

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

КОВАЛЬ Вадим Володимирович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТУЮЧОЇ ЛАНКИ
ДОЇЛЬНИЙ АПАРАТ – МОЛОКОПРОВІД 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., Медведський О.В.

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Коваль В. В. **Обґрунтування параметрів транспортуючої ланки доїльний апарат – молокопровід доїльної установки.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020 р.

У кваліфікаційній роботі виконано оцінку відомих технічних рішень удосконалення системи транспортування молока від доїльного апарата до молокопроводу доїльної установки, виявлено суттєві відмінності у конструкційно-геометричних параметрах транспортуючої ланки доїльного апарата.

Кваліфікаційна робота спрямована на вирішення наукового завдання підвищення транспортуючих властивостей доїльного апарата при збереженні показників якості видоєного молока.

Аналітичними та експериментальними дослідженнями встановлено математичну модель, яка пов'язує залежність вакуумметричного тиску у молочній камері колектора від геометричних параметрів розробленого конструкційного рішення та швидкості молоковіддачі.

Ключові слова: діаметр молочного шланга, дросельний канал, молочна камера колектора, вакуумметричний тиск, коефіцієнт тисків.

ANNOTATION

Koval V. V. **Substantiation of parameters of the transporting unit milking machine – milk line of milking installation.** – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in 208 – agroengineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2020

The qualification work evaluates the known technical solutions for improving the system of transporting milk from the milking machine to the milk line of the milking parlor, revealed significant differences in the structural and geometric parameters of the transporting unit of the milking machine.

Qualification work is aimed at solving the scientific problem of improving the transport properties of the milking machine while maintaining the quality of milk.

Analytical and experimental studies have established a mathematical model that relates the dependence of the vacuum pressure in the milk chamber of the collector on the geometric parameters of the developed design solution and the rate of milk production.

Key words: diameter of milk hose, throttle channel, milk chamber of collector, vacuum pressure, pressure coefficient.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПОКРАЩЕННЯ ТРАНСПОРТУЮЧИХ МОЖЛИВОСТЕЙ СИСТЕМИ КОЛЕКТОР-МОЛОКОПРОВІД	6
1.1. Оцінка технічних рішень колекторів доїльних апаратів	6
1.2. Теоретичні передумови дослідження системи транспортування колектор-молокопровід	10
1.3. Висновки до розділу 1	12
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТУЮЧОЇ ЛАНКИ КОЛЕКТОР-МОЛОКОПРОВІД	13
2.1. Встановлення структурно-функціональної схеми удосконаленої транспортуючої ланки	13
2.2. Встановлення параметрів клапанного механізму	14
2.3. Висновки до розділу 2	16
РОЗДІЛ 3. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТУЮЧОЇ СИСТЕМИ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА	17
3.1. Визначення геометричних параметрів транспортуючої системи	17
3.2. Встановлення режимів функціонування транспортуючої системи	21
3.3. Висновки до розділу 3	25
ВИСНОВКИ	26
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	28

ВСТУП

Актуальність теми. Доїльний апарат в системі машинного доїння корів вирішує важливе біотехнологічне завдання – виведення із вимені корови утвореного молока. При цьому, основні виконавчі дії покладено на доїльні стакани. Реалізацією тактів ссання та стиску обмежується призначення доїльних стаканів у загальній системі машина-тварина-людина-середовище. Поряд із цим важливим в машинному доїнні корів є забезпечення гарантованого транспортування молока від колектора до молокопроводу доїльної установки.

Встановлено [1, 2], що у деяких доїльних апаратах під час машинного доїння молочна камера колектора переповнюється молоком із-за недосконалої системи транспортування молочним шлангом до молокопроводу доїльної установки. Причина переповнення полягає у неузгодженості між конструкційними та технологічними параметрами колектора, зокрема, важливе значення має діаметр молочного шланга та рівень тиску у молочній камері та молокопроводі доїльної установки. Негативним явищем переповнення колектора молоком є коливання рівня тиску, що призводить до спінювання молока із-за різних швидкісних градієнтів його транспортування, і як наслідок, погіршення його якісних властивостей. [3]. Особливо це відчутно для стійлових доїльних установок типу «молокопровід», які використовуються для обслуговування більшості промислового стада корів в Україні.

Тому, актуальним є удосконалення транспортуючої ланки системи доїльний апарат – молокопровід, що сприятиме повноті реалізації продуктивного потенціалу тварин, підвищення технологічної якості молока та ефективності машинного доїння в цілому.

Мета і задачі досліджень. Мета досліджень – підвищення ефективності машинного доїння корів шляхом встановлення раціональних конструкційно-технологічних параметрів транспортуючої системи доїльний апарат – молокопровід доїльної установки.

Для досягнення поставленої мети підлягають вирішенню такі завдання:

- виконати оцінку технічних рішень покращення транспортуючих властивостей серійних доїльних апаратів, встановити переваги та недоліки;
- встановити основні шляхи удосконалення та розробити технічне рішення підвищення ефективності транспортування молока молочним шлангом;
- обґрунтувати структурно-функціональну схему розробленого технічного рішення транспортуючої системи доїльного апарата;
- дослідити узгодженість геометричних параметрів та режимів транспортування за умови збереження показників якості видоєного молока.

Об'єкт дослідження – конструкція молоко-транспортуючої системи доїльного апарата.

Предмет дослідження – вплив геометричних параметрів транспортуючої ланки доїльного апарата на рівень вакуумметричного тиску та об'ємну подачу повітря при максимальній швидкості молоковіддачі.

Методи досліджень. При вирішенні поставлених завдань використовували теоретичні дослідження із застосуванням теорії математичного моделювання та використанням основних положень гідрогазодинаміки, теплотехніки і вакуумної техніки.

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

1. Коваль В. В. Покращення транспортувальних характеристик колекторів доїльних апаратів. *Біоенергетичні системи : Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції*. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. Ч. 1 С. 191–192.
2. Коваль В. В. Оцінка конструкційно-технологічних рішень колекторів доїльних апаратів. *Біоенергетичні системи : Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції*. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. Ч. 1 С. 193–195.
3. Коваль В. В. Вплив рівня вакуумметричного тиску на режим функціонування колекторів доїльних апаратів. *Матеріали науково-практичної конференції «Студентські читання–2020»*. Житомир: ПНУ, 2020. С. 388–389.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота включає вступ, три розділи основної частини, загальні висновки, список використаних літературних джерел, викладена на 29 сторінках комп'ютерного тексту.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПОКРАЩЕННЯ ТРАНСПОРТУЮЧИХ МОЖЛИВОСТЕЙ СИСТЕМИ КОЛЕКТОР-МОЛОКОПРОВІД

1.1. Оцінка технічних рішень колекторів доїльних апаратів

Однією із невирішених в повній мірі проблем машинного доїння корів є збереження технологічної якості молока. В першу чергу це стосується умов виведення видоєного молока з молочної камери колектора до молокопроводу доїльної установки, особливо при верхньому розташуванні для установок типу «молокопровід». При транспортуванні молока молочним шлангом можуть виникати пульсації потоку в наслідок чого відбувається розчеплення жирових кульок, які залишаються на внутрішніх стінках всієї ланки транспортуючої системи [4, 5, 6].

Однією із причин виникнення пульсуючого потоку молока у молочному шлангові є переповнення молочної камери колектора, що викликає зміну тиску. На вирішення цієї проблеми виробники пропонують використовувати колектори у яких реалізовано принцип попарного доїння. Але таке рішення не позбавлене недоліків у вигляді пульсуючого току молока із-за недосконалості системи збирання та транспортування відповідно до режимів роботи доїльного апарата.

Виробник доїльного обладнання фірма «InterPuls» (Італія) пропонує власне конструкційне рішення (рис. 1.1 [7, 8]) боротьби із спінюванням молока. Для цього всередині колектора у верхній його частині у напрямку передньої частині від доїльних стаканів встановлюється запатентований дефлектор. В такому рішенні передбачається, що молоко стікатиме вздовж стінок колектора, тому коливання вакууму будуть мінімальними і доїння високопродуктивних корів буде можливим за прийнятого об'єму молочної камери. За рахунок того що усувається ефект спінювання молока можна покращити транспортуючі характеристики системи [4].

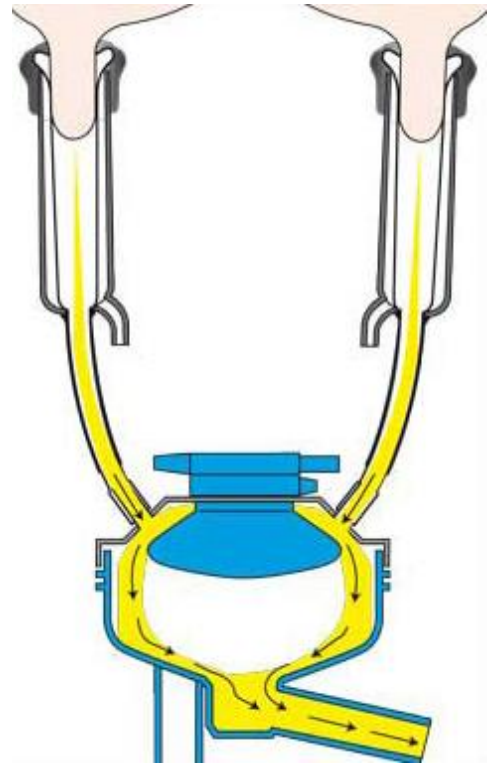


Рис. 1.1. Загальний вигляд та схема роботи колектора фірми «InterPuls» Milpro 450 (Італія) [7, 8]

На перший погляд запропоноване конструкційне рішення дозволить сповільнити потік молока із доїльних стаканів, в наслідок чого не буде моментального переповнення молочної камери. Але присутність дифузору потребує збільшеного об'єму молочної камери. Окрім цього, будь-яка перегородка на шляху потоку молока може накопичувати молочний жир, що в кінцевому результаті, вплине на якість молока [9].

Найбільш потужний європейський виробник доїльного обладнання фірма «DeLaval» (Швеція) пропонує власну конструкцію колектора доїльного апарата з верхнім відводом молока від молочної камери, що зі слів виробника, сприяє мінімізації флуктуації вакууму під діями корови під час машинного доїння (рис.1.2. [4, 8, 10]). Позитивний результат досягається за рахунок того, що молоко виводиться не через дно колектора, а через вертикальну осьову трубку, при цьому забезпечується рівномірний потік молока і мінімальне пошкодження

молока (низький рівень розчеплення молочних жирів). Це виникає в наслідок розділення потоку молока і повітря, так як руху повітря ніщо не перешкоджає.



Рис. 1.2. Колектор Шведської фірми DeLaval MC-50: 1 – підвісна частина; 2 – повітряні патрубки з'єднання із другою камерою пульсатора; 3 – патрубок виведення молока; 4 – прозорий корпус [4, 8, 10]

У звичайній конструкції колектора молоко проходить через дно молочної камери. Це обмежує потік повітря із ззовні і тим самим знижується рівень вакууму під дією корови, що може викликати неповноту видоювання. На вирішення цієї проблеми, деякі компанії збільшують об'єм молочної камери, що позитивно впливає на зниження пінотворення і відповідно знижуються втрати жиру під час транспортування. Але це не завжди приводить до зниження флуктуації вакууму, особливо при доїнні тварин з високим потоком молока.

Колектори доїльного апарата різних виробників мають відмінний матеріал конструкційних елементів, відрізняються об'ємами молочних камер,

мають різний дизайном та технологічні характеристики та особливості функціонування (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Техніко-конструкційна оцінка колекторів доїльного апарата [7, 8, 10]

Модель/ виробник	Діаметр молочної трубки, мм	Місткість молочної камери, мл.	Відношення діаметра молочного шланга до місткості молочної камери	Вакуум- метричний тиск, кПа (в такті ссання/стиск)	Площа отвору для повітря, мм ²
Flostar	10	340	0,047	37–42	1,0
Bovi 60	8,5	60	0,283	30–35	1,0
Swiftflo	8	150	0,067	42 / 12	1,0
Harmony	16	450	0,04	42–44	1,0
Surge	10	600	0,027	36–44	1,0
IS 160	10	160	0,10	40–46	1,0
Fullwood	10	350	0,048	40–48	1,0
ActivPuls	10	330	0,056	37–45	0,8
SAC	10	484	0,033	40–44	1,0

Відповідно до даних, викладених у табл. 1.1, основна відмінність представлених на ринку колекторів доїльних апаратів полягає у об'ємі молочної камери та діаметрі молочного шланга, яким молоко транспортується від колектора до молокопроводу доїльної установки. Про це свідчить відмінність значень співвідношення діаметра молочного шланга до місткості молочної камери, так як тільки дві моделі мають майже однакове значення.

У розглянутих вище конструкціях колекторів відомих фірм-виробників доїльного обладнання в тій чи іншій формі присутнє збовтування молока в молочної камері та пульсація в шлангові при доїнні в верхній молокопровід, що

веде до диспергування молочних часток та втрату молочного жиру. За рахунок цього отримуємо зниження якості молока. Збільшення ж швидкісного режиму виведення молока не сприяє збереженню його якісних властивостей, а при несприятливих умовах навіть погіршується.

Таким чином, не одне із запропонованих конструкційних рішень не відповідає, в повній мірі, зоотехнічним вимогам.

1.2. Теоретичні передумови дослідження системи транспортування колектор-молокопровід

Дослідженню проблеми транспортування молока при збереженні його якісних показників приділяється достатньо уваги, про свідчить присутність на ринку різноманітних конструкційних рішень виконання колекторів доїльної апарата. Не припиняється постійний пошук його раціональної конструкційно-технологічної схеми. Більшість конструкційних рішень спрямовані на забезпечення кращих умов транспортування молока до молокопроводу доїльної установки. Як правило, позитивний результат досягається за рахунок ускладнення будови колектора або збільшення подачі повітря.

Проведені дослідження [9, 11] вказують на значне диспергування молока під дією інтенсивного неконтрольованого потоку повітря до молочної камери колектора. Під час транспортування у молочному шлангові молоко збовтується, жирові кульки залишаються на стінках молокопроводу. В наслідок цього втрачається 0,32% молочного жиру [9, 12], що погіршує технологічні властивості молока. Причиною такого явища може бути невідповідність параметрів транспортуючої ланки молока від колектора до молокопроводу доїльної установки, зокрема діаметр молочного шланга та його довжина.

Наукові дослідження [6, 12, 13] вказують, що при разовому надої молока 8–10 л./гол. діаметр молочного патрубку колектора повинен бути в межах від 10 до 12 мм. В дослідженнях [13, 14] розглядається вплив інтенсивності повітря на оптимальний режим транспортування молока. Вводиться поняття

коефіцієнту зміни тиску у молочній камері колектора. Так, коефіцієнт тиску при доїнні у молочне відро має становити 0,86–0,92, а у верхній молокопровід доїльної установки – 0,7–0,81. Але конкретної наукової методики встановлення коефіцієнту тиску не викладено.

Деякі дослідники [1, 11] вивчали вплив об'єму молочної камери колектора на забезпечення стабільного перепаду тиску для безпечного транспортування молока. Встановлено, що мінімальний об'ємом молочної камери колектора має становити 50–60 см³, так реалізується оптимальний режим руху молоко-повітряної суміші в молочному шлангові. За результатами досліджень [5, 6, 14] встановлено, що зниження коливання вакуумметричного тиску з 12 до 2,5 кПа спостерігається у колекторах збільшеного об'єму 130 мл. Але при зростанні інтенсивності молоковіддачі вище 6 л/хв. втрати тиску зростають до 25 кПа, що небезпечно для здоров'я корів [13, 15, 16]. При цьому не може бути мови про створення деякого «резерву» вакууму.

Проводилась оцінка впливу діаметра молочного шланга на втрати тиску під час транспортування молоко-повітряної суміші. Так, дослідники [5, 6] вказують, що коливання вакууму в фазі ссання становить 9 кПа в системі з діаметром шланга 11 мм та робочим вакуумметричним тиском 44 кПа. В системі з вакуумом 47 кПа та діаметром шланга 12 мм коливання тиску зменшуються до 6 кПа. Найменше коливання тиску на рівні 4 кПа спостерігається при робочому тиску 44 кПа та діаметрі молочного шланга 12 мм. Коливання тиску у фазі стиску до 15 кПа спостерігається в системі з вакуумом на рівні 47 кПа при використанні молочного шланга діаметром 12 мм. В системі з робочим вакуумом 44 кПа та з діаметром шланга 12 мм коливання тиску сягають 10 кПа [5, 6]. Ці дослідження доводять вплив діаметра гнучкого шланга доїльного апарата на процес транспортування молока.

Функціонування транспортуючої системи доїльний апарат – молокопровід залежить від різниці тисків у колекторі та молокопроводі доїльної установки, що потребує додаткового вивчення. Варто встановити взаємозв'язок між інтенсивністю подачі повітря до молочної камери та її

об'ємом, залежно від інтенсивності молоковіддачі. При цьому слід орієнтуватись на ощадний режим транспортування молока з одночасним забезпеченням його якісних показників.

Незважаючи на значний обсяг досліджень, встановлення раціональних конструкційних параметрів та режимів роботи транспортуючої системи колектор – молокопровід доїльної установки є актуальною науковою проблемою.

1.3. Висновки до розділу 1

1. Сучасні доїльні апарати не забезпечують повної відповідності фізіологічним вимогам до машинного доїння, не мають надійного механізму збереження технологічної якості молока та здоров'я тварини із-за необґрунтованості транспортуючої системи колектор – молокопровід доїльної установки. Встановлено, що на погіршення якості молока (спінювання та втрата жирності) під час доїння впливають конструкційні особливості транспортуючої системи та режим роботи доїльного апарата, зокрема діаметр молочного шланга та висота розташування молокопроводу доїльної установки.

2. Одержання молока високої якості залежить від оптимізації механічного впливу різниці тисків у молочній камері та транспортуючому шлангові на структуру молока. Тому, важливим є дослідження шляхів усунення недоліків існуючих доїльних апаратів з метою встановлення оптимальних конструкційно-технологічних рішень.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТУЮЧОЇ ЛАНКИ КОЛЕКТОР-МОЛОКОПРОВІД

2.1. Встановлення структурно-функціональної схеми удосконаленої транспортуючої ланки

Результатом пошуку раціонального конструкційного рішення є запропонована структурно-функціональна схема удосконалення колектора доїльного апарата, у якого для забезпечення більш повнішого вивільнення молочної камери від молока організовується періодичне надходження повітря через клапанний пристрій під час такту стиску (рис. 2.1) [17].

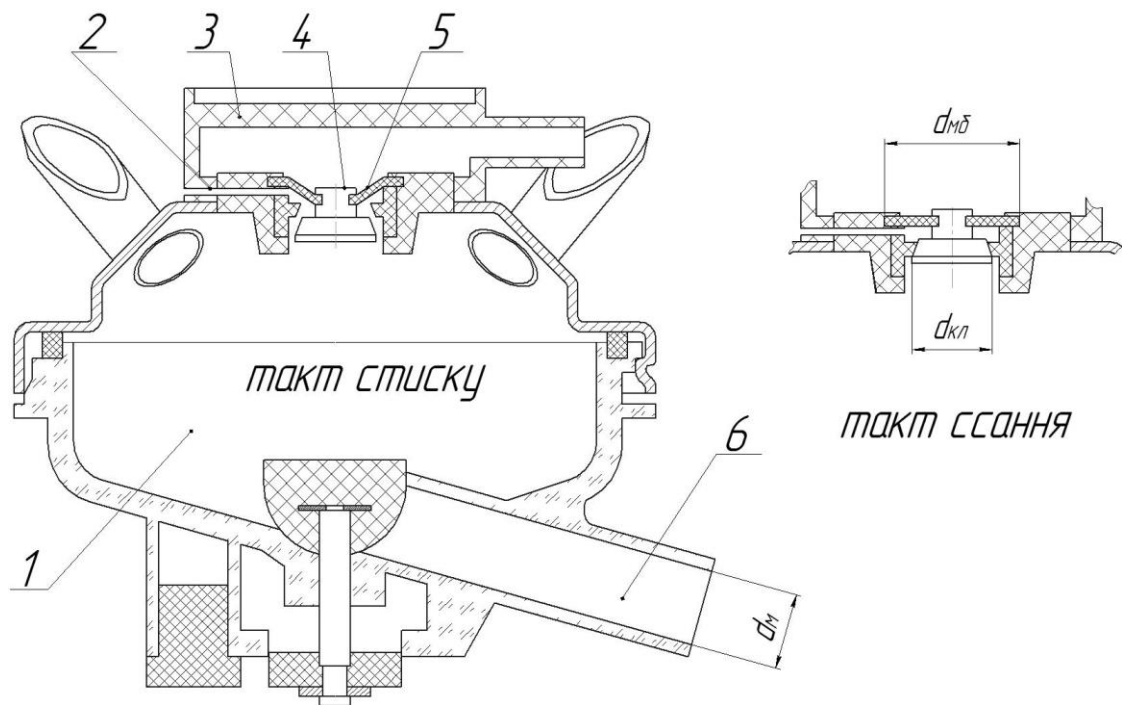


Рис. 2.1. Структурно-функціональна схема розробленої конструкції колектора: 1 – молочна камера; 2 – дросельний канал; 3 – розподільна камера; 4 – клапан; 5 – мембрана; 6 – молочний патрубок [17]

Принцип роботи запропонованого удосконалення полягає в наступному. Під час такту стиску (рис. 2.1) з боку розподільної камери колектора на мембрану діє атмосферний тиск. Під клапаном у молочній камері наявний

вакуумметричний тиск. Результируюча сила впливу на мембрану буде спрямована вздовж осі клапана донизу. У такому випадку мембрана 5 прогинається донизу, а клапан 4 відкривається. Через відкритий клапан 4, а також, дросельний канал 2 повітря з атмосферним тиском надходить до молочної камери колектора. Над дзеркалом молока у молочній камері зростає тиск, тому молоко із додатковим зусиллям, порівняно із аналогом, буде проштовхуватись молочним шлангом впродовж такту стиску. Запровадження контрольованого збільшення абсолютного тиску у молочній камері сприяє вивільненню молочної камери від молока. Наступна порція молока від доїльних стаканів буде мати вільний прохід до молочного патрубка. Таким чином усувається причина переповнення молочної камери – наслідок значного коливання тиску під час такту ссання. При цьому знижується ймовірність спінювання молока, як головної причини втрати його жирності [17].

2.2. Встановлення параметрів клапанного механізму

Робота клапанного механізму визначається його геометричними параметрами та співвідношенням тисків над та під мембраною. Сила пружності матеріалу мембрани намагається перешкодити відкриванню клапана у такт стиску. Тому, сила яка прагне прогнути мембрану донизу має перевищити силу яка прагне закрити клапан, тобто, має виконуватись умова [17]:

$$p_m \cdot \frac{\pi d_{кл}^2}{4} \geq p_p \cdot S_{мб} \cdot \lambda, \quad (2.1)$$

де $d_{кл}$ – діаметр клапана, м;

p_m – тиск у молочній камері колектора, кПа;

p_p – тиск у розподільній камері колектора, кПа;

$S_{мб}$ – площа мембрани, м²;

λ – коефіцієнт, що враховує пружні характеристики мембрани.

За умови відомих параметрів пружних характеристик мембрани, котрі визначаються залежно від співвідношення діаметрів клапана та мембрани [17, 18], діаметр клапана можна визначити шляхом перетворення нерівності (2.1), отримаємо рівняння:

$$d_{кл} = \sqrt{\frac{p_p \cdot d_{мб}^2 \cdot \lambda}{p_m}}, \quad (2.2)$$

де $d_{мб}$ – діаметр мембрани, м.

Відповідно до залежності (2.2) геометричні параметри клапанного механізму визначаються рівнем тисків та діаметром мембрани (рис. 2.2).

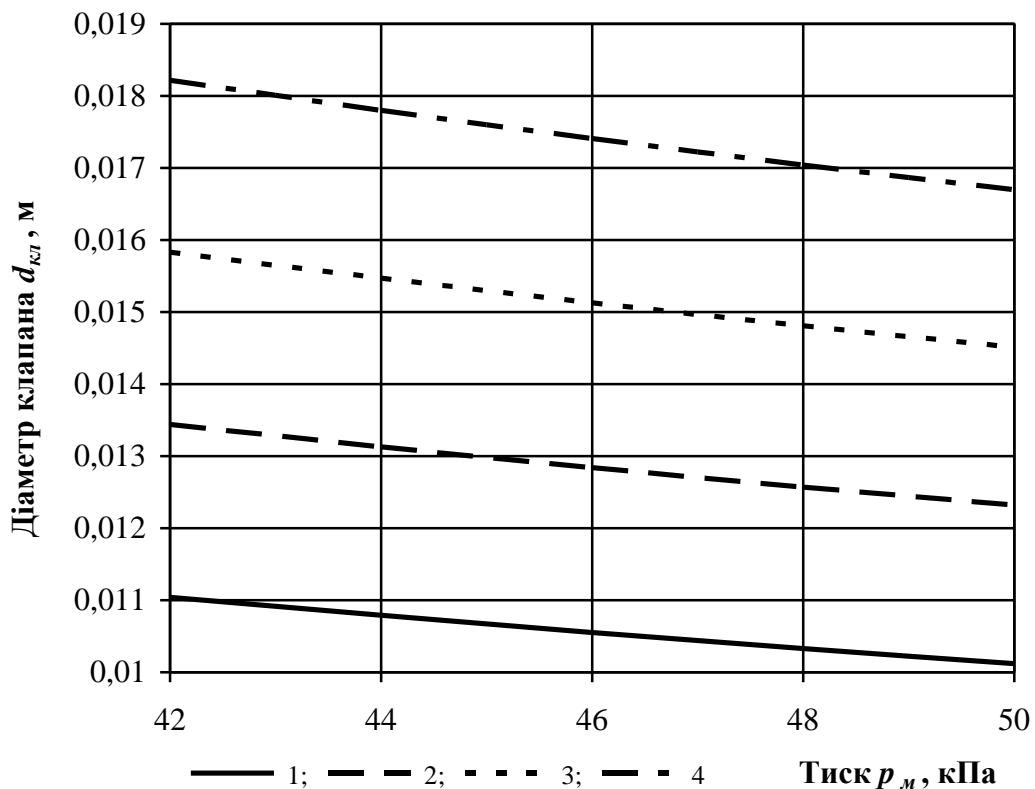


Рис. 2.2. Залежність діаметра клапана ($d_{кл}$) від рівня тиску у молочній камері колектора (p_m) за умови діаметра мембрани: 1 – $d_{мб}=0,01$ м; 2 – $d_{мб}=0,012$ м; 3 – $d_{мб}=0,014$ м; 4 – $d_{мб}=0,016$ м.

Відповідно до наведених графічних залежностей (рис. 2.2), діаметр клапана пропорційно збільшується при збільшенні діаметра мембрани, що можна пояснити збільшенням пружних зусиль. Але за умови збільшення тиску у молочній камері колектора діаметр клапана зменшується, незалежно від діаметра мембрани, що пояснюється зменшенням величини співвідношення тисків між атмосферним тиском та тиском у молочній камері колектора в момент транспортування молока.

2.3. Висновки до розділу 2

1. Розроблена конструкція механізму періодичного контрольованого впуску необхідного об'єму повітря до молочної камери колектора під час такту стиску. Це сприятиме зростанню градієнта тиску, в наслідок чого молочна камера буде ефективно звільнятися від молока впродовж такту стиску і бути вільною від молока на початку такту ссання.

2. Ефективність роботи запропонованої конструкції механізму впуску повітря під час такту стиску залежить від геометричних параметрів клапана й мембрани, а також рівня тиску у молочній камері. При збільшенні тиску від 42 до 50 кПа діаметр клапана зменшується на 8 % незалежно від діаметра мембрани, а при збільшенні діаметра мембрани від 10 до 16 мм діаметр клапана збільшується на 65 % незалежно від тиску у молочній камері колектора.

РОЗДІЛ 3

УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТУЮЧОЇ СИСТЕМИ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА

3.1. Визначення геометричних параметрів транспортуючої системи

Під час відкривання клапана у молочній камері колектора створюється додатковий градієнт тиску, що покращить умови транспортування молока та забезпечується повне вивільнення молочної камери. При цьому, не розкритим залишається питання впливу динаміки вакуумметричного тиску впродовж такту стиску щодо режиму транспортування молока шлангом від колектора до молокопроводу доїльної установки.

Умова транспортування молока гнучким шлангом має вигляд:

$$p_m \geq p_m + \Delta p_{ui}, \quad (3.1)$$

де p_m – тиск у молочній камері колектора в такті стиску, Па;

p_m – тиск у молокопроводі доїльної установки, Па;

Δp_{ui} – втрати тиску у молочному шлангові, Па.

Під час такту стиску, тиск у молочній камері формується парціальними тисками завершення такту ссання та тиском об'єму повітря, що надходить від розподільної камери колектора. З врахуванням досліджень [3, 5, 6], відповідно до рівняння стану газу Клапейрона [19], отримаємо рівняння:

$$p_m = \frac{p_{mk} \cdot V_{mk} + p_p \cdot (Q_n \cdot t_{cm})}{4 \cdot V_m + \pi d_{ui}^2 \cdot (l_{ui} - h_{ui})}, \quad (3.2)$$

де p_p – тиск у розподільній камері колектора, Па;

p_{mk} – початковий тиск у молочній камері колектора, Па;

V_{mk} – вільний від молока об'єм у молочній камері при тиску p_{mk} , м³;

Q_n – подача повітря через клапан до молочної камери, м³/с;

t_{cm} – тривалість такту стиску, с;

V_k – конструкційний об'єм молочної камери колектора, м³;

$d_{ш}$ – діаметр молочного шланга, м;

$l_{ш}$ – довжина молочного шланга, м;

$h_{ш}$ – висота порції молока у молочному шлангові, м.

Таким чином, вакуумметричний тиск у молочній камері колектора під час такту стиску залежить від конструкційних та технологічних параметрів колектора та молочного шланга (рис. 3.1).

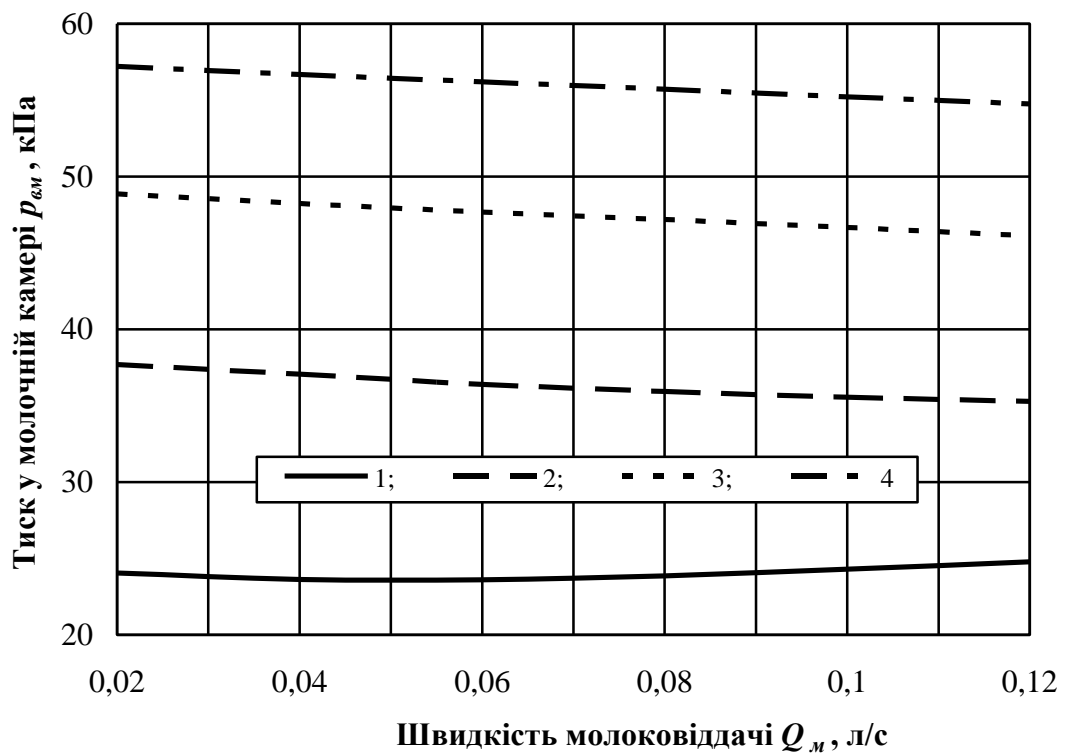


Рис. 3.1. Залежність вакуумметричного тиску у молочній камері колектора ($p_{вм}$) в момент такту стиску при заданій інтенсивності молоковіддачі (Q_m) при використанні молочного шланга з діаметром: 1 – $d_{ш}=10$ мм; 2 – $d_{ш}=12$ мм; 3 – $d_{ш}=14$ мм; 4 – $d_{ш}=16$ мм.

Відповідно до отриманих графічних залежностей (рис. 3.1), діаметр молочного шланга чинить суттєвий вплив на рівень вакуумметричного тиску у молочній камері колектора. Так, при збільшенні діаметра молочного шланга від 10 до 16 мм вакуумметричний тиск зростає на 33 кПа при швидкості молоковіддачі 0,02 л/с та на 30 кПа – при 0,12 л/с. Відбувається це за рахунок зміни сукупного об'єму системи колектор-молочний шланг, незалежно від швидкості молоковіддачі. Це можна пояснити тим, що більшому діаметру молочного шланга ($d_{ш}$) притаманні менші втрати тиску ($\Delta p_{ш}$) під час транспортування молока до молокопроводу доїльної установки, оскільки знижується швидкісний напір потоку молока. При цьому, зміна швидкості молоковіддачі (Q_m) не чинить значного впливу на зміну рівня вакуумметричного тиску для діаметра молочного шланга від 12 до 16 мм. Відбувається лише незначне зменшення вакуумметричного тиску на 4–6%. За умови використання молочного шланга діаметром 10 мм, графічна залежність має майже лінійний горизонтальний характер.

Діаметр молочного шланга (рис. 3.2) можна встановити відповідно до умови нерозривності потоку, рівняння (3.2), з врахуванням досліджень [3, 5, 6] та рекомендацій [19, 20], отримаємо рівняння:

$$d_{ш} = 1,128 \sqrt{\frac{(S_{\delta} v_{\delta} t_{cm} + Q_m t_{cc})}{(t_{cm} + t_{cc}) v_{mn}}} = 1,128 \sqrt{\frac{0,785 \cdot d_{\delta}^2 \cdot v_{\delta} \cdot t_{cm} + Q_m \cdot t_{cc}}{(t_{cm} + t_{cc}) \cdot v_{mn}}}, \quad (3.3)$$

де S_{δ} – площа поперечного перерізу дросельного каналу, м²;

d_{δ} – діаметр дросельного каналу, м;

t_{cc} – тривалість такту ссання, с;

v_{δ} – швидкість руху повітря у вихідному перерізі дросельного каналу з фіксованим діаметром, м/с;

v_{mn} – рекомендована [5, 6] швидкість руху сумішки молока та повітря молочним шлангом, м/с.

Під час такту стиснення до молочної камери колектора надходить повітря із інтенсивністю, яка визначається перепадом тиску та геометричними параметрами дросельного каналу, зокрема його діаметром.

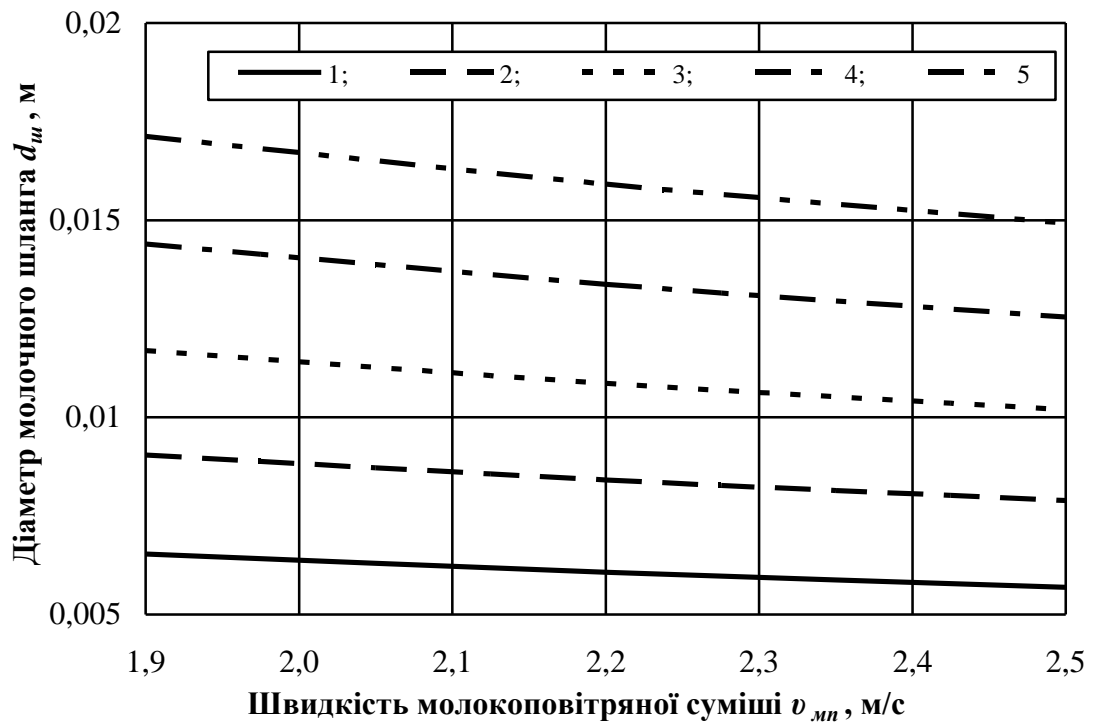


Рис. 3.2. Залежність діаметра молочного шланга ($d_{ш}$) від швидкості молокоповітряної сумішки ($v_{мн}$) за умови діаметра дросельного каналу: 1 – $d_0=1,0$ мм; 2 – $d_0=1,5$ мм; 3 – $d_0=2,0$ мм; 4 – $d_0=2,5$ мм; 5 – $d_0=3,0$ мм.

Обмеження вибору граничних швидкостей руху молокоповітряної суміші (рис. 3.2) від 1,9 до 2,5 м/с викликане необхідністю збереження якісних властивостей молока під час його транспортування до молокопроводу доїльної установки [5, 6]. Діаметр молочного шланга узгодили із швидкістю молоковіддачі на рівня $Q_m=6$ л./хв, що є оптимальною величиною для доїльного апарата попарного доїння, тобто для розрахунків бралось до уваги одночасне спорожнення двох чвертей вимені корови.

Відповідно до отриманих графічних залежностей (рис. 3.2) встановили, що більшому діаметру дросельного каналу має відповідати більший діаметр

молочного шланга, незалежно від швидкості руху молоко-повітряної суміші. Це пояснюється необхідністю підтримання заданої швидкості потоку за рахунок зміни коефіцієнта насиченості повітрям вільного простору у гнучкому молокопроводі.

3.2. Встановлення режимів функціонування транспортуючої системи

Моделювання впливу конструкційних параметрів системи транспортування молока від колектора до молокопроводу доїльної установки вимагає враховувати деякі припущення. В першу чергу необхідно врахувати гранично допустиму інтенсивність подачі повітря за умови збереження показників якості молока [6]. При цьому, умова гарантованого транспортування молока молочним шлангом до верхнього молокопроводу встановлює взаємозв'язок між рівнем вакуумметричного тиску у молочній камері колектора до граничного рівня тиску при якому припиняється транспортуючі можливості розробленої системи. Вказана умова гарантованого транспортування молока молочним шлангом має вигляд:

$$\frac{P_{\text{вм}}}{P_{\text{вн}}} \leq 1, \quad (3.4)$$

де $P_{\text{вн}}$ – гранично допустимий вакуумметричний тиск відповідно до якого забезпечується збереження якісних показників молока та одночасно виконується умова (3.1), Па.

Встановлену нами умову безпечного гарантованого транспортування молока молочним шлангом (3.4) позначимо через k_m – коефіцієнт співвідношення вакуумметричного тиску у молочній камері до гранично допустимого його рівня (рис. 3.3).

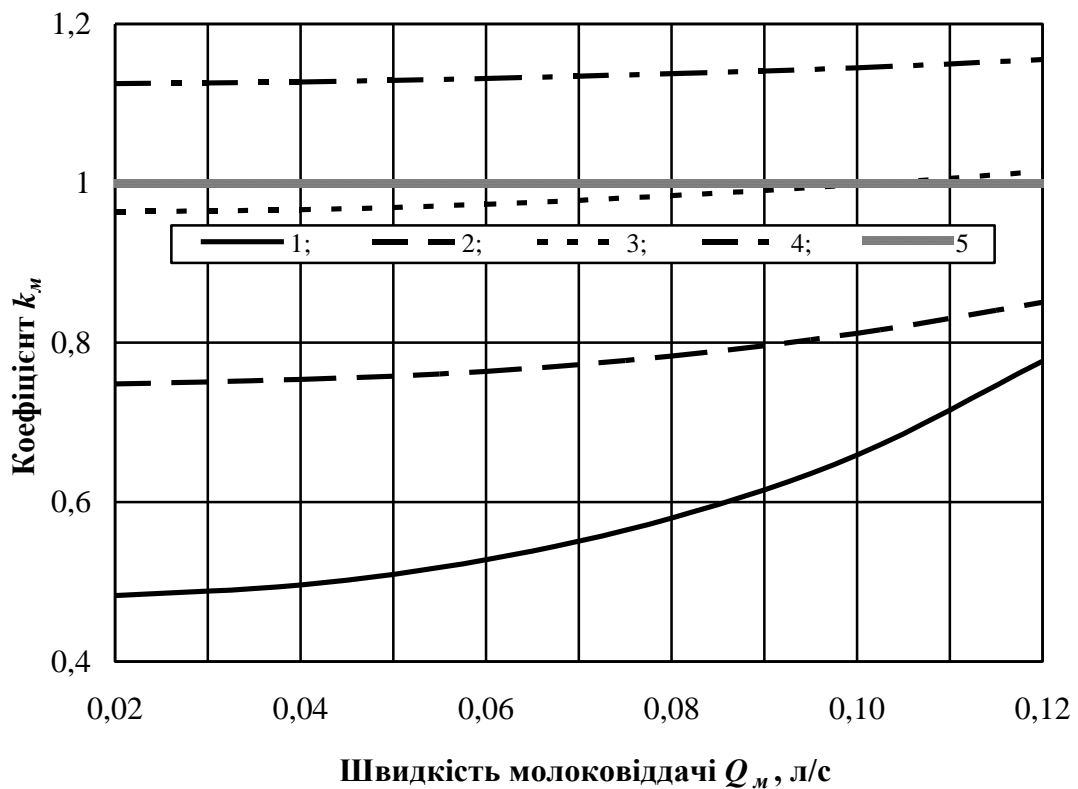


Рис. 3.3. Залежність коефіцієнта співвідношення тисків від швидкості молоковіддачі відповідно до діаметра молочного шланга: 1 – $d_{ш}=10$ мм; 2 – $d_{ш}=12$ мм; 3 – $d_{ш}=14$ мм; 4 – $d_{ш}=16$ мм; 5 – гранична межа при $k_m=1$.

Відповідно до результатів аналітичних досліджень (рис. 3.3), умова (3.4) не виконується для молочного шланга діаметром $d_{ш}=16$ мм в заданому діапазоні швидкості молоковіддачі. При інтенсивності молоковіддачі що перевищує $Q_m=0,10$ л./с умова транспортування (3.4) не виконується при використанні молочного шланга діаметром 14 мм.

При збільшенні діаметра молочного шланга збільшується вільний від молока простір. Тому, для забезпечення умови підтримки стабільного перепаду тиску між молочною камерою колектора та оточуючим середовищем (тиск відповідає тиску розподільної камери колектора) необхідно збільшувати інтенсивність подачі повітря. Це можна досягти шляхом збільшенням поперечного перерізу дросельного каналу (рис. 3.4).

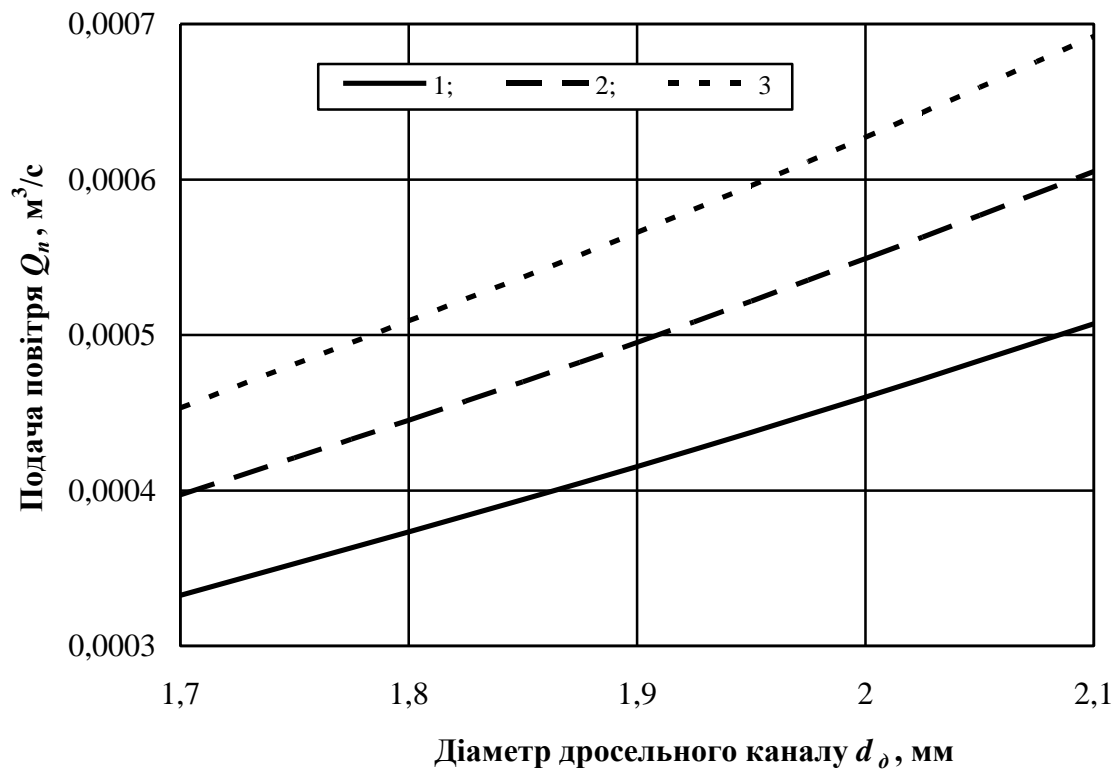


Рис. 3.4. Залежність об'ємної подачі повітря (Q_n) від діаметра дросельного каналу (d_δ) за умови діаметра молочного шланга: 1 – $d_{ш}=10$ мм; 2 – $d_{ш}=12$ мм; 3 – $d_{ш}=14$ мм.

При оцінці графічних залежностей (рис. 3.4) можна зробити висновок, що більшому діаметру гнучкого молокопроводу відповідає вища об'ємна подача повітря до молочної камери колектора. В межах незмінного діаметра дросельного отвору інтенсивність подачі повітря зростає на 27 % зі збільшенням діаметра молочного шланга від 10 до 14 мм. Це впливає із необхідності забезпечення потрібного градієнту тиску для гарантованого транспортування молока та збереження його споживчих та технологічних якостей.

Експериментальні дослідження проводили при визначеній інтенсивності молоковіддачі, котра фіксувалась за ротаметром типу TW-300. Рівень вакуумметричного тиску у розподільній та молочній камерах колектора визначали за допомогою мембранних тензометричних давачів типу ИПД-2-0,06.

Сигнал від датчиків проходив через блок порівняння та підсилювач типу ТОПАЗ 3-0,2 до самозаписувального пристрою типу Н 3021-3.

За результатами проведених експериментальних досліджень отримали рівняння регресії та побудували графічні залежності (рис. 3.5) для оцінки рівня вакуумметричного тиску в молочній камері колектора під час такту стиску:

$$p_{em} = 1,507d_{ш}^2 - 29,616d_{ш} + 154,8. \quad (3.5)$$

Адекватність отриманої математичної моделі (3.5) підтверджується високим коефіцієнтом достовірності апроксимації. Коефіцієнт множинної кореляції склав $R^2=0,998$, що вказує на високу ступінь взаємозв'язку розглянутих факторів.

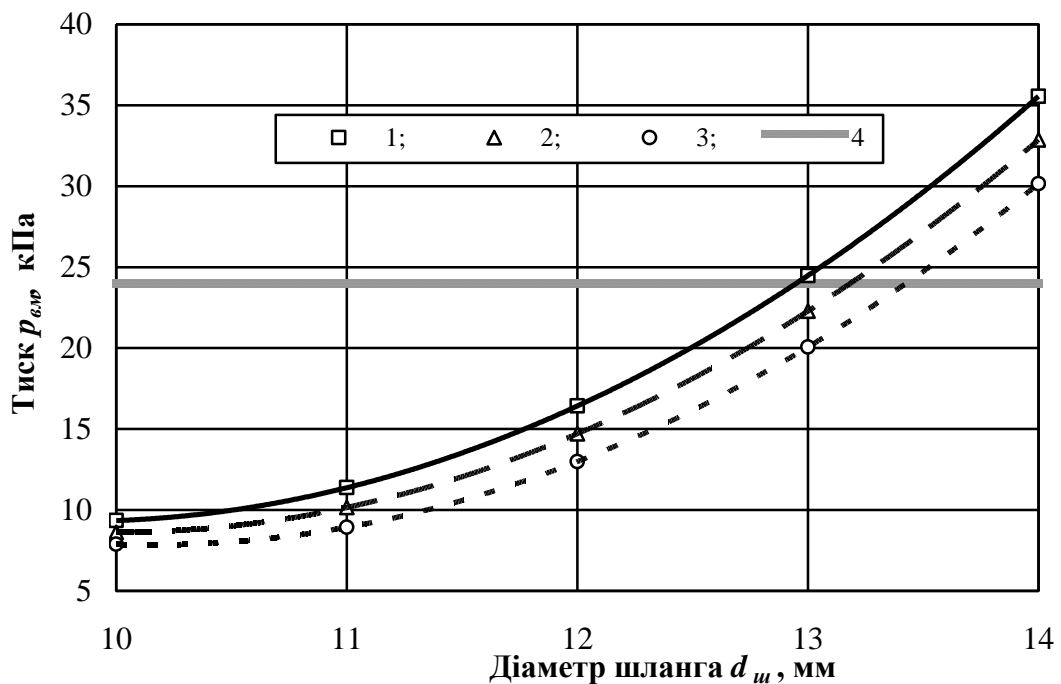


Рис. 3.5. Залежність вакуумметричного тиску у молочній камері колектора (p_{em}) під час такту стиску від діаметра молочного шланга ($d_{ш}$) за умови використання дросельного каналу з діаметром: 1 – $d_0=1,5$ мм; 2 – $d_0=2,0$ мм; 3 – $d_0=2,5$ мм; 4 – допустима межа тиску.

Оцінка графічних залежностей (рис. 3.5) доводить, що рівень вакуумметричного тиску у молочній камері колектора знижується при збільшенні діаметра дросельного каналу в межах фіксованого діаметра молочного шланга. В даному випадку більшому діаметру молочного шланга відповідає вищий рівень парціального тиску молочної камери колектора із-за збільшення вільного від молока простору при заданій швидкості молоковіддачі. Якщо швидкість молоковіддачі збільшиться, то рівень вакуумметричного тиску знизиться при будь-якому діаметрі молочного шланга. Це є наслідком зменшення вільного простору. Відповідно до досліджуваних умов (рис. 3.5) доцільним можна вважати діаметр молочного шланга 13,2 мм при діаметрі дросельного каналу 2 мм.

3.3. Висновки до розділу 3

1. Геометричні параметри транспортуючої системи доїльного апарата впливають на характер зміни вакуумметричного тиску у молочній камері колектора. Встановлено необхідність узгодження у транспортуючій системі швидкості доїння з об'ємною подачею повітря з атмосферним тиском до молочної камери колектора під час такту стиску.

2. Встановлено, що при збільшенні діаметра молочного шланга пропорційно зростає рівень вакуумметричного тиску незалежно від швидкості молоковіддачі. Причина полягає у зміні сукупного об'єму транспортуючої системи колектор – молочний шланг в досліджуваному діапазоні швидкостей молоковіддачі. Для досліджуваного діапазону діаметрів молочного шланга встановлено доцільні діаметри дросельного каналу.

ВИСНОВКИ

1. Відомі конструкційно-технологічні рішення складових елементів серійних доїльних апаратів різних виробників мають деякі режимні відхилення під час реалізації процесу машинного доїння корів. Основний недолік полягає у присутності небажаного явища збовтування молока під час його транспортування до молокопроводу доїльної установки. За рахунок цього відбувається розшарування та втрата молочного жиру на стінках транспортуючої системи колектор доїльного апарата – молокопровід доїльної установки. В наслідок цього погіршуються споживчі та технологічні показники якості молока. Запропоновані технічні рішення на усунення вказаних недоліків тільки частково вирішують проблему збереження якісних показників молока. Зокрема збільшений об'єм молочної камери колектора усуває проблему переповнення, але неконтрольоване надходження повітря погіршує умови транспортування за рахунок значного насичення молока повітрям.

2. Конструкційно-технологічні параметри молочної камери колектора та гнучкого молокопроводу мають суттєвий вплив на режими транспортування молока до молокопроводу доїльної установки. З'ясовано необхідність узгодження інтенсивності подачі повітря до молочної камери, залежно від інтенсивності молоковіддачі. Для цього пропонується конструкція клапанного механізму для контрольованого впуску повітря, яка має подвійний ступінь регулювання за рахунок використання дросельного каналу певного перерізу та ступеня відкривання клапана при різних значеннях тиску над та під мембраною. Це має покращити функціонування транспортуючої системи колектор – молокопровід доїльної установки при збереженні параметрів якості молока.

3. Встановили можливі випадки невиконання умови гарантованого транспортування молока до верхнього молокопроводу доїльної установки. При використанні дросельного каналу діаметром 1,5–1,6 мм та молочного шланга з діаметрами 14 та 16 мм не буде виконуватись умова транспортування, оскільки коефіцієнт співвідношення тисків буде більшим від одиниці $k_p > 1$. Умова

безпечного транспортування молока не виконується для молочного шланга діаметром 10–12 мм із-за значного прискорення потоку молока. Надмірне надходження повітря відбувається через дросельний канал із діаметром 2,5 мм, що не дозволяє отримати ощадний режим транспортування молока незалежно від діаметра молочного шланга. За умови використання перерізу каналу із діаметром меншим за 1,5 мм не забезпечується достатній градієнт тиску при доїнні високопродуктивних корів та за умови підвищеної швидкості молоковіддачі.

4. Результати експериментальних досліджень вказують на раціональне поєднання дросельного отвору діаметром 2 мм та молочного шланга діаметром 13,2 мм. За таких параметрів транспортуючої системи отримуємо безпечне транспортування молока до молокопроводу доїльної установки. Отримане рівняння регресії пов'язує конструкційні та технологічні параметри транспортуючої системи доїльний апарат – молокопровід доїльної установки.

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. Коваль В. В. Оцінка конструкційно-технологічних рішень колекторів доїльних апаратів. *Біоенергетичні системи : Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції*. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. Ч. 2 С. 193–195.
5. 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.
6. Фененко А. И. Механізація доїння корів Теорія і практика: монографія. Київ, 2008. 198 с.
7. Вимоги до доїльного обладнання : веб-сайт. URL : <http://www.milkUA.info>.
8. Машини для тваринництва та птахівництва. / за ред. В. І. Кравчука та Ю. Ф. Мельника. Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л.Погорілого, 2009. 207 с.
9. Палій А. П. Вплив молокопровідних систем доїльних установок на споживчі показники молока. *Тваринництво України*. 2016. № 9. С. 20–22.
10. Підвісна частина DeLaval MC-50 : веб-сайт. URL : <http://www.deval.com>.
11. Карташов Л. П. О стратегии эффективной эксплуатации биотехнических систем и создания адаптивной техники. *Техника в сельском хозяйстве*. 2004. № 5. С. 35–36.

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

13. 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

14. 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.

15. Дмитрів В. Т. Алгоритмізація процесу машинного доїння корів. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Мелітополь : ТДАТА, 2006. № 40. С. 36–41.

16. Ужик В. Ф., Чигрин О. А. Обґрунтування вимог до процесу машинного доїння. *Вдосконалення технологій та обладнання виробництва продукції тваринництва : Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка*. Харків, 2005. Вип. 42. С. 176–180.

17. Медведський О. В., Коваль В. В. Покращення транспортувальних характеристик колекторів доїльних апаратів. *Біоенергетичні системи : Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції*. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. Ч. 1 С. 91–92.

18. Мельников С. В. Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов. 2-е изд. перераб. и доп. Л. : Агропромиздат, 1985. 640 с.

19. Основы термодинамики, газовой динамики и теплопередачи / под ред. В. И. Хвостова. М. : Машиностроение, 1968. 276 с.

20. Штеренлихт Д. В. Гидравлика : учебник для вузов. М. : Энергоатомиздат, 1984. 640 с.