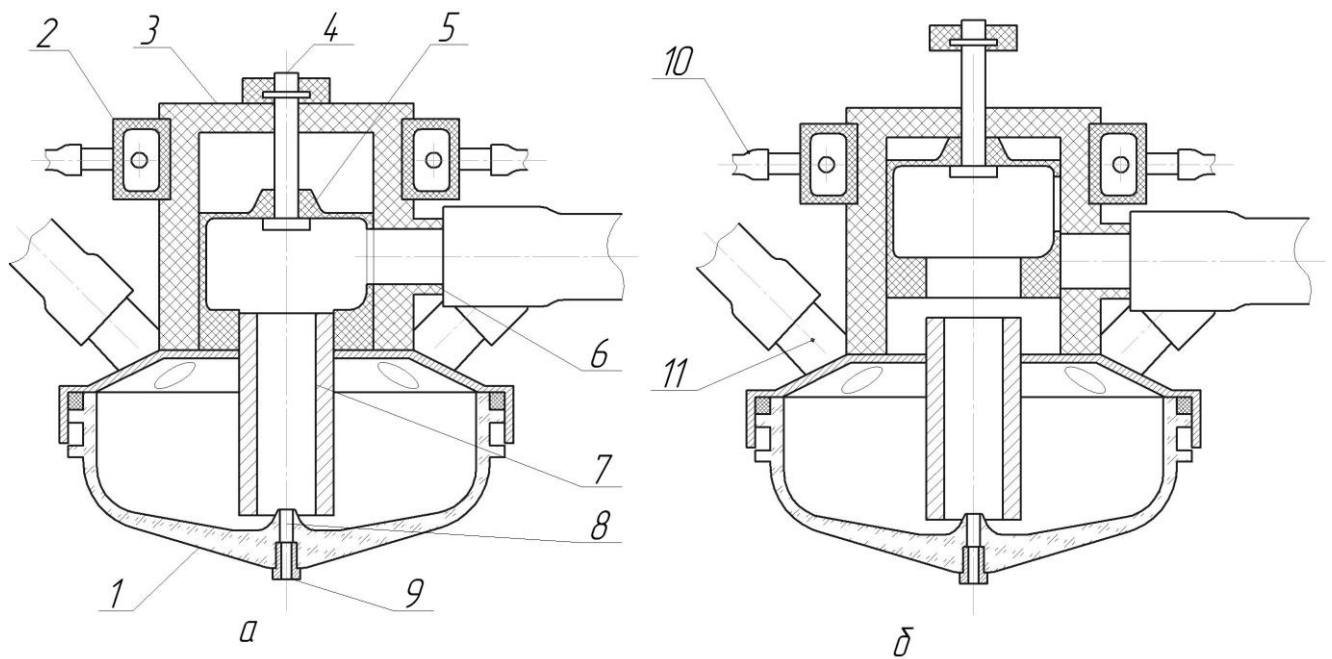


Рис. 2.1. Конструкційно-функціональна схема розробленого колектора: *а* – під час доїння; *б* – завершення доїння; 1 – молочна камера; 2 – розподільна камера; 3 – корпус; 4 – шток із фіксатором; 5 – об'ємний клапан; 6 – патрубок молочний; 7 – трубка молочна вертикальна; 8 – канал для повітря; 9 – регулятор надходження повітря; 10 – повітряний патрубок доїльного стакану; 11 – патрубок молочної трубки доїльного стакану.

Для підвищення інтенсивності потоку молока до молочного патрубка до молочної камери колектора через канал 8 надходить повітря. Утворюється молочно-повітряна суміш, фізико-механічні властивості якої (п. 2.1) сприяють транспортуванню із меншими зусиллями, тобто втратами. Тому, у такій конструкції буде відсутній зворотний тиск молока та переповнення молочної камери.

Залежно від продуктивності корів та характеристикам їх молоковіддачі, має бути адекватна інтенсивність потоку повітря, яке надходить до молочної камери колектора. З цією метою, у конструкцію колектора додали пристрій 9 для регулювання площі перерізу впускного каналу 8 (рис. 2.1).

Таким чином, запропонована конструкція колектора забезпечує стабільний вакуумний режим під час доїння, збільшує пропускну здатність за рахунок зниження втрат на переміщення суміші молока із повітрям, усувається зворотний потік молока, що забезпечує повноту молоковіддачі та збереження якості молока. Цьому сприяє безперешкодне проходження потоку молока до молочного шланга із-за відсутності будь-яких перешкод у вигляді поплавкових клапанів і т. д. У випадку спадання доїльних стаканів із вимені корови, до молочної камери буде надходити повітря із атмосферним тиском, а за рахунок того, що над об'ємним клапаном збережеться вакуумметричний тиск, він буде переміщуватись вгору до повного від'єднання молочної камери від молочного патрубка. Це убезпечить доїльну установку від значних втрат тиску та порушення роботи системи в цілому.

2.3. Висновки до розділу 2

1. Встановлено, що ефективність роботи колектора щодо повного вивільнення молочної камери від молока залежить від інтенсивності надходження повітря з атмосферним тиском. Причому, інтенсивність подачі повітря має узгоджуватись із інтенсивністю молоковіддачі корови. Вченими рекомендують обмеження надходження повітря для забезпечення оптимального балансу у молоко-повітряній суміші на рівні 8–14 л/хв.

2. Розроблена конструкція колектора доїльного апарата з верхнім відведенням молока дозволяє підвищити ефективність вивільнення молочної камери за рахунок відсутності перешкод на шляху молоко-повітряної суміші, а також за рахунок контрольованого надходження повітря через регульований канал. Рухомий об'ємний клапан убезпечує надходження повітря до вакуумної мережі доїльної установки у випадку спадання доїльних стаканів з вимені корови.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ КОЛЕКТОРА З ВЕРТИКАЛЬНИМ ВИВІЛЬНЕННЯМ МОЛОКА

3.1. Визначення впливу інтенсивності потоку повітря на ефективність вивільнення молочної камери колектора

Об'єм повітря, що надходить до молочної камери колектора є одним із визначальних факторів, які впливають на ефективність роботи доїльного апарата. Кількість та інтенсивність повітря, яке надійде до молочної камери залежить від геометричних параметрів складових колектора та вакуумного режиму (рис. 3.1).

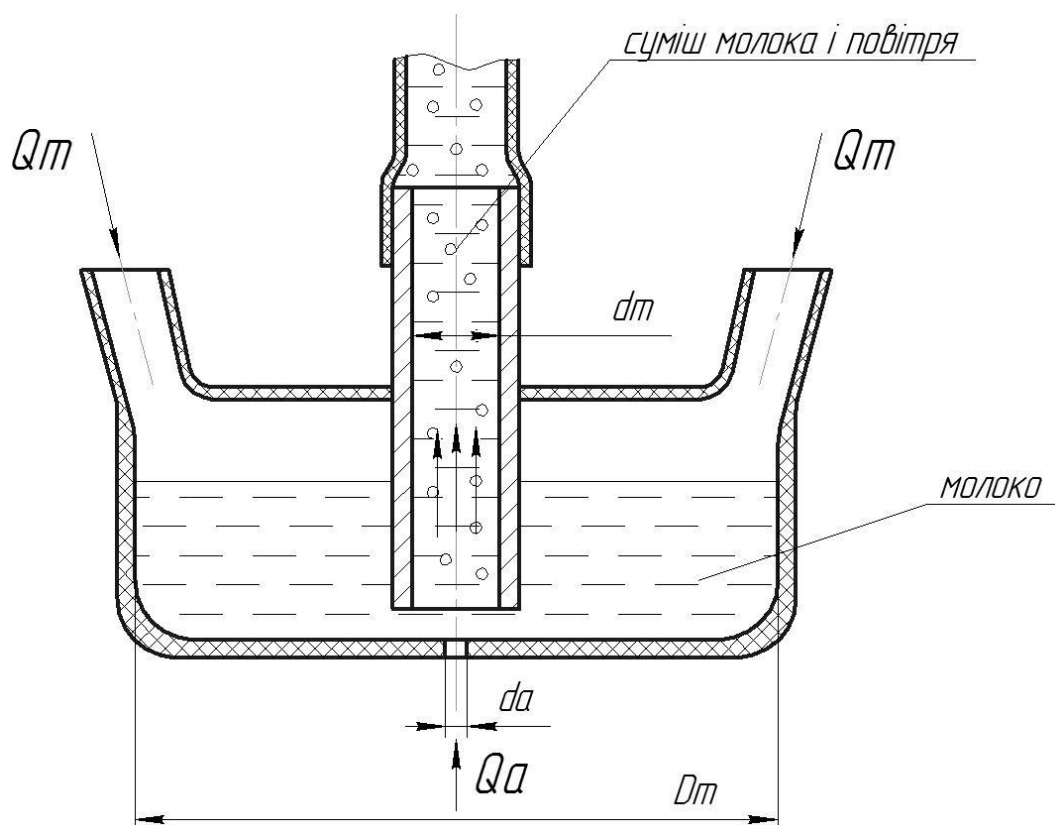


Рис. 3.1. Розрахункова схема визначення параметрів отвору для надходження повітря до молочної камери

Прийmemo, що потік молока та повітря до молочної камери колектора буде постійним. В такому випадку, відповідно до рекомендацій [18, 19], тиск над отвором для повітря у молочній камері визначається як:

$$p_m \geq p + \rho_c \cdot g \cdot z, \quad (3.1)$$

де p – рівень абсолютного тиску колекторі, кПа;

ρ_c – об'ємна маса суміші молока і повітря, кг/м³;

g – прискорення земного тяжіння, м/с²;

z – рівень молока над отвором, м.

Потік повітря до молочної камери сповільнюється силою ваги над прохідним отвором [20]:

$$F_a = f_a \cdot l_a \cdot \rho_a \cdot g, \quad (3.2)$$

де f_a – площа перерізу повітряного отвору з діаметром d_a , м²;

l_a – довжина стінки повітряного отвору, м;

ρ_a – густина повітря в заданих умовах, кг/м³;

В процесі руху повітря виникає сила тертя по стінках отвору [20]:

$$F_f = \lambda \frac{l_a}{d_a} \cdot \frac{v_a^2}{2} \cdot \rho_a \cdot f_a, \quad (3.3)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя;

v_a – швидкість потоку повітря, м/с;

d_a – діаметр повітряного отвору, м.

На основі вищевикладеного, відповідно до рекомендацій [18, 19], запишемо рівняння кількості руху з врахуванням деяких допущень – знехтуємо довжиною стінки отвору, оскільки вона відповідає товщині стінок молочної камери колектора, а сила тертя буде незначною:

$$\rho_a \cdot Q_a \cdot v_a = p_a \cdot f_a - \lambda \frac{v_a^2}{2} \cdot \rho_a \cdot f_a - (p + \rho_c \cdot g \cdot z) \cdot f_a, \quad (3.4)$$

де p_a – атмосферний тиск, кПа.

Якщо потік повітря записати як $Q_a = v_a \cdot f_a$, то рівняння (3.4) набуде вигляду:

$$\rho_a \cdot v_a^2 + \lambda \frac{v_a^2}{2} \cdot \rho_a = p_v - \rho_c \cdot g \cdot z, \quad (3.5)$$

де p_v – рівень вакуумметричного тиску, кПа.

Швидкість потоку повітря, відповідно (3.5), становитиме:

$$v_a = \sqrt{\frac{p_v - \rho_c \cdot g \cdot z}{\rho_a (1 + 0,5 \cdot \lambda)}}. \quad (3.6)$$

За допомогою залежності (3.6) можна визначити швидкість надходження повітря у молочну камеру колектора. Якщо у молочній камері колектора буде відсутнє молоко, друга складова у чисельнику прирівнюється до нуля.

Важливе значення для нормальної роботи колектора, є забезпечення оптимального співвідношення між інтенсивністю надходження повітря (Q_a) та інтенсивністю молоковіддачі (Q_m). Дані величини рекомендується [8] співвідносити за допомогою коефіцієнта вмісту повітря ($k = \frac{Q_a}{Q_m}$). З врахуванням рівняння (2.2), потік суміші молока та повітря становить:

$$Q_c = Q_m (k + 1), \quad (3.7)$$

Якщо прирівняти отримане рівняння (3.6) з рівнянням нерозривності потоку $v_a = \frac{4 \cdot Q_a}{\pi \cdot d_a^2}$, отримаємо залежність для визначення діаметра отвору для надходження повітря:

$$d_a = \sqrt{\frac{4 \cdot k \cdot Q_m}{\pi \sqrt{\frac{p_v - \rho_c \cdot g \cdot z}{\rho_a (1 + 0,5 \cdot \lambda)}}}} \quad (3.8)$$

Коефіцієнт вмісту повітря вибирається відповідно до рекомендацій [7, 8] залежно від інтенсивності молоковіддачі (рис. 3.2–3.3).

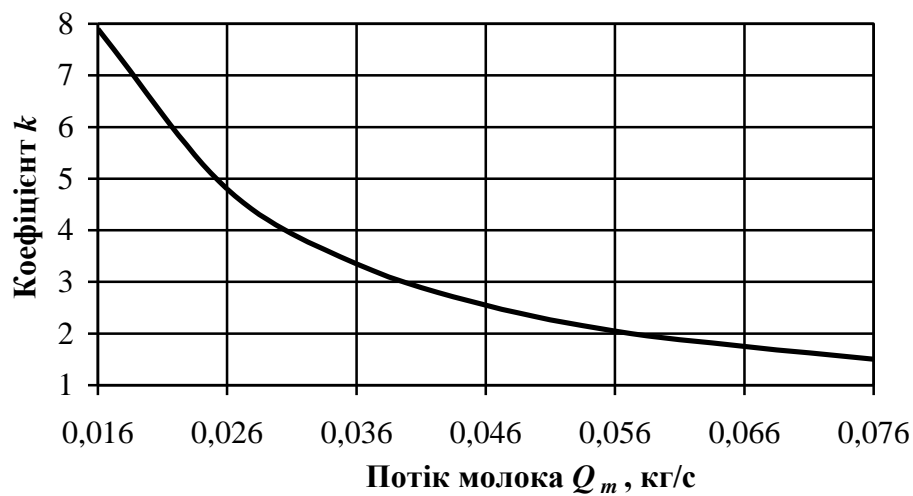


Рис. 3.2. Залежність коефіцієнта k від інтенсивності молоковіддачі Q_m .

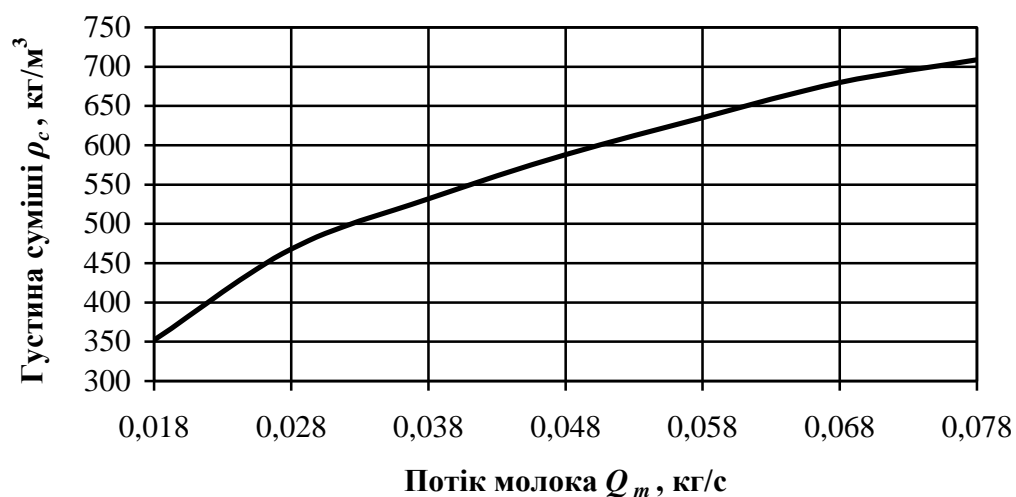


Рис. 3.3. Залежність коефіцієнта густини молоко-повітряної суміші ρ_c від інтенсивності молоковіддачі Q_m .

На основі проведених досліджень отримали рівняння регресії та побудували графічні залежності діаметра отвору для надходження повітря від інтенсивності надходження повітря та пропускної спроможності розробленого колектора (рис. 3.4–3.5).

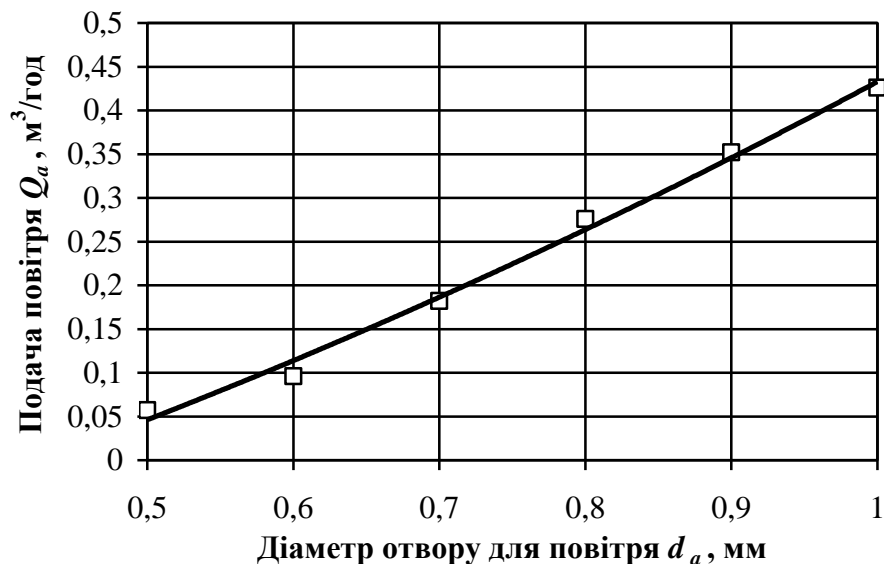


Рис. 3.4. Залежність інтенсивності подачі повітря (Q_a) до колектора від діаметра впускного отвору (d_a).

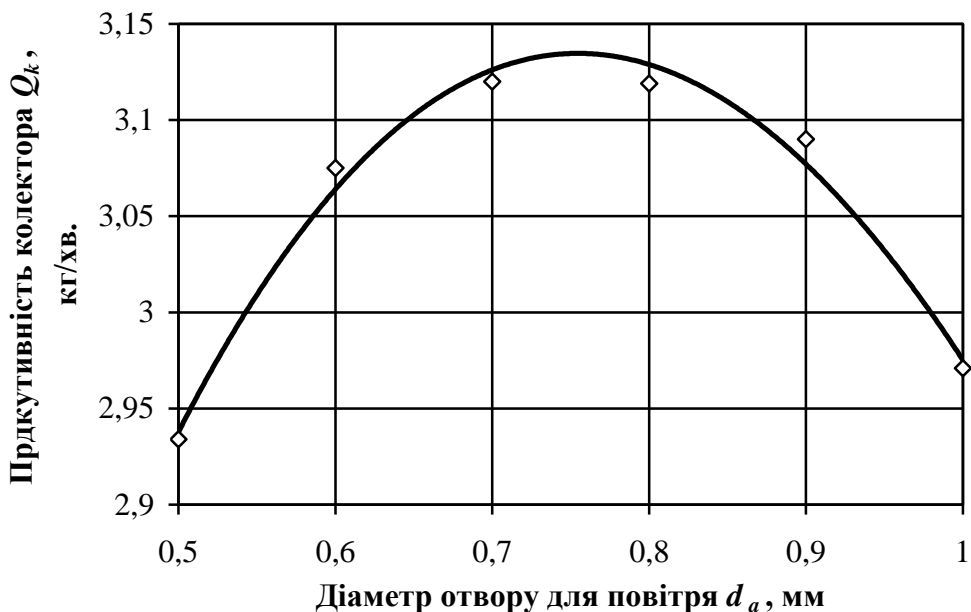


Рис. 3.5. Залежність продуктивності колектора (Q_k) від діаметра впускного отвору (d_a).

Рівняння регресії мають вигляд:

- для подачі повітря:

$$Q_a = 0,0024 \cdot d_a + 0,0605 \cdot d_a - 0,0167. \quad (3.9)$$

- для продуктивності колектора:

$$Q_k = 0,0008 \cdot d_a - 0,0367 \cdot d_a + 0,231 \cdot d_a + 2,743. \quad (3.10)$$

Достовірність отриманих математичних моделі (3.9–3.10) підтверджується високим коефіцієнтом достовірності апроксимації. Коефіцієнт множинної кореляції складає $R^2=0,989$ для рівняння (3.9) і $R^2=0,988$ для рівняння (3.10), що вказує на високу ступінь взаємозв'язку розглянутих факторів.

Відповідно до графічних залежностей (рис. 3.4–3.5), інтенсивність надходження повітря до молочної камери колектора зростає зі збільшенням діаметру вхідного отвору. Це можна пояснити збільшенням площі поперечного перерізу отвору за умови збереження швидкості потоку при аналогічному перепаді тисків зовні та всередині молочної камери.

Продуктивність розробленого колектора зростає на 63 % зі збільшенням діаметра отвору для повітря від 0,5 до 0,7 мм. Подальше збільшення діаметру повітряного отвору від 0,7 до 1,0 мм призводить до суттєвого зниження продуктивності колектора – на 51 %. Це відбувається тому, що зі збільшенням діаметру отвору для повітря зростає кількість повітря що надходить до молочної камери колектора. При цьому молоко насичується більшою кількістю повітря від оптимального значення. В наслідок цього зростають перепади тисків та змінюється режим руху суміші молока і повітря.

3.2. Встановлення впливу геометричних та технологічних параметрів колектора на ефективність роботи доїльного апарата

Відповідно до рівняння нерозривності потоку походить, що за умови збільшення діаметра вертикальної молочної трубки має зрости її пропускна спроможність. Для встановлення геометричних параметрів молочної трубки, скористаємося рівнянням Бернуллі [20] та схемою колектора на рис. 3.1:

$$dz + \frac{dp}{\rho_c \cdot g} + \frac{dv_c^2}{2 \cdot g} + dh = 0, \quad (3.11)$$

де p – тиск для деякої ділянки, кПа;

v_c – швидкість потоку суміші молока і повітря, м/с;

h – втрати напору до довжині молочної трубки.

Якщо швидкість суміші записати через об'ємну витрату, отримаємо:

$$dl_m + \frac{dp}{\rho_c \cdot g} + \frac{dQ_c^2}{2 \cdot g \cdot f_m^2} + dh = 0, \quad (3.12)$$

де l_m – довжина трубки молочної, м.

За рахунок незначної довжини молочної трубки, а також для спрощення подальших розрахунків, можна знехтувати втратами напору у подальшому викладі [20, 21]:

$$p_k + \rho_m \cdot g \cdot h_m = p_h + \rho_c \cdot g \cdot l_m, \quad (3.13)$$

де p_k – тиск який діє на поверхню молока у молочній камері, кПа;

p_h – тиск який діє на поверхні вертикальної молочної трубки, кПа;

h_m – висота молока у молочній камері, м.

та прирівнюючи тиски над поверхнею молока у молочній камері та над молочною трубкою, виконавши ряд математичних перетворень, отримаємо:

$$\rho_m \cdot g \cdot v_m = \rho_c \cdot g \cdot v_c \Rightarrow \rho_m \cdot g \cdot \frac{4 \cdot Q_m}{\pi \cdot D_m^2} = \rho_c \cdot g \cdot \frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot d_m^2}, \quad (3.14)$$

де D_m – діаметр молочної камери колектора, м;

d_m – діаметр молочної трубки, м;

v_m – швидкість потоку молока у молочній камері колектора, м/с.

Враховуючи що $Q_c = Q_m(k+1)$, з рівняння (3.14) отримаємо формулу для визначення діаметра вертикальної молочної трубки:

$$d_m = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot \lambda \cdot \rho_m \cdot Q_m^2 \cdot (k+1) \cdot l_m}{\pi^2 \cdot D_m^2 \cdot [(p_1 - p_2) - \rho_c \cdot g \cdot l_m]}}, \quad (3.15)$$

де p_1 і p_2 – відповідно, тиску на початку та в кінці перерізу, кПа.

На основі рівняння (3.15) отримали результати дослідження впливу діаметра молочної трубки на режими функціонування доїльного апарата (рис. 3.6–3.7)

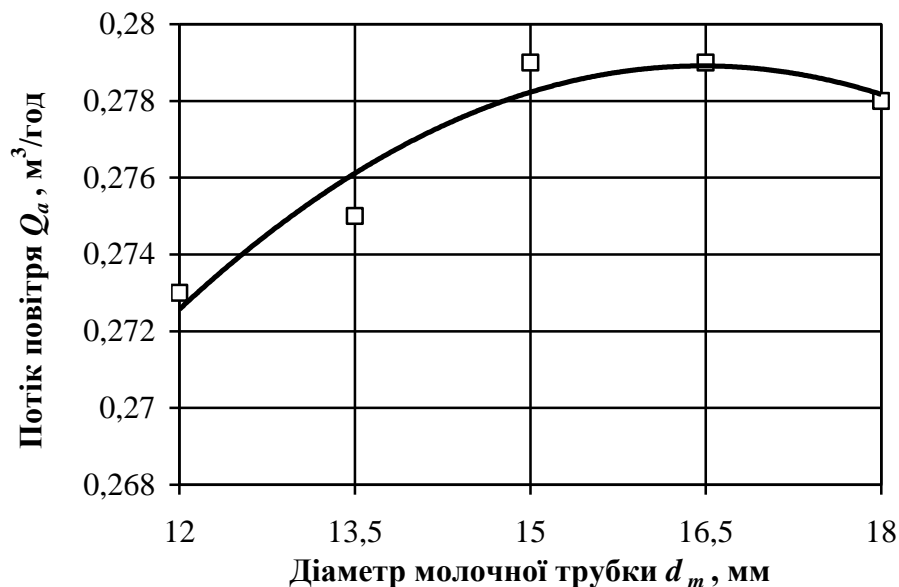


Рис. 3.6. Залежність інтенсивності надходження повітря (Q_a) до колектора від діаметра молочної трубки (d_m).

Відповідно до графічних залежностей на рис. 3.6., зі збільшенням діаметра вертикальної молочної трубки від 12 до 16,6 мм зростає інтенсивність надходження повітря на 22 %. Але при подальшому збільшенні діаметра молочної трубки спостерігається сповільнення, тобто стабілізація надходження повітря. Це свідчить про недоцільність подальшого збільшення параметрів молочної трубки.

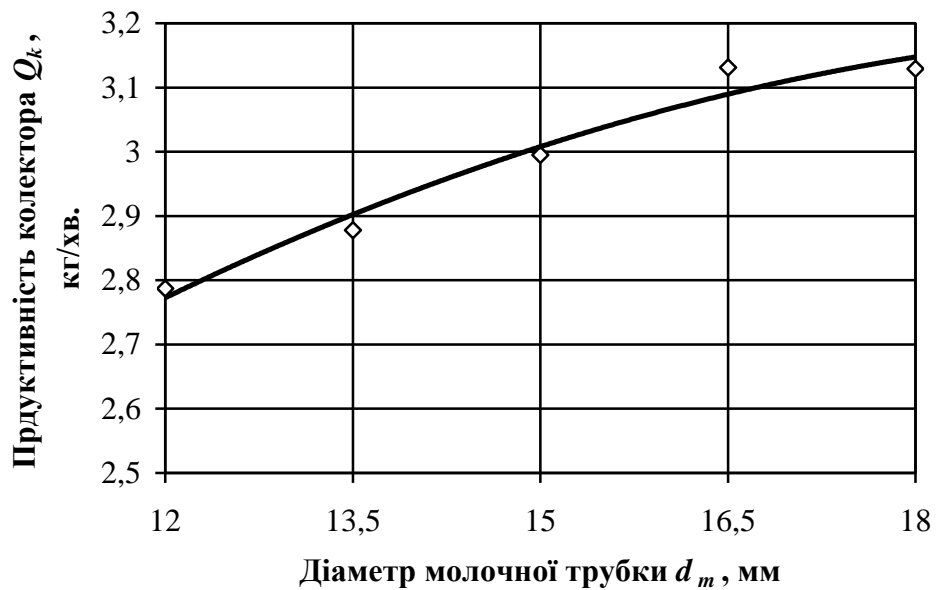


Рис. 3.7. Залежність продуктивності колектора (Q_k) від діаметра вертикальної молочної трубки (d_m).

Графічні залежності на рис. 3.7. вказують на майже лінійний характер збільшення на 12 % пропускної спроможності розробленого колектора при збільшенні діаметра молочної вертикальної трубки від 12 до 18 мм. Це вказує на несуттєвий вплив внутрішнього діаметра молочної трубки на продуктивність колектора, що відзначається в багатьох роботах аналогічного характеру. Збільшення продуктивності колектора можна пояснити зростанням подачі повітря пропорційно збільшенню діаметра молочної трубки, що спонукає до виникнення більшого перепаду тиску, який сприяє швидшому виведенню молока із молочної камери колектора.

3.3. Висновки до розділу 3

1. Встановлено, що інтенсивність надходження повітря до молочної камери залежить від діаметру вхідного отвору – отримали лінійну залежність, що є логічним відповідно до нерозривності потоку при незмінному впливі однакової різниці тисків. Проведені дослідження вказали на збільшення продуктивності колектора на 63 % при збільшенні отвору для впуску повітря від 0,5 до 0,7 мм. Але подальше збільшення діаметра повітряного отвору призводить до зниження пропускної спроможності колектора по суміші молока з повітрям на 51 %.

2. Результатами проведених досліджень встановлено, що зі збільшенням діаметра вертикальної молочної трубки від 12 до 16,6 мм зростає інтенсивність надходження повітря на 22 %. Але при подальшому збільшенні діаметра молочної трубки спостерігається сповільнення – стабілізація, тобто недоцільність збільшення геометричних параметрів.

3. Пропускна спроможність розроблено колектора несуттєво залежить від збільшення внутрішнього діаметра молочної трубки. Незначне зростання продуктивності колектора (на 12 %) можна пояснити зростанням подачі повітря пропорційно збільшенню діаметра молочної трубки, що спонукає до виникнення більшого перепаду тиску. За рахунок вищої різниці тисків у розглянутих перерізах виникає вища рушійна сила, що і є поясненням зростання пропускної спроможності колектора.

ВИСНОВКИ

1. Колектори сучасних доїльних апаратів різних виробників доїльного обладнання мають різноманітні конструкційні виконання системи виведення молока із молочної камери. Встановлено, що системи з нижнім виведення молока мають проблеми з переповненням молочної камери, а при верхньому виведенні знижується стабільність технологічного процесу. Так, однією із перешкод стабільної роботи колектора є неузгодженість інтенсивності надходження повітря до молочної камери та швидкості молоковіддачі. Вчені рекомендують обмежити надходження повітря на рівні 8–14 л/хв. для забезпечення оптимального балансу у молоко-повітряній суміші

2. Розроблена конструкція колектора доїльного апарата з верхнім відведенням молока дозволяє підвищити ефективність вивільнення молочної камери за рахунок відсутності перешкод на шляху молоко-повітряної суміші, а також за рахунок контрольованого надходження повітря через регульований канал. Рухомий об'ємний клапан убезпечує надходження повітря до вакуумної мережі доїльної установки у випадку спадання доїльних стаканів з вимені корови.

3. Встановлено, що інтенсивність надходження повітря до молочної камери залежить від діаметру вхідного отвору – отримали лінійну залежність, що є логічним відповідно до нерозривності потоку при незмінному впливі однакової різниці тисків. Проведені дослідження вказали на збільшення продуктивності колектора на 63 % при збільшенні отвору для впуску повітря від 0,5 до 0,7 мм. Але подальше збільшення діаметра повітряного отвору призводить до зниження пропускної спроможності колектора по суміші молока з повітрям на 51 %.

4. Результатами проведених досліджень встановлено, що зі збільшенням діаметра вертикальної молочної трубки від 12 до 16,6 мм зростає інтенсивність надходження повітря на 22 %. Але при подальшому збільшенні діаметра

молочної трубки спостерігається сповільнення – стабілізація, тобто недоцільність збільшення геометричних параметрів.

5. Пропускна спроможність розроблено колектора несуттєво залежить від збільшення внутрішнього діаметра молочної трубки. Незначне зростання продуктивності колектора (на 12 %) можна пояснити зростанням подачі повітря пропорційно збільшенню діаметра молочної трубки, що спонукає до виникнення більшого перепаду тиску. За рахунок вищої різниці тисків у розглянутих перерізах виникає вища рушійна сила, що і є поясненням зростання пропускної спроможності колектора.

6. За результатами досліджень обґрунтовано раціональні конструкційно-технологічні параметри розробленого колектора. Так, діаметр каналу для надходження повітря до молочної камери має бути обмежений на рівні 0,7–0,8 мм, а внутрішній діаметр вертикальної молочної трубки варто встановити на рівні 15–16 мм. Більшим геометричним параметрам має відповідати вища інтенсивність молоковіддачі, тому отвір для надходження повітря обладнано регулювальним жиклером.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Карташов Л. П. Машинное доение коров. М. : Колос, 1982 301 с.
2. Ткач В. В. До питання стабілізації вакуумного режиму молокопровідної лінії доїльного апарата. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник : Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2003. Вип. 87. С. 238–242.
3. Голуб Г. А., Медведський О. В., Ачкевич В. І., Ачкевич О. М. Встановлення раціональних конструкційно-технологічних параметрів колектора доїльного апарата. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2018. Вип. 1(1). С. 12–17.
4. Аврамчук В. В. Конструкційно-технологічні рішення колекторів доїльного апарата. *Наукові читання–2021* : матеріали науково-практичної конференції. 20 травня 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 25–27.
5. *Машини та обладнання для тваринництва* / за ред. І. Г. Бойко. Харків : Видавництво ХНТУСГ, 2006. 279 с.
6. Хомик Н. І., Довбуш А. Д. *Машини та обладнання для тваринництва* : курс лекцій. ч. 2. Тернопіль : Видавництво ТНТУ, 2013. 224 с.
7. Фененко А. И. Биотехническая система производства молока. Теория и практика: монография / под ред. акад. Адамчука В. В. – Нежин: Издатель ЧП Лысенко Н.М., 2014. 192 с.
8. Фененко А. І. Механізація доїння корів Теорія і практика: монографія. Київ, 2008. 198 с.
9. *Машини для тваринництва та птахівництва*. / за ред. В. І. Кравчука та Ю. Ф. Мельника. Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л.Погорілого, 2009. 207 с.
10. Підвісна частина MC-53 від компанії DeLaval : веб-сайт. URL : <https://www.delaval.com/uk/-/milking/at-the-milking-point/clusters/delaval-milking-cluster-mc53/>

11. Медведський О. В., Аврамчук В. В. Вплив технологічного процесу машинного доїння на конструкцію колектора доїльного апарата. *Студентські читання–2021* : матеріали науково-практичної конференції. 15 листопада 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 20–22.

12. Палій А. П. Вплив молокопровідних систем доїльних установок на споживчі показники молока. *Тваринництво України*. 2016. № 9. С. 20–22.

13. 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.

14. Карташов Л. П. Машинное доение коров. М. : Колос, 1982. 301 с.

15. Фененко А. І., Сиротюк В. А. Режимна характеристика колектора молокопровідної лінії доїльного апарата. *Вісник Львівського державного аграрного університету : Агроінженерні дослідження*. 2006. № 10. С. 158–162.

16. Павленко С. І., Алієв Е. Б., Лінник Ю. О. Методика експериментальних досліджень процесу переміщення молокоповітряної суміші в доїльному апараті. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2015. № 5. С. 167–172

17. Медведський О. В., Аврамчук В. В. Характеристика потоку суміші молока та повітря у молокопроводі. *Біоенергетичні системи* : матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Житомир: Поліський національний університет, 2021. Том 2. С. 38–39.

18. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа : учебник для вузов. 7-е изд., испр. М. : Дрофа, 2003. 840 с.

19. Бойко А. В. Гідрогазодинаміка : підручник. Х. : НТУ «ХП», 2007. 444 с.

20. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под общ. ред. М. О. Штейнберга. М. : Машиностроение, 1992. 672 с.

21. Вакуумная техника : справочник. / Фролов Е. С., и др. ; под общ. ред. Е. С. Фролова, В. Е. Минайчева. М. : Машиностроение, 1992. 480 с.