

Дніпровський державний аграрно-економічний університет  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра інжинірингу технічних систем

**Пояснювальна записка**  
до дипломної роботи  
освітньо-кваліфікаційного рівня "Магістр"  
на тему:  
**Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів виконавчих органів  
доїльного апарата**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-1-21  
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Сорокін Кирило Дмитрович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Івлєв Віталій Володимирович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Луц Павло Михайлович

Дніпро, 2022







Сорокін К. Д. Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів виконавчих органів доїльного апарата. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». ДДАЕУ, Дніпро, 2022.

У вступі міститься обґрунтування актуальності теми дипломної роботи, відображено її мета та задачі, наведено методи досліджень. Проведено аналіз досліджень доїння корів адаптивними доїльними апаратами. У другому розділі проведено аналітичне обґрунтування конструктивно-режимних параметрів пульсатора адаптивного доїльного апарата. Представлено методику досліджень пульсатора адаптивного доїльного апарату. Проведено результати досліджень щодо визначення часу включення тактів. Представлені результати досліджень щодо визначення співвідношення тактів пульсатора. Проведено аналіз умов праці операторів машинного доїння на молочних фермах і комплексах. Проведена техніко-економічна оцінка розробки. Сформовані висновки і наведено перелік використаної літератури.

**Ключові слова:** доїльний апарат, адаптивний пульсатор, конструкція, ефективність, фактор досліджень, параметри

## ЗМІСТ

Вступ .....	8
1 СТАН І НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	9
1.1 Аналіз досліджень доїння корів адаптивними доїльними апаратами .....	9
1.2 Класифікація та аналіз адаптивних доїльних апаратів .....	13
1.3 Класифікація та аналіз пульсаторів адаптивних доїльних апаратів .....	19
1.4 Висновки з розділу .....	22
1.5 Мета і завдання досліджень .....	23
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ПУЛЬСАТОРА АДАПТИВНОГО ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА .....	24
2.1 Конструктивно-технологічна схема адаптивного доїльного апарата .....	24
2.2 Теоретичні дослідження параметрів розробленого пульсатора .....	28
2.3 Висновки з розділу .....	42
3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	44
3.1 Програма досліджень .....	44
3.2 Експериментальний зразок пульсатора .....	45
3.3 Методика визначення тривалості тактів .....	45
3.4 Методика визначення співвідношення тактів пульсатора .....	47
3.4 Методика визначення руху золотника .....	48
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПУЛЬСАТОРА АДАПТИВНОГО ДОЇЛЬНОГО АПАРАТУ .....	49
4.1. Результати експериментальних досліджень визначення тривалості тактів .....	49
4.2 Результати експериментальних досліджень визначення співвідношення тактів .....	50

4.3	Методика визначення руху золотника .....	56
4.4	Висновки з розділу.....	58
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	60
5.1	Аналіз умов праці операторів машинного доїння .....	60
5.2	Вплив мікроклімату тваринницьких приміщень на оператора машинного доїння .....	61
5.3	Механічне навантаження на оператора машинного доїння .....	63
5.4	Акустичне навантаження на оператора машинного доїння .....	64
5.5	Причини втрати працездатності оператора машинного доїння.....	65
5.6	Висновки з розділу .....	66
6	ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ АДАПТИВНОГО ДОЇЛЬНОГО АПАРАТУ .....	67
6.1	Методика розрахунку економічної ефективності .....	67
6.2	Гранична вартість одного експериментального адаптивного доїльного апарату .....	67
6.3	Економічна ефективність адаптивного доїльного апарату з розробленим пульсатором від повноти видоювання корів .....	69
6.4	Розрахунок економічної ефективності розробленого доїльного апарату з механічним пульсатором .....	69
6.5	Висновки з розділу .....	71
	ВИСНОВКИ .....	72
	Посилання .....	74
	Додатки .....	83

## ВСТУП

Поряд з іншими галузями особливу увагу слід приділити розвитку молочної промисловості. При цьому велике значення мають як технологія вирощування та годівлі великої рогатої худоби, так і технічне оснащення виробництва та переробки молока. У зв'язку з цим доїння корів є одним із найважливіших завдань технологічного процесу. Молочна продуктивність і здоров'я вимені молочних корів залежить від того, наскільки пристосовано доїльне устаткування фізіології тварини [1, 2]. Ці параметри впливає як режим доїння, і фізіологія вимені тварини [3, 4]. Оптимальне доїння корів доїльними апаратами типу Ялинка, Паралель і ТанDEM в автоматичних доїльних залах. Виробництвом такого обладнання займаються зарубіжні фірми "Імпульс", "ГЕА", "ДеЛаваль" та вітчизняні фірми ТДВ "Брацлав". Принципово містить автоматизований елемент, що дозволяє контролювати процес доїння залежно від інтенсивності надою та пропонує різні режими стимуляції молочних залоз [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]. У той самий час змінюються такі важливі параметри, як частота пульсації, коефіцієнт циклу пульсатора і тиск доїння вакуумний.

При цьому доїти тварину з пляшечки або повітроводу необхідно в пологовому залі при його прив'язі, а також при маститі корови. При цьому доїльний апарат повинен відповідати фізіологічним особливостям вимені тварини.

Сьогодні у конструкції доїльних апаратів використовуються механічні, електромагнітні, гідравлічні, електромеханічні, пневмомеханічні, електричні та пневматичні пульсатори вітчизняного та зарубіжного виробництва. Однак при доїнні корів у бутлі, як правило, застосовують пневмомеханічні пульсатори з постійним вакуумметричним тиском та постійною шпаруватістю та частотою пульсацій або дводоїльні пульсатори з гідростабілізаторами.

Тому рекомендується розробити пульсатор для доїльних апаратів, що перекачують молоко у бутлі. Залежно від інтенсивності доїння змінюватиметься частота пульсацій та коефіцієнт ударів.

# 1 СТАН І НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Аналіз досліджень доїння корів адаптивними доїльними апаратами

Механічне доїння – складний процес. Тому що його реалізація вимагає врахування багатьох факторів, що визначають інтенсивність надою. По-перше, необхідно враховувати фізіологічні та рефлекторні особливості організму, по-друге, правильно підбирати конструктивно-технологічні параметри доїльного апарата [14].

На повноту та ефективність доїння при механічному доїнні впливають як фізіологічні особливості організму тварини, так і технічні характеристики доїльних установок і обладнання, що застосовуються. Зміни у правилах експлуатації доїльного апарату порушують функцію молочної залози тварини [15].

Л. П. Карташов стверджував, що молоко з молочних залоз видаляється лише під час доїння [14]. При цьому виділяється та надходить у кров гормон окситоцин. Процес проникнення в молочні залози триває 40-50 секунд, після чого альвеоли скорочуються. Це змушує дійку скорочуватися, і молоко потрапляє в молочну протоку, а потім у цистерну. Гормони діють 5-7 хвилин, після чого руйнуються. У зв'язку з цим процес доїння слід розпочинати відразу після підготовки вимені тварини [16].

У зв'язку з нерівномірним розвитком вимені дійних корів необхідно створення доїльного обладнання з високою технологічністю та високою продуктивністю [17].

Використання адаптивних доїльних апаратів може покращити молочну продуктивність і знизити захворюваність на мастит у молочних корів [18, 19].

Якість молока та продуктивність корів залежать від багатьох факторів, особливо від цілісності та якості виробленого молока. Біологічна система «теля» за цими параметрами є ідеальною системою для виробництва молока. Проте ця система має недоліки. Телята швидко насичуються, а молоко залишається у грудях. Отже, ця система не підвищує продуктивність корів. І навпаки, ручне доїння

підвищує продуктивність тварин, але обмежує цілісність доїння, оскільки руки доярки швидко втомлюються. По-друге, доїльний апарат гарантує повне видаювання, але затримка заключного етапу доїння призводить до «сухого доїння». Це викликає хворобливі відчуття у дійних корів і викликає багато захворювань молочних залоз, призводячи до передчасних пологів, низької продуктивності та погіршення якості молока у дійних корів [20, 21].

Відомо, що одним із ключових факторів, що впливають на підвищення молочної продуктивності у дійних корів, є використання адаптивних доїльних апаратів для доїння тварин, хоча для кожної групи тварин і породи підбираються апарати, які повинні мати певні конструктивні та технічні параметри. Доїння було високому рівні [22, 23].

Дуже важливо дотримуватись режиму доїння, щоб стимулювати процес лактації. Сьогодні існує думка, що розроблені як за кордоном, так і в нашій країні доїльні апарати недостатньо стимулюють надої. Багато моделей доїльних апаратів мають низьку інтенсивність доїння та при використанні створюють ризик маститу у тварин [24].

Сучасний доїльний апарат повинен стимулювати рефлекс виділення молока, виділяти його ідеально і не пошкоджувати вим'я корови. При цьому параметри та режими пристрою повинні відповідати фізіологічним параметрам тварини під час механічного доїння [25].

Чинники, що впливають на ефективність процесу механічного доїння, включають вибір вимені та генетичні параметри і, отже, надої, технічні параметри процесу доїння та технічні параметри доїльного апарату [26].

Поліпшення процесу механічного доїння корів — один із способів зробити молочні ферми прибутковішими. Під час розробки доїльного апарату необхідно враховувати технічні, ветеринарні, тваринницькі та фізіологічні параметри [27].

Технічні характеристики доїльного апарату суттєво впливають на процес механічного доїння тварин. Межі їхньої модифікації дуже широкі, оскільки вони порушують технічні умови [28]. Коли ці порушення відбуваються у процесі доїння, відсоток надою значно змінюється, що призводить до збільшення часу доїння [29].

Зі збільшенням надоїв молока підвищуються техніко-технічні вимоги тваринництва при доїнні підвищення продуктивності дійних корів. Високопродуктивні корови схильні до захворювання вимені при порушенні технічного процесу доїння. Це призводить до зниження продуктивності та подальшого вибракування тварин, що призводить до економічних втрат.

Численні дослідження, проведені власними та зовнішніми вченими, показали, що систематичне діагностування та своєчасне усунення недоліків у технічному стані доїльного обладнання дозволяє знизити захворюваність худоби та підвищити продуктивність на 3-5 %. Для доїльного апарату, що розробляється, вибрано наступне поєднання робочих параметрів: Ці комбінації забезпечують максимальне доїння з мінімальною ручною працею. Стабільний робочий вакуум необхідний забезпечення постійного доїльного рефлексу [30, 31].

Дані низки досліджень показали меншу захворюваність на мастит при використанні доїльного апарату, що підтримує знижений вакуумметричний тиск у процесі доїння [32, 33, 34].

Основними фізіологічними вимогами механічного доїння до доїльних апаратів є:

- 1) Стимуляція доїльного рефлексу із мінімальними трудовитратами.
- 2) Повністю витягайте молоко після кожного доїння.
- 3) Автоматична зміна параметрів та режимів доїння відповідно до зміни показників надоїв.
- 4) Безпека щодо фізіології грудей.

Сьогодні індивідуальні доїльні апарати не повністю враховують фізіологію вимені. У разі неповного доїння знижується молочна продуктивність тварини і часто змінюють групу корів, що лактують. [35].

У цьому плані фізіологія є основним показником для вибору доїльного обладнання, здатного підтримувати режим доїння, що гарантує повноту видавання корови і водночас унеможливорює негативний вплив на молочні залози. Усе це з огляду на те, що частки вимені у корів розвинені нерівномірно [36].

а) Основними завданнями створення оптимальної і більш досконалої конструкції доїльного апарату є:

б) виправлення конструктивних недоліків, що гальмують рефлекс віддачі молока;

в) Домогтися повнішої взаємодії виконавчої системи та грудей. Це забезпечує стимуляцію молочного рефлексу за одночасного зниження витрат ручної праці.

г) забезпечує спрощення конструкції, підвищує експлуатаційну надійність та зручність експлуатації [37].

Навіть якщо доїльний апарат добре відрегульований та налаштований, «стереотип доїння» зазвичай втрачається, якщо доїльна склянка погано зібрана.

Дійкова гума є основним робочим органом доїльного обладнання, що взаємодіє з вименем тварини. Молочна гума, що використовується, повинна відповідати одній групі всіх доїльних апаратів, встановленої оператором компанії [38, 39].

Найбільше прояв дестабілізації вакуумного режиму спостерігається під час встановлення доїльного склянки на сосок. У зв'язку з цим розведення слід подавати в доїльну камеру на завершальному етапі припасування кожної чашки для зціджування [40].

Сучасні конструкції доїльних апаратів найкраще працюють при тиску від 42 до 53 кПа, хоча деякі з них працюють при тиску від 33,3 до 91,3 кПа. Для ефективного процесу доїння необхідно забезпечити постійне робоче розведення. Інакше нестабільне проріджування ламає стереотипи доїння, знижує рефлекс надою, збільшує час доїння тварин та знижує продуктивність корів [41].

Пульсатор - це "серце" доїльного апарату. Ця частина доїльного апарату повинна відповідати вимогам заводу-виробника даного обладнання з метою забезпечення належної якості доїння, забезпечення комфортних умов для тварини та виключення небезпеки для здоров'я тварини [42].

Пульсатор регулює роботу доїльного апарату та забезпечує його нормальну роботу. Це складна пневматична система, що включає камери різного об'єму і тиску

і дросельну трубку, що з'єднує їх. Аналіз його режиму роботи полягає у визначенні часу заповнення та спорожнення камери керування повітрям.

Дослідження конструкцій, що використовуються на молочних фермах, дозволили зробити висновок, що понад 80 % відмов відбувається через несправність пульсаторів, через конструктивні та технічні несправності [43, 44].

Щоб пульсатор працював у штатному режимі необхідно постійно контролювати його технічний стан за допомогою сучасного діагностичного обладнання.

В даний час найбільш підходящими вважаються гідромеханічні або електронно-керовані парові доїльні пульсатори та датчики потоку молока.

Тому розробка високонадійних з технічної та конструктивної точки зору пульсаторів є актуальним завданням.

Тепер у вас є можливість розробити та створити свій ідеальний доїльний апарат [45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54]. Для цього необхідно систематизувати вже накопичені знання та з урахуванням фізіологічних особливостей тварини зорієнтувати створення нових конструкцій доїльних апаратів, що працюють у керованому режимі.

## **1.2 Класифікація та аналіз адаптивних доїльних апаратів**

На основі комплексного аналізу існуючих технічних рішень адаптивних доїльних апаратів створено їхню класифікацію (рис. 1.1). Це дозволило виділити особливості та напрями розвитку подібних доїльних апаратів.

Аналіз класифікації (рис. 1.1) призводить, на жаль, до невтішного висновку, що на сьогоднішній день існує безліч доїльних апаратів з датчиками молоковіддачі, пульсаторами та склянками доїльної різної конструкції. Датчики потоку молока виконані у вигляді різних пристроїв, які регулюють кількість молока, що видається, і передають інформацію на виконавчий механізм за допомогою спеціальних команд. Пульсатори також бувають різних конструкцій, з різними діапазонами

тактової частоти та регулювання частоти пульсацій як для ручного, так автоматичного режимів.

Вчені [55] розробили доїльні апарати, призначені для забезпечення адаптивного режиму доїння та підвищення ступеня надою корів. Складається з двох напівперіодичних пульсаторів, доїльної склянки з регулятором вакууму та масажними елементами, патрубком та колектора з камерою та розподільником.

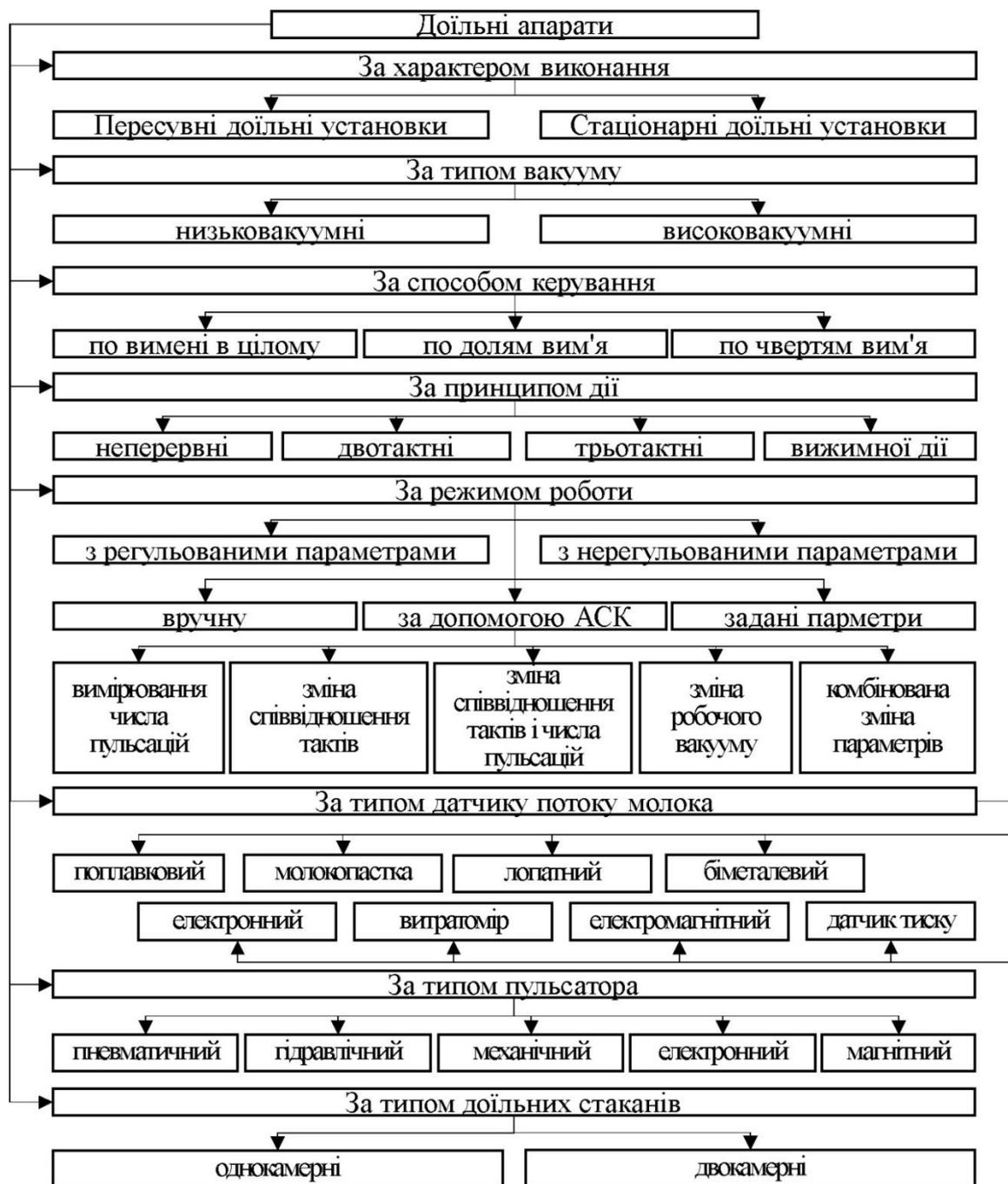


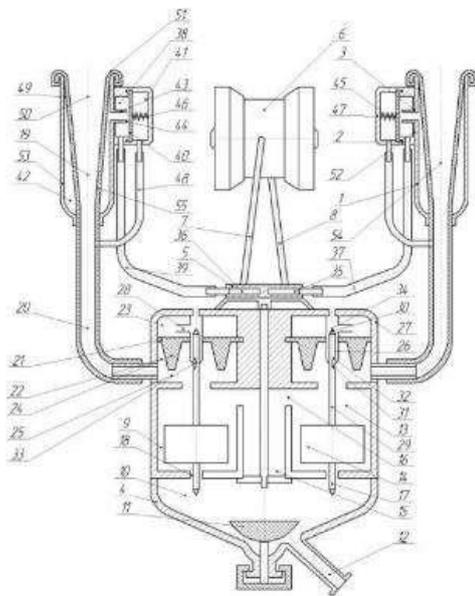
Рисунок 1.1 – Класифікація адаптивних доїльних апаратів

Вакуумний регулятор складається з робочої камери та камери керування, розділених гнучкою мембраною. Вони з'єднані патрубками з розподільником колектора та доїльною камерою доїльної склянки. Камера управління має отвір, нормально закритий пружним клапаном, який з'єднує її з атмосферою. При цьому клапан може взаємодіяти із жорстким центром мембрани (рис. 1.2).

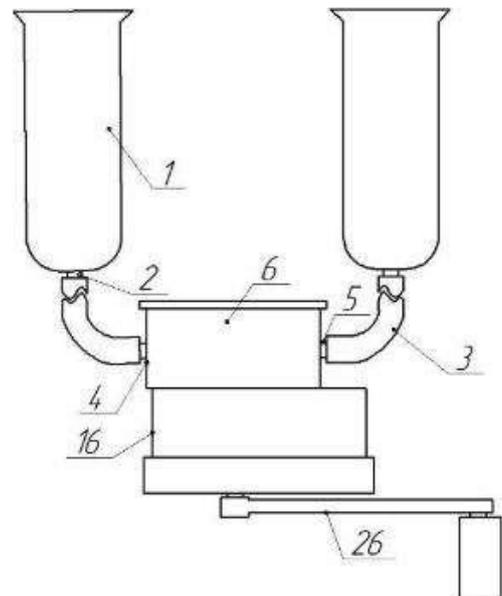
Доїльний апарат, винайдений Х.М. Воробйова складається з доїльного склянки і пульсатора, а також робочого колеса, виконаного у вигляді колеса з наскрізними отворами половині кола його обода і ненаскрізними канавками в іншій половині обода. Жорсткі ребра допомагають прикріпити повзунок до валу, який кріпиться до валу роторного насоса. Виходи камери пульсатора та камери роторного насоса з'єднані між собою. З'єднувальний канал з'єднує впускну та випускні камери. Поки обертається бігунок, отвори для проходження молока поперемінно відкриваються і потім закриваються. Це перекиє вакуумметричний тиск у молочному трубопроводі. (Рис. 1.2). До недоліків цієї конструкції можна віднести триваліший час доїння порівняно з доїльними апаратами аналогічної конструкції [56].

Розробив конструкцію Голобана В.Т. та інших доїльних апаратів. Головна відмінність – наявність двох пульсаторів, основного та додаткового. Додаткові блоки керування пульсатора мають додаткові порожнини та з'єднані еластичними гумовими перегородками. Він розташований по осі мембрани та клапана. У корпусі порожнини є регулятор об'єму, виконаний у вигляді поршня із запірною арматурою. Введіть рідину, щоб змінити об'єм порожнини. Для оптимізації роботи пульсатора у заданому режимі змінюють об'єм додаткової порожнини з відповідними змінами об'єму камери керування.

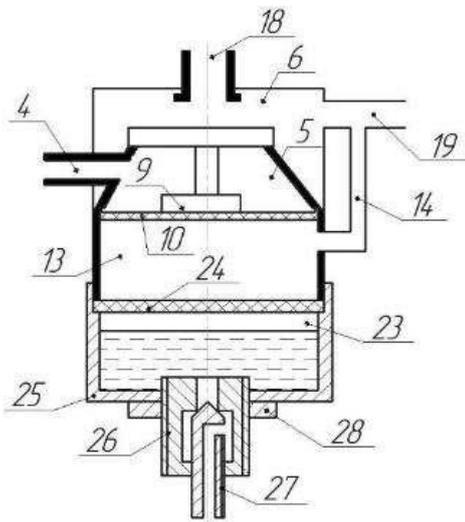
Максимальне відхилення створюється закручуванням або закручуванням поршня зовні чи всередині корпусу. Пульсуюча стабільність соски підтримується за рахунок віброуючої дії еластичної гумової перегородки і мембрани, яка швидше амортизує розширення соски і посилює початкову реакцію організму на механічне доїння (рис. 1.2).



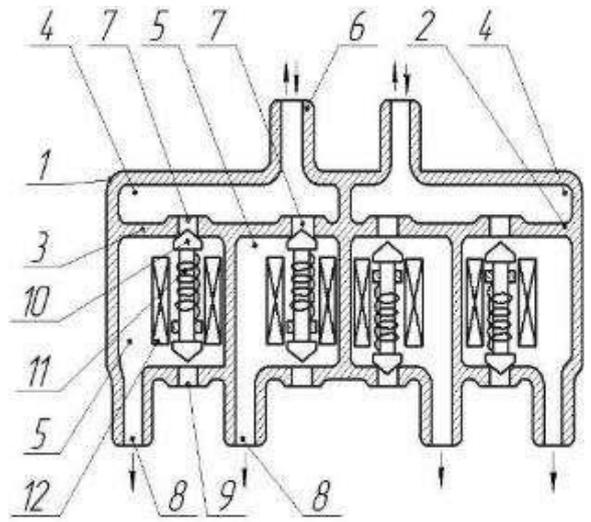
[55]



[56]



[57]



[58]

Рисунок 1.2 – Конструкції відомих доїльних апаратів

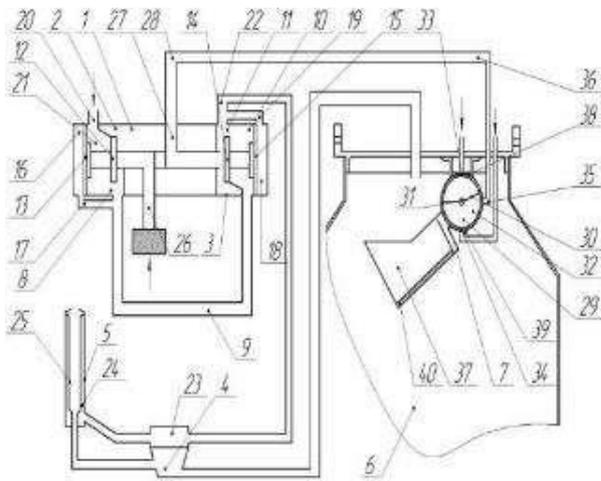
Недоліками даного доїльного апарату є підвищене зношування деталей і складна конструкція, що ускладнює обслуговування [57].

Метою винаходу групи вчених на чолі з Тадаакі Танакой є забезпечення ідеального доїння за рахунок автоматичного регулювання процесу доїння та запобігання ненормальній роботі доїльного апарату. Конструкція апарату складається з доїльної склянки, джерела вакууму, молокопроводу, молокозбірника та пристрою перемикання тиску повітря. Молочні протоки містять пастки. Стінки

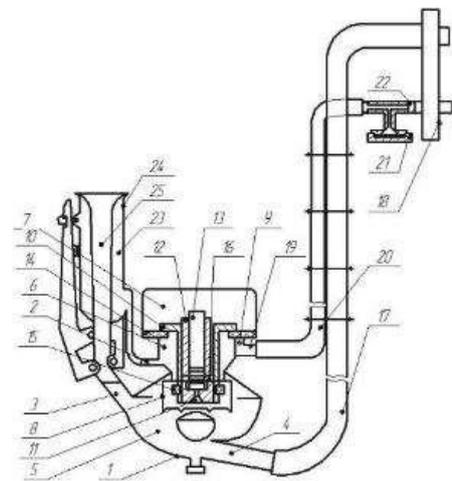
молочних проток над пасткою мають електроди по ходу струму молока, внутрішню порожнину та вихід назовні. Один електрод також з'єднує генератор синусоїдальних коливань та підсилювач. До пристрою керування підключено пристрій перемикач тиску за допомогою іншого електрода. Пристрій керування містить 4 канали керування на бак. За кожним каналом слідують датчик інтенсивності молока, схема підрахунку та розподілу. Новизна полягає в тому, що в конструкцію регулятора введено лічильну схему. Це сприяє поверненню схеми розрахунку часу без доїння у вихідне положення за відновлення доїння (рис. 1.2) [58]. Вищевказані доїльні апарати пропонують адаптивні режими доїння корів.

Ще одна конструкція доїльного обладнання, запропонована Андріанова Є.А. Він складається з двох пульсаторів, пульсуючого та стимулюючого типу, ємності для збору молока, двокамерної доїльної склянки, блоку управління та колектора. Головною особливістю пульсатора є наявність камер постійного та змінного вакуумметричного тиску та камер абсолютного тиску. Датчик потоку молока розташований в блоці управління і включає дросель, пробку, контрольну камеру, з'єднану з джерелом вакууму, і отвір, регульований повітрям через спеціальний пристрій, що регулює відкриття і закриття встановленого отвору. Встановлюється на вал із датчиком потоку молока. Додаткове з'єднання у вигляді каналу об'єднує вакуумну камеру пульсатора з режимом стимуляції та атмосферного тиску пульсатора з режимом пульсації. Додатковий канал розташований у корпусі блоку пульсаторів та з'єднує камеру змінного вакууму стимулюючого пульсатора та камеру атмосферного тиску пульсуючого пульсатора (рис. 1.3) [59].

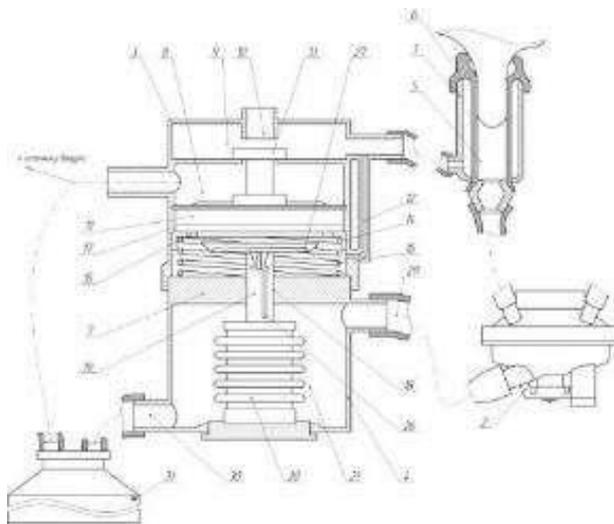
Доїльний апарат складається з пульсаційного колектора, атмосферної камери, доїльної склянки та запірної пристрою. До пульсуючих колекторів відносяться вакуумні розподільники, пульсатори та колектори. Запірний пристрій оснащений фільтром, до якого приєднано вакуумну напірну камеру. Шланги сполучаються хомутами. Важель і втулка доїльної склянки герметично з'єднані. Як гумовий притискний ролик. Затискач на верхній частині основи забезпечує фіксацію важеля у стислому положенні (рис. 1.2) [60].



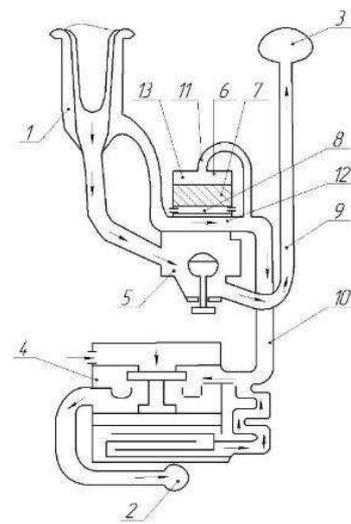
[59]



[60]



[61]



[62]

Рисунок 1.3 – Конструкції відомих доїльних апаратів

Доїльний апарат Ульянов В. М. Складається з доїльної склянки з двома камерами, молочного та вакуумного шлангів, колектора, пульсатора, молочної камери з насадкою та сифонного термостатичного механізму. Конструкція пульсатора складається з камери постійного та змінного вакуумметричного тиску, камери постійного атмосферного тиску та камери керування. Пульсатор аксіально з'єднаний з насадкою, що розташована над ним і утворює загальну бічну перегородку, під якою знаходиться камера керування пульсатора [61]. У бічній перегородці центральний отвір із вертикальним стрижнем. У верхній частині штока є радіальне заглиблення з профільним пазом, яке можна переміщати вздовж осі за

допомогою додаткового клапана. Положення робочого механізму та пружного клапана над поперечною перегородкою. Присоски діють як виконавчий механізм. Кріпиться над додатковим клапаном штока та знизу за допомогою сильфона термостата молочної камери насадки. У стеблі є канал, що з'єднує камеру управління присоски та пульсатора з молочною камерою насадки (рис. 1.3). Конструкція доїльного апарату спрямована на забезпечення адаптивних режимів доїння та підвищення надою корів.

Конструкцію доїльного апарату розробив О. В. Продивлянов. і Д.Ю.Кузнєцова включають колектор імпульсів, доїльний стакан. Характерною особливістю імпульсного колектора є наявність камер із постійним та змінним вакуумметричним тиском, відокремлених один від одного клапанами. Колектор імпульсів і двох частин: генератора імпульсів і колектора. Між собою вони з'єднуються за допомогою шлангів. До колектора також приєднано вібратор. В основі конструкції вібратора лежить поршневий компонент, який може переміщатись у вертикальній площині. Цей елемент конструкції поділяє вібратор на дві частини: камеру вакуумного тиску та камеру атмосферного тиску. Цей пристрій доїльного апарату може зменшити коефіцієнт повзучості доїльної склянки та стимулювати приплив молока. Сама конструкція зручна та проста у використанні (рис. 1.3) [62].

### **1.3 Класифікація та аналіз пульсаторів адаптивних доїльних апаратів**

Аналіз існуючих технічних рішень пульсаторів доїльних апаратів дозволяє простежити загальні риси та напрями у їх створенні. Загальна спрямованість представлена у вигляді таксономії (рис. 1.4).

З цієї класифікації можна дійти невтішного висновку, що на сьогоднішній день існує безліч різних конструкцій пульсаторів.

Конструкція електропульсатора [63], що працює в протифазі, покликана стабілізувати розрідження атмосфери в підскляннику та міжстінних камерах, одночасно знижуючи механічне навантаження на них.

Конструкція парового доїльного електропульсатора заснована на лінійному електродвигуні і включає основний корпус, насадки постійного і змінного вакууму, атмосферні канали, конусні клапани і вал, влаштовані за допомогою якорів електродвигуна. кожна містить атмосферний канал з фільтром та перфоровану перегородку, що служить роздільником між камерами постійного та змінного вакууму, конічні клапани, що працюють у протифазі на різних кінцях валу. Поперемінне відкриття та закриття атмосферних каналів та отворів у перегородці кожного пульсатора. До недоліків цього пульсатора можна віднести підвищений знос деталей. Їх також складно обслуговувати через складну конструкцію (рис. 1.5).

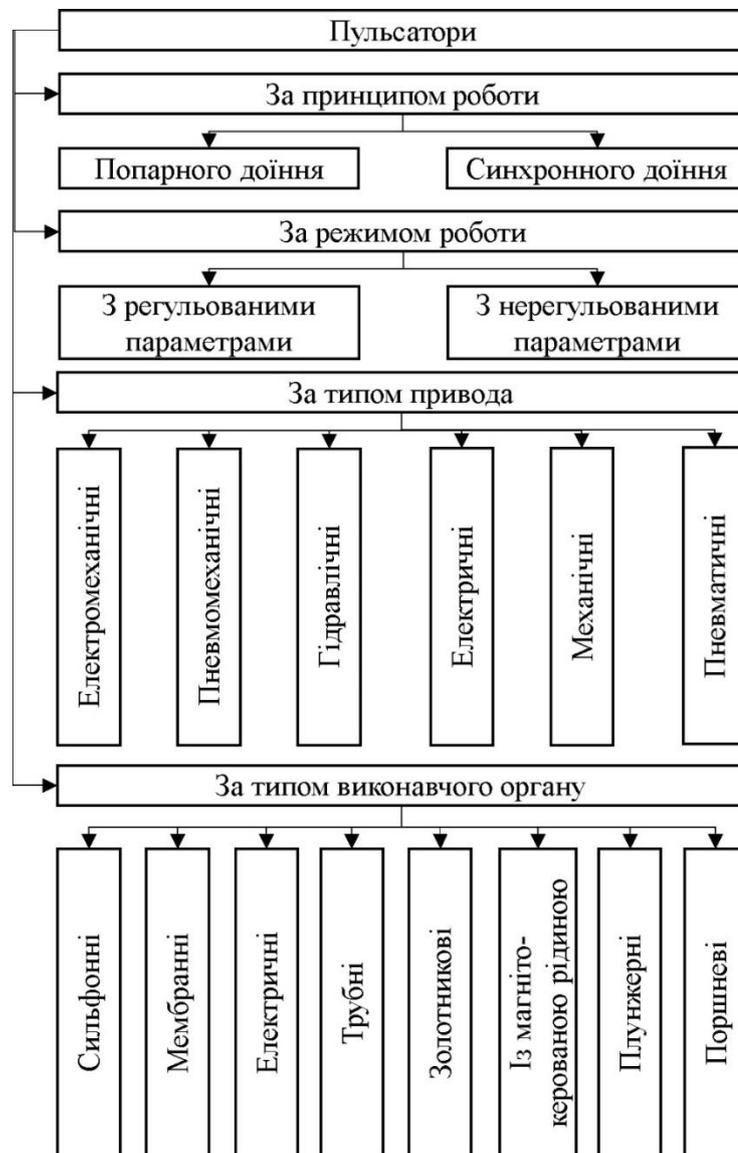
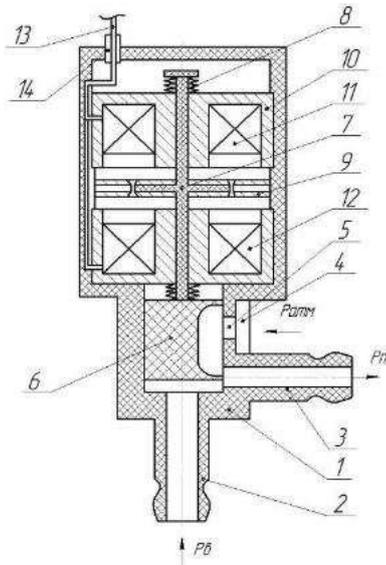


Рисунок 1.4 – Класифікація пульсаторів доїльних апаратів

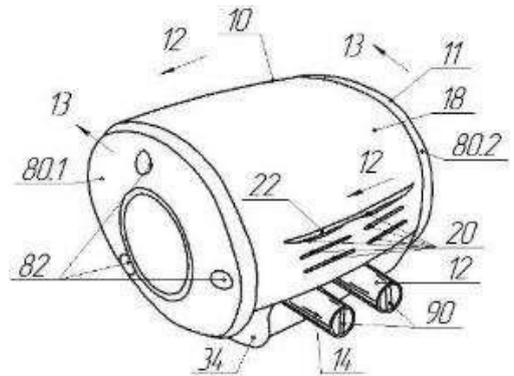
Модель Дорофєєва С. Ст і ін. відноситься до конструкції імпульсних колекторів для сільського господарства, особливо доїльних апаратів. Основне призначення даної моделі – покращення режиму доїння та підвищення експлуатаційної надійності. Це досягається тим, що корпус імпульсного колектора разом із соплом складається з камер постійного та змінного вакууму, камер управління, перфорованих кришок, пружних порожнистих штоків та клапанів. , а положення клапана над кришкою, а верхній кінець штока проходить через отвір у кришці. Кришка також має чотири камери поплавця з поршнями, дренажними і перепускними отворами, встановленими на штоках. Поплавець з канавками з боків. Бічні камери поплавця мають перепускні отвори, відповідні отворах форсунок. У корпусі також є перегородка, що закриває камеру поплавця. Ці колектори імпульсів мають складну конструкцію, а отвори перепуску (рис. 1.5) можуть забруднюватися в процесі доїння [64].

Пульсатор для доїльних настанов розробив Ю.М. Лужков, В.М. Мілехін та В.Ю. Рижнева складається з генератора і інвертора, що задають імпульс вакууму, які утворюють порожнину загальної камери при атмосферному тиску, камера вихідного імпульсу генератора і інвертора зі стінками і через вентиль, що перемикається, з'єднана з камерою управління (рис. 1.5) [65].

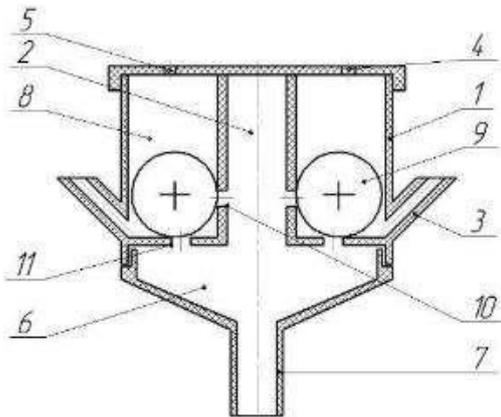
Пневматичний пульсатор, створений Ніколіні Габріеле та Сікурі Роберто, складається з пневматичного керуючого пристрою з золотником, що рухається для створення зворотно-поступального руху для циклічного з'єднання джерела вакууму та пульсаційної камери доїльного апарату. Ковзання золотника відбувається по зносостійкій синтетичній пластині з вікном, з'єднаним з пульсаційною камерою та джерелом вакууму. Корпус апарату пульсатора представлений жорсткою рамною конструкцією, що включає основу, боковини і поперечки. Пульсатор містить жорстку U-подібну частину, з'єднану з пластиною (рис. 1.5) [66].



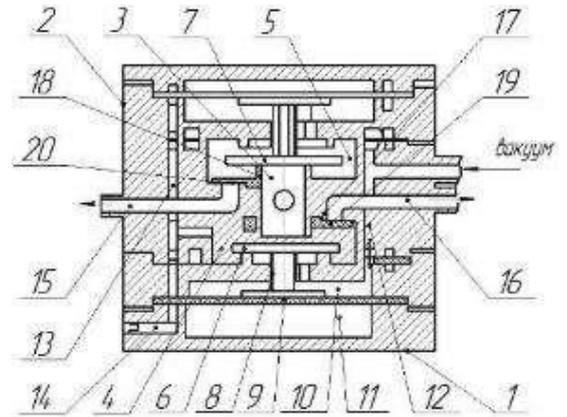
[63]



[66]



[64]



[6562]

Рисунок 1.5 – Конструкції відомих пульсаторів доїльних апаратів

#### 1.4 Висновки з розділу

1. Аналіз відомих технічних рішень щодо механічного доїння корів та доїльного обладнання дозволив встановити, що в умовах приватного сектору рекомендується використовувати адаптивні доїльні апарати, що дають змогу змінювати інтенсивність надоїв, частоту пульсацій і співвідношення тактів.

2. Подана в аналізі конструкція доїльного апарату в першу чергу спрямована на забезпечення адаптивного режиму доїння, підвищення надою корів та зниження

захворюваності на мастит. У зв'язку з цим можна зробити висновок про доцільність досліджень у цій галузі.

3. Представлені конструкції пульсаторів, кожна зі своїми технічними рішеннями, зміною параметрів частоти пульсації, співвідношення пульсацій, забезпеченням щадного режиму молоковіддачі інтенсивності молоковіддачі. У зв'язку з цим на підставі аналізу конструкції доїльних апаратів та пульсаторів, робимо висновок про необхідність продовження досліджень у цій галузі та розроблення адаптивних конструкцій доїльних апаратів з механічними пульсаторами. Це знижувало ступінь надою тварин, знижувало захворюваність на мастит, було вигідно як з технічної точки зору, так і з економічної.

### **1.6 Мета і задачі досліджень**

Метою даного дослідження є підвищення ефективності адаптивних доїльних апаратів шляхом розробки та обґрунтування його конструкції та параметрів режиму роботи.

Нам необхідно вирішити такі завдання:

- встановити основні напрямки створення пульсаторів адаптивних доїльних апаратів та розробити нові конструкції;
- розробити математичну модель, що характеризує робочий процес пульсатора адаптивного доїльного апарату;
- обґрунтувати режими та параметри пульсатора адаптивного доїльного апарату шляхом експериментальних досліджень;
- оцінити ефективність використання адаптивного доїльного апарату з новим механічним пульсатором.

## **2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ПУЛЬСАТОРА АДАПТИВНОГО ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА**

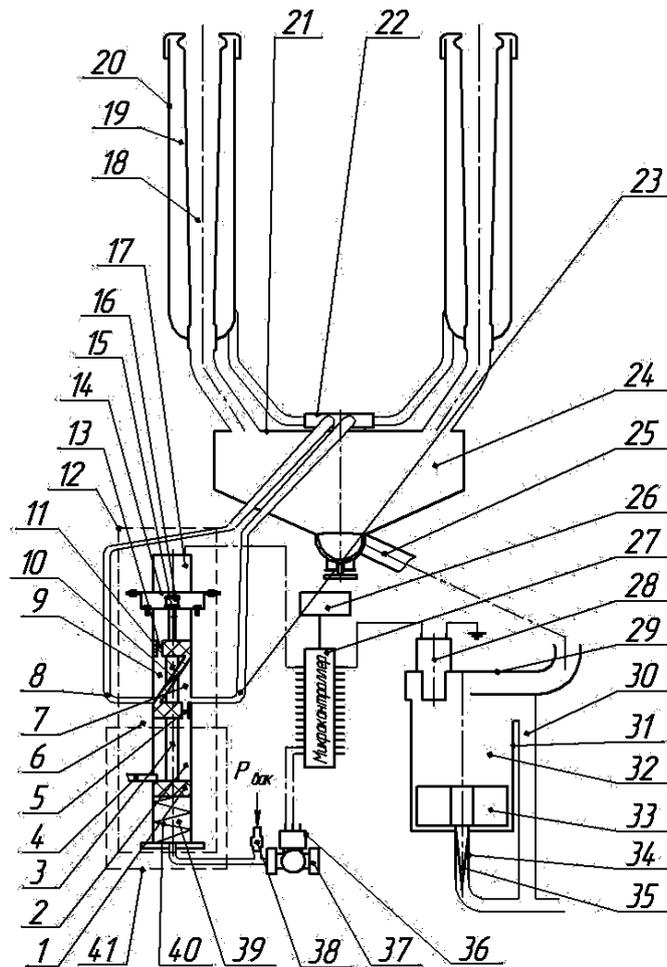
### **2.1 Конструктивно-технологічна схема адаптивного доїльного апарата**

Для вирішення поставленої задачі розроблено конструктивно-технологічну схему адаптивного доїльного апарата (рис. 2.1).

Основою якого є механічний пульсатор. Пульсатор містить корпус, із золотником, який у верхній частині з'єднується із валом, на якому нарізані шліци. В нижній частині золотник з'єднаний із штоком пневмоциліндра. Золотник може переміщуватися по вертикалі вздовж корпусу по валу із шліцами за рахунок подачі атмосферного або вакуумметричного тиску в зону простору під штоком пневмоциліндра. Електродвигун, який закріплений на кришці, приводить золотник у обертальний рух. Електродвигун приєднаний до валу із шліцами з використанням еластичної муфти.

Конструктивною особливістю золотника є те, що камера із постійним вакуумметричним тиском і камера із постійним атмосферним тиском розділені двома симетричними стінками. Товщина стінок є більшою діаметрів патрубків, що знаходяться в корпусі. За цими патрубками камери із вакуумметричним тиском і із постійним атмосферним тиском з'єднані з камерами колектора. У процесі виконання технологічної операції доїння міжстінні камери сполучаються із камерами золотника по черзі.

В камеру золотника через отвір поступає атмосферний тиск, а через протилежний отвір постійний вакуумметричний тиск із пневмоциліндра, порожнина якого з'єднана через із джерелом вакуумметричного тиску. Для підпружинення поршнем встановлена відповідна пружина.



- 1 – поршень, 2 – камера пневмоциліндра, 3 – шток, 4, 8, 23, 25 – патрубки, 5, 13 – отвори, 6 – корпус, 7 – камера постійного вакуумметричного тиску, 9 – розділові стінки золотника, 11 – золотник, 12 – пульсатор, 14 – кришка пульсатора, 15 – шліцевий вал, 16 – еластичне з'єднання, 17 – електродвигун, 18 – піддійкова-камера, 19 – міжстінна камера доїльного стакана, 20, 21 – колектор, 22 – розподільна камера колектора, 24 – молокоприймальна камера, 26 – реєстратор інтенсивності молоковиведення, 27 – мікроконтролер, 28 – лазерний далекомір, 29 – кришка датчика потоку молока, 30 – переливний патрубок, 31 – датчик – молокопастка, 33 – поплавець, 34 – зливний-патрубок, 35 – голка, 36 – кроковий електродвигун, 37 – дросель, 38 – калібрований-канал, 39 – підпоршнева камера, 40 – пружина, 41 – пневмоциліндр

Рисунок 2.1 – Конструктивно-технологічна схема адаптивного доїльного апарата

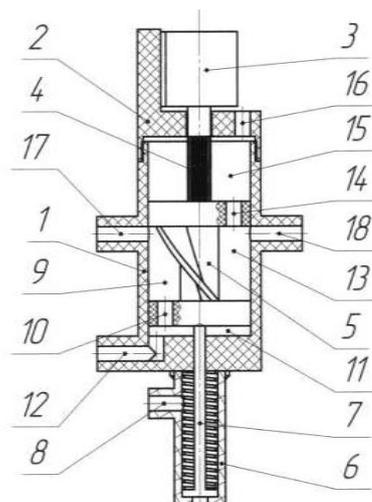
В камеру під поршнем через калібрований канал відходить повітря, створюючи вакуумметричний тиск, а через дросель надходить повітря за рахунок роботи крокового двигуна.

Датчик потоку молока (поплавковий) виконаний у вигляді пастки молока, до складу якої входить два патрубків (переливний та зливний), які закриваються за допомогою голки на поплавці. Зливний патрубок приєднаний до поплавкового датчика і ємністю прийому молока. Для забезпечення лінійної залежності руху поплавка і площі поперечного перерізу отвору для видалення молока з датчика потоку молока, поверхня голки 35 має вигляд, описаний у рівнянні:

$$y = x^2 \frac{(2r^2 - x^2)l}{r^2} + z^2 \frac{(2r^2 - z^2)l}{r^2},$$

де  $l$  – довжина голки на поплавці, м;  $r$  – радіус поперечного перерізу отвору для видалення молока, м;  $x$  і  $z$  – координати по осі  $X$  і  $Z$ , м.

Пульсатор адаптивного доїльного апарата приведено рис 2.2.



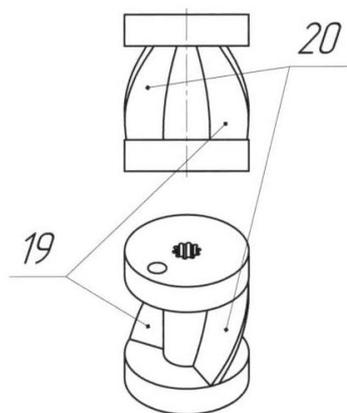
4 – шліцьовий вал; 10, 14, 16 – отвір, 13, 15 – камера атмосферного тиску

Рисунок 2.2 – Конструктивно-технологічна схема пульсатора адаптивного доїльного апарата

Пульсатора адаптивного доїльного апарата працює наступним чином. Патрубок 8 спрягається із блоком, керуючим подачею атмосферного або

вакуумметричного тисків. В свою чергу патрубок 12 під'єднується до джерела постійного вакууму, патрубки 18 та 17 12 під'єднуються з камерами (міжстінними) доїльних стаканів.

Конструктивно-технологічна схема золотника 5 наведена на рис. 2.3.



19, 20 – розділові пластини золотника

Рисунок 2.3 – Конструктивно-технологічна схема золотника пульсатора

Золотник 5 здійснює обертовий рух під впливом електродвигуна 3. Камери атмосферного 13 і вакуумметричного 11 тисків по чергову в процесі обертання золотника 5 контактують з камерами доїльних стаканів через відповідні патрубки. Через зміну швидкості обертання золотника 5 змінюється відповідна частота пульсацій. Швидкість молоковіддачі визначається з використанням датчика потоку молока. На основі рівня молока в датчику визначається доступ змінного вакууму в корпус пневмоциліндра 6. Частота пульсацій залежить безпосередньо від швидкості потоку молока. В свою чергу зміна співвідношення тактів пульсацій здійснюється за рахунок руху золотника 5 у площині (вертикальній) корпусу пульсатора за допомогою штока 7 пневмоциліндра 6.

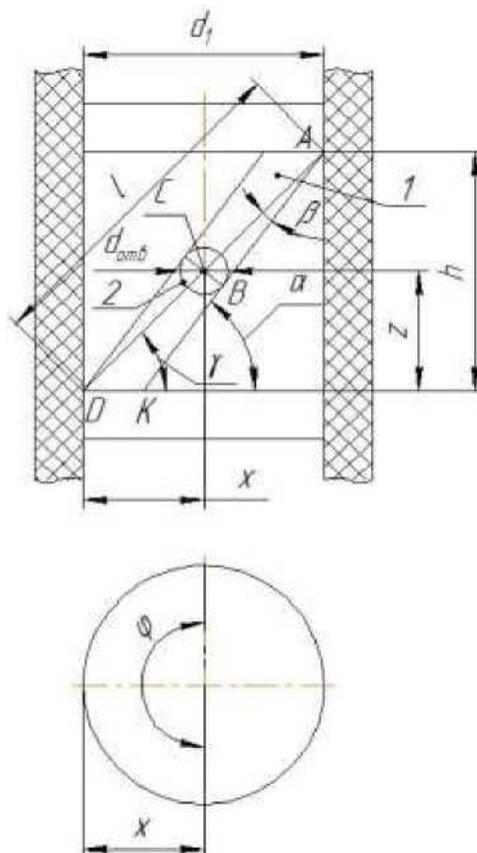
При цьому технологічний процес доїння відбувається у стандартному режимі.

При необхідності режиму стимуляції відбувається збільшення частоти пульсацій та зменшення тривалості такту ссання. Регулювання частоти пульсацій і

співвідношення тактів пульсацій відбувається автоматизовано і залежить від швидкості видалення молока.

## 2.2 Теоретичні дослідження параметрів розробленого пульсатора

Для визначення основних конструктивних і режимних параметрів розробленого пульсатора, при яких виконується необхідне співвідношення тактів пульсацій (ссання і стиску), необхідно встановити співвідношення кутів між роздільною пластиною золотника та каналів патрубків (рис. 2.4).



1 – розділова пластина, 2 – отвір, що повідомляє порожнину пульсатора з розподільчою камерою колектора

Рисунок 2.4 – Розрахункова схема для обчислення співвідношення тактів пульсацій

Діагональ  $l$  розділової пластини золотника визначається наступним чином:

$$l = \sqrt{h^2 + d_1^2}, \quad (2.1)$$

де  $d_1$  – діаметр золотника, м;  $h$  – висота золотникового паза, м.

При цьому  $AC$  складає:

$$AC = \frac{l}{2} = \frac{\sqrt{h^2 + d_1^2}}{2}, \quad (2.2)$$

Із  $\triangle CAB$ :

$$\beta = \arcsin \frac{s_1}{\sqrt{h^2 + d_1^2}}, \quad (2.3)$$

де  $s_1$  – товщина пластини, м.

Повинна бути виконана умова:

$$s_1 \geq d_{ome}. \quad (2.4)$$

Кут нахилу діагоналі перерізу пластини визначається:

$$\gamma = \arctg \frac{h}{d_1}. \quad (2.5)$$

Кут нахилу пластини дорівнює:

$$\alpha = \beta + \gamma, \quad (2.6)$$

Враховуючи рівняння (2.3)-(2.5) маємо:

$$\alpha = \arcsin \frac{d_{ome}}{\sqrt{h^2 + d_1^2}} + \arctg \frac{h}{d_1}, \quad (2.7)$$

Відстань від внутрішньої поверхні корпусу пульсатора до пластини на заданій висоті  $z$  (рис. 2.4) можна визначити наступним чином:

$$x = \frac{z}{tg\alpha}. \quad (2.8)$$

Враховуючи (2.7) вираз (2.8) має вигляд:

$$x = \frac{z}{tg\left(\arcsin \frac{d_{ome}}{\sqrt{h^2 + d_1^2}} + \arctg \frac{h}{d_1}\right)}. \quad (2.9)$$

Тоді кут контакту порожнини золотника визначається так:

$$\varphi = 2\arccos\left(1 - \frac{2x}{d_1}\right), \quad (2.10)$$

Із врахуванням (2.9):

$$\varphi = 2 \arccos \left( 1 - \frac{2z}{d_1 \operatorname{tg} \left( \arcsin \frac{d_{ome}}{\sqrt{h^2 + d_1^2}} + \operatorname{arctg} \frac{h}{d_1} \right)} \right) \quad (2.11)$$

Кут повороту золотника при перекритті отвору пластиною розраховується наступним чином:

$$\tau = 2 \arcsin \frac{d_{ome}}{2d_1}, \quad (2.12)$$

Загальний кут повороту механізму пульсатора розраховується за формулою:

$$\theta = \varphi + \tau, \quad (2.13)$$

де  $\theta$  – кут повороту виконавчого механізму, рад.

Наступний режим роботи пульсатора діє протягом кута на який обертається золотник:

$$\varepsilon = 2\pi - (\varphi + \tau). \quad (2.14)$$

Врахуємо рівняння Клапейрона—Менделєєва:

$$\frac{dp_T}{dt} = P_a \frac{Q_v}{V_{kv}} \quad (2.15)$$

де  $Q_v$  – витрата повітря, м<sup>3</sup>/с;  $P_a$  – атмосферний тиск, Па;  $p_T$  – тиск повітря у міжстінній камері, Па;  $V_{kv}$  – об'єм міжстінних камер, м<sup>3</sup>.

Візьмемо до уваги рівняння:

$$Q_v = K \cdot (P_{атм} - P_{абс}), \quad (2.16)$$

де  $K$  – коефіцієнт Пуазейля;  $P_{атм}$ ,  $P_{абс}$  – рівень абсолютного і атмосферного тиску, Па;

$$K = \frac{\pi d^4}{128 \eta l}, \quad (2.17)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт в'язкості середовища;  $l$  – довжина каналу, м;  $d$  – діаметр каналу, м.

Підставляючи (2.16) у (2.15) та проведення інтегрування із врахуванням (2.17), формула часу такту ссання має бути наступною (рис. 2.5):

$$t_{\partial} = \int_{P_{амк}}^{P_{мк}} \frac{128\eta l_k V_{ку}}{\pi d_{отв}^4 P_{атм}} \frac{dp_T}{(P_{атм} - p_T)} = \frac{128\eta l_k V_{ку}}{\pi d_{отв}^4 P_{атм}} \cdot \ln \frac{(P_{атм} - P_{мк})}{(P_{атм} - P_{амк})}, \quad (2.18)$$

де  $P_{амк}$  – абсолютний тиск такту стиску, Па;  $p_{мк}$  – абсолютний тиск такту ссання,

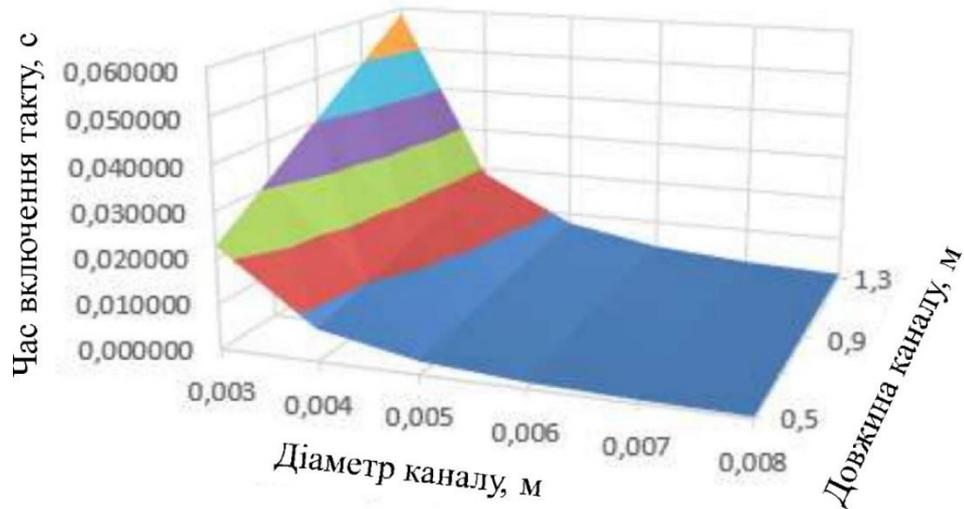


Рисунок 2.5 – Залежність такту ссання від параметрів пульсатора

Інтегруючи (2.15) отримаємо час такту стиску (рис. 2.6):

$$t_{сж} = \int_{P_{мк}}^{P_{амк}} \frac{128\eta l_k V_{ку}}{\pi d_{отв}^4 P_{атм}} \frac{dp_T}{(p_T - P_{абс})} = \frac{128\eta l_k V_{ку}}{\pi d_{отв}^4 P_{атм}} \cdot \ln \frac{(P_{атк} - P_{абс})}{(P_{мк} - P_{абс})}. \quad (2.19)$$

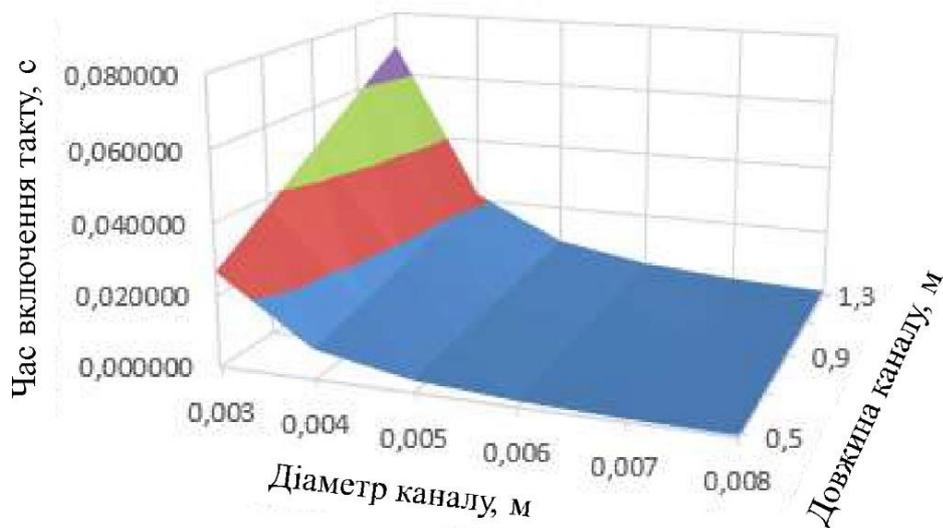


Рисунок 2.6 – Залежність такту стиску від параметрів пульсатора

Діаметра для такту ссання (рис. 2.7):

$$d_{отв} = \sqrt[4]{\frac{128\eta l_k V_{ку}}{\pi P_{атм} t_{сж}} \cdot \ln \frac{(P_{атм} - P_{мк})}{(P_{атм} - P_{амк})}} \quad (2.20)$$

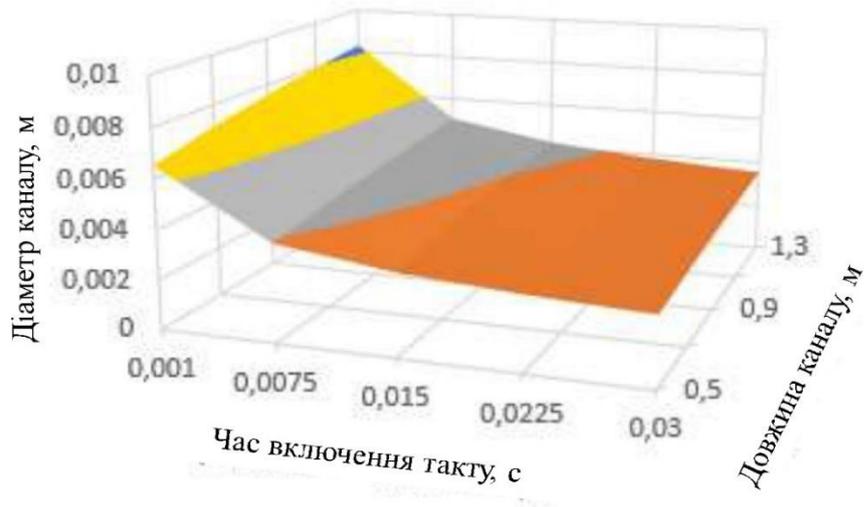


Рисунок 2.7 – Залежність діаметра каналу від такту ссання

Діаметр каналу для такту стиску (рис. 2.8):

$$d_{отв} = \sqrt[4]{\frac{128\eta l_k V_{ку}}{\pi P_{атм} t_{сж}} \cdot \ln \frac{(P_{атк} - P_{абс})}{(P_{мк} - P_{абс})}} \quad (2.21)$$

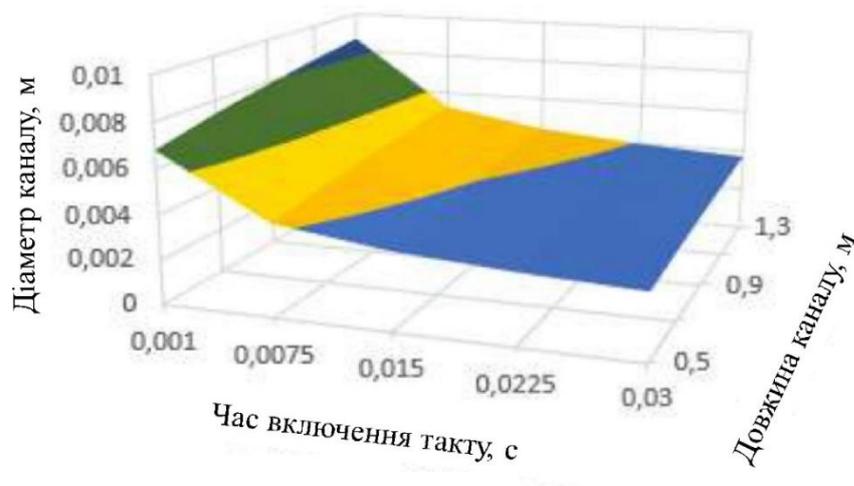


Рисунок 2.8 – Залежність діаметра каналу від такту стиску

Перетворимо (2.13), враховуючи (2.11)-(2.12) і (2.20) у вигляді:

$$\theta = 2 \arccos \left( 1 - \frac{2z}{d_1 \operatorname{tg} \left( \arcsin \frac{\sqrt[4]{\frac{128\eta_k V_{\text{кв}}}{\pi P_{\text{амл}} t_{\text{сж}}}} \cdot \ln \frac{(P_{\text{амк}} - P_{\text{абс}})}{(P_{\text{мк}} - P_{\text{абс}})}}}{\sqrt{h^2 + d_1^2}} + \operatorname{arctg} \frac{h}{d_1} \right)} \right) +$$

$$+ 2 \arcsin \frac{\sqrt[4]{\frac{128\eta_k V_{\text{кв}}}{\pi P_{\text{амл}} t_{\text{сж}}}} \cdot \ln \frac{(P_{\text{амк}} - P_{\text{абс}})}{(P_{\text{мк}} - P_{\text{абс}})}}{2d_1}, \quad (2.22)$$

а (2.14) в наступну форму:

$$\theta = 2 \arccos \left( 1 - \frac{2z}{d_1 \operatorname{tg} \left( \arcsin \frac{\sqrt[4]{\frac{128\eta_k V_{\text{кв}}}{\pi P_{\text{амл}} t_{\text{сж}}}} \cdot \ln \frac{(P_{\text{амк}} - P_{\text{абс}})}{(P_{\text{мк}} - P_{\text{абс}})}}}{\sqrt{h^2 + d_1^2}} + \operatorname{arctg} \frac{h}{d_1} \right)} \right) +$$

$$+ 2 \arcsin \frac{\sqrt[4]{\frac{128\eta_k V_{\text{кв}}}{\pi P_{\text{амл}} t_{\text{сж}}}} \cdot \ln \frac{(P_{\text{амк}} - P_{\text{абс}})}{(P_{\text{мк}} - P_{\text{абс}})}}{2d_1}, \quad (2.23)$$

Співвідношення тактів пульсації можна представити так:

$$\left( \frac{\theta}{2\pi} 100\% \right) : \left( \frac{\varepsilon}{2\pi} 100\% \right). \quad (2.24)$$

Графічна інтерпретація значень такту ссання і стиску в залежності від руху золотника на відстань 4 мм, від часу включення тактів (1-3 мс) і від зміни довжини каналу (0,5-1,3 м), представлені на рис. 2.9-2.10.

Загальний кут повороту виконавчого механізму має значення при переміщенню нижньої площини золотника вздовж осі обертання на відповідну висоту:

$$z_{dn} = \frac{d_1 t g}{2} \left( \arcsin \frac{\sqrt[4]{\frac{128 \eta l_k V_{кв}}{\pi P_{атм} t_{сж}} \cdot \ln \frac{(P_{атк} - P_{абс})}{(P_{мк} - P_{абс})}}}{\sqrt{h^2 + d_1^2}} + \arctg \frac{h}{d_1} \right) \times$$

$$\times \left[ 1 - \cos \left( \frac{\theta_{dn} - 2 \arcsin \frac{\sqrt[4]{\frac{128 \eta l_k V_{кв}}{\pi P_{атм} t_{сж}} \cdot \ln \frac{(P_{атк} - P_{абс})}{(P_{мк} - P_{абс})}}}{2 d_1}}{2} \right) \right]. \quad (2.25)$$

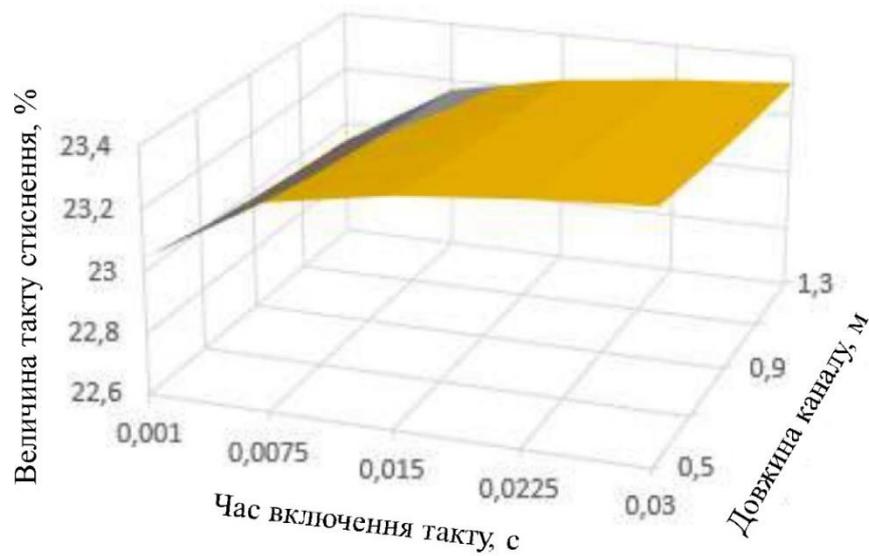


Рисунок 2.9 – Залежність такту стиску від параметрів пульсатора

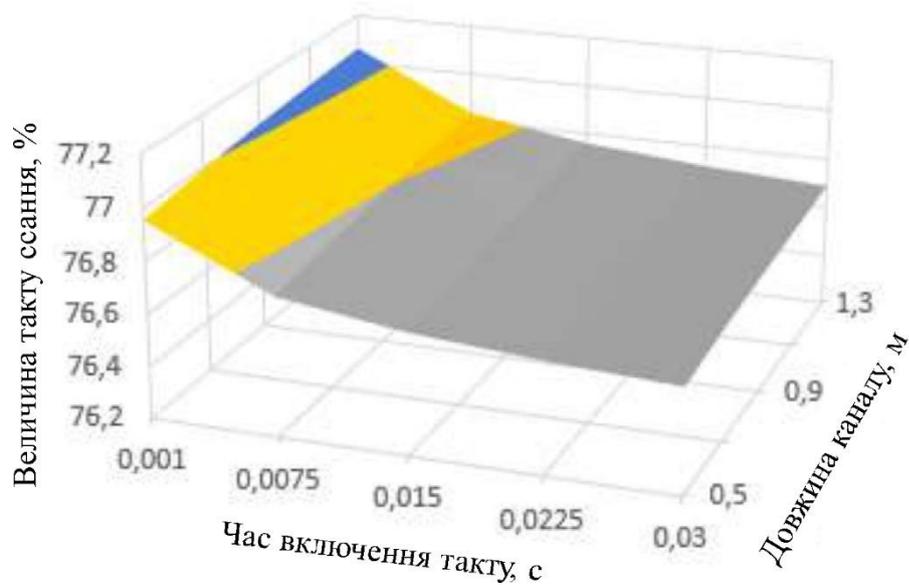


Рисунок 2.10 – Залежність такту ссання від параметрів пульсатора

Для зміщення нижньої площини золотника вздовж осі обертання формула для висоти має вигляд:

$$z_{ds} = \frac{d_1 \operatorname{tg}}{2} \left( \arcsin \frac{\sqrt[4]{\frac{128\eta l_k V_{\text{кв}}}{\pi P_{\text{атм}} f_{\text{сж}}} \cdot \ln \frac{(P_{\text{атк}} - P_{\text{абс}})}{(P_{\text{мк}} - P_{\text{абс}})}}}{\sqrt{h^2 + d_1^2}} + \operatorname{arctg} \frac{h}{d_1} \right) \times$$

$$\times \left[ 1 - \cos \left( \frac{\theta_{ds} - 2 \arcsin \frac{\sqrt[4]{\frac{128\eta l_k V_{\text{кв}}}{\pi P_{\text{атм}} f_{\text{сж}}} \cdot \ln \frac{(P_{\text{атк}} - P_{\text{абс}})}{(P_{\text{мк}} - P_{\text{абс}})}}}{2d_1}}{2} \right) \right]. \quad (2.26)$$

Висота паза робочої камери золотника зменшена на розмір:

$$\Delta h_{dn} = z_{dn} - \frac{d_{\text{отв}}}{2} = \frac{d_1 \operatorname{tg}}{2} \left( \arcsin \frac{\sqrt[4]{\frac{128\eta l_k V_{\text{кв}}}{\pi P_{\text{атм}} f_{\text{сж}}} \cdot \ln \frac{(P_{\text{атк}} - P_{\text{абс}})}{(P_{\text{мк}} - P_{\text{абс}})}}}{\sqrt{h^2 + d_1^2}} + \operatorname{arctg} \frac{h}{d_1} \right) \times$$

$$\times \left[ 1 - \cos \left( \frac{\theta_{dn} - 2 \arcsin \frac{\sqrt[4]{\frac{128\eta l_k V_{\text{кв}}}{\pi P_{\text{атм}} f_{\text{сж}}} \cdot \ln \frac{(P_{\text{атк}} - P_{\text{абс}})}{(P_{\text{мк}} - P_{\text{абс}})}}}{2d_1}}{2} \right) \right] - \frac{d_{\text{отв}}}{2}, \quad (2.27)$$

З боку камери атмосферного постійного тиску на величину:

$$\Delta h_{ds} = h - z_{ds} - \frac{d_{\text{отв}}}{2} = h - \frac{d_1 \operatorname{tg}}{2} \left( \arcsin \frac{\sqrt[4]{\frac{128\eta l_k V_{\text{кв}}}{\pi P_{\text{атм}} f_{\text{сж}}} \cdot \ln \frac{(P_{\text{атк}} - P_{\text{абс}})}{(P_{\text{мк}} - P_{\text{абс}})}}}{\sqrt{h^2 + d_1^2}} + \operatorname{arctg} \frac{h}{d_1} \right) \times$$

$$\times \left[ 1 - \cos \left( \frac{\theta_{ds} - 2 \arcsin \frac{\sqrt[4]{\frac{128\eta l_k V_{\text{кв}}}{\pi P_{\text{атм}} f_{\text{сж}}} \cdot \ln \frac{(P_{\text{атк}} - P_{\text{абс}})}{(P_{\text{мк}} - P_{\text{абс}})}}}{2d_1}}{2} \right) \right] - \frac{d_{\text{отв}}}{2}, \quad (2.28)$$

Висота паза камери золотника із укороченням визначається за формулою:

$$h_z = z_{ds} + \frac{d_{\text{отв}}}{2}, \quad (2.29)$$

Враховуючи (2.26) і (2.21) формула (2.29) має наступний вигляд:

$$h_z = \frac{d_1 \operatorname{tg} \alpha}{2} \left( \operatorname{arcsin} \frac{\sqrt[4]{\frac{128 \eta l_k V_{\text{кв}}}{\pi P_{\text{атм}} f_{\text{сж}}} \cdot \ln \frac{(P_{\text{атк}} - P_{\text{абс}})}{(P_{\text{МК}} - P_{\text{абс}})}}}{\sqrt{h^2 + d_1^2}} + \operatorname{arctg} \frac{h}{d_1} \right) \times$$

$$\times \left[ 1 - \cos \left( \frac{\theta_{ds} - 2 \operatorname{arcsin} \frac{\sqrt[4]{\frac{128 \eta l_k V_{\text{кв}}}{\pi P_{\text{атм}} f_{\text{сж}}} \cdot \ln \frac{(P_{\text{атк}} - P_{\text{абс}})}{(P_{\text{МК}} - P_{\text{абс}})}}}{2 d_1}}{2} \right) \right] + \frac{\sqrt[4]{\frac{128 \eta l_k V_{\text{кв}}}{\pi P_{\text{атм}} f_{\text{сж}}} \cdot \ln \frac{(P_{\text{атк}} - P_{\text{абс}})}{(P_{\text{МК}} - P_{\text{абс}})}}}{2}}.$$
(2.30)

Відстань  $x_{dn}$  можна розрахувати за формулою:

$$x_{dn} = \frac{\Delta h_{dn}}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{z_{dn} - \frac{d_{\text{отв}}}{2}}{\operatorname{tg} \alpha},$$
(2.31)

В свою чергу відстань  $x_{ds}$  можна розрахувати за формулою

$$x_{ds} = d_1 - \frac{h_z}{\operatorname{tg} \alpha} - x_{dn} = d_1 - \frac{h_z}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{z_{dn} - \frac{d_{\text{отв}}}{2}}{\operatorname{tg} \alpha}.$$
(2.32)

Тоді переміщення золотника:

$$h_{pz} = z_{ds} - z_{dn}$$
(2.33)

Вираз для розрахунку довжини пружини наступний:

$$l_p = h_{pz} + l_{dn},$$
(2.34)

Сила пружності пружини можна розрахувати за формулою:

$$F = -k l_p$$
(2.35)

Або:

$$F = -k(h_{pz} + l_{dn}).$$
(2.36)

Або:

$$F = P_{\text{вак}} S + mg + F_{\text{мпз}},$$
(2.37)

де  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;  $S$  – площа перерізу золотника,  $\text{м}^2$ ;  $F_{\text{мпз}}$  – сила тертя золотника,  $\text{Н}$ ;  $p_{\text{вак}}$  – вакуумметричний тиск,  $\text{Па}$ ;  $m$  – маса золотника,  $\text{кг}$ .  
Площа перерізу золотника:

$$S = \frac{\pi d_1^2}{4}.$$
(2.38)

З рівняння (2.36) і (2.37):

$$k(h_{pz} + l_{dn}) = P_{\text{сак}}S + mg + F_{\text{мпз}}. \quad (2.39)$$

У граничному верхньому положенні вираз (2.39) матиме вигляд:

$$kl_{dn} = mg + F_{\text{мпз}}. \quad (2.40)$$

Маєм систему:

$$\begin{cases} k(h_{pz} + l_{dn}) = P_{\text{сак}}S + mg + F_{\text{мпз}} \\ kl_{dn} = mg + F_{\text{мпз}} \end{cases}. \quad (2.41)$$

З (2.38) випливає, що додаткова довжина пружини становить:

$$l_{dn} = \frac{mg + F_{\text{мпз}}}{k}, \quad (2.42)$$

Системи рівнянь (2.41) перетворюється у:

$$k\left(h_{pz} + \frac{mg + F_{\text{мпз}}}{k}\right) = P_{\text{сак}}S + mg + F_{\text{мпз}} \quad (2.43)$$

Коефіцієнт жорсткості пружини:

$$k = \frac{P_{\text{сак}}S}{h_{pz}}. \quad (2.44)$$

З (2.25)-(2.38) перетворимо (2.44) у формулу (рис. 2.11):

$$k = \frac{P_{\text{сак}}S}{z_{dz} - z_{dn}} = \frac{P_{\text{сак}} \frac{\pi d_1^2}{4}}{\frac{d_1 \text{tg}}{2} \left( \arcsin \frac{\sqrt[4]{\frac{128\eta l_k V_{\text{кв}}}{\pi P_{\text{амл}} t_{\text{сж}}} \cdot \ln \frac{(P_{\text{амк}} - P_{\text{абс}})}{(P_{\text{мк}} - P_{\text{абс}})}}}{\sqrt{h^2 + d_1^2}} + \arctg \frac{h}{d_1} \right)} \times \quad (2.45)$$

$$\times \left[ \cos \frac{\left( \theta_{dn} - 2 \arcsin \frac{\sqrt[4]{\frac{128\eta l_k V_{\text{кв}}}{\pi P_{\text{амл}} t_{\text{сж}}} \cdot \ln \frac{(P_{\text{амк}} - P_{\text{абс}})}{(P_{\text{мк}} - P_{\text{абс}})}}}{2d_1} \right)}{2} \right] - \left[ \cos \frac{\left( \theta_{dz} - 2 \arcsin \frac{\sqrt[4]{\frac{128\eta l_k V_{\text{кв}}}{\pi P_{\text{амл}} t_{\text{сж}}} \cdot \ln \frac{(P_{\text{амк}} - P_{\text{абс}})}{(P_{\text{мк}} - P_{\text{абс}})}}}{2d_1} \right)}{2} \right]$$

Підставляючи у (2.42) значення коефіцієнта жорсткості пружини маємо:

$$l_{dn} = h_{pz} \frac{mg}{P_{\text{сак}}S}, \quad (2.46)$$

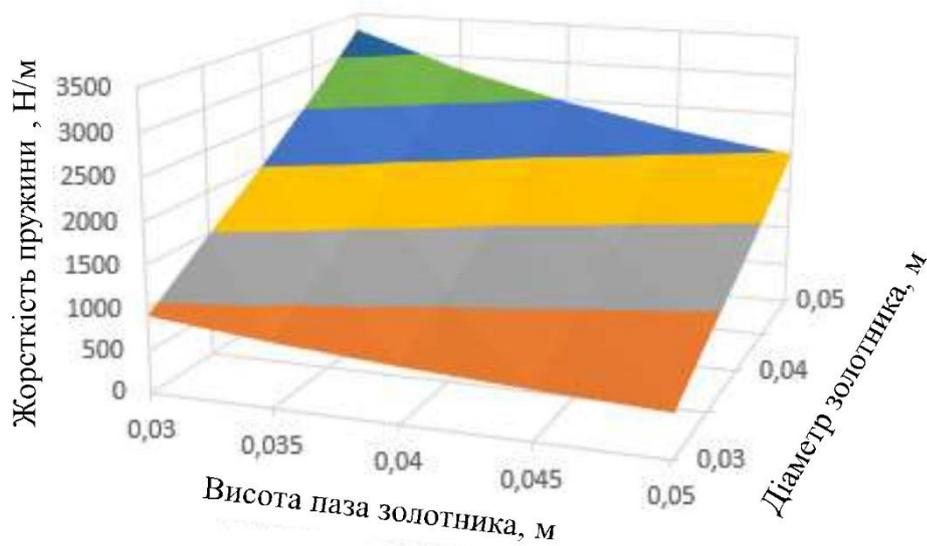


Рисунок 2.11 – Залежність жорсткості пружини від параметрів пульсатора

Підставляючи (2.46) до (2.34) маємо:

$$l_p = h_{pz} \left( \frac{P_{\text{вак}} S + mg}{P_{\text{вак}} S} \right). \quad (2.47)$$

Рівняння набуває новий вигляду:

$$kx = P_{\text{вак}} S + mg \quad (2.48)$$

Підставляючи (2.39), отримаємо:

$$x = \frac{P_{\text{вак}} S + mg}{k}. \quad (2.49)$$

На золотник діє наступна сила (рис. 2.12):

$$F_p = S_p (P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}}), \quad (2.50)$$

Горизонтальна сила притискання може бути розрахована:

$$F_x = S_p (P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}}) \sin \alpha, \quad (2.51)$$

При цьому площа контакту:

$$S_p = S_3 - S_{c31} - S_{c32}, \quad (2.52)$$

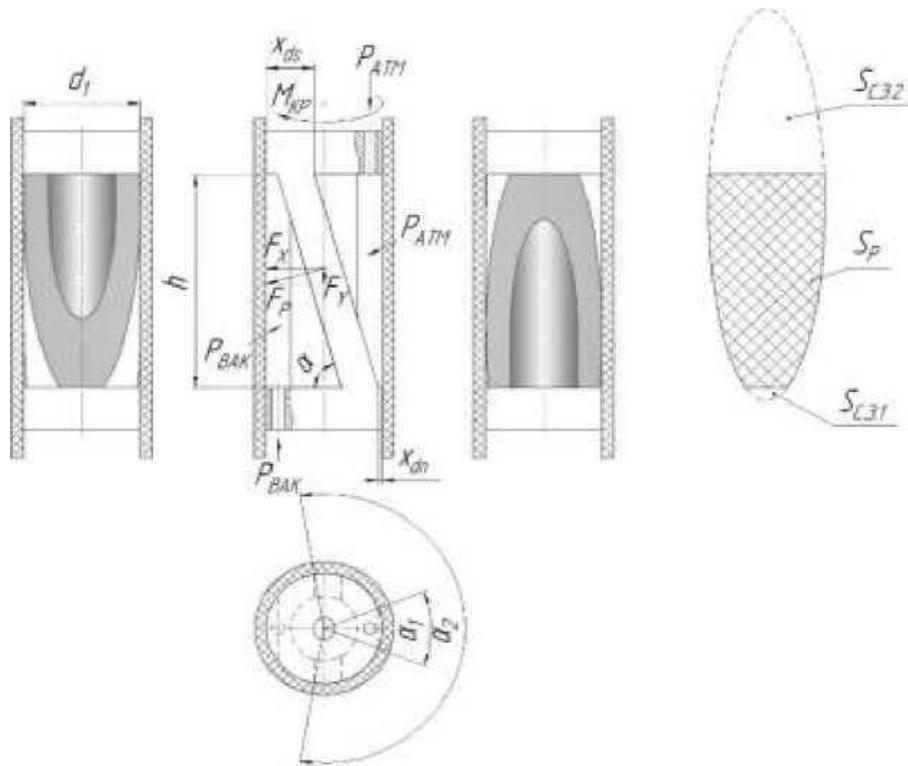


Рисунок 2.12 – Розрахункова схема дії сил на золотник пульсатора

Площа еліпса визначається за формулою:

$$S_{\text{э.}} = \frac{\pi d_1^2}{4 \cos \alpha}. \quad (2.53)$$

Площі сегментів мають вигляд (рис. 2.12):

$$S_{\text{с.э.1}} = \frac{R^2(\alpha_1 - \sin \alpha_1)}{2 \cos \alpha}, \quad S_{\text{с.э.2}} = \frac{R^2(\alpha_2 - \sin \alpha_2)}{2 \cos \alpha}, \quad (2.54)$$

Радіус золотника розраховується за формулою:

$$R = \frac{d_1}{2}. \quad (2.55)$$

Враховуючи (2.51)-(2.55) вираз (2.50) має вигляд:

$$S_p = d_1^2 \left( \frac{2\pi - \alpha_1 - \alpha_2 + \sin \alpha_1 + \sin \alpha_2}{8 \cos \alpha} \right). \quad (2.56)$$

Тоді (2.49) приймає вигляд:

$$F_x = d_1^2 \left( \frac{2\pi - \alpha_1 - \alpha_2 + \sin \alpha_1 + \sin \alpha_2}{8} \right) (P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}}) \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.57)$$

Центральні кути проекції мають вигляд:

$$\alpha_1 = 2 \arccos \frac{R-x_{dn}}{R} = 2 \arccos \left( 1 - \frac{2x_{dn}}{d_1} \right), \quad (2.58)$$

i

$$\alpha_2 = 2 \arccos \frac{R-x_{ds}}{R} = 2 \arccos \left( 1 - \frac{2x_{ds}}{d_1} \right). \quad (2.59)$$

В розширеному виді, враховуючи (2.52)-(2.59), вираз (2.57) приймає вид:

$$F_x = \frac{d_1^2}{8} \left( 2\pi - 2 \arccos \left( 1 - \frac{2z_{dn}-d_{отв}}{d_1 \operatorname{tg} \alpha} \right) - 2 \arccos \left( 1 - \frac{2}{d_1} \left( d_1 - \frac{2h_z-2z_{dn}+d_{отв}}{2 \operatorname{tg} \alpha} \right) \right) + \sin \left( 2 \arccos \left( 1 - \frac{2z_{dn}-d_{отв}}{d_1 \operatorname{tg} \alpha} \right) \right) + \sin \left( 2 \arccos \left( 1 - \frac{2}{d_1} \left( d_1 - \frac{2h_z-2z_{dn}+d_{отв}}{2 \operatorname{tg} \alpha} \right) \right) \right) \right) (P_{атм} - P_{абс}) \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.60)$$

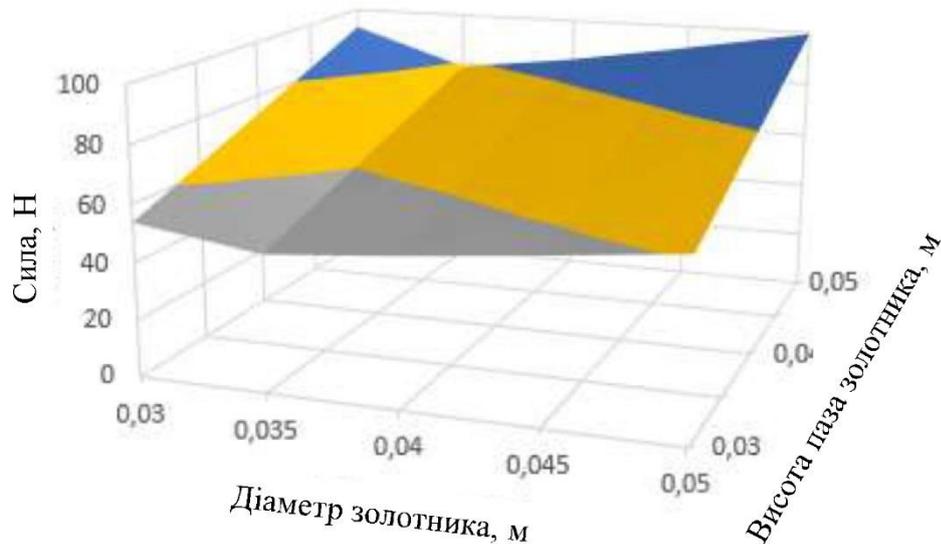


Рисунок 2.13 –Залежність сили впливу від параметрів золотника

Сила тертя золотника представимо так (рис. 2.12):

$$F_{трз} = k_{тр} F_x = k_{тр} S_p (P_{атм} - P_{абс}) \sin \alpha. \quad (2.61)$$

Враховуючи (2.56) вираз (2.61) перетворюються у:

$$F_{трз} = k_{мп} d_1^2 \left( \frac{2\pi - \alpha_1 - \alpha_2 + \sin \alpha_1 + \sin \alpha_2}{8} \right) (P_{атм} - P_{абс}) \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.62)$$

У розширеному виді, враховуючи (2.52)-(2.60), вираз (2.62) перетворюються:

$$F_{\text{ГРЗ}} = \frac{k_{\text{ГР}} d_1^2}{8} \left( 2\pi - 2 \arccos \left( 1 - \frac{2z_{\text{дн}} - d_{\text{отв}}}{d_1 \text{tg} \alpha} \right) - 2 \arccos \left( 1 - \frac{2}{d_1} \left( d_1 - \frac{2h_z - 2z_{\text{дн}} + d_{\text{отв}}}{2 \text{tg} \alpha} \right) \right) + \sin \left( 2 \arccos \left( 1 - \frac{2z_{\text{дн}} - d_{\text{отв}}}{d_1 \text{tg} \alpha} \right) \right) + \sin \left( 2 \arccos \left( 1 - \frac{2}{d_1} \left( d_1 - \frac{2h_z - 2z_{\text{дн}} + d_{\text{отв}}}{2 \text{tg} \alpha} \right) \right) \right) \right) (P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}}) \text{tg} \alpha. \quad (2.63)$$

Крутий момент приводу золотника пульсатора можна розрахувати:

$$M_{\text{кр}} = F_{\text{мпз}} \frac{d_1}{2}. \quad (2.64)$$

Об'єднуючи (2.62) і (2.64) отримуємо:

$$M_{\text{кр}} = k_{\text{мп}} \frac{d_1^3}{2} \left( \frac{2\pi - \alpha_1 - \alpha_2 + \sin \alpha_1 + \sin \alpha_2}{8} \right) (P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}}) \text{tg} \alpha. \quad (2.65)$$

Об'єднуючи (2.63) і (2.65) отримуємо:

$$M_{\text{кр}} = \frac{k_{\text{ГР}} d_1^3}{16} \left( 2\pi - 2 \arccos \left( 1 - \frac{2z_{\text{дн}} - d_{\text{отв}}}{d_1 \text{tg} \alpha} \right) - 2 \arccos \left( 1 - \frac{2}{d_1} \left( d_1 - \frac{2h_z - 2z_{\text{дн}} + d_{\text{отв}}}{2 \text{tg} \alpha} \right) \right) + \sin \left( 2 \arccos \left( 1 - \frac{2z_{\text{дн}} - d_{\text{отв}}}{d_1 \text{tg} \alpha} \right) \right) + \sin \left( 2 \arccos \left( 1 - \frac{2}{d_1} \left( d_1 - \frac{2h_z - 2z_{\text{дн}} + d_{\text{отв}}}{2 \text{tg} \alpha} \right) \right) \right) \right) (P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}}) \text{tg} \alpha. \quad (2.66)$$

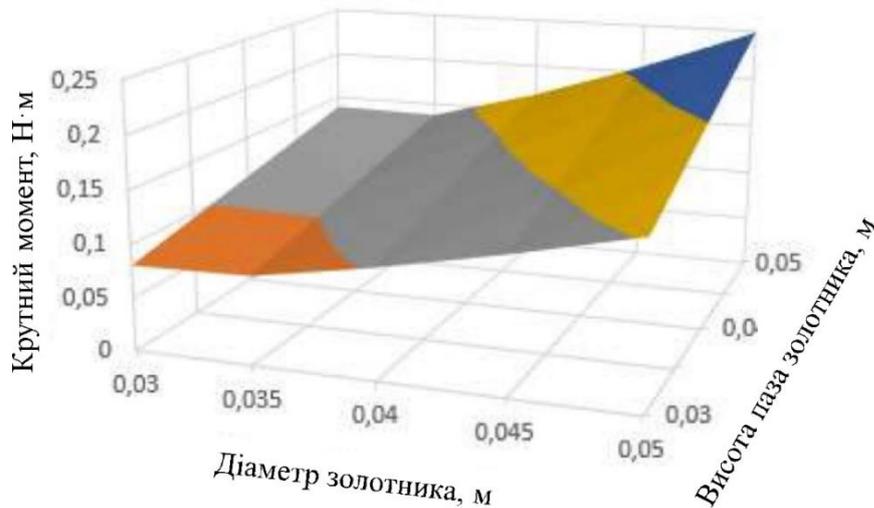


Рисунок 2.14 – Залежність крутного моменту від параметрів золотника

Потужність приводу золотника пульсатора можна розрахувати:

$$P_{\text{пр}} = M_{\text{кр}} \frac{\pi n}{30}, \quad (2.67)$$

З рівняння (2.65) і (2.67) отримуємо:

$$P_{\text{пр}} = k_{\text{мп}} \frac{d_1^3 \pi n}{60} \left( \frac{2\pi - \alpha_1 - \alpha_2 + \sin \alpha_1 + \sin \alpha_2}{8} \right) (P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}}) \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.68)$$

враховуючи (2.66):

$$P_{\text{пр}} = \frac{k_{\text{тр}} d_1^3 \pi n}{480} \left( 2\pi - 2 \arccos \left( 1 - \frac{2z_{\text{дн}} - d_{\text{отв}}}{d_1 \operatorname{tg} \alpha} \right) - 2 \arccos \left( 1 - \frac{2}{d_1} \left( d_1 - \frac{2h_z - 2z_{\text{дн}} + d_{\text{отв}}}{2 \operatorname{tg} \alpha} \right) \right) + \sin \left( 2 \arccos \left( 1 - \frac{2z_{\text{дн}} - d_{\text{отв}}}{d_1 \operatorname{tg} \alpha} \right) \right) + \sin \left( 2 \arccos \left( 1 - \frac{2}{d_1} \left( d_1 - \frac{2h_z - 2z_{\text{дн}} + d_{\text{отв}}}{2 \operatorname{tg} \alpha} \right) \right) \right) \right) (P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}}) \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.69)$$

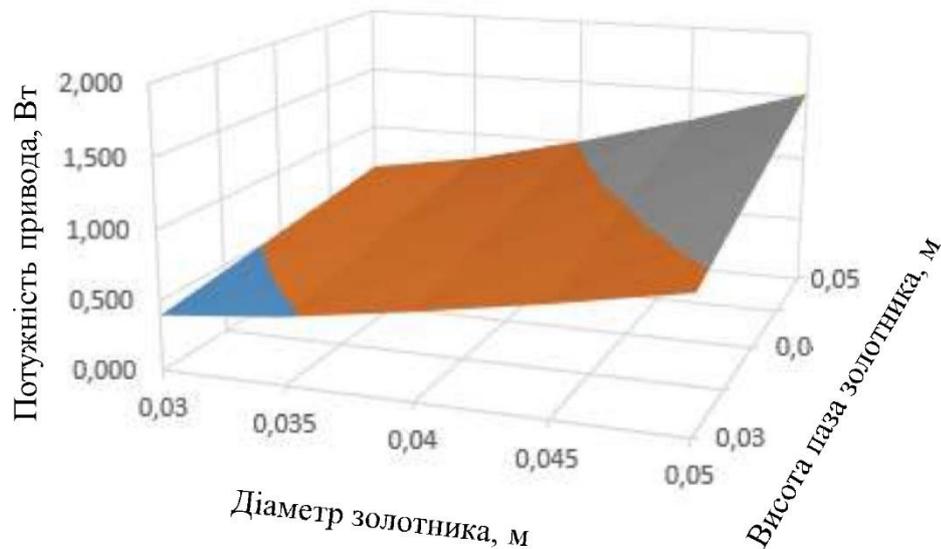


Рисунок 2.16 – Залежність потужності приводу пульсатора від параметрів золотника

### 2.3 Висновки з розділу

1. Обґрунтовано конструктивно-технологічну схему пульсатора у складі адаптивного доїльного апарата.
2. На тривалість включення такту ссання і стиску впливають коефіцієнт в'язкості  $\eta$ , діаметр каналу  $d_k$ , об'єм камери  $V_{\text{ку}}$ , довжина вакуумного каналу  $l_k$ , тиску в камері доїльного стакана  $P_m$ . Визначено умови зміни довжини каналу від 0,5 до 1,3 м і діаметра каналу від 3,0 до 8,0 мм. При цьому тривалість такту стиску знаходиться в межах 0,00131 до 0,02333 с, а тривалість такту ссання – 0,00112 до 0,02321 с.

3. В результаті теоретичних досліджень встановлено залежність співвідношення тактів ссання і стиску від параметрів золотника (діаметра золотника  $d_1$ , товщина роздільної пластини  $d_{омв}$ , зміщення  $x_{ds}$  і  $x_{dn}$  розділової пластини, висоти паза золотника  $h$ ). При висоті паза  $h$  робочої камери золотника 28 мм, діаметра  $d_1 = 49$  мм, зміщення  $x_{ds}$  і  $x_{dn}$  становить нуль. Обґрунтовано, що при переміщенню золотника на відстань 0,0026-0,032 м співвідношення тактів знаходиться в межах від 24,33:77,67 до 67,26:32,12.

4. Встановлено жорсткість пружини, яка необхідна. Її значення залежить від тиску під штоком пульсатора і від конструктивних параметрів золотника. Зміна діаметра виконавчого механізму пульсатора з 31-52 мм і висоти паза золотника з 31 до 52 мм призводить до зміни значення жорсткості пружини з 921,2 до 1936,1 Н/м.

5. Встановлена закономірність зміни потужності  $P_{пр}$  приводу виконавчого механізму пульсатора від висоти паза  $h$  та діаметра  $d_1$ , а також сил тертя  $F_{мпз}$  і частоти обертання золотника. Фіксуючи частоту обертання виконавчого механізму на рівні 60 об/хв, і при зміні діаметра виконавчого механізму з 31 до 52 мм і висоти паза золотника від 31 до 52 мм потужність приводу підвищується з 0,5 до 1,6 Вт.

## **3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **3.1 Програма досліджень**

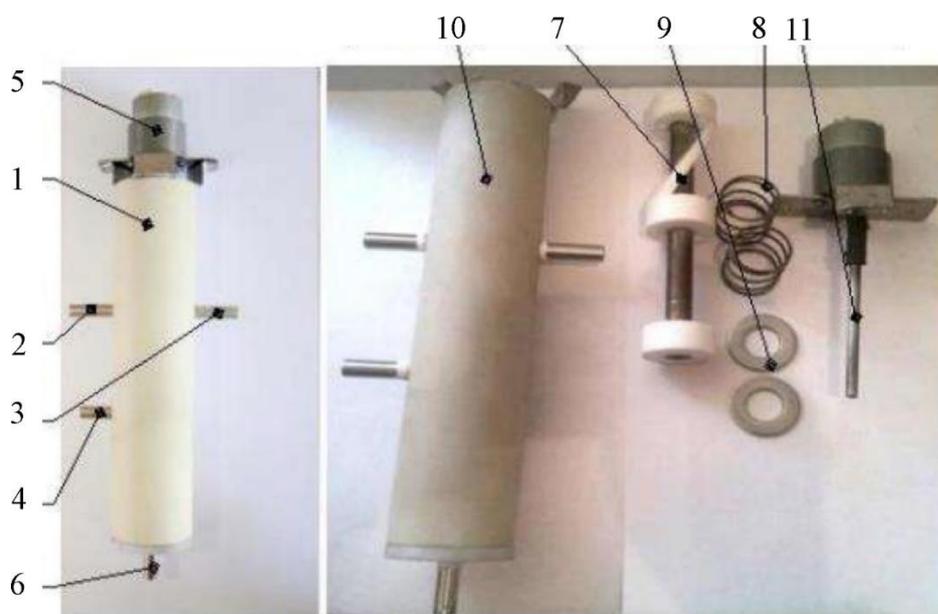
Представлені вище аналітичні дослідження процесу роботи адаптивного доїльного апарату з розробленим пульсатором обґрунтовують твердження, що апарата забезпечує утримання конструкції на вимені корови і встановлює необхідний режим процесу доїння. Цей режим копіює фізіологічні особливості процесу видоювання корів.

Основними задачами експериментальних досліджень доїльного апарату адаптивної дії є:

- перевірка правильності зроблених теоретичних висновків;
- визначення фізичних величин, які необхідні для подальшого розрахунку;
- оптимізація конструктивних і режимних параметрів пульсатора у складі доїльного апарату адаптивної дії.
- Відповідно до поставлених задач програма експериментальних досліджень передбачає:
  - перевірку теоретичних висновків щодо обрахунку тривалості тактів;
  - перевірка теоретичних висновків щодо обрахунку співвідношення тактів;
  - перевірка теоретичних висновків щодо обрахунку руху виконавчого механізму в залежності від вакууму під штоком;
  - перевірка теоретичних висновків щодо обрахунку потужності привода золотника;
  - встановлення залежностей зміни співвідношення тактів і частоти пульсацій пульсатора від його конструктивних параметрів.

### 3.2 Експериментальний зразок пульсатора

Виготовлений експериментальний зразок пульсатора приведено на рис. 3.1. Для проведення досліджень використано відповідне контрольно-вимірвальне обладнання.



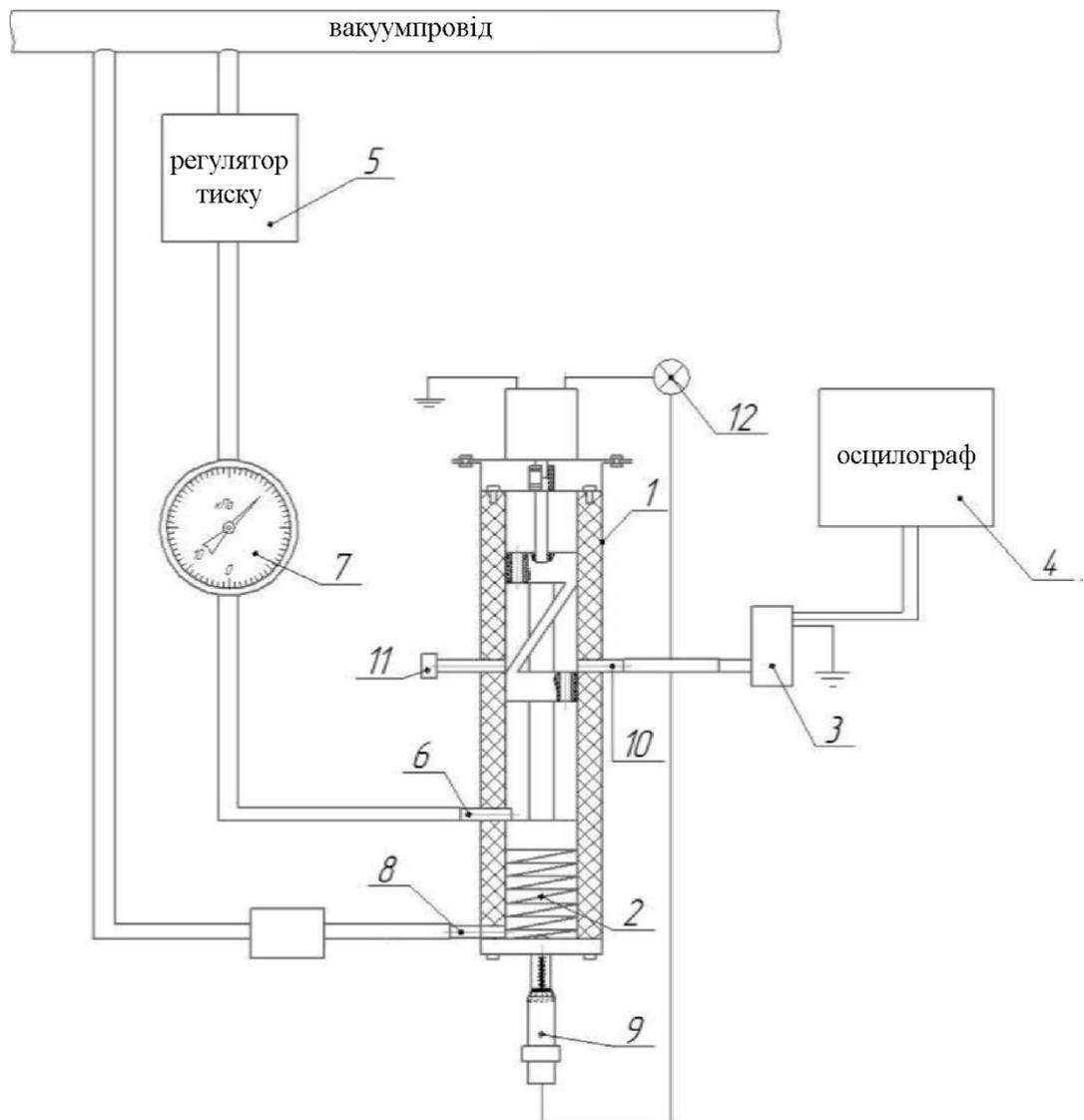
1 – пульсатор у зборі, 2, 3, 4, 6 – патрубки, 5 – електродвигун,  
7 – золотник, 8 – пружина, 9 – шайба, 10 – корпус пульсатора, 11 – вал шлицевий

Рисунок 3.1 – Експериментальний зразок пульсатора

Обробка результатів експериментальних досліджень проводилася з використанням методів кореляційного, дисперсійного і регресійного аналізів на основі відповідної літератури [67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79].

### 3.3 Методика визначення тривалості тактів

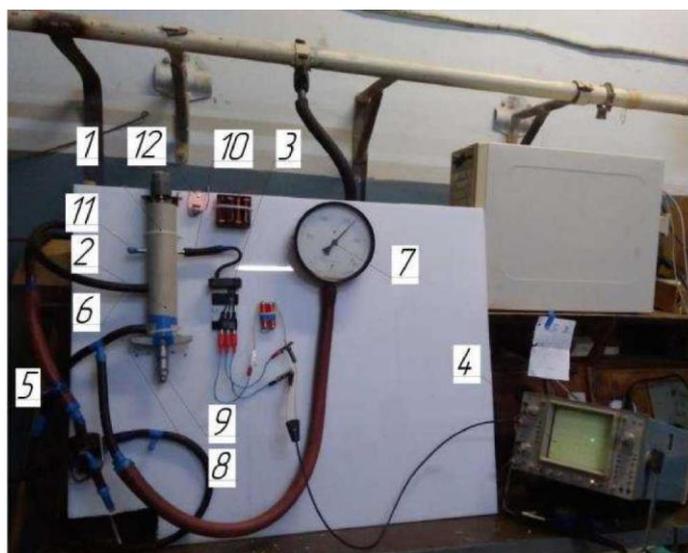
Залежність зміни тривалості тактів від параметрів каналу (діаметр та довжин), що сполучаються із камерою колектора, були визначені з використанням експериментальної установки (рис. 3.2).



- 1 – корпус пульсатора, 2 – пружина, 3 – датчик, 4 – осцилограф,  
 5 – регулятор тиску, 6, 8, 10 – патрубок, 7 – вакуумметр,  
 9 – мікрометричний глибиномір, 11 – заглушка, 12 – лампочка

Рисунок 3.2 – Конструктивно-технологічна схема експериментальної установки

Установка складалася із розробленого пульсатора доїльного апарату адаптивної дії, патрубка, який з'єднанується з джерелом вакууму і регулятор тиску. Для визначення тиску використовувався вакуумметр ВПЗ-УУЗ, який приєднаний до патрубка і датчика. Датчик по засобах електричних проводів приєднаний до осцилографа. Золотник забезпечений пружиною. Для визначення положення золотника розробленого пульсатора встановлений мікрометричний глибиномір (похибка вимірювання  $\pm 0,01$  мм).



- 1 – корпус пульсатора, 2 – пружина, 3 – датчик, 4 – осцилограф,  
 5 – регулятор тиску, 6, 8, 10 – патрубок, 7 – вакуумметр,  
 9 – мікрометричний глибиномір, 11 – заглушка, 12 – лампочка

Рисунок 3.3 – Загальний вигляд експериментальної установки

Інтервали варіювання факторів та їх границі наведені в табл. 3.1. Матриця варіювання факторів за повнофакторним дослідом.

Таблиця 3.1 – Інтервали варіювання факторів та їх границі

Фактори	Діаметр каналу, м	Довжина каналу, м
	$d_{отв} (x_1)$	$l_k (x_2)$
Верхній рівень (+1)	0,014	2,1
Нульовий рівень (0)	0,009	1,6
Нижній рівень (-1)	0,004	1,1

Критерій дослідження: тривалість тактів.

### 3.4 Методика визначення співвідношення тактів пульсатора

Для визначення характеру закономірності співвідношення тактів пульсатора від діаметра і положення золотника, висоти його паза, товщини пластини, що

розділяє камери атмосферного і вакуумметричного тисків та її зміщення в верхній та нижній площині золотника, був проведений повнофакторний експеримент.

Інтервали варіювання факторів та їх границі наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Інтервали варіювання факторів та їх границі

Фактори	Висота паза золотника, м	Положення золотника за висотою, м	Товщина пластини, м	Діаметр золотника, м	Зміщення пластини в нижній площині золотника, м	Зміщення пластини у верхній площині золотника, м
	$h(x_1)$	$z(x_2)$	$S_1(x_3)$	$d_1(x_4)$	$x_{dn}(x_5)$	$x_{ds}(x_6)$
Верхній рівень (+1)	0,06	0,04	0,014	0,06	0,013	0,013
Нульовий рівень (0)	0,05	0,03	0,009	0,05	0,007	0,007
Нижній рівень (-1)	0,04	0,02	0,004	0,04	0,000	0,000

Критерій дослідження: співвідношення тактів пульсатора.

### 3.4 Методика визначення руху золотника

Для визначення характеру закономірності переміщення золотника по висоті залежно від величини вакууму під штоком, жорсткості пружини і діаметра золотника, був проведений повнофакторний експеримент.

Інтервали варіювання факторів та їх границі наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Інтервали варіювання факторів та їх границі

Фактори	Вакуумметричний тиск, кПа	Діаметр золотника, м	Жорсткість пружини, Н/м
	$P(x_1)$	$d_i(x_2)$	$k(x_3)$
Верхній рівень (+1)	50,0	0,06	2100,0
Нульовий рівень (0)	30,0	0,05	1600,0
Нижній рівень (-1)	0,0	0,04	1100,0

Критерій дослідження: переміщення золотника пульсатора по висоті.

## 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПУЛЬСАТОРА АДАПТИВНОГО ДОЇЛЬНОГО АПАРАТУ

### 4.1 Результати експериментальних досліджень визначення тривалості тактів

Експериментальні дослідження проводили згідно методики, яка приведена в розділі 3.1. Повторність триразова.

За результатами експериментальних досліджень визначення тривалості тактів встановлено, що математична модель такту стиску можна представити у вигляді рівняння регресії другого порядку у закодованому вигляді:

$$Y = 0,047 - 16,235x_1 + 0,062x_2 - 5,26x_1x_2 + 1015,3x_1^2 - 0,001x_2^2 \quad (4.1)$$

У розкодованому вигляді рівняння (4.1) має вигляд:

$$Y = 0,047 - 16,235d_{оме} + 0,062l_{\kappa} - 5,26d_{оме}l_{\kappa} + 1015,3d_{оме}^2 - 0,001l_{\kappa}^2 \quad (4.2)$$

За результатами експериментальних досліджень визначення тривалості тактів встановлено, що математична модель такту ссання можна представити у вигляді рівняння регресії другого порядку у закодованому вигляді:

$$Y = 0,043 - 14,647x_1 + 0,048x_2 - 6,45x_1x_2 + 997,3x_1^2 + 0,013x_2^2 \quad (4.3)$$

У розкодованому вигляді рівняння (4.3) має вигляд:

$$Y = 0,043 - 14,647d_{оме} + 0,048l_{\kappa} - 6,45d_{оме}l_{\kappa} + 997,3d_{оме}^2 + 0,013l_{\kappa}^2 \quad (4.4)$$

Графічна інтерпретація рівнянь регресії (4.2) і (4.4) приведено на рис. 4.1 і 4.2 відповідно.

Для визначення адекватності аналітичних рівнянь (2.18)-(2.19) і експериментальних рівнянь (4.2) і (4.3) обраховувався критерій Фішера. Так, значення критерію Фішера становлять 2,07, що менше за табличне стандартне значення – 3,38. Враховуючи це можна стверджувати про достовірність отриманих теоретичних моделей.

Відповідно до результатів експериментальних досліджень тривалість включення тактів при довжині каналу 1,24 м відповідає діаметру 3,2 мм.

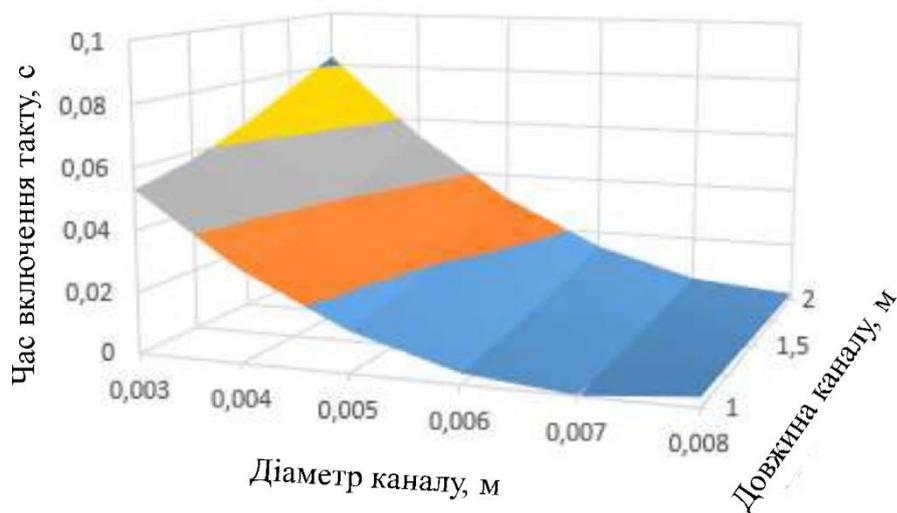


Рисунок 4.1 – Закономірність зміни тривалості такту стиску від параметрів пульсатора

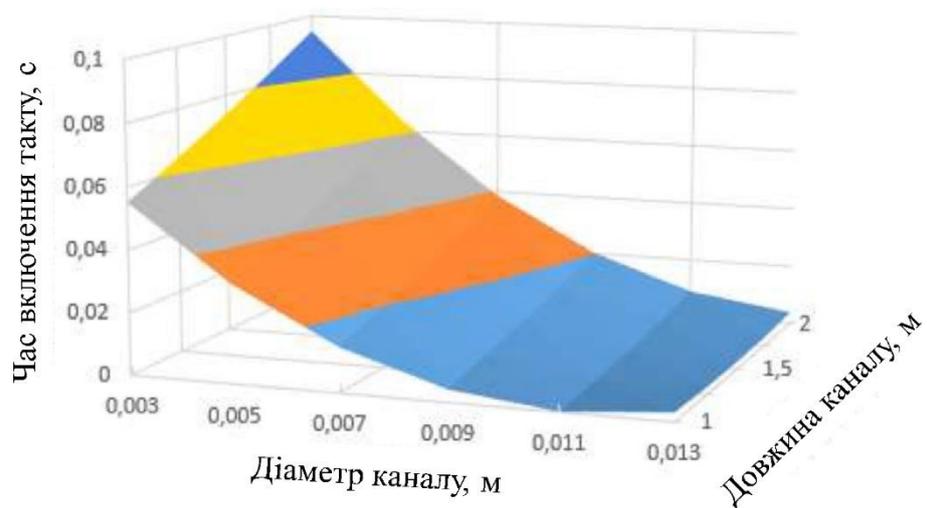


Рисунок 4.2 – Закономірність зміни тривалості такту ссання від параметрів пульсатора

#### 4.2 Результати експериментальних досліджень визначення співвідношення тактів

За результатами експериментальних досліджень визначення співвідношення тактів пульсатора встановлено, що математична модель можна представити у

вигляді рівняння регресії другого порядку у закодованому вигляді:

$$\begin{aligned}
 Y = & 49,36 + 0,58 \cdot x_1 - 14,95 \cdot x_2 - x_3 - 1,157 \cdot x_4 + 5,9552 \cdot x_5 - 4,2 \cdot x_6 - 2,43 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,18 \cdot x_1 \cdot x_3 + \\
 & + 1,13 \cdot x_1 \cdot x_4 + 0,77 \cdot x_1 \cdot x_5 - 1,11 \cdot x_1 \cdot x_6 + 3,76 \cdot x_2 \cdot x_3 - 2,52 \cdot x_2 \cdot x_4 + 2,91 \cdot x_2 \cdot x_5 + 3,67 \cdot x_2 \cdot x_6 - \\
 & - 0,009 \cdot x_3 \cdot x_4 + 0,22 \cdot x_3 \cdot x_5 - 0,1 \cdot x_3 \cdot x_6 - 0,42 \cdot x_4 \cdot x_5 + 0,46 \cdot x_4 \cdot x_6 - 1,28 \cdot x_5 \cdot x_6 - 0,37 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + \\
 & + 0,15 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 + 2,14 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_5 + 0,65 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_6 - 0,11 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 - 1,27 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot x_5 - 0,54 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot x_6 - \\
 & - 0,35 \cdot x_1 \cdot x_4 \cdot x_5 + 0,43 \cdot x_1 \cdot x_4 \cdot x_6 + 1,86 \cdot x_1 \cdot x_5 \cdot x_6 + 2,38 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 - 0,29 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_5 - 1,79 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_6 - \\
 & - 0,96 \cdot x_2 \cdot x_4 \cdot x_5 - 2,45 \cdot x_2 \cdot x_4 \cdot x_6 + 0,16 \cdot x_2 \cdot x_5 \cdot x_6 + 0,53 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 + 1,26 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_6 + 0,1 \cdot x_3 \cdot x_5 \cdot x_6 + \\
 & + 0,06 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 - 1,16 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 - 0,15 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_5 - 0,3 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 \cdot x_5 - 0,4 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 - \\
 & - 0,31 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 + 0,61 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_6 + 0,46 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 \cdot x_6 - 1,86 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_6 + 0,45 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_6 - \\
 & - 0,03 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_5 \cdot x_6 - 1,05 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot x_5 \cdot x_6 + 1,11 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_5 \cdot x_6 - 0,1 \cdot x_1 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 + 0,06 \cdot x_2 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 - \\
 & - 1,24 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 + 1,65 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 + 0,15 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_6 - 0,96 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_5 \cdot x_6 - \\
 & - 0,95 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 + 0,92 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 + 0,81 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 - 0,08 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6 + \\
 & + 5,73 \cdot x_1^2 + 5,58 \cdot x_2^2 + 5,65 \cdot x_3^2 + 5,64 \cdot x_4^2 + 5,97 \cdot x_5^2 + 6,09 \cdot x_6^2, \tag{4.5}
 \end{aligned}$$

У розкодованому вигляді рівняння (4.5) має вигляд:

$$\begin{aligned}
 Y = & 49,36 + 0,58 \cdot h - 14,95 \cdot z - s_1 - 1,157 \cdot d_1 + 5,9552 \cdot x_{dn} - 4,2 \cdot x_{ds} - 2,43 \cdot h \cdot z + 0,18 \cdot h \cdot s_1 + 1,13 \cdot h \cdot d_1 + \\
 & + 0,77 \cdot h \cdot x_{dn} - 1,11 \cdot h \cdot x_{ds} + 3,76 \cdot z \cdot s_1 - 2,52 \cdot z \cdot d_1 + 2,91 \cdot z \cdot x_{dn} + 3,67 \cdot z \cdot x_{ds} - 0,009 \cdot s_1 \cdot d_1 + 0,22 \cdot s_1 \cdot x_{dn} - \\
 & - 0,1 \cdot s_1 \cdot x_{ds} - 0,42 \cdot d_1 \cdot x_{dn} + 0,46 \cdot d_1 \cdot x_{ds} - 1,28 \cdot x_{dn} \cdot x_{ds} - 0,37 \cdot h \cdot z \cdot s_1 + 0,15 \cdot h \cdot z \cdot d_1 + 2,14 \cdot h \cdot z \cdot x_{dn} + \\
 & + 0,65 \cdot h \cdot z \cdot x_{ds} - 0,11 \cdot h \cdot s_1 \cdot d_1 - 1,27 \cdot h \cdot s_1 \cdot x_{dn} - 0,54 \cdot h \cdot s_1 \cdot x_{ds} - 0,35 \cdot h \cdot d_1 \cdot x_{dn} + 0,43 \cdot h \cdot d_1 \cdot x_{ds} + \\
 & + 1,86 \cdot h \cdot x_{dn} \cdot x_{ds} + 2,38 \cdot z \cdot s_1 \cdot d_1 - 0,29 \cdot z \cdot s_1 \cdot x_{dn} - 1,79 \cdot z \cdot s_1 \cdot x_{ds} - 0,96 \cdot z \cdot d_1 \cdot x_{dn} - 2,45 \cdot z \cdot d_1 \cdot x_{ds} + \\
 & + 0,16 \cdot z \cdot x_{dn} \cdot x_{ds} + 0,53 \cdot s_1 \cdot d_1 \cdot x_{dn} + 1,26 \cdot s_1 \cdot d_1 \cdot x_{ds} + 0,1 \cdot s_1 \cdot x_{dn} \cdot x_{ds} + 0,06 \cdot d_1 \cdot x_{dn} \cdot x_{ds} - 1,16 \cdot h \cdot z \cdot s_1 \cdot d_1 - \\
 & - 0,15 \cdot h \cdot z \cdot s_1 \cdot x_{dn} - 0,3 \cdot h \cdot z \cdot d_1 \cdot x_{dn} - 0,4 \cdot h \cdot s_1 \cdot d_1 \cdot x_{dn} - 0,31 \cdot z \cdot s_1 \cdot d_1 \cdot x_{dn} + 0,61 \cdot h \cdot z \cdot s_1 \cdot x_{ds} + \\
 & + 0,46 \cdot h \cdot z \cdot d_1 \cdot x_{ds} - 1,86 \cdot h \cdot s_1 \cdot d_1 \cdot x_{ds} + 0,45 \cdot z \cdot s_1 \cdot d_1 \cdot x_{ds} - 0,03 \cdot h \cdot z \cdot x_{dn} \cdot x_{ds} - 1,05 \cdot h \cdot s_1 \cdot x_{dn} \cdot x_{ds} + \\
 & + 1,11 \cdot z \cdot s_1 \cdot x_{dn} \cdot x_{ds} - 0,1 \cdot h \cdot d_1 \cdot x_{dn} \cdot x_{ds} + 0,06 \cdot z \cdot d_1 \cdot x_{dn} \cdot x_{ds} - 1,24 \cdot s_1 \cdot d_1 \cdot x_{dn} \cdot x_{ds} + 1,65 \cdot h \cdot z \cdot s_1 \cdot d_1 \cdot x_{dn} + \\
 & + 0,15 \cdot h \cdot z \cdot s_1 \cdot d_1 \cdot x_{ds} - 0,96 \cdot h \cdot z \cdot s_1 \cdot x_{dn} \cdot x_{ds} - 0,95 \cdot h \cdot z \cdot d_1 \cdot x_{dn} \cdot x_{ds} + 0,92 \cdot h \cdot s_1 \cdot d_1 \cdot x_{dn} \cdot x_{ds} + \\
 & + 0,81 \cdot z \cdot s_1 \cdot d_1 \cdot x_{dn} \cdot x_{ds} - 0,08 \cdot h \cdot z \cdot s_1 \cdot d_1 \cdot x_{dn} \cdot x_{ds} + 5,73 \cdot h^2 + 5,58 \cdot z^2 + 5,65 \cdot s_1^2 + 5,64 \cdot d_1^2 + \\
 & + 5,97 \cdot x_{dn}^2 + 6,09 \cdot x_{ds}^2, \tag{4.6}
 \end{aligned}$$

Представлена вище математична модель відповідає такту ссання. В зв'язку з тим, що зміна режимних параметрів пульсатора відбувається через поворот золотника всередині його корпусу, тоді рівняння тривалості такту стиску з урахуванням виразу (4.5) можна навести наступним чином:

$$X=2\pi-Y, \quad (4.7)$$

де  $X$  – відносний час такту стиску.

Графічна інтерпретація результатів експериментальних досліджень приведена на рис. 4.3-4.14. При цьому враховане формула для співвідношення тактів пульсацій у загальному вигляді:

$$\left(\frac{Y}{2\pi} 100\%\right) : \left(\frac{X}{2\pi} 100\%\right). \quad (4.8)$$

Для першої умови  $s_1 = 9$  мм,  $d_1 = 41$  мм,  $x_{dn} = 7$  мм,  $x_{ds} = 7$  мм відповідно до матриці експериментальних досліджень, рівняння регресії у розкодованому виді має вигляд:

$$Y=58,667+2050z-1816,667h-22500zh+5000z^2+20000h^2 \quad (4.9)$$

Графічна інтерпретація поверхонь відгуків тривалості тактів ссання і стиску для першої умови наведені на рис. 4.3-4.4.

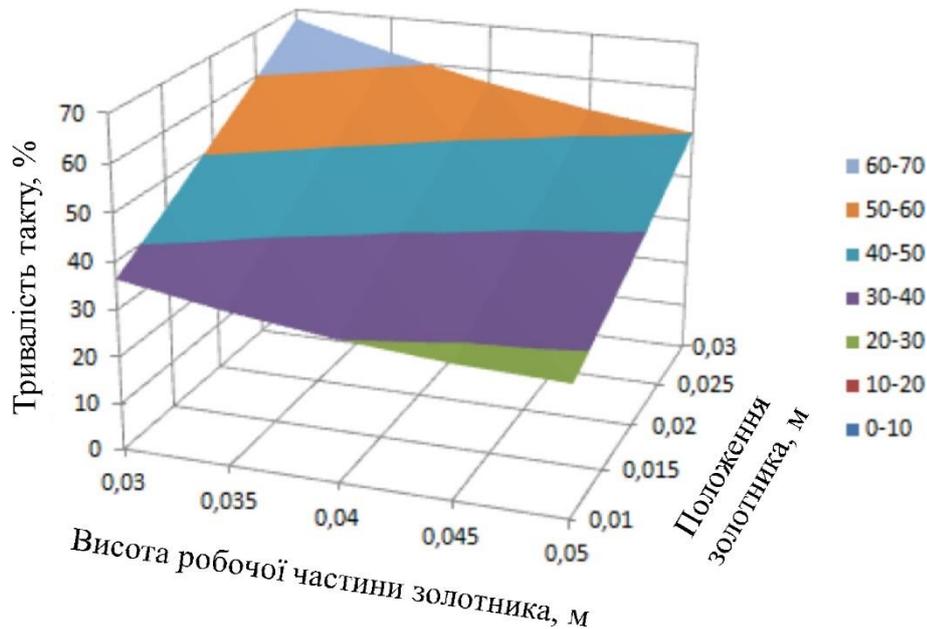


Рисунок 4.3 – Закономірності зміни часу тактів ссання від параметрів пульсатора

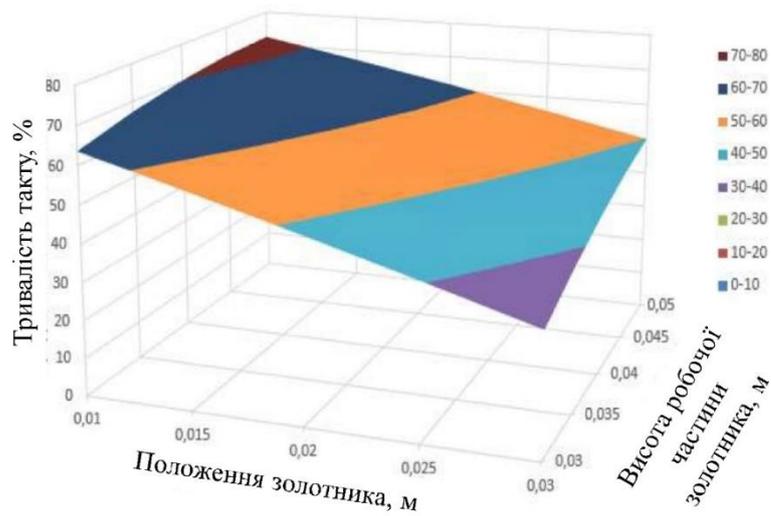


Рисунок 4.4 – Закономірності зміни часу тактів стиску від параметрів пульсатора

Для другої умови  $z = 21$  мм,  $d_1 = 41$  мм,  $x_{dn} = 7$  мм,  $x_{ds} = 7$  мм відповідно до матриці експериментальних досліджень, рівняння регресії у розкодованому виді має вигляд:

$$Y = 81,951 - 1375s_1 - 841,667h + 25000s_1h - 20833,333s_1^2 + 1666,667h^2 \quad (4.10)$$

Графічна інтерпретація поверхонь відгуків тривалості тактів ссання і стиску для другої умови наведені на рис. 4.5-4.6.

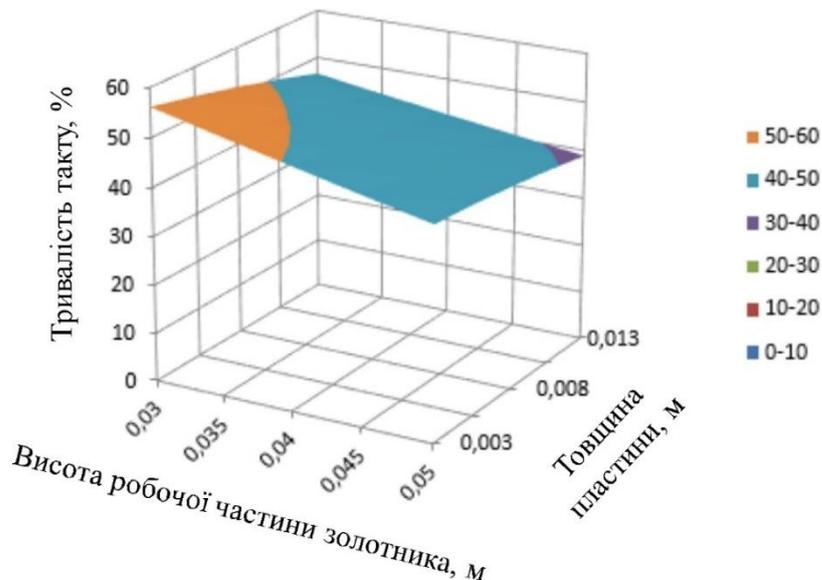


Рисунок 4.5 – Закономірності зміни часу тактів ссання від параметрів пульсатора

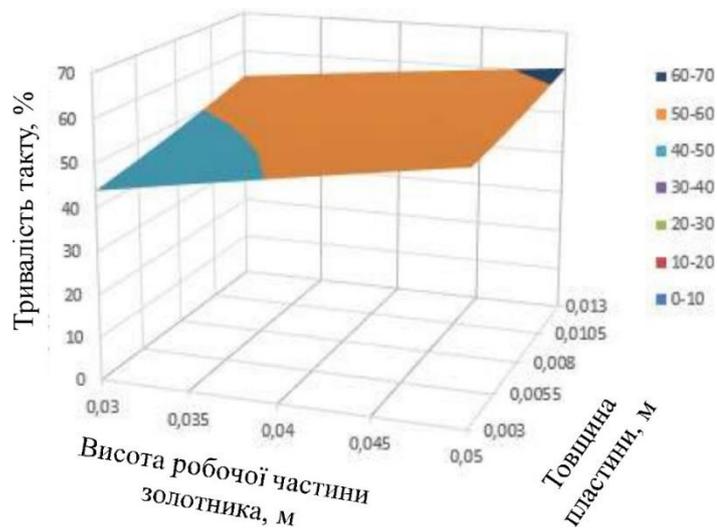


Рисунок 4.6 – Закономірності зміни часу тактів стиску від параметрів пульсатора

Для третьої умови  $z = 21$  мм,  $s_1 = 9$  мм,  $x_{dn} = 7$  мм,  $x_{ds} = 7$  мм відповідно до матриці експериментальних досліджень, рівняння регресії у розкодованому виді має вигляд:

$$Y = 90,222 - 133,333d_1 - 1666,667h - 7500d_1h + 6666,667d_1^2 + 16667,667h^2 \quad (4.11)$$

Графічна інтерпретація поверхонь відгуків тривалості тактів ссання і стиску для третьої умови наведені на рис. 4.7-4.8.

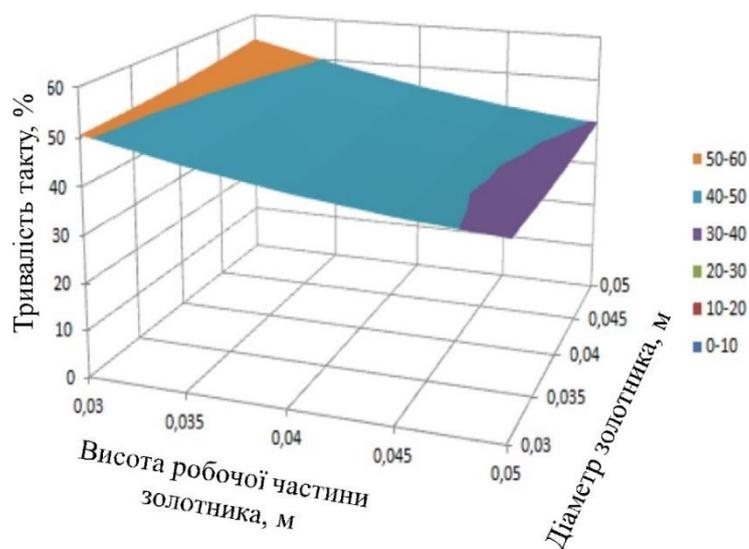


Рисунок 4.7 – Закономірності зміни часу тактів ссання від параметрів пульсатора

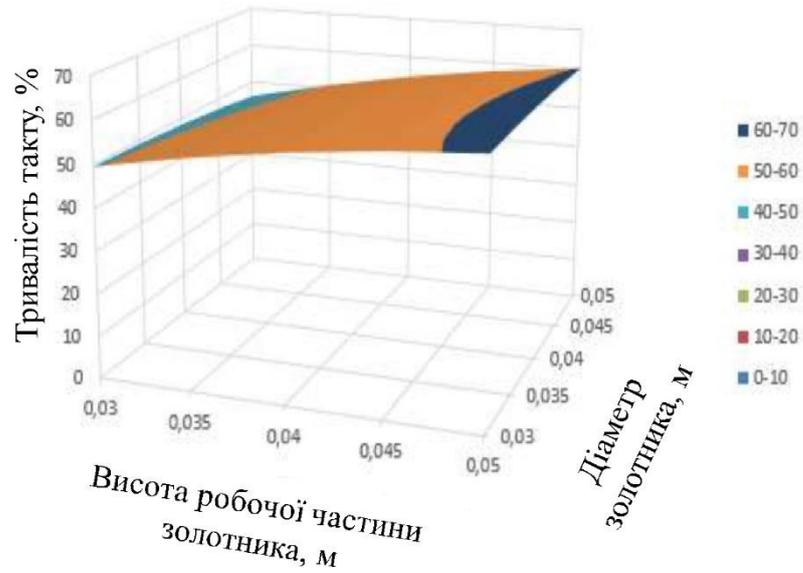


Рисунок 4.8 – Закономірності зміни часу тактів стиску від параметрів пульсатора

Для четвертої умови  $z = 21$  мм,  $s_1 = 9$  мм,  $d_1 = 41$  мм,  $x_{ds} = 7$  мм відповідно до матриці експериментальних досліджень, рівняння регресії у розкодованому виді має вигляд:

$$Y = 90,222 - 133,333d_1 - 1666,667h - 7500d_1h + 6666,667d_1^2 + 16667,667h^2 \quad (4.12)$$

Графічна інтерпретація поверхонь відгуків тривалості тактів ссання і стиску для третьої умови наведені на рис. 4.9-4.10.

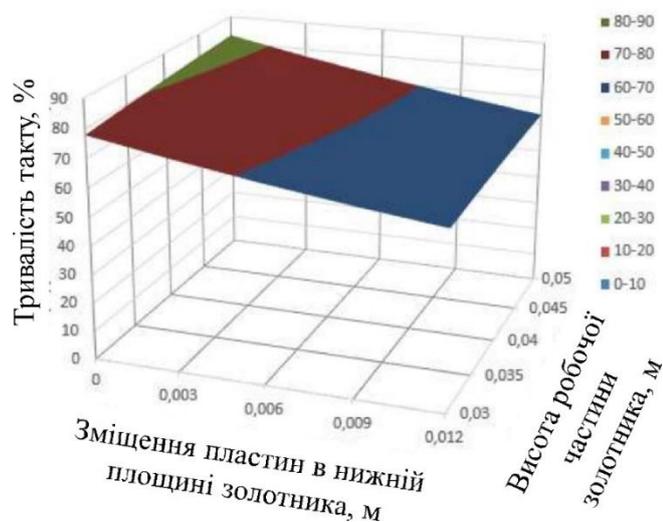


Рисунок 4.9 – Закономірності зміни часу тактів ссання від параметрів пульсатора

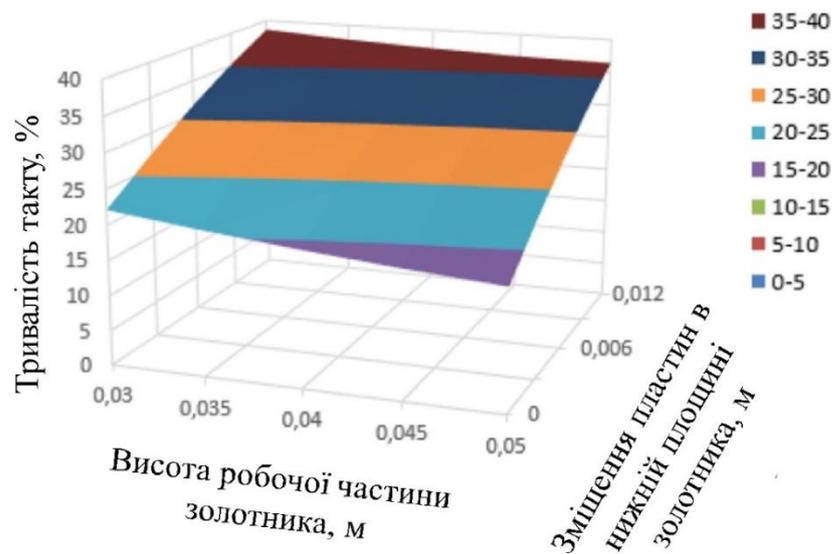


Рисунок 4.10 – Закономірності зміни часу тактів стиску від параметрів пульсатора

Для визначення адекватності аналітичних рівнянь (2.22)-(2.23) і експериментальних рівнянь (4.5) і (4.7) обраховувався критерій Фішера. Так, значення критерію Фішера становлять 1,57, що менше за табличне стандартне значення – 2,38. Враховуючи це можна стверджувати про достовірність отриманих теоретичних моделей.

Відповідно до результатів експериментальних досліджень і рекомендованих значень співвідношення тактів пульсацій 60:40 діаметр золотника дорівнює 41 мм, висота паза золотника – 42 мм. В свою чергу відстань від внутрішньої поверхні корпусу пульсатора до лінії кріплення розділової пластини становить 11,9 мм.

### 4.3 Методика визначення руху золотника

За результатами експериментальних досліджень визначення руху золотника вздовж вертикалі встановлено, що математична модель можна представити у вигляді рівняння регресії другого порядку у закодованому вигляді:

$$Y = 0,04791 - 0,01438x_1 - 0,00012x_2 - 0,0019x_3 + 0,00032x_1x_2 - 0,00027x_1x_3 + 0,00038x_2x_3 - 0,00017x_1x_2x_3 + 0,00431x_1^2 - 0,00053x_2^2 - 0,00098x_3^2 \quad (4.13)$$

У розкодованому вигляді рівняння має вигляд:

$$Y = 0,04791 - 0,01438P - 0,00012d_1 - 0,0019k + 0,00032Pd_1 - 0,00027Pk + 0,00038d_1k - 0,00017Pd_1k + 0,00431P^2 - 0,00053d_1^2 - 0,00098k^2 \quad (4.14)$$

Графічна інтерпретація результатів експериментальних досліджень приведена на рис. 4.11-4.13.

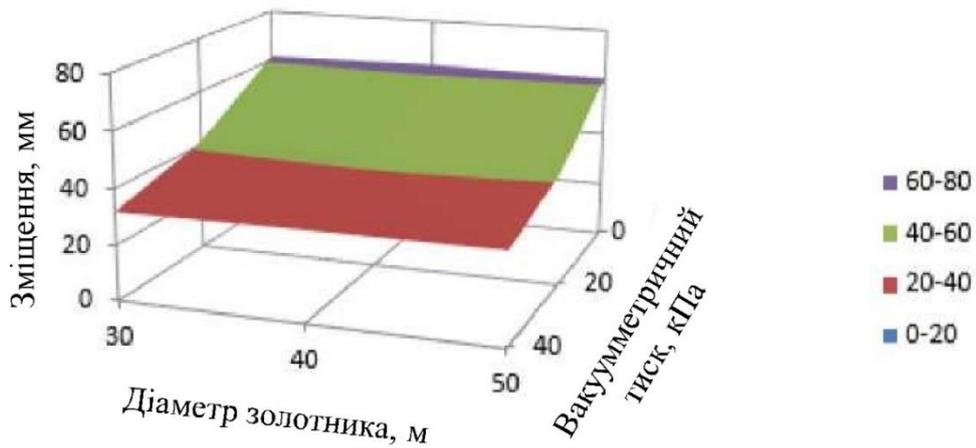


Рисунок 4.11 – Закономірність зміни зміщення золотника в камері пульсатора по вертикалі від параметрів пульсатора при жорсткості пружини  $k = 1400$  Н/м

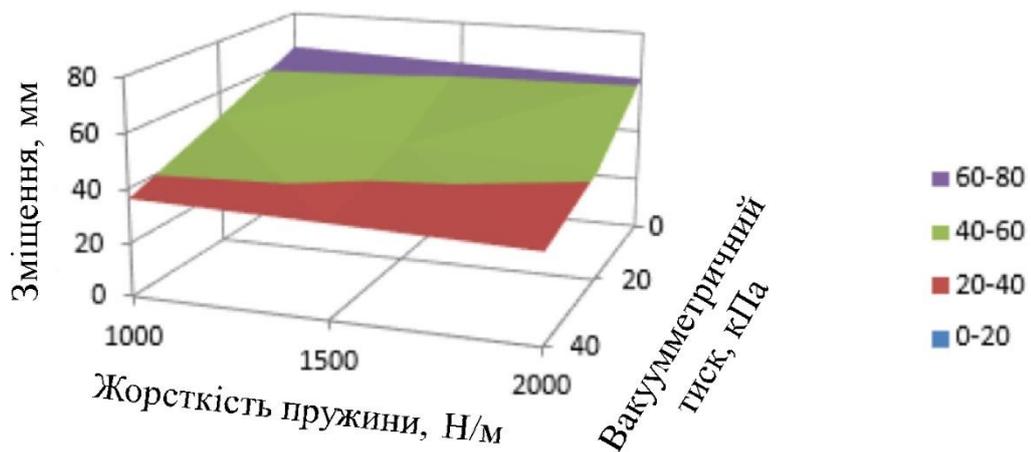


Рисунок 4.12 – Закономірність зміни зміщення золотника в камері пульсатора по вертикалі від параметрів пульсатора при діаметрі золотника  $d_1 = 41$  мм

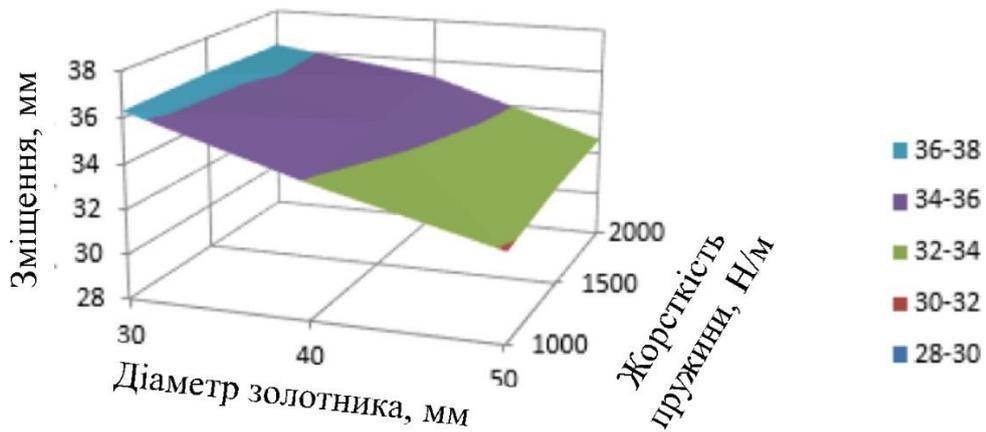


Рисунок 4.13 – Закономірність зміни зміщення золотника в камері пульсатора по вертикалі від параметрів пульсатора при вакуумметричному тиску  $P = 21$  кПа

Для визначення адекватності аналітичного рівняння (2.49) і експериментального рівняння (4.15) обраховувався критерій Фішера. Так, значення критерію Фішера становлять 1,10, що менше за табличне стандартне значення – 3,12. Враховуючи це можна стверджувати про достовірність отриманих теоретичних моделей.

Відповідно до результатів експериментальних досліджень рекомендований діаметр золотника складає 41 мм. Враховуючи зазначене для забезпечення руху золотника з верхнього в нижнє положення при його діаметрі 41 мм та вакуумметричному тиску під штоком 42 кПа жорсткість пружини повинна бути 1400 Н/м.

#### 4.4 Висновки з розділу

1. Для визначення адекватності аналітичних рівнянь (2.18)-(2.19) і експериментальних рівнянь (4.2) і (4.3) обраховувався критерій Фішера. Так, значення критерію Фішера становлять 2,07, що менше за табличне стандартне значення – 3,38. Враховуючи це можна стверджувати про достовірність отриманих теоретичних моделей. Відповідно до результатів експериментальних досліджень тривалість включення тактів при довжині каналу 1,24 м відповідає діаметру 3,2 мм.

2. Для визначення адекватності аналітичних рівнянь (2.22)-(2.23) і експериментальних рівнянь (4.5) і (4.7) обраховувався критерій Фішера. Так, значення критерію Фішера становлять 1,57, що менше за табличне стандартне значення – 2,38. Враховуючи це можна стверджувати про достовірність отриманих теоретичних моделей. Відповідно до результатів експериментальних досліджень і рекомендованих значень співвідношення тактів пульсацій 60:40 діаметр золотника дорівнює 41 мм, висота паза золотника – 42 мм. В свою чергу відстань від внутрішньої поверхні корпусу пульсатора до лінії кріплення розділової пластини становить 11,9 мм.

3. Для визначення адекватності аналітичного рівняння (2.49) і експериментального рівняння (4.15) обраховувався критерій Фішера. Так, значення критерію Фішера становлять 1,10, що менше за табличне стандартне значення – 3,12. Враховуючи це можна стверджувати про достовірність отриманих теоретичних моделей. Відповідно до результатів експериментальних досліджень рекомендований діаметр золотника складає 41 мм. Враховуючи зазначене для забезпечення руху золотника з верхнього в нижнє положення при його діаметрі 41 мм та вакуумметричному тиску під штоком 42 кПа жорсткість пружини повинна бути 1400 Н/м.

## **5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **5.1 Аналіз умов праці операторів машинного доїння**

Сучасна технологія виробництва молока пов'язана з використанням високопродуктивного, енергоємного обладнання. Машини та обладнання для технічного процесу одержання молока включають доїльні установки та всі їх системи, електропостачання, холодильні установки, засоби обробки молока (сепаратори, гомогенізатори та ін.), санітарно-технічне дезінфекційне обладнання.

У сільськогосподарському виробництві доярками традиційно займаються жінки, 98 % машинного доїння – жінки. Умови праці на молочно-товарних фермах не враховують специфіки залучення жінок до праці, але також відповідають вимогам гігієнічних норм. На старих фермах з недосконалою технологією виробництва на доїння 600 корів потрібно 4-5 доярок. На сучасних фермах з цим завданням легко справляються 2 оператори машинного доїння. Є комп'ютерний контроль доїння, селекційний облік, механізована годівля тварин від початку завантаження до кінця роздачі кормів, система механізованого гноєвидалення. Тобто ручна праця зведена до мінімуму. Але, в свою чергу, сучасні умови вимагають певних спеціалізованих навичок, вимагаючи високого рівня підготовки спеціалістів тваринництва.

Серед усіх трудомістких процесів у тваринництві рівень механізації утримання молочних корів нині є найвищим і перевищує 90 %. Промисловість випускає ряд доїльних апаратів, які дозволяють механізувати доїння в процесі виробництва молока. І, незважаючи на це, робота доярки пов'язана з великою кількістю небезпечних і шкідливих виробничих факторів: висока важкість і напруженість праці; аерація парами аміаку, що перевищують гранично допустиму концентрацію; вплив біологічних факторів та ін. Все це зумовлює високий рівень травматизму та захворюваності.

Аналіз технологічних ушкоджень при виробництві молока показав, що найбільшу частку становлять: догляд за тваринами – 23,6 %, годівля – 18,3 % та

доїння – 11,3 %.

На старих фермах багато робочих місць не відповідають ергономічним вимогам сучасної організації праці та оснащені застарілим обладнанням. На окремих підприємствах норма зносу основних фондів становить 40-85 %, а знос деяких устаткування іноді досягає 100 %, здебільшого в другому турі.

Найбільш трудомістким процесом у молочному скотарстві є доїння. Залежно від способу доїння і ступеня його механізації на нього витрачається 40-80 % загального робочого часу. За зміну доярки нахиляють тіло до 600 разів. На неї впливає регіональне фізичне навантаження 24 % робочого дня.

У гігієнічних і санітарних умовах виробництва (тваринницькі приміщення і відкриті простори) велике значення мають температура, вологість і швидкість повітряного потоку, а також газовий склад і механічні домішки повітря. При стійловому утриманні тварин допустимі такі умови для роботи обслуговуючого персоналу в теплому одязі та шкіряному взутті: температура – в межах оптимальної для тварин, вологість – не вище 75 %, швидкість руху повітря понад 0,25 м/с. За показниками мікроклімату умови праці операторів далекі від оптимальних. Тому в холодну пору року через зниження температури підвищується відносна вологість і – для багатьох виробництв – зростає стрес. Значні перепади температур і їх значна залежність від погодних умов коливаються в широких межах за відсутності систем опалення в корівниках. Стабілізує високі значення відносної вологості шляхом утворення конденсату при низьких температурах повітря.

## **5.2 Вплив мікроклімату тваринницьких приміщень на оператора машинного доїння**

Тваринницькі ферми часто забруднені газоподібними домішками. Це пов'язано з життєдіяльністю тварини, і процесом розкладання гною і залишків корму. До продуктів розпаду калу відносяться сірководень, аміак, вуглекислий газ та ін. [80].

Важливим несприятливим фактором у тваринницькому середовищі є

наявність у повітрі газоподібних і летких сполук (кетони, меркаптани, альдегіди, аміни, спирти, дисульфіди, індоли, сірчані гази, скатол тощо) і викликаний неприємним запахом. Інгредієнти присутні в невеликих кількостях, але досить стабільні, щоб поглинати їх шерстю, волоссям і шкірою людини [81].

Цей запах супроводжує тваринників і залишається довго після того, як вони прийшли з роботи. Це може призвести до соціальних і психологічних проблем у них і знизити актуальність кар'єри, особливо для молоді. Підвищення концентрації газоподібних сполук може викликати у працівників подразнення слизових оболонок, посилення слиновиділення, спазм дихальних шляхів, нудоту, головний біль [81].

На думку багатьох експертів, промислове виробництво молока вважається виробництвом пилу. Вплив пилу на працівників тут циклічний і пов'язаний з виконанням технічних операцій, таких як годівля, прибирання тварин, прибирання приміщень. Найбільші концентрації пилу утворюються під час роздачі комбікормів, мікродобавок та прибирання тварин. При порушенні вимог гігієни праці пил, що потрапляє в дихальні шляхи людини, викликає хронічні захворювання органів дихання – риніт, фарингіт, бронхіт, пневмоконіоз [81].

Технологією виробництва в кормоцехах на ділянках подрібнення кормів, відділеннях зберігання комбікормів, змішування преміксів з кормами визначає високий рівень запиленості. Без використання певних засобів припинення пилоутворення і розповсюдження концентрації пилу можуть значно перевищувати допустимі норми. В період підвищеної активності тварин, при ветеринарній та виробничій обробці тварин та птиці запиленість зростає. В свою чергу застосування рідких або зволжених кормів, а також гідрозмивного способу видалення гною спричиняє зниженню запиленості повітря у тваринницьких приміщеннях [81].

Мікрофлора у приміщеннях, де утримуються тварини, складається головним чином із патогенних і сапрофітних форм: золотистого і білого стафілокока, сальмонели, гемолітичного стрептокока, паличок кишкової груп. Також зустрічаються плісняві гриби. Джерелами забруднення повітря є тварини, корми, гній [81].

На сучасних тваринницьких комплексах вентиляція та оптимальний температурний режим виключають можливість утворення туману взимку, тому робота доярок полегшується, а коровам легше дихається. Тварин утримували в більш комфортних умовах: їх розміщували на глибокій підстилці, у вільному середовищі – їх не замикали в тісних приміщеннях, вони мали вільний доступ до виходу, а також можна вільно пересуватися в приміщенні.

Освітлення робочих місць і поверхонь має велике значення для умов праці тваринників. Усі виробничі приміщення на тваринницьких фермах забезпечують природним і штучним освітленням [81]. Робоче освітлення на старих фермах все ще є недостатнім, тоді як амбари з прив'язними прив'язками в холодну пору року отримують лише 3-5 люкс на рівні вимені.

### **5.3 Механічне навантаження на оператора машинного доїння**

Праця працівниць тваринництва здійснюється на тлі зниженої функціональної активності фізіологічних систем організму, що є проявом хронічної втоми. У всіх робітниць цієї галузі виявляється напруга регулюючого механізму системи кровообігу, причому найбільш яскраво це проявляється в професіях з великою фізичною працею. Підвищилась роль трудомісткості роботи з виробництва молока за конвеєрною технологією (доїння в доїльному залі), що проявляється у негативних тенденціях у динаміці показників системи кровообігу та функції аналізатора. Вплив змінності праці на функціональний стан організму утримниць, що проявляється розвитком процесу втоми, є нерівномірним. Характер змін опорно-рухового апарату у працівниць більшості професій свідчить про ризик розвитку стійких професійних захворювань кінцівок. Загалом, зміни у фізичному стані працівниць у цій галузі під час робочого процесу вказують на те, що навантаження недостатнє для фізичної працездатності.

Крім того, конструкція доїльного апарату не захищає оператора від нападу тварин. Оператори мають досить тісний контакт із тваринами, і безпека багато в чому залежить від настрою тваринного, фізіологічного стану та особистих реакцій

оператора. У системі проточного доїння також важливо, щоб тварина не знала свого оператора і щоб оператор не знав про характер або фізіологічний стан тварини. Все це створює передумови для того, щоб тварина завдала шкоди оператору.

#### **5.4 Акустичне навантаження на оператора машинного доїння**

У промисловому тваринництві зростає роль шуму як фактору виробничого середовища. Джерелами шуму є різноманітні механізми приготування кормів, доїльні установки, конвеєрні стрічки, транспортні засоби для роздачі кормів і гноєвидалення, гідравліка тощо. Таким чином, на комбикормових заводах під час гранулювання корму створюється високочастотний шум з максимальною інтенсивністю звукової енергії 2500-4500 Гц, що перевищує гранично допустимий рівень звуку на 11-13 дБ. Двигуни доїльних установок з недостатньою звукоізоляцією і вакуумні насоси можуть генерувати до 80-90 децибел. Мобільні дозатори кормів у поєднанні з тракторами та бульдозерами для видалення гною можуть генерувати високочастотний шум 85-95 децибел і більше. [81].

Ці операції виконуються періодично, і шум непостійний. Звуки, які видають самі тварини, також дуже непостійні. Наприклад, у період відпочинку тварини він не перевищує 45 децибел, а в стані збудження, що виникає під час годування або порушення його режиму, щеплень та інших ветеринарних заходів, досягає 85-98 децибел. Як правило, тривалість шуму, викликаного криками тварин, поглинається протягом 1 години за зміну. Особлива шумова ситуація виникає, коли велика кількість телят переводиться з розплідних стад до колективних зон. На ранній стадії адаптації вони майже безперервно ревли протягом 1,5-2 днів і відмовлялися від їжі. Слід сказати, що шум, створюваний криком тварин, за своїм психоемоційним впливом більш неприємний, ніж шум, створюваний роботою механізмів [81].

## 5.5 Причини втрати працездатності оператора машинного доїння

Таким чином, організм молочних робітників схильний до безлічі несприятливих факторів, а санітарно-гігієнічні умови праці працівників тваринництва залежать від техніки безпеки, ергономіки та мікроклімату, пилу. Можна зробити висновок, що він не завжди відповідає вимогам параметрів, що нормуються, рівень освітлення та шуму.

При доїнні на механізованій доїльній установці один оператор обслуговує 80-100 корів. Наприклад, при доїнні в карусельній доїльній установці робота виконується без тривалих переходів і частих завдань, пов'язаних з очищенням і масуванням вимені, видаюванням першого молочного струменя, приєднанням і зняттям склянок доїльного апарату, вимагає монотонного руху [81].

Усі операції відбуваються у ритмі, заданому рухом каруселі. За 7 хвилин карусель, що складається з 24 пристроїв, здійснює один оборот, а на одну тварину оператор витрачає 17 секунд, на інше доїльне обладнання – до 40 секунд. Тому робота машиніста доїння характеризується значною нервово-психічною напругою. У зв'язку з звуженням поділу праці, крім механічного доїння, в обов'язки оператора входить прив'язування та відв'язування корів (прив'язь), вигул, збирання тварин, збирання годівниць, прийом телят, вирощування телят. Вік 10-20 днів. З них тариф на послуги одного оператора складає 25-35. Така організація підвищує ризик напруженої фізичної праці та травматизму [81].

Об'єкти годівлі ВРХ мають різну навантаження залежно від галузі, рівня механізації процесу, способу годівлі та інших. Наповнення – від 800 до 1100 голів [81].

Хвороби органів дихання, травлення, шкіри та підшкірної клітковини, нервової системи та органів чуття є тому найчастішими причинами тимчасової непрацездатності працівників тваринництва. Перетворення тваринництва на промислову базу сприяло значному поліпшенню та поліпшенню умов праці, що, безумовно, позитивно позначиться здоров'я власників тварин. Тваринники на промислових фермах і комплексах менш схильні до захворювань, ніж звичайні

тваринники. Однак у силу особливостей роботи ці показники все ж таки вищі, ніж у інших груп професійних сільськогосподарських робочих [81].

## **5.6 Висновки з розділу**

Механізація виробничих процесів на фермах (приготування та роздача кормів, автоматичне напування, механічне доїння, пневматичне очищення, електрострижка, очищення та прибирання гною) створює хороші умови праці для тваринників та підвищує продуктивність праці. Зростання матеріально-технічного оснащення ферми, застосування нової техніки виробництва та поширення промислових методів підняли тваринницьку працю та змінили її характер. Умови праці в промислових тваринницьких комплексах та великих фермерських господарствах наближаються до умов промислових підприємств, де велике значення має безпека та дотримання правил особистої гігієни.

## 6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ АДАПТИВНОГО ДОЇЛЬНОГО АПАРАТУ

### 6.1 Методика розрахунку економічної ефективності

Для розрахунку економічної ефективності лабораторного доїльного апарату з механічним пульсатором використовувалась така формула [82, 83]:

$$E_a = (Z_b - Z_n)G_n - [(C_b + N_k K_b) - (C_n + N_k K_n)]G_n \quad (6.1)$$

де  $E_a$  – економічна ефективність використання одного доїльного апарату на рік з урахуванням застосовних витрат праці (грн.).  $Z_b, Z_n$  – сума витрат на доїння однієї корови з використанням блоку управління «Нурлат» та вироблених гривень.  $G_n$  – кількість доїнь на рік на розроблених доїльних апаратах.  $K_b, C_n$  – загальні витрати на доїння однієї корови з використанням керованого та розвиненого доїльного апарату, грн;  $N_k$  – нормативний коефіцієнт капітальних вкладень,  $N_k = 0,15$ ;  $K_b, K_n$  – питомі капітальні витрати керованого та розвиненого доїння у загальних витратах використання доїльного устаткування. авто.  $C_b$  і  $C_n$  розраховуються наступним чином:

$$\begin{aligned} C_b &= t_{po1} B_{\text{ч}}, \\ C_n &= t_{po2} B_{\text{ч}}, \end{aligned} \quad (6.2)$$

де  $t_{po1}, t_{po2}$  – тривалість ручного режиму, годин;  $B_{\text{ч}}$  – тарифна ставка, грн/година,  $K_b$  та  $K_n$  – наступним чином:

$$\begin{aligned} K_b &= Z_b/G_n, \\ K_n &= Z_n/G_n, \end{aligned} \quad (6.3)$$

де  $Z_b$  – оптова ціна одного керованого доїльного апарату у гривнях.  $Z_n$  – гранична вартість одного експериментального адаптивного доїльного апарату у гривнях.

### 6.2 Гранична вартість одного експериментального адаптивного доїльного апарату

Формула розрахунку граничних витрат на один лабораторний доїльний

апарат:

$$Z_{Л} = \frac{1,1Z_b a + (l_b \beta - l_H) G_H P_H}{(1 + a_H P_H) 1,1}, \quad (6.4)$$

де  $a$  – коефіцієнт обміну між контролером та експериментальним обладнанням з урахуванням кількості доярів на рік;  $l_b$  – питома витрата під час використання керованого доїльного апарату;  $l_H$  – питома норма експлуатаційних витрат для доїльних лабораторних апаратів без амортизаційних відрахувань;  $\beta$  – коефіцієнт зниження витрат;  $P_H$  – коефіцієнт ефективності регулювання капітальних вкладень;  $a_H$  – коефіцієнт амортизації.

Питома ставка експлуатаційних витрат  $l_b$  розраховується з урахуванням загальних річних витрат за експлуатацію доїльного апарату  $l_b$  та загальної кількості корів, доєнних протягом року  $G_H$ .

$$l_b = \frac{I_b}{G_H} \quad l_b = \frac{B_b + A_b}{G_H} \quad (6.5)$$

де  $B_b$  – основні та додаткові витрати на заробітну плату, грн;  $A_b$  – амортизаційні та ремонтні витрати, грн.

Амортизаційні відрахування розраховуються за такою формулою:

$$A_b = a_H (Z_b + R_t), \quad (6.6)$$

де  $R_t$  – витрати на доставку та продаж, грн., а основні та додаткові витрати на оплату праці  $B_b$  визначаються за формулою:

$$B_b = 1,18 t_{p01} B_{ч} G_H \quad (6.7)$$

Питома норма експлуатаційних витрат під час використання лабораторного доїльного апарату ( $l_H$ ) визначається за такою формулою:

$$l_H = \frac{I_H}{G_H}, \quad l_H = \frac{B_H}{G_H} \quad (6.8)$$

$$B_H = 1,18 t_{p02} B_{ч} G_H \quad (6.9)$$

### 6.3 Економічна ефективність адаптивного доїльного апарату з розробленим пульсатором від повноти видоювання корів

З урахуванням підвищеної молочної продуктивності тварин економічна ефективність при використанні доїльного лабораторного апарату з механічним пульсатором визначається за формулою:

$$E'_{\Pi} = E_{\Pi}/Q_{\Pi} = ([\Pi_1 - (I_b + E_H/K_1)] - [\Pi_2 - (I_b + E_H/K_2)]) / Q_{\Pi} \quad (6.10)$$

де  $E'_{\Pi}$  – економічна ефективність за рахунок виробництва 1 ц молока, грн/ц.  $E_{\Pi}$  – Економічна ефективність, грн. за рахунок збільшення молочної продуктивності тварин.  $Q_{\Pi}$  – річний удій  $t_s$ , отриманий з використанням одного розробленого доїльного апарату,  $P_1, P_2$  – закупівельна ціна молока для контрольної та дослідної груп, грн.;

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= q_b M\Pi_M; \\ \Pi_2 &= q_H M\Pi_M \end{aligned} \quad (6.11)$$

де  $q_b, q_H$  – річні надої, отримані при використанні контрольних і доярок, що розвиваються;  $M$  – кількість корів, оброблених одним доїльним апаратом;  $C_M$  – закупівельна ціна сотої частки молока, грн;  $I_b, I_H$  – річні витрати на утримання, грн;  $E_H$  – нормативний коефіцієнт корисної дії;  $K_1, K_2$  – загальні капітальні витрати контрольної та дослідної груп, грн.

### 6.4 Розрахунок економічної ефективності розробленого доїльного апарату з механічним пульсатором

Економічна ефективність при використанні розробленого доїльного апарата з механічним пульсатором розраховувалася від наведених витрат.

Основні показники, необхідні розрахунку наведено у таблиці 6.1.

Економічна ефективність використання експериментального доїльного апарату, отримана в результаті розрахунків наведено у таблиці 6.2.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для розрахунку річної економічної ефективності

Показники	Одиниці вимірювання	Нурлат	Експериментальний доїльний апарат
Поголів'я дійного стада	гол.	20	20
Кількість доїльних апаратів	шт.	3	3
Час доїння	с.	483,6	500,3
Кратність доїння	раз на добу.	3	3
Продуктивність корів	кг	6732,4	7635,2
Потужність двигуна	кВт	3	3
Вартість доїльного апарату	грн.	2400	2700
Відрахування на амортизацію	%	16,8	16,8
Відрахування на поточний ремонт та догляд	%	14,9	14,9
Тарифна ставка	грн.	50,00	

Таблиця 6.2 – Показники економічної ефективності

Показники	Одиниці виміру	Нурлат	Експериментальний доїльний апарат
Капітальні вкладення	грн.	36000,0	40500,0
Витрати на експлуатацію:	грн.		
– відрахування на амортизацію		6048,0	6804,0
– витрати на поточний ремонт та догляди		5364,0	6034,5
– електроенергія		4680,0	5265,0
Приведені витрати	грн.	257043,5	253533,1
Економічна ефективність за рік за приведеними витратами у розрахунку на 20 корів	грн.	-	40805,3
Економічна ефективність протягом року за приведеними витратами на одну корову	грн.	-	2040,2
Термін окупності	рік	-	0,95

## **6.5 Висновки з розділу**

Як видно з таблиці 6.2, економічна ефективність більша при використанні експериментального зразка обладнання, ніж при використанні контрольного. Річна економічна ефективність сягнула 40 805,3 грн. У розрахунку на одну корову це 2040,2 грн. Термін окупності 0,95 року.

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз технології механічного доїння корів та відомих технічних рішень доїльного обладнання дозволяє встановити, що в умовах приватного сектору рекомендується застосування адаптивних доїльних апаратів на індивідуальні доїльні установки. Такі доїльні апарати можуть змінювати інтенсивність надою, частоту та співвідношення пульсацій. Обґрунтовано конструктивно-технологічну схему пульсатора у складі адаптивного доїльного апарата.

2. На тривалість включення такту ссання і стиску впливають коефіцієнт в'язкості  $\eta$ , діаметр каналу  $d_k$ , об'єм камери  $V_{ку}$ , довжина вакуумного каналу  $l_k$ , тиску в камері доїльного стакана  $P_m$ . Визначено умови зміни довжини каналу від 0,5 до 1,3 м і діаметра каналу від 3,0 до 8,0 мм. При цьому тривалість такту стиску знаходиться в межах 0,00131 до 0,02333 с, а тривалість такту ссання – 0,00112 до 0,02321 с. В результаті теоретичних досліджень встановлено залежність співвідношення тактів ссання і стиску від параметрів золотника (діаметра золотника  $d_1$ , товщина роздільної пластини  $d_{омв}$ , зміщення  $x_{ds}$  і  $x_{dn}$  розділової пластини, висоти паза золотника  $h$ ). При висоті паза  $h$  робочої камери золотника 28 мм, діаметра  $d_1 = 49$  мм, зміщення  $x_{ds}$  і  $x_{dn}$  становить нуль. Обґрунтовано, що при переміщенню золотника на відстань 0,0026-0,032 м співвідношення тактів знаходиться в межах від 24,33:77,67 до 67,26:32,12.

3. Встановлено жорсткість пружини, яка необхідна. Її значення залежить від тиску під штоком пульсатора і від конструктивних параметрів золотника. Зміна діаметра виконавчого механізму пульсатора з 31-52 мм і висоти паза золотника з 31 до 52 мм призводить до зміни значення жорсткості пружини з 921,2 до 1936,1 Н/м. Встановлена закономірність зміни потужності  $P_{пр}$  приводу виконавчого механізму пульсатора від висоти паза  $h$  та діаметра  $d_1$ , а також сил тертя  $F_{мпз}$  і частоти обертання золотника. Фіксуючи частоту обертання виконавчого механізму на рівні 60 об/хв, і при зміні діаметра виконавчого механізму з 31 до 52 мм і висоти паза золотника від 31 до 52 мм потужність приводу підвищується з 0,5 до 1,6 Вт.

4. Для визначення адекватності аналітичних рівнянь (2.18)-(2.19) і

експериментальних рівнянь (4.2) і (4.3) обраховувався критерій Фішера. Так, значення критерію Фішера становлять 2,07, що менше за табличне стандартне значення – 3,38. Враховуючи це можна стверджувати про достовірність отриманих теоретичних моделей. Відповідно до результатів експериментальних досліджень тривалість включення тактів при довжині каналу 1,24 м відповідає діаметру 3,2 мм.

5. Для визначення адекватності аналітичних рівнянь (2.22)-(2.23) і експериментальних рівнянь (4.5) і (4.7) обраховувався критерій Фішера. Так, значення критерію Фішера становлять 1,57, що менше за табличне стандартне значення – 2,38. Враховуючи це можна стверджувати про достовірність отриманих теоретичних моделей. Відповідно до результатів експериментальних досліджень і рекомендованих значень співвідношення тактів пульсацій 60:40 діаметр золотника дорівнює 41 мм, висота паза золотника – 42 мм. В свою чергу відстань від внутрішньої поверхні корпусу пульсатора до лінії кріплення розділової пластини становить 11,9 мм.

6. Для визначення адекватності аналітичного рівняння (2.49) і експериментального рівняння (4.15) обраховувався критерій Фішера. Так, значення критерію Фішера становлять 1,10, що менше за табличне стандартне значення – 3,12. Враховуючи це можна стверджувати про достовірність отриманих теоретичних моделей. Відповідно до результатів експериментальних досліджень рекомендований діаметр золотника складає 41 мм. Враховуючи зазначене для забезпечення руху золотника з верхнього в нижнє положення при його діаметрі 41 мм та вакуумметричному тиску під штоком 42 кПа жорсткість пружини повинна бути 1400 Н/м.

7. Економічна ефективність при заданих витратах вища при використанні дослідного доїльного апарату, ніж при використанні контрольного доїльного апарату «Нурлат». Річна економічна ефективність сягнула 40805,3 грн. В розрахунку на одну голову 2040,2 грн. Термін окупності 0,95 року.

## Посилання

1. Алієв Ельчин Бахтияр огли. Підвищення ефективності експлуатації вакуумної системи молочно-доїльного обладнання: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Запоріжжя, 2012. 177 с.
2. Андреева Е.В. Концепция развития технологий и технических средств для производства молока. Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. 2003. № 4. С. 1157.
3. Кудлай І. М., Смоляр В. І. Перспективи розвитку доїльного обладнання в Україні. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету, 2009. Вип. 2. № 9.
4. Симарев Ю. Инженеры и конструкторы, учите физиологию. Сельский механизатор. 2006. №3. С.30.
5. Карташов Л. П., Колпаков А. В., Василевский Г. П., Ушаков Ю. А., Королев А. С., Панин А. А. Инженерные методы обеспечения качества молока. Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 84. Главаха: ННЦ "ІМЕСГ", 2010. С. 26 - 29.
6. Линник Ю. Шляхи усунення дестабілізації вакуумного режиму доїльних установок // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. / ДНУ УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 2014. – № 18 (32). – С. 278–283.
7. Дмитрів, В. Т. Механіко-технологічні основи підвищення ефективності доїльних установок. Дис. ... д-ра техн.наук. Главаха. 2016. 467 с.
8. Москаленко С., Ліщинский С. Методика комплексної оцінки ефективної експлуатації доїльних установок. Техніка і технологія АПК. № 8 (11). УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2010. С. 29–31.
9. Фененко, А. І. Техніко-технологічні аспекти удосконалення молоковакуумних систем доїльних установок: дис. доктора техн. наук: 05.20.01. Главаха: ІМЕСГ УААН. 1997. 358 с.

10. Фененко, А. І. Техніко-технологічні параметри біотехнічної ланки «машина-тварина» процесу виробництва молока. Молочное дело. № 3. 2008. С. 50–51.
11. Карташов, Л. П. Контроль за работой доильных установок. Челябинск : Южно-Уральское кн. изд-во. 1967. 52 с.
12. Карташов, Л. П., Куранов, Ю. Ф. Машинное доение коров: учеб. пособие для сред. сел. проф.-техн. уч-щ. М. : Высш. школа. 1980. 223 с.
13. Карташов, Л. П. Машинное доение коров. М. : Колос. 1982. 301 с.
14. Карташов Л.П. Машинное доение коров. М.: Колос, 1982. 301с.
15. Симарев Ю. Эффективность машинного доения. Сельский механизатор – 2004. №12. С. 20-21
16. Курак А.С., Барановский М.В., Кажико О.А., Москалев А.А. Способ преддоильной подготовки вымени коров. Ученые записки учреждения образования Витебская ордена знак почета государственная академия ветеринарной медицины. 2015. т. 51. № 1-2. с. 62-65.
17. Забродина О.Б., Мартыненко О.И. Адаптивное управление процессом доения. МЭСХ. 2010. №7. С.28-29
18. Аверкиев А.А., Баловнева Е.Г. Предпосылки разработки модели механической стимуляции рефлекса молокоотдачи коров. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. №1(33) С.86-89
19. Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Ishchenko, K., Shkromada, O., Musiienko, Y., Plyuta, L., Chekan, O., Dubin, R., Mohutova, V. Development of a device for cleansing cow udder teats and testing it under industrial conditions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(1 (109), 2021. 43–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224927>
20. Винников И.К. Основные направления модернизации доения коров. Вестник аграрной науки Дона. 2011. №1(13). С.74-79
21. Paliy A., Aliiev E., Nanka A., Bogomolov O., Bredixin V., Paliy A., Shkromada O., Musiienko Y., Stockiy A., Grebenik N.. Identifying changes in the technical parameters of milking rubber under industrial conditions to elucidate their effect

on the milking process. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, Issue 1 (111), 2021. 21–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.231917>

22. Gunko I., Babyn I., Aliiev E., Yaropud V., Hrytsun A. Research into operating modes of the air injector of the milking parlor flushing system. *U.P.B. Sci. Bull., Series D*, Vol. 83, Issue 2, 2021. 297–310. [https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev\\_docs\\_arhiva/rez4fb\\_469127.pdf](https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/rez4fb_469127.pdf)

23. Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Nechyporenko, O., Baidevliatova, Y., Baydevliatov, Y., Lazorenko, A., Ukhovskyi, V., Korniienko, L., Sharandak, P. Determining the efficiency of cleaning a milk line made from different materials from contaminants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (112)), 2021. 76–85. Doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.237070>

24. Rozentals M., Laurs A., Priekulis J. Research in milking intervals on practice farm using automated milking systems. *Engineering for rural development*. 2017. p. 1292-1295

25. Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Ishchenko, K., Lukyanov, I., Dobrovolsky, V., Yurchenko, O., Chekan, O., Dedilova, T., & Musiienko, Y. Revealing changes in the technical parameters of the teat cup liners of milking machines during testing and production conditions. *EUREKA: Physics and Engineering*, (6), 2021. 102-111. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.002056>

26. Aliiev E., Paliy A., Kis V., Paliy A., Petrov R., Plyuta L., Chekan O., Musiienko O., Ukhovskyi V., Korniienko L. Establishing the influence of technical and technological parameters of milking equipment on the efficiency of machine milking. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (115)), 2022. 44–55. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251172

27. Aliiev, E., Paliy, A., Dudin, V., Kis, V., Paliy, A., Ostapenko, V., Levchenko, I., Prihodko, M., Korg, O., Kladnytska, L. Establishing an interconnection between the technical and technological parameters of milking equipment based on the movement of a milk-air mixture in a milking machine. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(1 (116)), 2022. 35–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253978>.

28. Саврасов М., Арсеньев Д., Смелик В. Выбор доильного аппарата. Сельский механизатор. 2007. №4. С.30-31.

29. Алієв Е.Б. Теоретичне дослідження впливу технічних параметрів доїльної установки на швидкість молоковіддачі. Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві: Вісник харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2011. Вип. 108. С. 92-98.

30. Борознин В.А., Борознин А.В. Обоснование диагностических параметров пульсатора. МЭСХ. 2007. №3. С. 16-18.

31. Пат. 67798 Україна, МПК (2012) А 01J7/00. Пристрій для контролю технічних параметрів доїльних установок / Е.Б. Алієв, О.С. Тісліченко; заявник і патентовласник Ін-т мех. тв-ва НААН. – № и 2011 08417; заявл. 04.07.2011; опублік. 12.03.2012, Бюл. №5, 2012 р..

32. Алієв Е.Б., Тісліченко О.С. Конструкційно-технологічна схема комплексу устаткування контролю вакуумметричних параметрів доїльного обладнання. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Кіровоградський національний технічний університет. Кіровоград, 2011. Вип. 41. С. 429-432.

33. Ижболдина С., Попов А., Николаев В. Настройка доильных аппаратов. Сельский механизатор. 2004. №7. С.28.

34. Алієв Е.Б. Оптимізація техніко-технологічних параметрів вакуумної системи доїльної установки. Зб. наук. праць Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 12.Т.1. Мелітополь: ТДАТУ, 2011. С. 138-147..

35. Ужик О.В. К обоснованию параметров регулирующих устройств адаптивного доильного аппарата. Вестник Казанского ГАУ. 2013. № 4 (30). С.82-86.

36. Ульянов В.М., Костенко М.Ю., Хрипин В.А., Карпов Ю.Н., Набатчиков А.В. Теоретические исследования устройства доильного аппарата для защиты вымени от вредного воздействия вакуума. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2015. № 1 (25). С. 80-85.

37. Ужик О.В. К обоснованию параметров регулирующих устройств адаптивного доильного аппарата. Вестник Казанского ГАУ. 2013. № 4 (30). С.82-86.
38. Andersons E., Laurs A., Priekulis J. Studies on liner vacuum in high and low level milking systems. Engineering for rural development. 2014. p. 94-98.
39. Алієв Е. Дослідження спрацьованості дійної гуми дойльного апарату з урахуванням теорії старіння на основі плоскої задачі. Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві: зб. наук. пр. ІМТ НААН. Запоріжжя, 2010. Вип. 1(5,6). С.233-242..
40. Андреева Е.В. Доильный аппарат с однокамерными доильными стаканами и управляемым режимом доения. Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. 2005. № 4. С. 1118.
41. Саврасов М., Арсеньев Д., Смелик В. Выбор доильного аппарата.// Сельский механизатор. 2007. №4. С. 30-31.
42. Вторый В.Ф., Вторый С.В. Оценка качества работы пульсаторов доильных аппаратов. МЭСХ. 2012. №3. С.19-20.
43. Алієв Е. Б. Теоретична оцінка показників надійності двотактного пульсатора дойльного апарату. Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві: зб. наук. праць. Ін-т мех. тваринництва НААН. – Запоріжжя, 2011. Вип. 1(7). С. 106-113.
44. Винников И.К., Беннова Е.В., Пахомов Ю.В. Релейные характеристики пульсаторов двухрежимных двух-трехтактных доильных аппаратов. Вестник аграрной науки Дона. 2008. № 2. С. 47-52.
45. ISO 3918. Milking machine installations – Vocabulary. Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization, 2007. 42 p.
46. ISO 5707. Milking machine installations – Construction and performance. Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization, 2007. 52 p.
47. ISO 6690. Milking machine installations – Mechanical tests. Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization, 2007. 46 p.

48. Остроухов, А. И. (2010). Технологическое обеспечение производства качественного и безопасного сырого молока. Сборник научных трудов молодых ученых, магистрантов и студентов. Вып. 1. М.: ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина. С. 179–184.

49. Остроухов, А. И. Повышение эффективности очистки доильно-молочного оборудования щелочными моющими растворами в воде различной жесткости : Дис. ... канд. техн. наук. Москва. 2013. 133 с.

50. Ушаков, Ю, А. Критерии формирования поверхностей взаимодействующих с молоком и моющим раствором. Естественные и технические науки. М.: Спутник. № 4. 2011. С. 528–531. ISSN 1684-2626.

51. Ушаков, Ю. А. Инженерные методы обеспечения качества молока: Дис. ... д-ра техн. наук. Оренбург. 2011. 376 с.

52. Карташов, Л. П., Ушаков, Ю. А., Колпаков, А. В. Методики определения коэффициентов модели вычислительного эксперимента с целью получения оптимальной формы рабочего колеса молочного насоса. Известия ОГАУ, № 1 (25). 2010. С. 76–79. ISSN 2073-0853.

53. Остроухов, А. И., Дегтерев, Г. Л. Машинно-технологическое обеспечение производства качественного и безопасного сырого молока. Сборник трудов ГНУ ВНИИМЖ. Т. 21 (часть 2). Подольск : ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. 2010. С. 75–84.

54. Ушаков, Ю. А. Численное моделирование гидродинамического потока в молокопроводе доильной установки. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. № 5 (24). 2011. С. 61–64. ISSN 2072-9081.

55. Патент №2410872 RU МПК А01J5/04 (2006.1). Доильный аппарат / Ужик В.Ф., Чехунов О.А. №2009127244/05. Заявлено 14.07.2009; Оpubл. 10.02.2011 Бюл. №4.

56. Патент №2063126 RU МПК А01J5/04 (1995.01). Доильный аппарат / Воробьев Г.Н. - №94 94003173. Заявлено 28.01.1994; Оpubл. 10.07.1996.

57. Патент №1660638 SU МПК А01J5/04. Доильный аппарат / Головань В.Т., Вельчо С.Ф., Ачмиз Ю.Ш., Еременко О.Н., Новоселова В.А. № 89 4739925. Заявлено 22.08.1989; Оpubл. 07.07.1991 Бюл. №25.

58. Патент №1526564 SU МПК А01J5/04. Доильный аппарат / Танака Т., Ибуки Т., Накамура Е., Ямамото М. № 84 3794605. Заявлено 25.09.1984; Оpubл. 30.11.1989 Бюл. №44.

59. Патент № 2442319 RU МПК А01J5/00, А01J5/10. Доильный аппарат / Андрианов Е. А., Андрианов А.А., Андрианов А.М., Злобин В.В. №2010112576/13 Заявлено 31.03.2010; Оpubл. 20.02.2012 Бюл. № 5.

60. Полезная модель № 101320 RU МПК А01J5/02 (2006.01). Доильный аппарат / Шулятьев В.Н., Сурков С.В. № 2010133843/21 Заявлено 12.08.2010; Оpubл. 20.01.2011 Бюл. № 2.

61. Патент №2493696 Российская Федерация, МПК А01 J5/00 (2006.01). Доильный аппарат: №2012126476/13: заявл. 25.06.2012: опубл. 27.09.2013: Ульянов В.М., Карпов Ю.Н., Коледов Р.В., Набатчиков А.В. 6с.

62. Патент №2357411 Российская Федерация, МПК А01 J5/04 (2006.01). Доильный аппарат: № 2007147159/12: заявл. 18.12.2007: опубл. 10.06.2009: Продивлянов А.В., Кузнецов Д.Ю. 7с.

63. Полезная модель №126563 RU МПК А01J5/14 (2006.01). Электропульсатор попарного доения на основе линейного электродвигателя / Никитенко Г.В., Капустин И.В., Гринченко В.А. № 2012123542/13 Заявлено 06.06.2012; Оpubл. 10.04.2013 Бюл. № 10

64. Полезная модель № 50078 RU МПК А01J5/10 (2000.01), А01J5/12 (2000.01). Пульсоколлектор доильного аппарата / Дорофеев С.В., Сабиев У.К., Егорова Т.С. № 2004132472/22 Заявлено 09.11.2004; Оpubл. 27.12.2005 Бюл. № 36

65. Патент № 2399198 RU МПК А01J5/10 (2006.01). Пульсатор / Лужков Ю.М., Милехин В.М., Рыжнев В.Ю. № 2008142844/12 Заявлено 29.10.2008; Оpubл. 20.09.2010 Бюл. № 26.

66. Патент № 2289239 RU МПК А01J5/12 (2006.01). Пневматический пульсатор для доильных установок / Николини Г., Сикури Р. № 2003104617/12 Заявлено 17.02.2003; Оpubл. 20.12.2006 Бюл. № 35

67. Фишер Р.А. Статистические методы для исследователей. Москва, Госстатиздат, 1958, 267 с.

68. Применение тензометрии в машиностроении //Под ред. Петухова П.З. и Казанцева А.В. – М.: Машгиз, 1956. 236 с.: ил.; - 21 см. (Из опыта исследований работы машин на Уральских заводах). Библиогр.: с. 232 – 234.; 5000 экз.

69. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных // М.: Колос, 1973, изд. 3. 194 с.

70. Вадзинский Р. Статистические вычисления в среде Excel. Библиотека пользователя. СПб.: Питер, 2008. 608 с.

71. Вучков И., Бояджиева Л., Солаков Е. Прикладной регрессионный анализ. М.: Финансы и статистика. 1987. 239 с, ил.

72. Кисельов, О. В., Комарова, І. Б., Мілька, Д. О., Бакарджієв Р. О. Статистична обробка і оформлення результатів експериментальних досліджень (із досвіду написання дисертаційних робіт): Навчальний посібник. За заг. ред. Д. О. Мілька; Інститут механізації тваринництва НААН. Електронний аналог друкованого видання (електронна книга). Запоріжжя: СТАТУС. 2017. 1181 с.

73. Реброва, О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ Statistica. М.: МедиаСфера. 2002. 312 с.

74. Красовский, Г. И., Филаретов, Г. Ф. Планирование эксперимента : учеб. пособие. Мн. : Изд-во БГУ. 1982. 302 с.

75. Любченко, Е. А., Чуднова, О. А. Планирование эксперимента: учебное пособие. Часть 1. Владивосток: Изд-во ТГЭУ. 2010. 156 с.

76. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов [2–е изд.]. (+CD). СПб.: Питер. 2003. 688 с.

77. Лапач, С. М., Губенко, А. В., Бабіч, П. М. Статистичні методи в медико-біологічних дослідженнях із застосуванням Excel. 2–е вод., перероб. і доп. К.: МОРІОН. 2001. 408 с.

78. Мастицкий, С. Э. Методическое пособие по использованию программы Statistica при обработке данных биологических исследований. Мн.: РУП “Институт рыбного хозяйства”. 2009. 76 с.

79. Алієв, Е. Б., Білоус, І. М. Обґрунтування складу енергозберігаючих технічних засобів для забезпечення мікроклімату в тваринницьких приміщеннях. Матеріали XVI міжнародна научна практична конференція «Найновітє научні постиження – 2020» (15 - 22 март 2020 г.). Volume 3. Софія «Бял ГРАД-БГ ОДД». 2020. С.36-38

80. Алієв Е.Б., Гаврильченко О.С., Ключ А.В. Обґрунтування складу енергозберігаючих технічних засобів для забезпечення мікроклімату в тваринницьких приміщеннях. Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України: Зб. наукових-праць (21 листопада 2019) / За наук. Ред. В.С. Лукача [та ін.]. Ніжин. 2019. С. 8-16.

81. Алієв, Е. Б., Бакарджиєв, Р. О. Статистична оцінка показників роботи дозатора безперервної дії. Науково–технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН . Запоріжжя. Випуск 21. 2014. С.131-136.

82. ДСТУ 4397 : 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 15 с.

83. Косачев Г.Г. Экономическое оценка сельскохозяйственной техники. М. : Колос, 1978. 240 с.