

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

НАЙДЮК Іван Миколайович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЇ ТА РЕЖИМІВ
РОБОТИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПУЛЬСАТОРА 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

Найдюк І. М. **Обґрунтування параметрів конструкції та режимів роботи електромагнітного пульсатора 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 виконана оцінка функціональних схем електромагнітних пульсаторів доїльних апаратів відомих виробників. Встановлено, що відомі конструкційні рішення електромагнітних пульсаторів мають складну будову та значну енергоємність із-за втрат на тертя складових елементів, відсутні системи підсилення та регулювання режимів роботи.

Кваліфікаційна робота вирішує проблему серійного обладнання за рахунок використання комбінованої електромембранної структурної схеми. Завдяки цьому можливо знизити енергоємність пульсатора та підвищити стабільність роботи доїльного апарата.

Проведені аналітичні дослідження дозволили встановити оптимальні конструкційно-технологічні характеристики розробленого електромембранного пульсатора відповідно до інтенсивності молоковіддачі, геометричних параметрів складових та рівня вакуумметричного тиску.

Ключові слова: електромагніт, пружність мембрани, силовий аналіз, вакуумметричний тиск, тривалість такту.

ANNOTATION

Naydyuk I. M. **Substantiation of design parameters and modes of operation of the milking machine electromagnetic pulsator.** – Qualification work on the rights of the manuscript.

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

In qualification work the estimation of functional schemes of electromagnetic pulsators of milking machines of known manufacturers is executed. It is established that the known design solutions of electromagnetic pulsators have a complex structure and significant energy consumption due to friction losses of components, there are no systems for amplification and control modes.

Qualification work solves the problem of serial equipment through the use of a combined electromembrane structural scheme. This makes it possible to reduce the energy consumption of the pulsator and increase the stability of the milking machine.

The conducted analytical researches allowed to establish the optimal constructional and technological characteristics of the developed electromembrane pulsator in accordance with the intensity of milk production, geometrical parameters of the components and the level of vacuum pressure.

Key words: electromagnet, membrane elasticity, force analysis, vacuum gauge pressure, stroke duration.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПУЛЬСАТОРІВ ДОЇЛЬНИХ АПАРАТІВ	7
1.1. Аналіз структурно-функціональних схем електромагнітних пульсаторів доїльних апаратів	7
1.2. Оцінка технічних рішень та відомих шляхів удосконалення електромагнітних пульсаторів	9
1.3. Висновки до розділу 1	12
РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРО- МЕМБРАННОГО ПУЛЬСАТОРА ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА	13
2.1. Розроблення структурно-функціональної схеми електро- мембранного пульсатора доїльного апарата	13
2.2. Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів розробленого електромембранного пульсатора	14
2.3. Висновки до розділу 2	20
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМЕМБРАННОГО ПУЛЬСАТОРА	21
3.1. Дослідження силових характеристик розробленого пульсатора залежно від конструкційних параметрів складових	21
3.2. Встановлення електротехнічних та часових характеристик електромембранного пульсатора	24
3.3. Висновки до розділу 3	30
ВИСНОВКИ	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	33

ВСТУП

Актуальність теми. Найбільш поширеними є пневмомембранні пульсатори доїльних апаратів, які працюють у незмінних режимах з одночасним або попарним доїнням, що не відповідає більшості зооветеринарним вимогам до машинного доїння корів. В першу чергу це стосується адаптації пульсатора доїльного апарата до інтенсивності молоковіддачі, яка змінюється впродовж технологічного процесу машинного доїння корів, що може спричинити захворювання вимені корів [1, 2, 3].

Все більшого поширення в оснащення доїльних установок набувають електромагнітні пульсатори доїльних апаратів. На відміну від пневматичних, електромагнітні пульсатори змінюють режим роботи залежно від підведення електричного сигналу. Тому, електромагнітні пульсатори дозволяють зробити технологічний процес машинного керованим залежно від бажаних режимів роботи. При цьому можна реалізувати автоматичний процес роботи пульсатора залежно від інтенсивності молоковіддачі при використанні належного контрольно-вимірювального обладнання та ефективних давачів. Можливість автоматизації технологічного процесу з реалізацією режимів роботи залежно від інтенсивності молоковіддачі з контролем рівня вакуумметричного тиску використовується у сучасних доїльних установках та роботах для доїння [4, 5]. Але сучасні електромагнітні пульсатори залишаються досить енергоємними та складними в будові що ускладнює їх ефективну експлуатацію із-за необхідності мати кваліфікований персонал.

Отже, дослідження електромагнітних пульсаторів доїльних апаратів з метою встановлення шляхів підвищення їх конструкційної та експлуатаційної ефективності під час машинного доїння корів є актуальним завданням сьогодення.

Мета і завдання дослідження. Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності електромагнітних пульсаторів доїльних апаратів шляхом встановлення раціональної конструкції та режимів роботи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз відомих конструкційних схем серійних електромагнітних пульсаторів з метою встановлення шляхів їх удосконалення;
- розробити структурно-функціональну схему електромембранного пульсатора попарної дії з підсилюючим ефектом;
- Встановити та обґрунтувати раціональні конструкційно-технологічні параметри розробленого електромембранного пульсатора;
- визначити вплив конструкційних параметрів електромембранного пульсатора на підвищення ефективності роботи доїльного апарата;
- провести оцінку та аналіз результатів досліджень.

Об'єкт досліджень – технологічний процес роботи електромембранного пульсатора доїльного апарата.

Предмет досліджень – закономірності впливу конструкційно-технологічних параметрів електромембранного пульсатора на режими функціонування доїльного апарата.

Методи досліджень. Поставленні завдання вирішували із застосуванням основних положень та законів теоретичної механіки, газової динаміки та електродинаміки при встановленні та розробці аналітичних моделей функціонування розробленого електромембранного пульсатора, що дозволяють встановити залежності впливу конструкційних параметрів на ефективність технологічного процесу машинного доїння корів.

Під час обґрунтування параметрів розробленого пульсатора використовувались елементи математичного моделювання з використанням програмного забезпечення. Результати теоретичних досліджень оброблялись із використанням програмного середовища Microsoft Excel та інших доступних програм.

Апробація результатів роботи. Результати пошукових та теоретичних досліджень за тематикою кваліфікаційної роботи пройшли належну апробацію – доповідались на внутрішньо вузівських, міжфакультетських та міжнародній конференціях, відображені у наступних друкованих працях:

1. Найдюк І. М. Встановлення основних характеристик пульсатора доїльного апарата. *Наукові читання–2021* : матеріали науково-практичної конференції. 20 травня 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 45–47.

2. Медведський О. В., Найдюк І. М. Силовий аналіз електромембранного пульсатора доїльного апарата. *Біоенергетичні системи* : матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Житомир: Поліський національний університет, 2021. Том 2. С. 16–17.

3. Медведський О. В., Найдюк І. М. Встановлення взаємодії елементів пульсатора доїльного апарата. *Студентські читання–2021* : матеріали науково-практичної конференції. 15 листопада 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 26–28.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота включає вступ, три розділи основної частини, загальні висновки, список використаних літературних джерел (22 найменування), викладена на 34 сторінках комп'ютерного тексту, проілюстрована 15 рисунками.

РОЗДІЛ 1

ОЦІНКА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПУЛЬСАТОРІВ ДОЇЛЬНИХ АПАРАТІВ

1.1. Аналіз структурно-функціональних схем електромагнітних пульсаторів доїльних апаратів

Основною складовою будь-якої системи доїння, тобто виконавчим механізмом, є пульсатор доїльного апарата.

Пульсатор – призначений для забезпечення чергування тисків (вакуумметричного та атмосферного) у міжстінкових просторах доїльних стаканів, шляхом періодичного їх з'єднання з джерелом вакуумметричного (вакуум-провід) або атмосферного (оточуючий простір) тисків.

Пульсатор є визначником частоти пульсації та співвідношення тактів доїльного апарата, залежно від налаштувань та зовнішніх умов. Так як доїльний апарат взаємодіє із твариною, до нього висувуються наступні вимоги [6]:

- параметри довкілля не мають впливати на режими роботи;
- на роботу пульсатора не повинно впливати флуктуації вакуумметричного тиску;
- необхідно забезпечити регулювання робочих режимів роботи під час машинного доїння;
- повинна бути мінімальна тривалість перехідних процесів;
- матеріали пульсатора не повинні впливати на санітарну якість молока та здоров'я корів;
- габаритні розміри та маса мають бути мінімальними;
- необхідна адаптованість до різних конструкційних типів доїльних установок;
- висока надійність та ремонтпридатність, а також, безпечність та легкість експлуатації.

Найбільшого поширення набули пневмомембранні пульсатори доїльного апарата. Робота такого пульсатора забезпечується за рахунок використання потенційної енергії вакууму, тому не потрібно використовувати інших джерел енергії. Ця особливість є основною перевагою такого пульсатора, оскільки вакуумметричний тиск використовується для процесу виведення молока із долей вимені корови.

До недоліків пневмомембранних пульсаторів можна віднести [7]:

- нестабільна частота пульсації та нестабільність співвідношення тактів, що виникають із-за незначних змін рівня вакуумметричного тиску;
- складність автоматичного керування та забезпечення адаптованого режиму доїння.

Вказані недоліки не дають можливості втілити всі вимоги до безпечної та ефективної конструкції пульсатора доїльного апарата.

Все більшого поширення набувають електромагнітні пульсатори доїльного апарата. Можливі конструкційні схеми електромагнітних пульсаторів подано на рис. 1.1 [7].

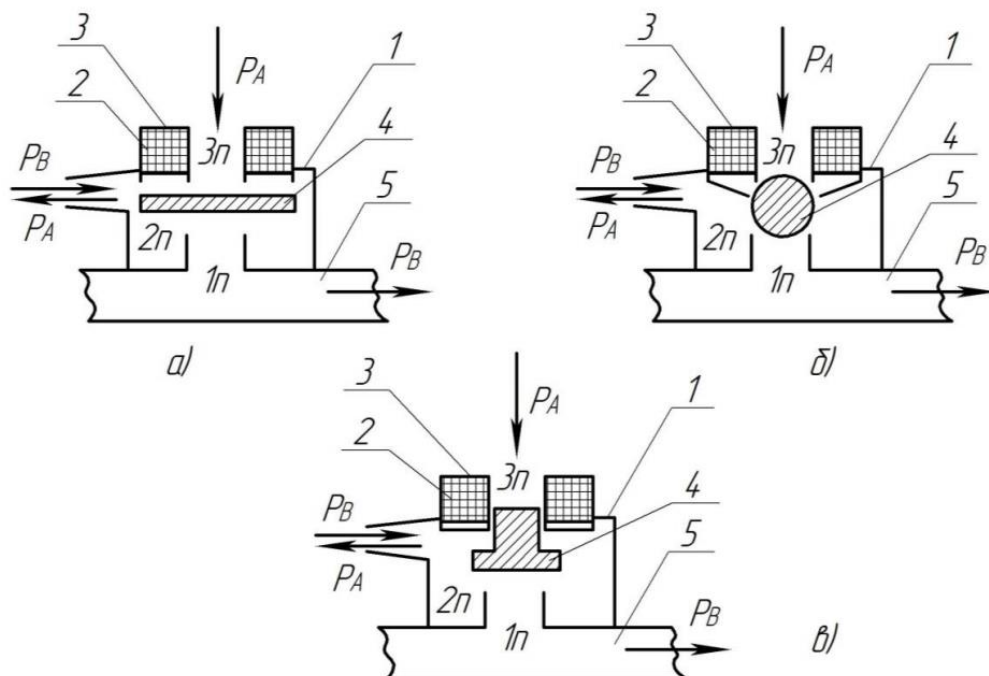


Рис. 1.1. Конструкційні схеми пульсаторів з електричним приводом: а – площинний якор; б – сферичний якор; в – циліндричний якор; 1 – основа

корпуса; 2 – електромагнітна котушка; 3 – магнітний провідник; 4 – якір; 5 – патрубок вакуумметричного тиску; $1n$ – камера постійного вакуумметричного тиску P_B ; $2n$ – камера зміни тисків; $3n$ – камера постійного атмосферного тиску P_A .

Основною перевагою такого пульсатора є забезпечення постійної частоти пульсації. Це викликано тим, що частота пульсації не залежить від рівня вакуумметричного тиску. Окрім цього електромагнітний пульсатор здатний забезпечити адаптований режим доїння. До недоліків відносять необхідність потреби забезпечення електричного живлення низької напруги. Це може ускладнити систему розподілу електроенергії у тваринницькому приміщенні [7, 8].

Різноманітність конструкційних схем вказує на пошук раціональної схеми. Але у запропонованих конструкціях якір виконує функцію клапана, а під час такту стиску опускається дід дією власної ваги, що потребує правильного позиціонування.

1.2. Оцінка технічних рішень та відомих шляхів удосконалення електромагнітних пульсаторів

За рахунок суттєвих переваг, доїльні установки фірм-виробників все частіше обладнують електромагнітними пульсаторами. Найбільшого поширення набули електромагнітні пульсатори попарної дії, оскільки вони максимально пристосовані до фізіології вимені корови.

Електромагнітні пульсатори фірми DeLaval (Швеція) моделей EP-2090 та EP-100 широко використовується для комплектування автоматизованих доїльних установок (рис. 1.2). Пульсатори вказаних моделей використовуються із системами Douvac, а також, для систем доїння в корівниках.



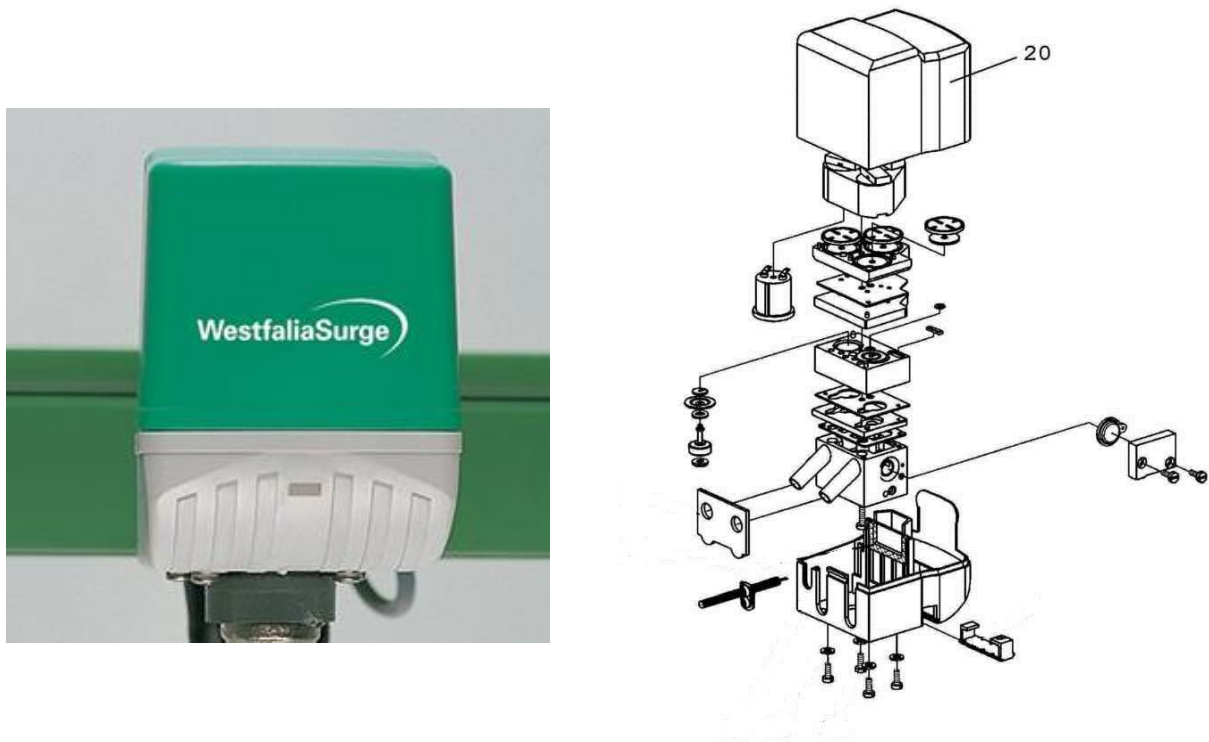
Рис. 1.2. Електромагнітні пульсатори фірми DeLaval (Швеція) [9].

Електромагнітний пульсатор фірми DeLaval EP2090 характеризується незначними витратами енергії, може використовуватися для індивідуального доїння корів у мобільних або стаціонарних доїльних установках, забезпечує комфорт для тварин та збереження їхнього здоров'я. Його можна поєднати з системою Duovac™ для стимуляції та контролю вакуумметричного тиску залежно від інтенсивності молоковіддачі. Можливе встановлення різних співвідношень тактів ссання та стиску (65/35, 70/30, 60/40), має зручний роз'єм для розбирання та технічного обслуговування.

Електронний пульсатор EP100 мінімізує ризик маститу та гарантує отримання якісного молока. Ця модель пульсатора обладнана пристроєм регулювання частоти пульсації залежно від швидкості доїння (з електронним командним управлінням), його конструкція проста та легка в обслуговуванні. Матеріали пульсатора мають високу корозійну стійкість, що підвищує термін його ефективної експлуатації.

Німецький виробник доїльного обладнання WestfaliaSurge пропонує на ринку електромагнітний імпульсний пульсатор моделі Auto-Puls Apex P (рис. 1.3). Дана модель пульсатора відрізняється легким регулюванням тривалості та співвідношення тактів залежно від інтенсивності молоковіддачі.

За допомогою магніто-імпульсної системи досягається висока точність роботи пульсатора незалежно від зовнішніх умов [10].



а

б

Рис. 1.3. Електромагнітний пульсатор Auto-Puls Apex P фірми WestfaliaSurge [10]: а – загальний вигляд; б – структурна схема.

Пульсатор AutoPuls Apex P має широкі можливості для налаштування, завдяки яким можна підібрати режим роботи для будь-якої корови відповідно до періоду лактації та продуктивності. Завдяки цьому досягається повнота молоковиведення та забезпечується висока якість надоєного молока при збереженні здоров'я тварини.

Електромагнітний пульсатор моделі UNIPUL Electronics (рис. 1.4) Данського виробника доїльного обладнання фірми SAS пропонується для оснащення доїльних установок будь-якого типу. Характерною особливістю даної моделі пульсатора є його живлення за допомогою звичайної батарейки, що робить можливим реалізацію технологічного процесу машинного доїння корів навіть у випадку відсутності мережевої напруги [11].



Рис. 1.4. Електромагнітний пульсатор UNIPUL Electronics (Данія) [11].

Застосування електронного керування у пульсаторі забезпечує отримання чіткого співвідношення та тривалості кожного такту залежно від режиму доїння. Дана конструкція пульсатора може бути налаштована на два режими: із однаковим співвідношенням тактів та частотою 0,8 пульсів за секунду; із співвідношенням тактів 70/30 та частотою один пульс за секунду [11].

1.3. Висновки до розділу 1

1. Виконана оцінка вказала на необхідність широкого використання електромагнітних пульсаторів у системі машинного доїння корів не тільки для стаціонарних, а й для мобільних індивідуальних доїльних установок. Широка номенклатура електромагнітних пульсаторів вказує на попит серед виробників тваринницької продукції.

2. Незважаючи на різноманітність конструкційно-технологічних рішень, електромагнітним пульсаторам притаманні деякі недоліки. Так, розглянуті пульсатори мають складну будову, ускладнена можливість безперешкодного встановлення частоти пульсації та співвідношення тактів під час роботи доїльного апарата, необхідно знизити енергоспоживання за рахунок використання підсилюючої системи для електромагнітів.

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРО-МЕМБРАННОГО ПУЛЬСАТОРА ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА

2.1. Розроблення структурно-функціональної схеми електромембранного пульсатора доїльного апарата

Відомі конструкції електромагнітних пульсаторів потребують покращення режимних характеристик за рахунок удосконалення або розроблення нової конструкційно-функціональної схеми. Головна мета запропонованих удосконалень полягає у зменшенні тривалості перехідних процесів та зниження енергоємності завдяки застосуванню безпосереднього приводу клапанно-мембранного механізму (рис. 2.1) [12].

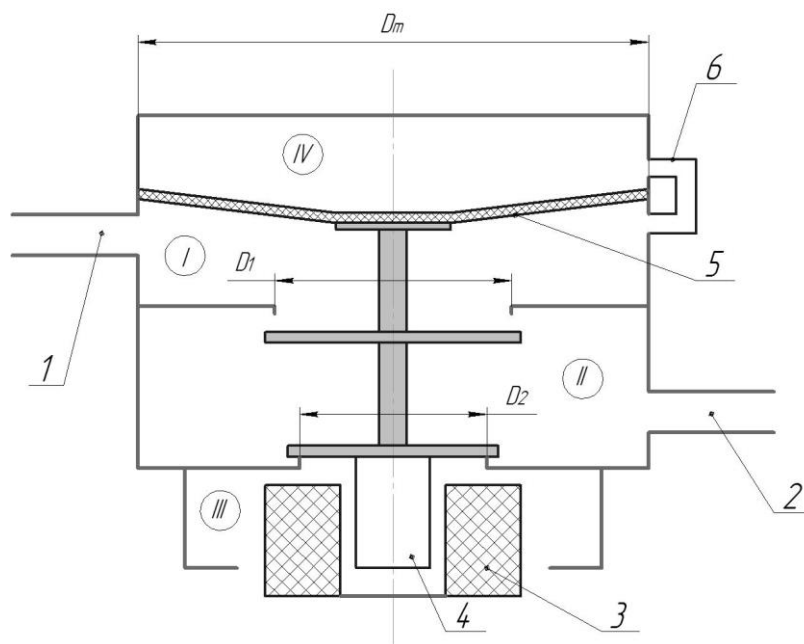


Рис. 2.1. Структурно-функціональна схема розробленого електромембранного пульсатора: 1 – патрубок вакуумметричного тиску; 2 – патрубок поєднання з колектором; 3 – електромагніт; 4 – якірно-клапанний пристрій; 5 – мембрана; 6 – дросельний канал; I, II та III – відповідно, камери постійного вакуумметричного, змінного та постійного атмосферного тисків пульсатора; IV – керуюча камера пульсатора.

Принцип роботи запропонованого електромембранного пульсатора (рис. 2.1) наступний. В початковий момент часу підключення пульсатора до вакуумної мережі, у керуючій камері (IV) діє атмосферний тиск, а під мембраною буде вакуумметричний тиск. За рахунок різниці тисків, мембрана переміщується донизу разом із клапанами. При цьому камера постійного вакуумметричного тиску (I) сполучається через отвір D_1 з камерою змінного тиску (II) і до розподільної камери колектора та міжстінкових просторів доїльних стаканів поширяться вакуумметричний тиск – відбувається такт ссання. Через деякий час дросельним каналом b з діаметром d_o вакуумметричний тиск поширяться у керуючій камері. За рахунок різниці тисків у IV, I (вакуум) і III (атмосферний тиск) камерах клапанна група переміститься ввєрх. При цьому через отвір D_2 до камери II надійде атмосферний тиск, який поширяться до розподільної камери колектора та міжстінкових просторів доїльних стаканів – відбувається такт стиску.

Повернення до такту ссання відбувається через визначений проміжок часу за допомогою електромагніту. При включенні електромагніту якірно-клапанний пристрій переміститься донизу, що забезпечить зміну тиску у II-й камері з атмосферного на вакуумметричний. Цикл роботи повториться – відбудеться такт ссання.

2.2. Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів розробленого електромембранного пульсатора

Умову переміщення клапанно-мембранної групи донизу у момент включення пульсатора, користуючись рекомендаціями [13, 14], можна подати у вигляді (рис. 2.2):

$$F_p = G_{kl} + F_4 - F_m - F_3 > 0, \quad (2.1)$$

де F_p – сила переміщення клапанно-мембранної групи донизу, Н;

G_{kl} – сила ваги клапанно-мембранної групи, Н;

F_4 – сила викликана тиском у керуючій камері, Н;

F_m – сила пружності матеріалу мембрани, Н;

F_3 – сила дії тиску з боку камери *III*, Н.

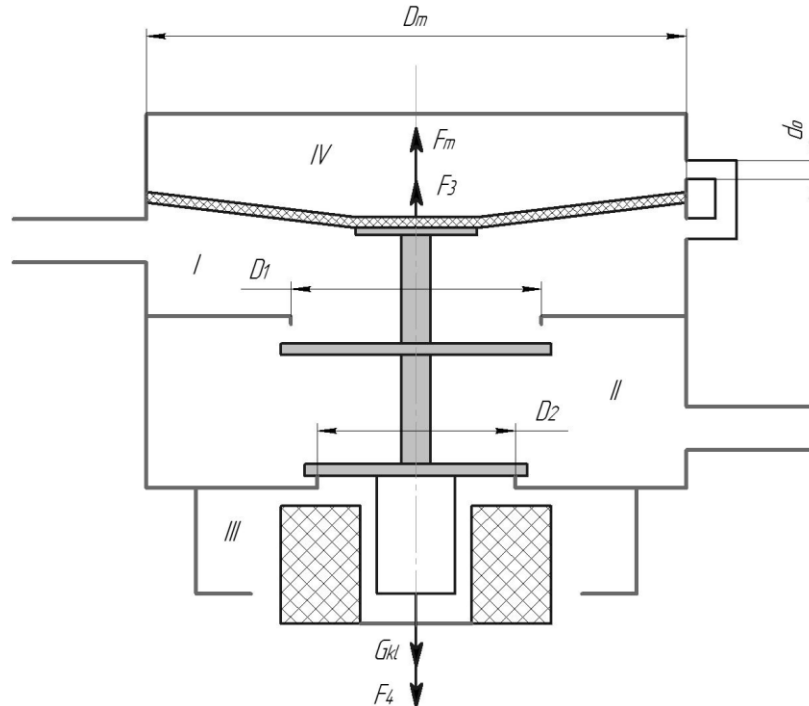


Рис. 2.2. Схема дії сил на елементи розробленого електромембранного пульсатора під час такту ссання: *I* – камера постійного вакуумметричного тиску; *II* – камера змінного тиску; *III* – камера постійного атмосферного тиску; *IV* – керуюча камера пульсатора; d_0 – діаметр дросельного каналу [12, 15].

Розроблена конструкція пневматичного пульсатора з керуванням за допомогою електромагніту має дві функціональні частини. Перша частина поєднує електромагніт, якір, блок клапанів та дросельний канал, що становить елементи системи керування роботою пульсатора. Друга має мембрану, порожнини камер постійного вакуумметричного, постійного атмосферного тиску та камер у яких тиск може бути як вакуумметричний так і атмосферний – корпусна, або базова частина пульсатора.

На якір електромагніту та блок клапанів буде діяти сила ваги, спрямована донизу:

$$G_{kl} = (m_{kl} + m_j) \cdot g, \quad (2.2)$$

де m_{kl} – маса блоку клапанів, кг;

m_j – маса якоря електромагніту, кг;

g – прискорення земного тяжіння, м/с²

Під час такту ссання рухому частину пульсатора донизу переміщує сила, що викликана тиском у четвертій камері, з врахуванням рекомендацій [13, 14] можна записати:

$$F_4 = \frac{\pi \cdot D_m^2}{4} \cdot (p_4 - p_1), \quad (2.3)$$

де D_m – діаметр мембрани, м;

p_1 – тиск у першій камері пульсатора, Па;

p_4 – тиск у керуючій камері пульсатора, Па

У вертикальному напрямку спрямована сила зі сторони камери постійного атмосферного тиску:

$$F_3 = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot (p_3 - p_2), \quad (2.4)$$

де D_2 – діаметр отвору камери постійного атмосферного тиску, м;

p_1 – тиск у другій камері пульсатора, Па;

p_3 – тиск у третій камері пульсатора, Па

Спрямованою у вертикальному напрямі буде, також, сила пружності мембрани. Це пояснюється тим, що мембрана завжди намагається зайняти своє початкове, тобто, рівноважне положення. Силу пружності мембрани, відповідно до рекомендацій [16, 17], можна встановити за формулою:

$$F_m = \frac{h \cdot E \cdot \delta^3}{k \cdot R_m^2}, \quad (2.5)$$

де h – величина переміщення мембрани у корпусі пульсатора, м;

k – коефіцієнт, що враховує геометрію мембрани;

R_m – радіус мембрани, м;

E – модуль Юнга матеріалу мембрани, Па;

δ – товщина мембрани, м

Таким чином, працездатність запропонованої конструкції пульсатора залежить від конструкційно-геометричних параметрів та силових режимних характеристик.

Необхідно встановити сили, котрі забезпечують реалізацію такту стиску, тобто необхідні умови переміщення рухомих частин пульсатора у протилежному напрямку, тобто, доверху (рис. 2.3).

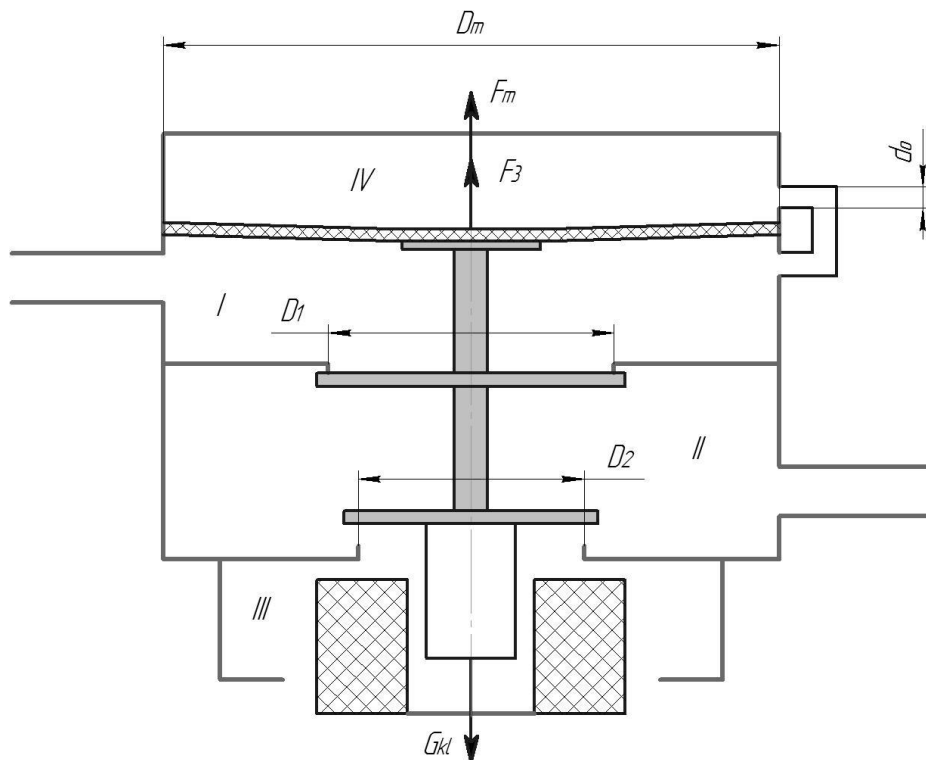


Рис. 2.3. Схема дії сил на елементи розробленого електромембранного пульсатора під час такту стиснення

Через деякий проміжок часу, вакуумметричний тиск через дросельний канал пошириться до керуючої камери. Як тільки тиск над мембраною (камера IV) стане рівним тиску під мембраною (камера I), за рахунок пружних деформацій матеріалу мембрани та дії атмосферного тиску з камери III, блок клапанів підніметься вгору – відбудеться такт стиснення. В такому випадку сила $F_4=0$.

Для реалізації такту стиснення необхідне виконання умови:

$$F_h = F_m + F_3 - G_{kl} > 0, \quad (2.6)$$

де F_h – сила переміщення клапанно-мембранної групи доверху, Н.

Перехід до такту ссання відбувається завдяки включенню у роботу електромагніту, сила якого спрямована донизу (рис. 2.4).

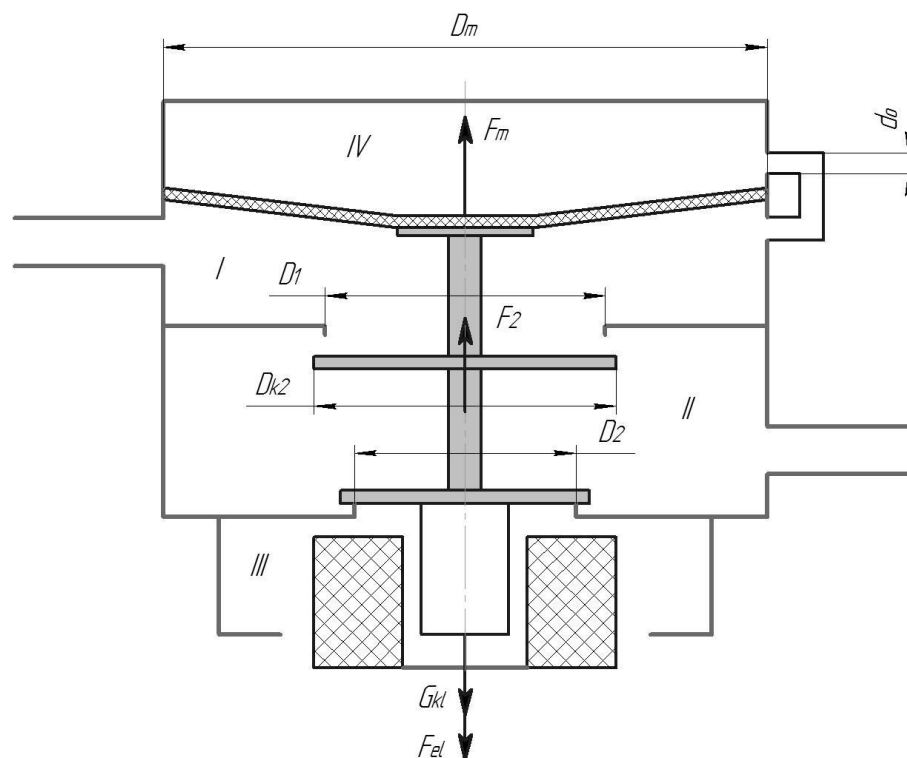


Рис. 2.4. Схема дії сил на елементи розробленого електромембранного пульсатора при переході від такту стиснення до такту ссання.

Для переходу від такту стиснення до такту ссання необхідне виконання умови:

$$F_{el} + G_{kl} - F_m - F_2 > 0, \quad (2.7)$$

де F_{el} – сила дії електромагніту, Н;

F_2 – сила, яка прагне утримувати клапани у піднятому стані, Н.

Сила, яка спрямована зі сторони камери II в напрямку камери I постійного вакуумметричного тиску при переході до такту ссання:

$$F_2 = \frac{\pi \cdot D_{k2}^2}{4} \cdot (p_2 - p_1), \quad (2.8)$$

де D_{k2} – діаметр клапана зі сторони камери II, м;

p_1 – тиск у першій камері пульсатора, Па;

p_2 – тиск у другій камері пульсатора, Па

Силу дії електромагніту, відповідно до рекомендацій [18, 19], можна визначити за формулою:

$$F_{el} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4 \cdot h^2} \cdot \frac{1}{2} (\omega I)^2 \cdot \mu_v, \quad (2.9)$$

де d_e – діаметр якоря електромагніту, м;

h – величина переміщення якоря електромагніту, м;

μ_v – магнітна проникненність у середовищі вакуумметричного тиску;

ωI – виток-ампер електромагніту, А.

Коефіцієнт, що враховує геометрію мембрани визначається відповідно до рекомендацій [17], за допомогою формули:

$$k = \frac{3 \cdot (1 - \mu_m^2)}{\pi} \cdot \left[\frac{c^2 - 1}{4 \cdot c^2} - \frac{\ln^2 c}{c^2 - 1} \right], \quad (2.10)$$

де μ_m – коефіцієнт Пуансона для матеріалу мембрани;

c – відношення конструкційного радіусу мембрани до її жорсткого центру

$$(c = \frac{R_m}{r_m}).$$

Отримані залежності описують вплив конструкційно-технологічних параметрів розробленого пульсатора на режими роботи доїльного апарата. Таким чином, працездатність запропонованої конструкції пульсатора залежить від конструкційно-геометричних параметрів та силових режимних характеристик.

2.3. Висновки до розділу 2

1. Розроблена конструкція електромембранного пульсатора доїльного апарата дозволяє підвищити ефективність технологічного процесу машинного доїння корів за рахунок чіткої реалізації режимних характеристик тривалості тактів та співвідношення між ними без впливу зовнішніх факторів при використанні електромагнітної системи керування.

2. Встановлені аналітичні залежності встановлення впливу геометричних параметрів складових розробленого електромембранного пульсатора на реалізацію технологічного процесу. Отримано математичні вирази формул за допомогою яких можна виконати силовий аналіз взаємодії складових розробленого пульсатора залежно від рівня вакуумметричного тиску, електромагнітної сили приводу клапанів під час такту ссання та тривалості тактів.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМЕМБРАННОГО ПУЛЬСАТОРА

3.1. Дослідження силових характеристик розробленого пульсатора залежно від конструкційних параметрів складових

Отримані у другому розділі аналітичні залежності дозволяють оцінити раціональні геометричні параметри розробленого електромебранного пульсатора при заданому рівні вакуумметричного тиску (рис. 3.1–3.2).

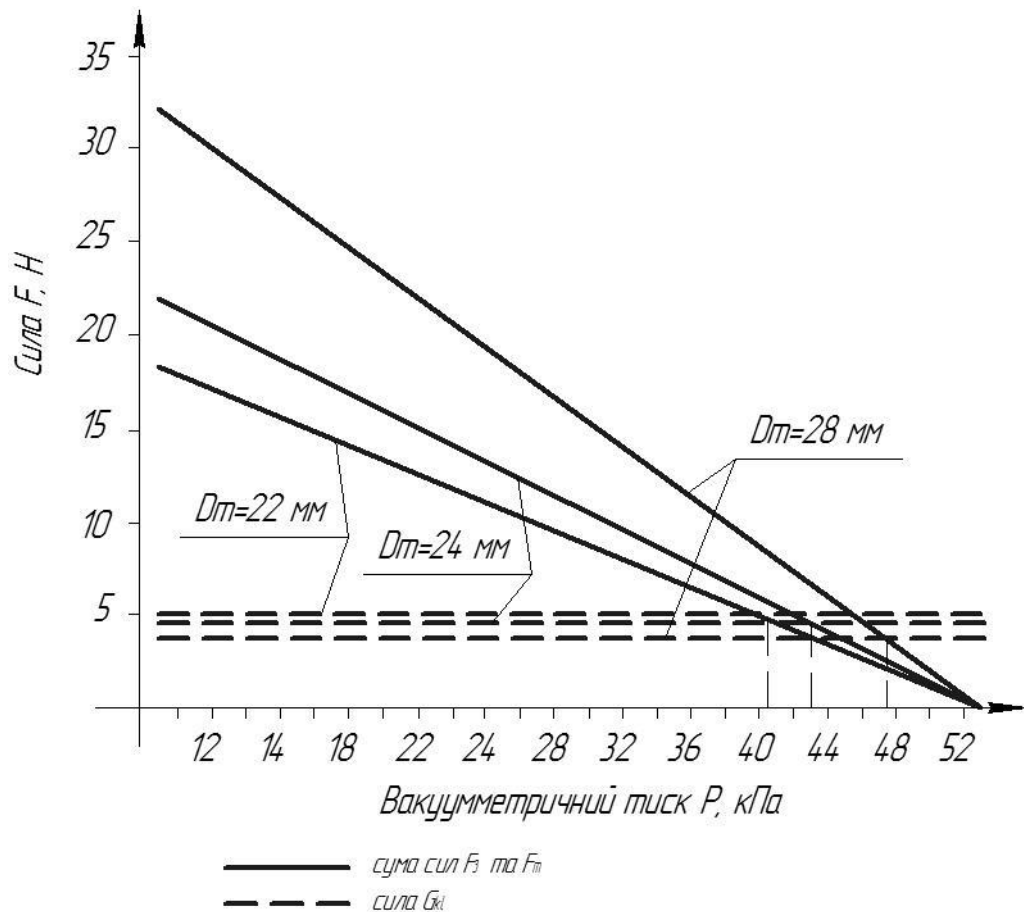


Рис. 3.1. Графічна залежність впливу вакуумметричного тиску на величину протидіючих сил при зміні положення клапанів від такту всасання до такту стиснення

З графічних залежностей на рис. 3.1 можна визначити за умови якого рівня вакуумметричного тиску може відбутися перехід від такту ссання до такту стиснення при заданих геометричних параметрах складових електромембранного пульсатора. Дослідження проводились при наступних геометричних параметрах: діаметр клапана від камери *III* становить 8 мм; товщина мембрани – 1,5 мм; хід мембрани – 1,5 мм; радіус кріплення мембрани до клапана – 5 мм; робочий вакуумметричний тиск становив 48 кПа.

Так, більшому діаметру мембрани (див. рис. 3.1) відповідає вищий рівень вакуумметричного тиску у другій камері. За умови використання мембрани з діаметром 28 мм необхідний тиск для забезпечення гарантованого переходу від такту ссання до такту стиснення має бути на 17 % вищий ніж при використанні мембрани із діаметром 22 мм. При використанні мембрани з діаметром 22 мм вакуумметричний тиск початку процесу переходу до такту стиснення становить 41,5 кПа, при діаметрі мембрани на рівні 24 мм рівень вакуумметричного тиску має бути збільшений до 43 кПа, а за умови використання мембрани діаметром 28 мм, вакуумметричний тиск перемикання має зрости до 47,5 кПа, що майже відповідає робочому вакуум метричному тиску у першій камері пульсатора на рівні 48 кПа.

Сила, яка перешкоджає клапанам рухатись вверх майже не змінюється при збільшенні діаметра мембрани (див. рис. 3.1), що можна пояснити незначним збільшенням ваги мембрани при збільшенні її діаметра. Тому, використання мембрани з меншим діаметром забезпечить перемикання між тактами при меншому тиску у другій камері, що є більш прийнятним при подальшому проектуванні.

На технологічні параметри розробленого електромембранного пульсатора впливають також геометричні параметри отворів які сполучають камери корпусу. Якщо використовувати з'єднувальний отвір між камерою постійного вакуумметричного тиску (*I*) та камерою змінного тиску (*II*) більшого діаметра, то розмір клапана також буде більший, що буде сприяти зміні технологічних показників при переході від такту стиснення до такту ссання (рис. 3.2).

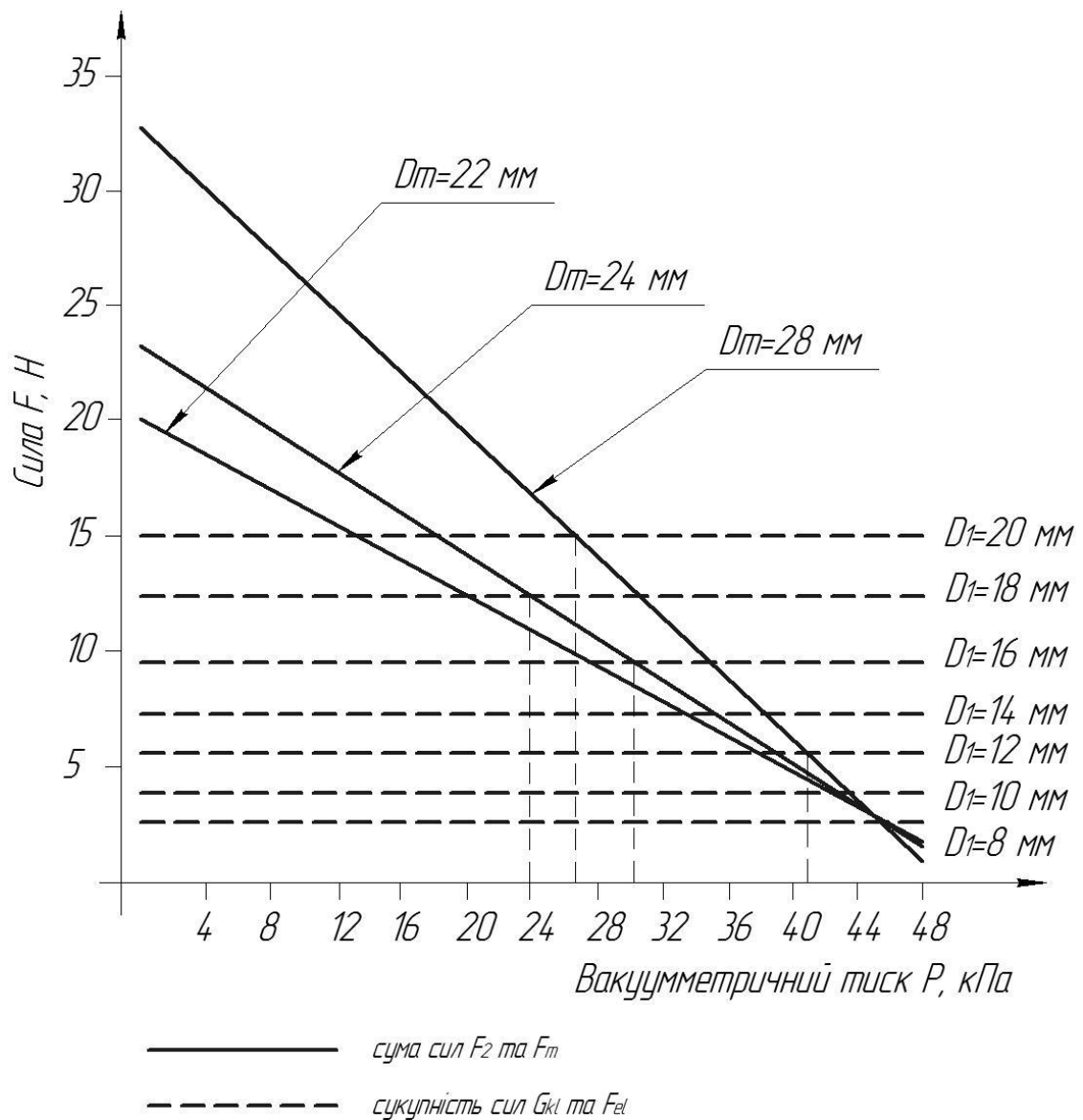


Рис. 3.2. Графічна залежність встановлення параметрів переходу від такту стиснення до такту ссання залежно від діаметру мембрани та діаметру отвору між камерами I та II.

Відповідно до наведених графіків (рис. 3.2), при зменшенні діаметра прохідного отвору між камерою постійного вакууметричного тиску та камерою змінного тиску перехід від такту стиснення до такту ссання буде відбуватись при вищому рівні вакууметричного тиску у керуючій камері. Але за умови роботи пульсатора при номінальному вакууметричному тискові у 48 кПа мінімальні значення діаметра сполучного отвору більш прийнятні. За таких умов діаметр мембрани має незначний вплив на процес зміни положення

клапанів, оскільки тиск над мембраною та під мембраною буде однаковим і рівним тиску над клапаном отвору D_1 . Таким чином, визначальну роль буде мати сила електромагніту, завдяки якій долається сила пружних деформацій матеріалу мембрани та силі тиску, яка утримує клапанний блок у закритому положенні. Як тільки включиться у роботу електромагніт, повне перемикання між тактами відбудеться швидше при більшому діаметрі та меншому значенні діаметра мембрани, але така взаємодія неможлива із-за досить малого рівня необхідного тиску, що не відповідає режимним характеристикам роботи пульсатора.

3.2. Встановлення електротехнічних та часових характеристик електромембранного пульсатора

Електромагнітна сила, яка переміщує клапани донизу, також залежить від геометричних параметрів електромагніту (рис. 3.3).

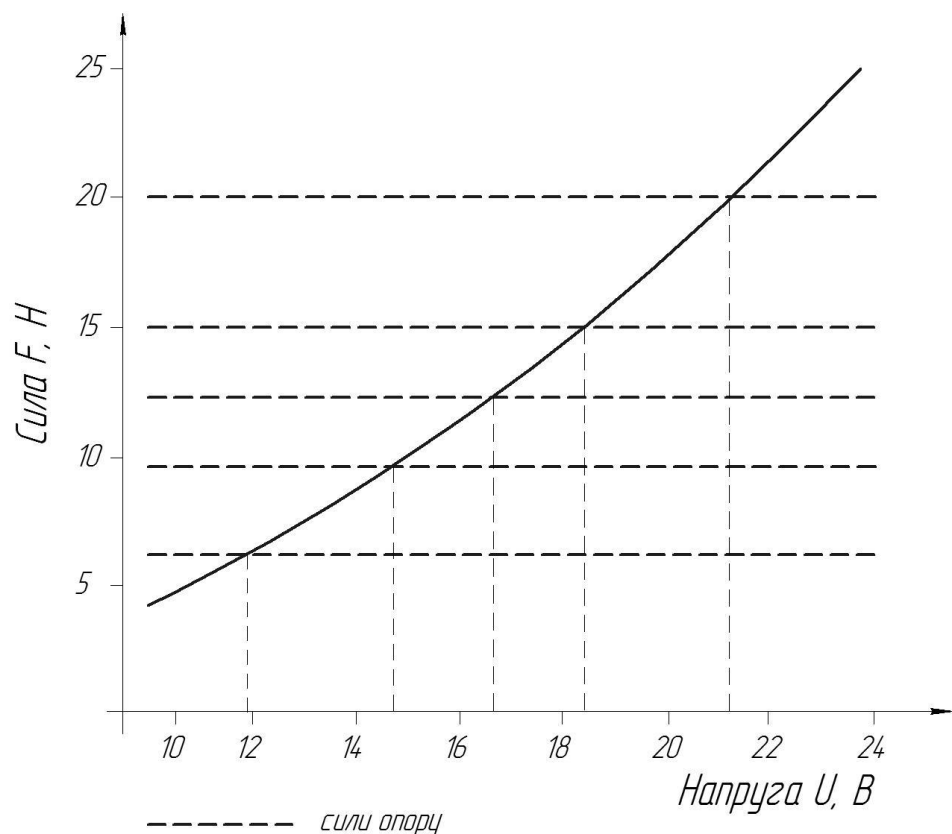


Рис. 3.3. Графік залежності електромагнітної сили від підведеної напруги.

Відповідно до графічних залежностей на рис. 3.3, сила електромагніту збільшується від 4,9 до 25 Н зі збільшенням підведеної напруги від 10 до 24 В. При цьому характеристики параметрів електромагніту залишаються незмінними: кількість витків – 1200; загальний опір соленоїду становить 170 Ом; вага якоря не перевищує 4,5 г. Отримані графічні залежності дозволяють встановити бажану напругу живлення соленоїда залежно від необхідності здолати відомі сили опору.

На функціонування розробленого пульсатора витрачається енергія залежно від технологічних умов (рис. 3.4).

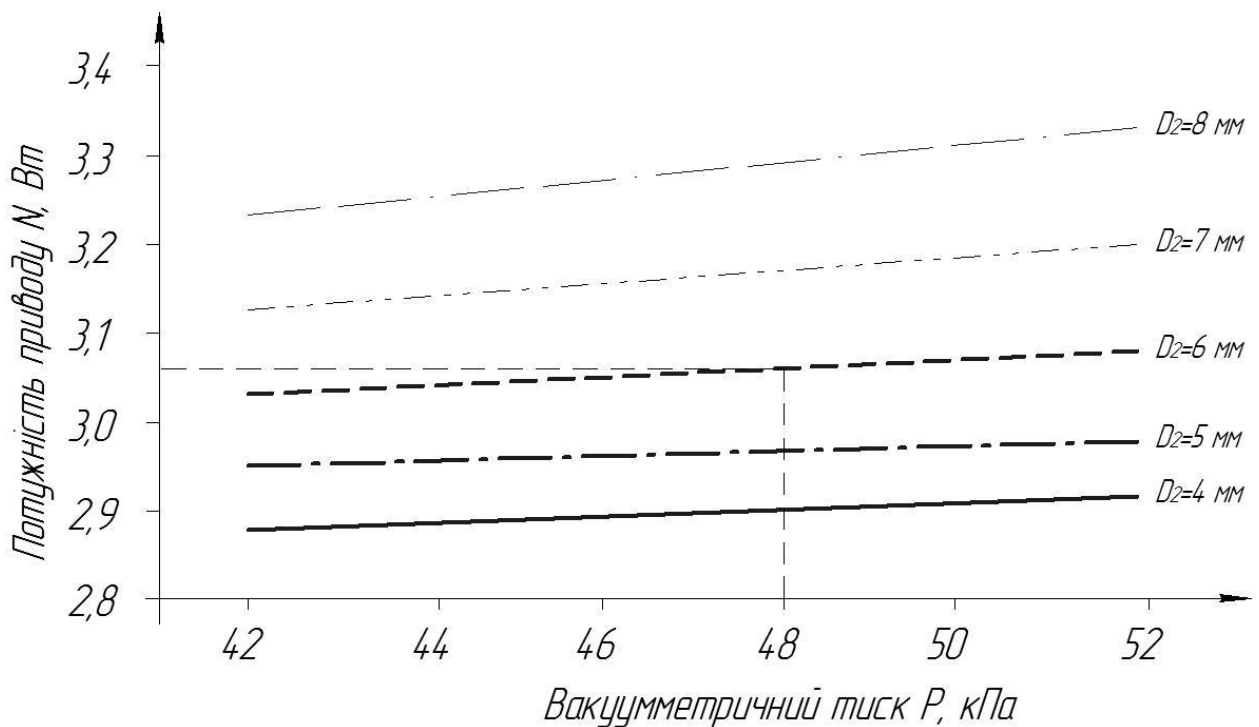


Рис. 3.4. Графічна залежність потужності електромагніту від рівня вакуумметричного тиску та параметрів отвору D_2 .

Аналіз отриманих графічних залежностей вказує на несуттєвий вплив рівня робочого вакуумметричного тиску на величину потужності електромагніту. Так, при збільшенні вакуумметричного тиску від 42 до 52 кПа

потужність електромагніту зростає лише на 2–6 %. Значно більше на потужність електромагніту впливає діаметр отвору який сполучає камеру постійного атмосферного тиску (III) із камерою змінного тиску (II). Так, на рівні вакуумметричного тиску 42 кПа при збільшенні діаметра отвору від 4 до 8 мм потужність електромагніту збільшується на 12 %, а за умови робочого вакуумметричного тиску 50 кПа потужність зростає на 15 %.

Перехід від такту ссання до такту стиснення відбудеться у момент зрівноваження тиску у керуючій камері (IV) з тиском у камері (I) постійного вакуумметричного тиску. Для цього необхідно із керуючої камери видалити надлишкову масу повітря, користуючись рекомендаціями [20, 21, 22], запишемо рівняння у диференціальній формі:

$$\frac{dm}{dt} = v_n \cdot \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \cdot \rho_n, \quad (3.1)$$

де d_o – діаметр сполучного каналу (див. рис. 2.2), м;

v_n – швидкість руху повітря, м/с;

ρ_n – густина повітря при тиску в керуючій камері, кг/м³.

Виконавши диференціювання виразу (3.1), та прийнявши початкові умови початку переміщення клапані догори ($t=0$) та вважаючи процес адіабатним, отримаємо рівняння визначення тривалості такту ссання:

$$t_s = \frac{l}{K_p} \cdot \int_{\frac{p_4}{p_1}}^{\frac{p_A}{p_1}} \frac{\frac{p}{p_1}}{\sqrt{\left(\frac{p}{p_1}\right)^{\frac{k-p}{k}} - 1}}, \quad (3.2)$$

де p_A – рівень атмосферного тиску, кПа;

p_1 – тиск у першій камері пульсатора, кПа;

p_4 – тиск у керуючій камері пульсатора, кПа;

p – поточне значення тиску у керуючій камері пульсатора, кПа;

k – показник адіабати;

K_p – коефіцієнт впливу геометричних параметрів розробленого пульсатора:

$$K_p = \frac{k \cdot \mu_v \cdot \pi \cdot d_o^2}{4 \cdot V_1} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1}}, \quad (3.3)$$

де V_4 – об'єм керуючої камери в період такту ссання, м³;

ρ_1 – густина повітря при тиску p_1 , кг/м³.

Керуючись рівняннями (3.1–3.3), отримали графічні залежності впливу геометричних та технологічних параметрів розробленого пульсатора на тривалість такту ссання при переході до такту стиснення (рис. 3.5–3.7).

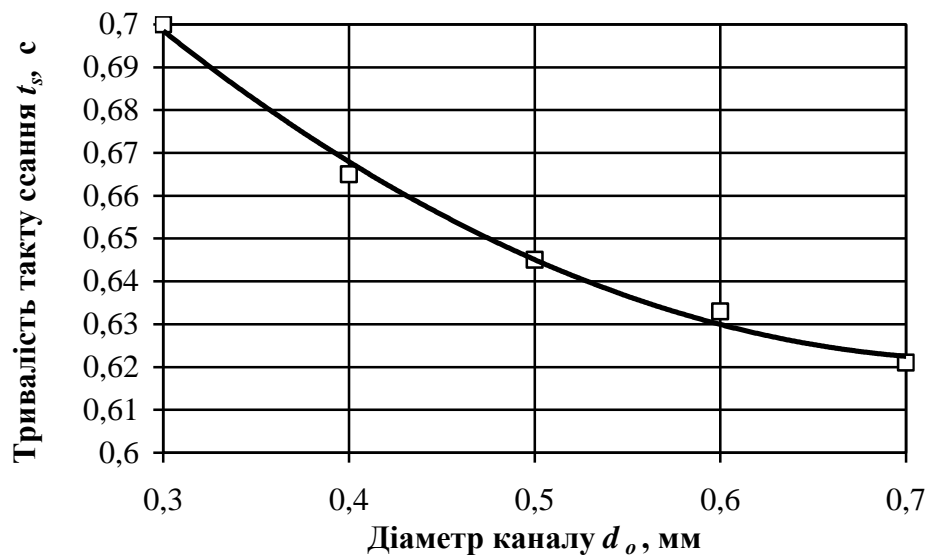


Рис. 3.5. Залежність тривалості такту ссання від діаметра сполучного каналу (d_o) за умови робочого вакуумметричного тиску 48 кПа при величині діаметра $D_2=10$ мм.

Як видно з отриманої графічної залежності на рис. 3.5, зі збільшенням діаметра сполучного каналу від 0,5 до 0,7 мм зменшується тривалість такту ссання на 13 %. Це можна пояснити впливом закону нерозривності потоку, відповідно до якого потік повітря зростає зі збільшення площі перерізу через який він надходить при однакових швидкісних умовах викликаних перепадом тисків.

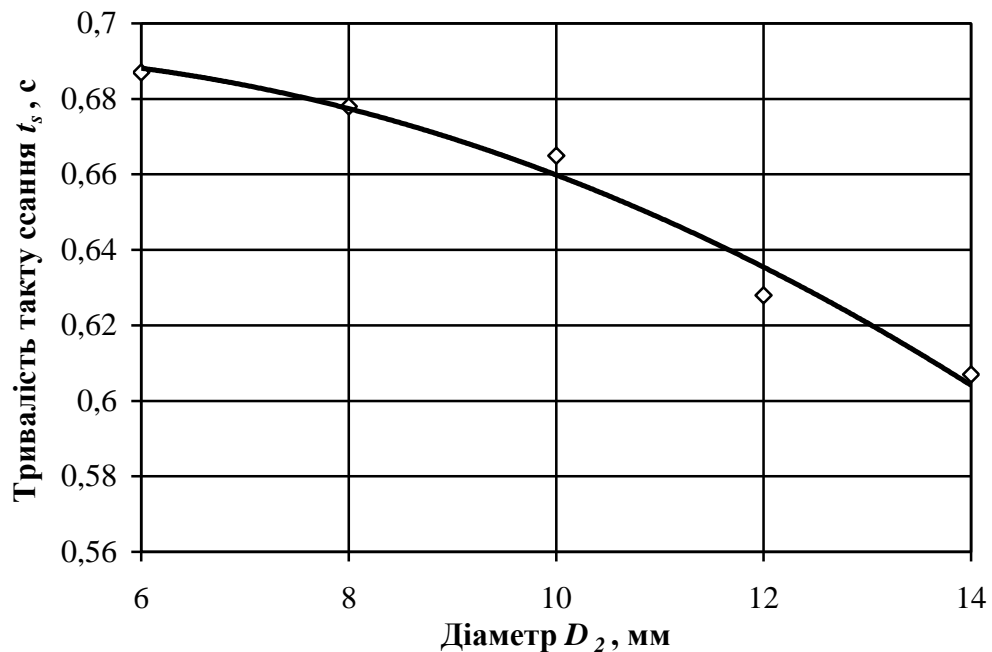


Рис. 3.6. Залежність тривалості такту ссання від діаметра отвору третьої камери пульсатора (D_2) за умови робочого вакуумметричного тиску 48 кПа та діаметра сполучного каналу $d_o=0,4$ мм.

Відповідно до графічної залежності на рис. 3.6, зі збільшенням діаметра отвору між третьою та другою камерами від 6 до 14 мм тривалість такту ссання зменшується на 14 %, що майже ідентично впливу діаметра сполучного отвору. Слід відмітити, що тривалість такту ссання має бути регламентованою величиною, як однією з основних технологічних характеристик пульсатора. Тому, більш переважним можна вважати отвір D_2 меншого діаметра.

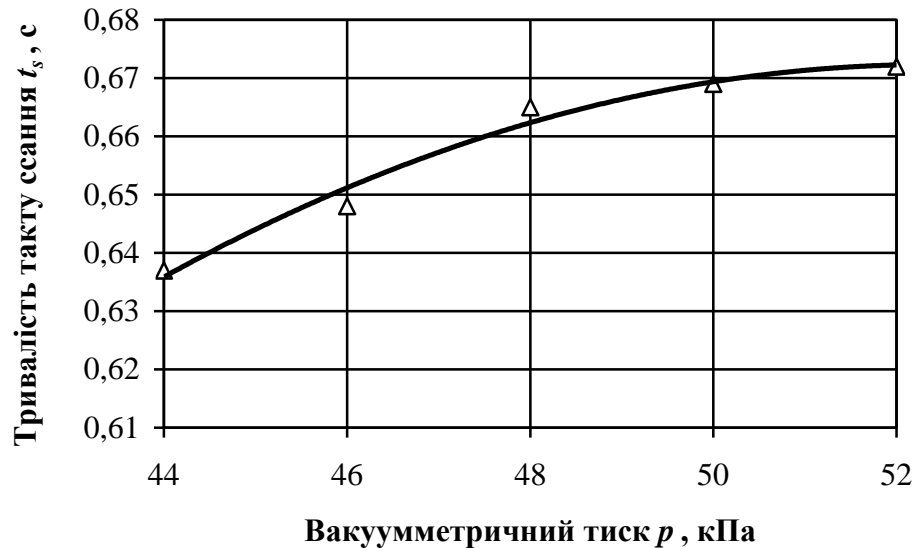


Рис. 3.7. Залежність тривалості такту ссання від рівня робочого вакуумметричного тиску за умови діаметра сполучного каналу $d_o=0,4$ мм та діаметра отвору третьої камери пульсатора $D_2=10$ мм.

Відповідно до графіку поданого на рис. 3.7, при збільшенні рівня вакуумметричного тиску від 44 до 52 кПа тривалість такту ссання зростає лише на 5,5 %, що є менш суттєвим ніж конструкційні фактори розробленого електромембранного пульсатора.

Таким чином, при конструюванні електромембранного пульсатора за розробленою схемою необхідно ретельно припрацьовувати вибір його геометричних параметрів. Проведені дослідження вказують на незначний вплив рівня робочого вакуумметричного тиску на реалізацію технологічного процесу розробленого пульсатора. За рахунок багатократних досліджень можна отримати достатньо багато інформації, відповідно до обробки якої, підбиратимуться раціональні конструкційно-технологічні параметри розробленого електромембранного пульсатора. Це стосується діаметра мембрани, розмірів конструкційних отворів між робочими камерами пульсатора, розміру діаметра сполучного каналу та взаємне розміщення у просторі складових пульсатора.

3.3. Висновки до розділу 3

1. Вибір розміру мембрани впливає на режими функціонування розробленого пульсатора. Так, для мембрани з діаметром 28 мм необхідно створити на 17 % вищий вакуумметричний тиск для забезпечення гарантованого переходу від такту ссання до такту стиснення ніж для мембрани з діаметром 22 мм. При використанні мембрани діаметром 22 мм, вакуумметричний тиск початку процесу переходу до такту стиснення становитиме 41,5 кПа, а при діаметрі мембрани 24 мм рівень вакуумметричного тиску збільшується до 43 кПа.

2. Встановлено, що за умови меншого діаметра прохідного отвору між камерами *I* та *II* перехід від такту стиснення до такту ссання буде відбуватись при вищому рівні вакуумметричного тиску у керуючій камері. За таких умов діаметр мембрани несуттєво впливає на положення клапанів із-за однаковості тисків над та під мембраною.

3. Встановлено, що зусилля яке розвиває електромагніт можна збільшити від 4,9 до 25 Н за рахунок збільшення напруги живлення від 10 до 24 В. Отримані графічні залежності дозволяють встановити бажану напругу живлення соленоїда електромембранного пульсатора.

4. Доведено, що збільшення рівня вакуумметричного тиску від 44 до 52 кПа не має суттєвого впливу на тривалість такту ссання (зростає лише на 5,5 %). Більш суттєвими є конструкційні параметри розробленого електромембранного пульсатора. Так, зі збільшенням діаметра отвору між камерами *II* та *III* зменшується на 14 % тривалість такту ссання, що майже на одному рівні впливу діаметра сполучного отвору (13 %).

ВИСНОВКИ

1. Ґрунтовна оцінка технологій та технологічного обладнання машинного доїння корів вказала на широке використання електромагнітних пульсаторів як для стаціонарних так і для індивідуальних доїльних установок. Незважаючи на різноманітність конструкційно-технологічних рішень, електромагнітним пульсаторам притаманні деякі недоліки, зокрема це складність будови, ускладнена можливість безперешкодного встановлення частоти пульсації та співвідношення тактів, відсутність підсилюючих пристроїв для зниження енергоспоживання електромагнітами.

2. Розроблена раціональна конструкційно-технологічна схема електромембранного пульсатора доїльного апарата, яка дозволяє підвищити ефективність технологічного процесу машинного доїння корів за рахунок чіткої реалізації режимних характеристик тривалості тактів та співвідношення між ними. Отримані аналітичні залежності, що дозволяють оцінити вплив геометричних параметрів складових розробленого електромембранного пульсатора на його силову характеристику при взаємодії складових елементів розробленого пульсатора залежно від рівня вакуумметричного тиску, електромагнітної сили, тривалості тактів.

3. Встановлено, що вибір розміру мембрани досить суттєво впливає на режими функціонування розробленого пульсатора. Так, при використанні мембрани з діаметром 28 мм необхідно створити на 17 % вищий рівень вакуумметричного тиску у керуючій камері для забезпечення гарантованого переходу від такту ссання до такту стиснення, порівняно із мембраною яка має діаметр 22 мм. Якщо використовувати мембрану діаметром 22 мм, рівень вакуумметричного тиску початку процесу переходу до такту стиснення становитиме 41,5 кПа, а за умови використання мембрани з діаметром 24 мм рівень вакуумметричного тиску необхідно збільшувати до 43 кПа.

4. Дослідженнями встановлено, що за умови меншого діаметра прохідного отвору між камерами *I* та *II* перехід від такту стиснення до такту

ссання буде відбуватись при вищому рівні вакуумметричного тиску у керуючій камері. За таких умов діаметр мембрани несуттєво впливає на положення клапанів із-за однаковості тисків над та під мембраною. Встановлено, що зусилля яке розвиває електромагніт можна збільшити від 4,9 до 25 Н за рахунок збільшення напруги живлення від 10 до 24 В при однакових виток-амперних характеристиках. Отримані залежності за допомогою яких можна встановити бажану напругу живлення соленоїда розробленого у кваліфікаційній роботі електромембранного пульсатора.

5. Встановлено, що збільшення рівня вакуумметричного тиску від 44 до 52 кПа не має суттєвого впливу на тривалість такту ссання (зростає лише на 5,5 %). Більш суттєвими є конструкційні параметри розробленого електромембранного пульсатора. Для практичного використання пропонуються наступні конструкційно-технологічні параметри розробленого пульсатора за умови робочого вакуумметричного тиску 48 кПа: діаметр мембрани – 22 мм; діаметр отвору між камерами *I* та *II* – 10 мм; діаметр отвору між камерами *II* та *III* – 6 мм; діаметр сполучного каналу – 0,6 мм; напруга живлення – 18 В.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. Вальдман З. К. Физиология машинного доения коров. Л.: Колос, 1977. 190 с.
3. Смоляр В. Рівень захворюваності корів на мастит за використання різних типів доїльних установок. *Техніка і технології АПК*. 2014. №1. С 17–20.
4. 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.
5. Машины для тваринництва та птахівництва. / за ред. В. І. Кравчука та Ю. Ф. Мельника. Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л.Погорілого, 2009. 207 с.
6. Машины та обладнання для тваринництва / за ред. І. Г. Бойко. Харків : Видавництво ХНТУСГ, 2006. 279 с.
7. Хомик Н. І., Довбуш А. Д. Машины та обладнання для тваринництва : курс лекцій. ч. 2. Тернопіль : Видавництво ТНТУ, 2013. 224 с.
8. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І. Машины та обладнання для тваринництва : підручник. К. : Кондор, 2012. 713 с.
9. Пульсатори від компанії DeLaval : веб-сайт. URL : <https://www.delaval.com/uk/-/milking/at-the-milking-point/pulsation/>
10. AutoPuls Apex M – The flexible single pulsator : веб-сайт. URL : <https://www.gea.com/en/products/milking-farming-barn/dairymilk-milking-cluster/stall-accessories/pulsators-pulstion-control.jsp>
11. SAC – Model Unipuls – Vacuum-Controlled Pulsator : веб-сайт. URL : <https://www.agriculture-xprt.com/products/sac-model-unipuls-vacuum-controlled-pulsator-423848>
12. Медведський О. В., Найдюк І. М. Силовий аналіз електромембранного пульсатора доїльного апарата. *Біоенергетичні системи* : матеріали V

Міжнародної науково-практичної конференції. Житомир: Поліський національний університет, 2021. Том 2. С. 16–17.

13. Фененко А. І. Механізація доїння корів. Теорія і практика. К., 2008. 200 с.

14. Дмитрів В. Т. Алгоритмізація процесу машинного доїння корів. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2006. № 40. С. 36–41.

15. Медведський О. В., Найдюк І. М. Встановлення взаємодії елементів пульсатора доїльного апарата. *Студентські читання–2021* : матеріали науково-практичної конференції. 15 листопада 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 26–28.

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

17. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: підручник. Львів : Світ, 2006. 624 с.

18. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка. Львів: Афіша, 2001. 424 с.

19. Дмітрієва В. Ф. Фізика. Київ: Техніка, 2008. 646 с.

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

21. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – М.: Государственное издательство технико -теоретической лит-ры, 1950. – 676 с.

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