

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

УДК 631.364.1:621.318.3

Кваліфікаційна робота на правах
рукопису

КУЗЬМЕНКО Максим Володимирович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДОЇННЯ З
МОДЕРНІЗАЦІЄЮ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПУЛЬСАТОРА
ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА**

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело

(підпис)

(ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
к.т.н., професор Б. А. Шелудченко

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Кузьменко М. В. Удосконалення технологічного процесу доїння з модернізацією електромагнітного пульсатора доїльного апарата. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота подається на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026 р.

Кваліфікаційна робота вирішує складну інженерну задачу – підвищення ефективності машинного доїння корів шляхом удосконалення пульсатора доїльного апарата. Оцінка серійних електронних пульсаторів вказала на деякі недоліки, основним серед яких є недосконалий механізм зміни тактів, що не дозволяє інтенсифікувати процес доїння.

У кваліфікаційній роботі розроблений електронний пульсатор доїльного апарата із прямим приводом клапанного механізму. Виконані розрахунки конструкційних геометричних параметрів елементів клапанного механізму, встановлені параметри живлення котушки, визначено економічний ефект від впровадження удосконаленого пульсатора.

Ключові слова: доїльний апарат, блок клапанів, попарний режим

ANNOTATION

Kuzmenko, M. V. Improvement of the milking process through the modernization of the electromagnetic pulsator of a milking machine. – Qualification work in the form of a manuscript.

The qualification work is submitted for the first degree of bachelor in specialty 208 – agricultural engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

This thesis addresses a complex engineering problem: improving the efficiency of machine milking of cows by refining the pulsator of the milking machine. An evaluation of mass-produced electronic pulsators revealed several shortcomings, the main one being an imperfect mechanism for changing cycles, which prevents the milking process from being intensified.

This thesis presents an electronic pulsator for a milking machine with a direct-drive valve mechanism. Calculations of the structural geometric parameters of the valve mechanism components were performed, the coil power supply parameters were established, and the economic effect of implementing the improved pulsator was determined.

Key words: milking machine, valve block, pair mode

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ДОЇЛЬНИХ АПАРАТІВ З ЕЛЕКТРОННИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ МАШИННОГО ДОЇННЯ КОРІВ	7
1.1. Технологічні та конструкційні вимоги до засобів машинного доїння корів	7
1.2. Аналіз серійних електронних пульсаторів доїльних апаратів ..	10
Висновки до розділу 1	16
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОННОГО ПУЛЬСАТОРА ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА	17
2.1. Обґрунтування необхідності впровадження конструкційних удосконалень	17
2.2. Визначення конструкційних параметрів розробленого пульсатора	19
Висновки до розділу 2	27
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ УДОСКОНАЛЕНОГО ЕЛЕКТРОННОГО ПУЛЬСАТОРА	29
3.1. Особливості експлуатаційного використання удосконаленого пульсатора	29
3.2. Порівняльна оцінка впровадження удосконаленого пульсатора	30
Висновки до розділу 3	32
ВИСНОВКИ	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	35
ДОДАТКИ	37

ВСТУП

Актуальність теми. Машинне доїння корів вважається одним із найскладніших біотехнологічних процесів на тваринницькому підприємстві. Це, в першу чергу, пов'язане із тим що елементи доїльного апарата мають безпосередній контакт із твариною. Окрім вимог щодо тактильності, до елементів доїльного апарата висуваються зооветеринарні та зоотехнічні вимоги. Дотримання вказаних вимог необхідно не тільки для реалізації ефективного процесу машинного доїння а й збереження здоров'я тварин. Так невідповідність рівню вакуумметричного тиску викликає зміну частоти пульсації та відхилення від співвідношення тактів та тривалості тактів. В наслідок цього може бути випадки неповного видоювання корови або навпаки надміру інтенсивне доїння. В обох зазначених випадках отримаємо як наслідок погіршення здоров'я тварин. Тому, виробники обладнання для машинного доїння корів намагаються в повній мірі врахувати наявні вимоги стандартів, оскільки зацікавлені у попиті на свою продукцію.

Зважаючи на досить уважне ставлення до вимог стандартів виробники доїльного обладнання пропонують доїльні апарати оснащені електронними пульсаторами. Такі пульсатори використовують електромагніт для керування чергуванням тактів, керуванні та налаштуванні співвідношення тактів та їх тривалості. Контролери електронних пульсаторів програмуються відповідно до конкретних умов замовника враховуючи продуктивність тварин та додаткові вимоги. У зв'язку із чим, на ринку представлена велика різноманітність електронних пульсаторів попарного доїння як закордонного так і вітчизняного виробництва. Принцип роботи представлених пульсаторів схожий між собою. Для чергування тактів використовується електричний магніт який забезпечує переміщення клапана вздовж своєї осі. Клапан, який по суті є видозмінена форма якоря, сполучає необхідні камери пульсатора із атмосферним або вакуумметричним тиском. При цьому переміщення клапанного блоку здійснюється під дією різниці тисків, що вимагає наявності перехідних періодів викликаних витратами часу на зміну тисків або врівноваження системи. Такий

спільний недолік спонукає до пошуку рішення інтенсифікувати процес машинного доїння, що визначає актуальність тематики даної кваліфікаційної роботи.

Мета кваліфікаційної роботи.

Підвищення ефективності машинного доїння корів шляхом удосконалення електронного пульсатора доїльного апарата.

Завдання, які необхідно вирішувати:

- оцінити конструкції серійних електронних пульсаторів доїльних апаратів, визначити їх позитивні сторони, встановити напрями удосконалення;
- обґрунтувати структурно-функціональну схему удосконаленої конструкції пульсатора;
- виконати силовий аналіз та встановити параметри клапанного механізму пульсатора;
- встановити параметри системи керування та раціональні режими роботи удосконаленого пульсатора;
- виконати порівняльну оцінку удосконаленого пульсатора із серійним обладнанням.

Об'єкт дослідження.

Технологічний процес машинного доїння корів.

Предмет дослідження.

Конструктивно-технологічні параметри модернізованого електронного пульсатора доїльного апарата.

Методи дослідження.

Кваліфікаційна робота виконувалась із використанням відомих методів гідравлічної динаміки, пневматичного приводу, вакуумної техніки, термодинаміки та теплотехніки, відомих математичних методів інтегрального та диференціального числення з використанням доступного у вільному доступі програмного забезпечення, зокрема програмних продуктів Microsoft.

Апробація кваліфікаційної роботи.

Результати кваліфікаційної роботи були представлені на наукових студентських конференціях, тези доповідей розміщені у збірниках:

1. Кузьменко М. В. Конструкційно-технологічні вимоги до пульсатора доїльного апарата. *Студентські читання–2025* : матеріали науково-практичної конференції. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 137–139.

2. Кузьменко М. В. Оцінка конструкційних особливостей електромагнітних пульсаторів. *Наукові читання – 2026* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 20 квітня 2026 р. Житомир: Поліський національний університет, 2026. Ч. 2. С. 123–126.

Структура кваліфікаційної роботи.

Кваліфікаційна робота має три розділи основного тексту пояснювальної записки, вступ, загальні висновки та список використаних літературних джерел, у додатках подано додаткову інформацію для кращого розуміння змісту. Текст пояснювальної записки кваліфікаційної роботи викладено державною мовою машинописом на 36 сторінках, вміщує 1 таблицю та 16 рисунків.

РОЗДІЛ 1

ОЦІНКА ДОЇЛЬНИХ АПАРАТІВ З ЕЛЕКТРОННИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ МАШИННОГО ДОЇННЯ КОРІВ

1.1. Технологічні та конструкційні вимоги до засобів машинного доїння корів

Доїльний апарат є незамінною складовою технології машинного доїння корів. Від якості виконання доїльним апаратом покладених завдань залежить не тільки ефективність виведення молока від корови, але і здоров'я тварин. Тому, до доїльного апарата висуваються ряд вимог, серед яких наступні. [1, 2]

1. Адаптивність роботи – режим роботи апарата має змінюватися залежно від інтенсивності молоковіддачі, забезпечуючи оптимальну швидкість доїння.

2. Ефективність доїння – процес повинен включати своєчасну стимуляцію молоковіддачі та забезпечувати максимально повне видоювання без ручного додоювання; температуру доїльних стаканів слід підтримувати на рівні, близькому до температури вимені.

3. Регулювання параметрів – у доїльному апараті необхідно передбачити засоби для регулювання співвідношення тактів і частоти пульсації; частота пульсації, співвідношення тактів та вакуумний режим мають залишатися стабільними або автоматично підлаштовуватися під умови доїння.

4. Безпека тварин – процес машинного доїння повинен бути повністю безпечним для корови, зокрема й у разі випадкового перетримування стаканів на дійках.

5. Гігієнічність та чистота – видоєне молоко має бути надійно ізольоване від контакту з руками людини для запобігання бактеріальному забрудненню; конструкція апарата має бути максимально простою (з мінімумом деталей) для швидкого й ефективного миття.

6. Контроль та автоматизація – слід передбачити облік надою від кожної корови, сигналізацію про завершення доїння, а також функцію автоматичного відключення стаканів під час їх знімання.

7. Гідродинамічні показники мають відповідати вимогам:

- тривалість перехідних процесів має бути мінімальною, а перепади тиску в піддійкових камерах – миттєвими.
- пропускна здатність повинна відповідати максимальній інтенсивності молоковіддачі.
- конструкція колектора має повністю виключати зворотний потік молока.

Ключовим критерієм відповідності доїльного апарата зоотехнічним вимогам є якість отриманого від корови незбираного молока. Вона залежить від комплексу чинників: дотримання технології утримання тварин і самого процесу доїння, забезпечення належного мікроклімату, а також від конструктивних особливостей доїльного обладнання.

Пульсатор є основним виконавчим механізмом будь-якої доїльної системи. Він призначений для забезпечення періодичного чергування вакуумметричного та атмосферного тисків у міжстінкових просторах доїльних стаканів шляхом їх почергового з'єднання з вакуум-проводом або навколишнім середовищем. Залежно від налаштувань та зовнішніх умов, пульсатор визначає частоту пульсації та співвідношення тактів доїльного апарата.

Оскільки доїльний апарат безпосередньо взаємодіє з біологічним об'єктом (твариною), до пульсатора висувають такі вимоги: [3, 4]

- стабільність роботи – параметри довкілля та флуктуації вакуумметричного тиску в системі не повинні впливати на режими його роботи;
- керованість – наявність можливості регулювання робочих режимів безпосередньо під час машинного доїння;
- динамічність – мінімальна тривалість перехідних процесів (швидка зміна тактів);

- біовідповідність – конструкційні матеріали не повинні погіршувати санітарну якість молока чи загрожувати здоров'ю корів;
- ергономічність – мінімальні габаритні розміри та маса;
- універсальність – висока адаптованість до різних конструкційних типів доїльних установок;
- експлуатаційні якості – висока надійність, ремонтпридатність, а також безпека й легкість в обслуговуванні.

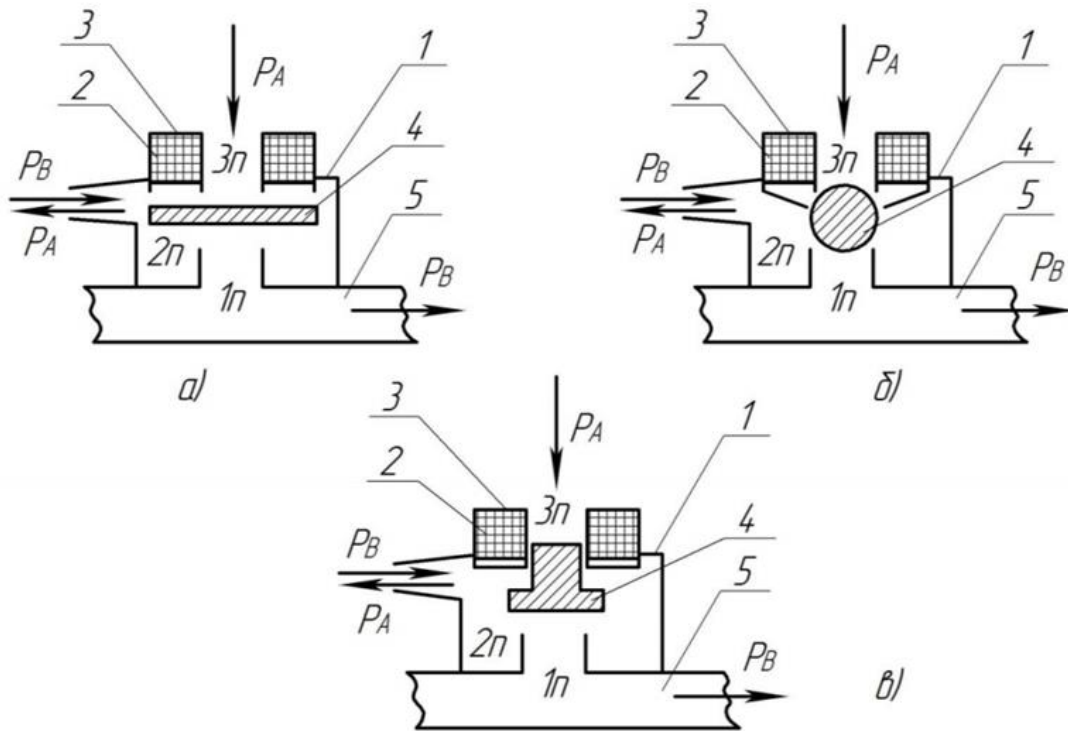
Найбільшого поширення в молочному тваринництві набули пневматичного типу пульсатори. Їхня робота забезпечується завдяки потенційній енергії вакууму, що виключає потребу в додаткових джерелах живлення. Це є їхньою головною перевагою, оскільки той самий вакуумметричний тиск використовується і для виведення молока з часток вимені.

Проте пневматичні пристрої мають суттєві недоліки: [4-6]

- нестабільність частоти пульсації та співвідношення тактів у разі навіть незначних коливань вакууму в магістралі.
- складність автоматизації керування та реалізації адаптивного (щадного) режиму доїння.

Через це дедалі більшої популярності набувають пульсатори із електронним керуванням при використанні електромагнітів. Головна їхня перевага – забезпечення стабільної частоти пульсації незалежно від коливань тиску в системі. Крім того, вони легко інтегруються до систем автоматизованого керування для реалізації індивідуального, адаптивного режиму доїння. Ключовим недоліком таких систем є потреба в низьковольтному електроживленні, що ускладнює мережу розподілу електроенергії у приміщеннях ферми.

Різноманітність конструкційних рішень свідчить про постійний пошук раціональної схеми пульсатора із електронним керуванням. Варіанти виконання робочих органів такого типу пульсаторів наведено на рис. 1.1.



$1n$ – камера постійного вакуумметричного тиску P_B ; $2n$ – камера змінного тиску; $3n$ – камера постійного атмосферного тиску P_A

Рис. 1.1. Схеми конструкційного виконання пульсатора з електронним приводом: а – з якорем плоскої форми; б – з якорем круглої сфери форми; в – з якорем циліндричної форми; 1 – корпус; 2 – котушка; 3 – основа котушки; 4 – клапан; 5 – канал вакууму.

У більшості відомих схем пульсаторів (рис. 1.1) всі якорі одночасно виконують функцію клапана. Під час такту стиску він опускається лише під дією власної ваги, що вимагає суворого дотримання просторової орієнтації та правильного позиціонування пульсатора в просторі.

1.2. Аналіз серійних електронних пульсаторів доїльних апаратів

Завдяки суттєвим експлуатаційним перевагам виробники доїльного обладнання все частіше комплектують свої установки пульсаторами з електронним керуванням. Найбільшого поширення набули пристрої попарної

дії, оскільки вони максимально враховують фізіологічні особливості машинного доїння корів висловлені у п. 1.1.

На ринку доїльних установок (як для лінійного доїння в стійлах, так і для доїльних залів) широко застосовують електромагнітні пульсатори шведського виробника DeLaval моделей EP-290 та EP-190 (рис.1.2).

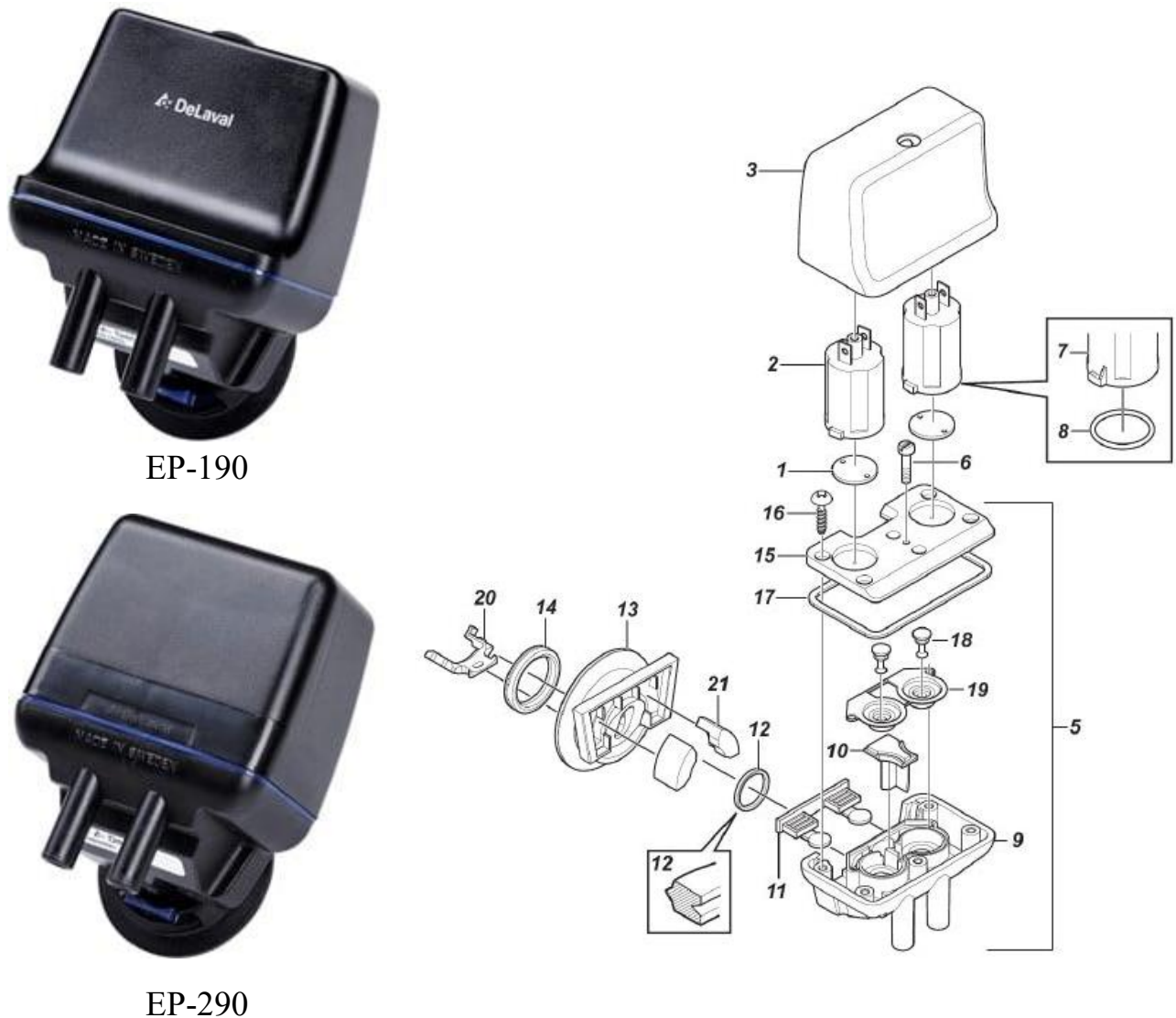


Рис. 1.2. Пульсатори виробництва DeLaval: 1 – шайба; 2 – соленоїд червоний; 3 – кришка; 5 – комплект у корпус; 6 – гвинт; 7 – корпус соленоїда; 8 – ущільнювальне кільце соленоїда; 9 – корпус нижній; 10 – вставка; 12 – ущільнювальне кільце; 13 – баєтний фітинг; 14 – прокладка малий; 15 – база соленоїда; 17 – прокладка; 20 – баєтний замок; 21 – з’ємний штекер. []

Пульсатор DeLaval EP-290 наділений такими особливостями:

- низький рівень енергоспоживання;

- можливість використання у мобільних та стаціонарних установках;
- сумісність із системою DUOVAC, що забезпечує стимуляцію та регулювання рівня вакууму залежно від інтенсивності молоковіддачі;
- можливість встановлювання різних співвідношень тактів смоктання та стиску (65 на 35, 70 на 30, 60 на 40);
- має зручний роз'єм для швидкого розбирання й технічного обслуговування.

Пульсатор DeLaval EP-190 має наступні позитивні сторони:

- обладнаний електричним блоком керування, який дозволяє оптимізувати частоту пульсації відповідно до швидкості молоковиведення, що мінімізує ризик захворювання на мастит;
- має просту конструкцію, тому легкий в обслуговуванні;
- його компоненти виготовлені з високкорозійностійких матеріалів, що суттєво подовжує термін ефективної експлуатації.

Електронний пульсатор LE30 та LP30 (рис. 1.3-1.4) виробництва компанії Interpuls (Італія) є еталоном точності, надійності та довговічності, що повністю задовольняє найвищі вимоги сучасних молочно-товарних ферм.



синхронний



попарний

Рис. 1.3. Електронний пульсатор LE30 та LP30 виробництва компанії Interpuls

Завдяки чіткому дотриманню режимів роботи він забезпечує швидке, повне та рівномірне виведення молока, мінімізуючи стрес для тварин та запобігаючи захворюванням вимені.

До основних переваг даного пульсатора можна віднести:

- енергоефективність – оптимізована конструкція дозволяє суттєво знизити витрати як вакууму, так і електричної енергії.
- стабільність вакуумного режиму – гарантує постійний рівень робочого тиску під час всього процесу доїння.
- високий рівень захисту – повністю герметичний корпус надійно захищає внутрішні елементи від потрапляння пилу, вологи та води під час миття обладнання.
- промивання без розбирання – у разі пошкодження діркової гуми та потрапляння молока всередину пристрою, його можна оперативно очистити, промивши чистою водою безпосередньо через патрубки.
- простота обслуговування – конструкція максимально зручна для експлуатації та сервісу – повне технічне обслуговування триває не більше 2 хвилин.
- промислова витривалість: розрахований на безперервну роботу у важких умовах свиноферм чи корівників у режимі 24/7.



Рис. 1.4. Внутрішня будова пульсатора LE30 із вбудованою платою керування

Компанія пропонує пульсатор у двох виконаннях (див. рис. 1.3) для одночасного та попарного доїння. Тобто, на вибір молочної ферми для високопродуктивного чи менш продуктивного поголів'я корів.

Вітчизняний виробничник обладнання для машинного доїння корів ГК «Брацлав» пропонує на ринку електронний пульсатор ПЕ-03 (рис. 1.5).

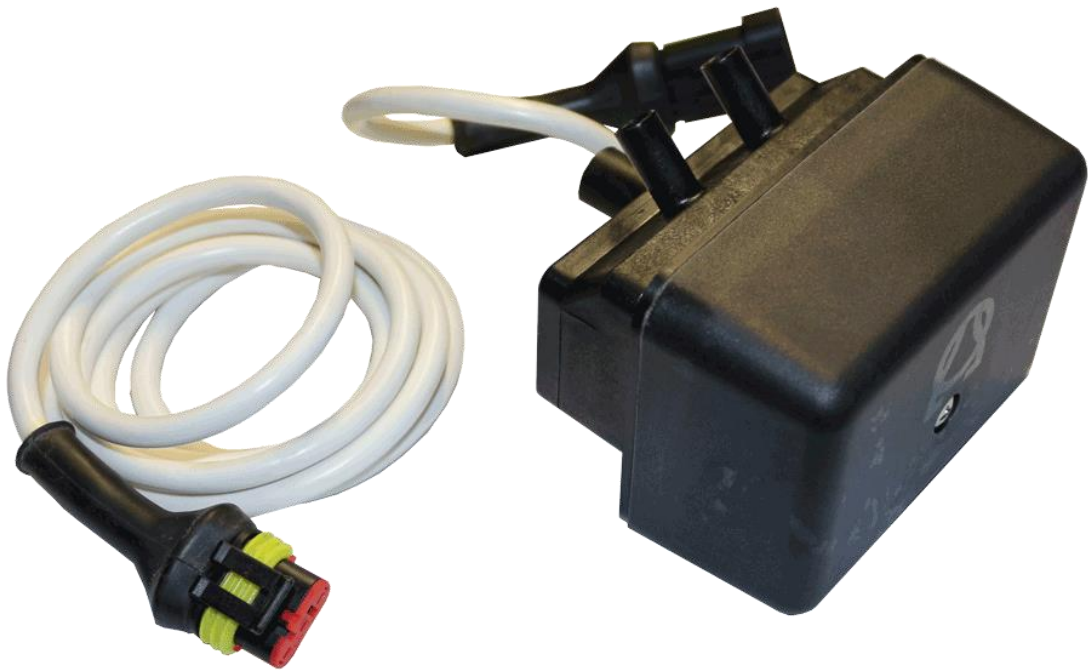


Рис. 1.5. Пульсатор електронний ПЕ-03 виробництва ГК «Брацлав» (Україна)

Основні характеристики пульсатора ПЕ-03:

- тип – електромагнітний, попарної дії;
- виробник – переважно виробляється в Україні;
- принцип роботи – керується електронним блоком управління, по чергово змінюючи вакуумний тиск у різних камерах доїльного апарата;
- співвідношення тактів – зазвичай 60:40 або 50:50 при робочому вакуумі 48–50 кПа;
- електроживлення – працює від напруги 24 в постійного струму.

Конструктивні особливості полягають в тому, що пристрій має надійну конструкцію, ключовою деталлю якої є якір-клапан (рис. 1.6).

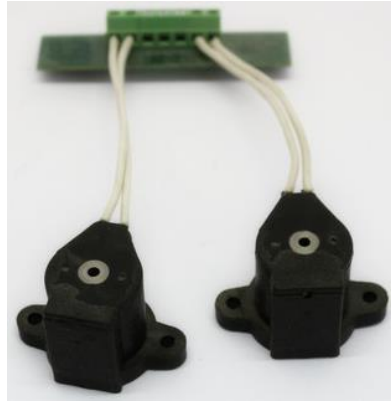


Рис. 1.6. Котушка із платою пульсатора ПЕ-03.

Якір-клапан виконаний у вигляді суцільного металевого циліндра із запресованими гумовими клапанами, що керуються електромагнітами за заданим алгоритмом.

Така конструкція прямого впливу сили електромагніта вимагає високої точності виконання вузлів які між собою взаємодіють. Це висуває додаткові вимоги до якості підготовки сервісних інженерів.

Німецький бренд корпорація GEA представляє на ринку лінійку електромагнітних імпульсних пульсаторів, яскравим представником якої є модель пульсатора StimoPuls Apex MZ (рис. 1.7).

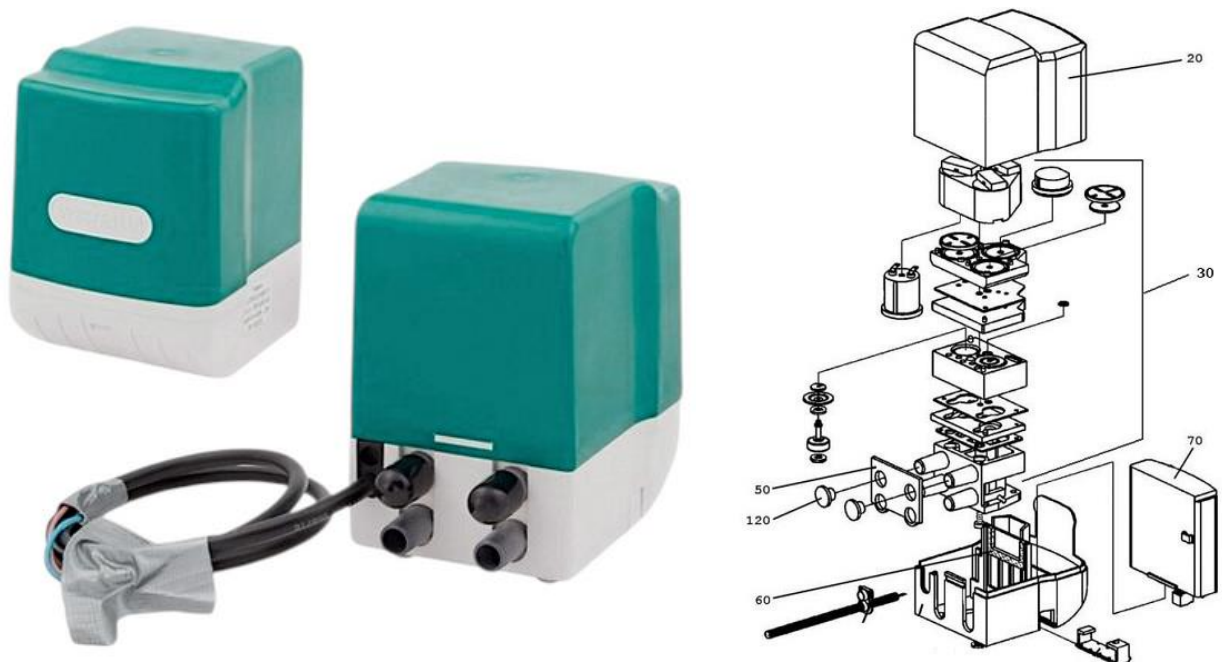


Рис. 1.7. Пульсатора StimoPuls Apex MZ виробництва корпорації GEA (Німеччина)

Пульсатор StimoPuls Apex M наділено рядом особливостей:

- завдяки імпульсній системі керування забезпечується висока точність роботи пристрою незалежно від коливань зовнішніх умов;
- пульсатор має широкі можливості індивідуального налаштування тривалості та співвідношення тактів відповідно до періоду лактації та продуктивності конкретної тварини, що гарантує повноту видоювання та високу якість молока за належного рівня безпеки для здоров'я корови.

Такого типу пульсатор можна вважати досить досконалим. Проте складність конструкції та відсутність механізму підсилення роботи знижують експлуатаційну привабливість.

Висновки до розділу 1

1. Проведений аналіз підтверджує доцільність ширшого впровадження пульсаторів з електронним керуванням у системи машинного доїння корів – як для стаціонарних комплексів, так і для індивідуальних мобільних агрегатів. Наявність великої номенклатури таких пристроїв на ринку свідчить про високий попит із боку виробників тваринницької продукції.

2. Попри різноманітність конструкційно-технологічних рішень, сучасним електромагнітним пульсаторам притаманні певні недоліки. Зокрема, вони мають відносно складну будову, а оперативне переналаштування частоти пульсації та співвідношення тактів безпосередньо під час роботи апарата є ускладненим. Окрім цього, актуальним залишається завдання зниження їхнього енергоспоживання, що може бути реалізовано шляхом інтеграції підсилювальних систем приводу через електричні пристрої якір-катушка.

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОННОГО ПУЛЬСАТОРА ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА

2.1. Обґрунтування необхідності впровадження конструкційних удосконалень

Розглянуті та проаналізовані конструкції електронні пульсатори мають деякі недоліки, тому потребують покращення режимів функціонування та енергетичної ефективності. Це можна досягнути шляхом удосконалення наявної або розроблення нових структурних схем із підвищеним функціоналом. Таким чином, мета запропонованої модернізації полягає у зменшенні тривалості перехідних процесів та зниженні енергоємності системи завдяки застосуванню безпосереднього приводу клапанного блока сполученого із пружним диском (рис. 2.1).

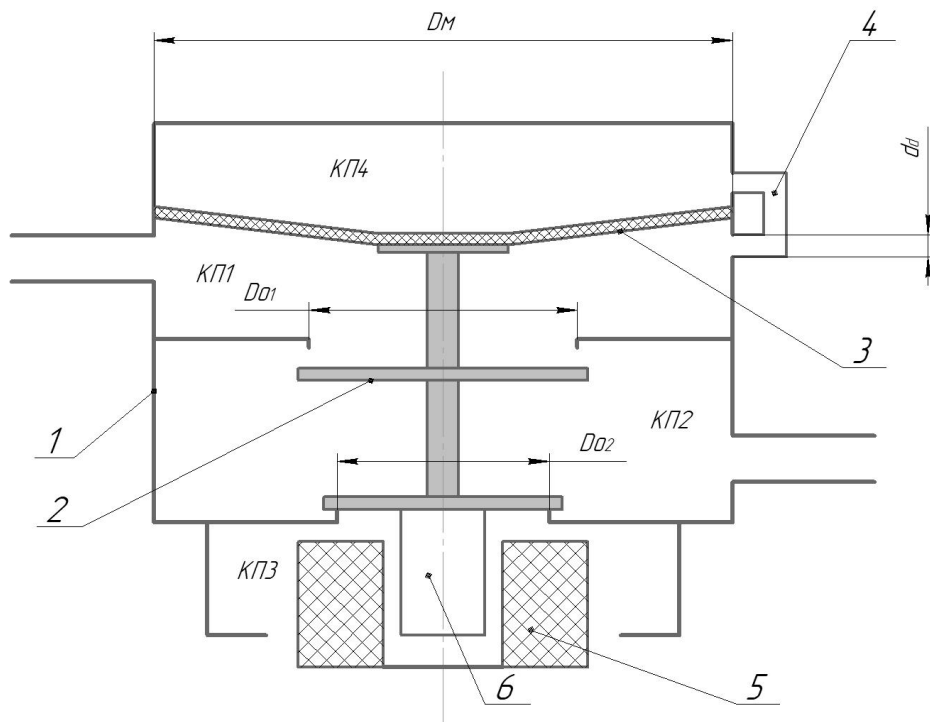


Рис. 2.1. Схема структурна розробленого електронного пульсатора: 1 – корпус; 2 – клапанний блок; 3 – пружний диск; 4 – канал сполучний; 5 – котушка; 6 – якорь.

Принцип роботи розробленого електронного пульсатора є таким. У початковий момент підключення пристрою до вакуумної мережі в камері керування пульсатора (КП4) діє атмосферний тиск, тоді як під пружним диском у камері пульсатора КП1 формується вакуумний тиск. Внаслідок виникнення різниці тисків пружний диск разом із клапанним блоком переміщується донизу. При цьому камера постійного вакуумного тиску сполучається через отвір Do1 із камерою пульсатора КП2 у якій тиск може набути як вакуумним так і атмосферним. Завдяки чому вакуумний тиск поширюється до камери колектора з розподілу тисків та далі до міжстінних порожнин у стаканах для доїння, що відповідає такту виведення молока.

Через певний проміжок часу вакуумний тиск через вузький канал (із заданим діаметром d_d) поширюється і до камери керуючої пульсатора (КП4). Через перепад тисків між камерами пульсатора КП4 і КП1 (де весь час діє вакуум) та камерою пульсатора КП3 (де весь час діє атмосферний тиск) блок клапанів буде переміщуватися вгору. У цей момент через отвір Do2 до камери пульсатора КП2 надходить атмосферне повітря від камери пульсатора КП3, тиск якого передається до камери розподілу колектора та до міжстінних порожнин у стаканах для доїння, що відповідає такту стиснення, блокування доступу вакууму до дійки корови.

Повернення до такту виведення молока здійснюється через визначений інтервал часу за допомогою включення в роботу котушки. Під час подачі живлення на котушку якорь тягне клапанний блок донизу, забезпечуючи зміну тиску в камері пульсатора КП2 з атмосферного на вакуум. Це відбувається тому що камера пульсатора КП2 сполучається через отвір Do1 із камерою пульсатора КП1 у якій постійно діє вакуум. При такому положенні блоку клапанів вакуум буде надходити до камери колектора з розподілу тисків та далі до міжстінних порожнин у стаканах для доїння, що відповідає такту виведення молока. Як тільки тиск у камері пульсатора КП4 буде відповідати тиску у камері пульсатора КП1, під дією пружних властивостей матеріалу пружного диску блок клапанів переміститься вверх. При такому положенні блоку клапанів, через отвір Do2 із камери пульсатора КП3 до камери пульсатора КП2 буде

надходити атмосферний тиск який буде передаватися до камери розподілу колектора та до міжстінних порожнин у стаканах для доїння, що відповідає такту стиснення.

Після деякого проміжку часу вмикається котушка електрична і робочий цикл повторюється.

2.2. Визначення конструкційних параметрів розробленого пульсатора

Для забезпечення гарантованого пересування блоку клапанів донизу (рис. 2.2) в початковий момент введення в роботу розробленого пульсатора має виконуватися умова (2.1).

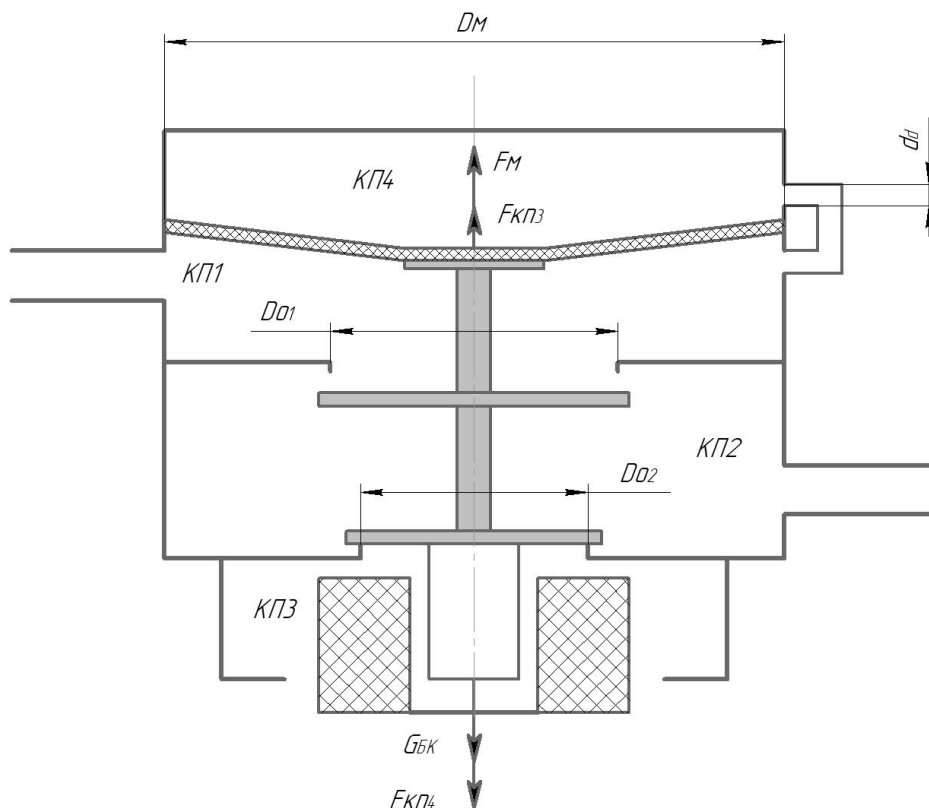


Рис. 2.2. Положення елементів конструкції пульсатора в початковий момент вмикання у роботу.

$$F_{BK1} = G_{BK} + F_{KP4} - F_M - F_{KP3} > 0, \quad (2.1)$$

де F_{BK} – зусилля на рух блоку клапанів вниз;

G_{BK} – зусилля від ваги блоку клапанів та пружного диска;

$F_{КП4}$ – зусилля від тиску з боку камери пульсатора КП4;

F_M – зусилля спричинене пружністю пружного диска;

$F_{КП3}$ – зусилля від тиску з боку камери пульсатора КП3.

В початковий момент підключення пульсатора до джерела вакууму всі механізми рухаються за допомогою дії енергії вакууму. У зв'язку із чим силами протидії будуть сили ваги елементів конструкції та сили викликані пружними властивостями із якого виготовлений пружний диск.

В такому випадку, зусилля спричинене дією гравітації можна встановити за формулою, Н:

$$G_{БК} = (m_{БК} + m_{ЯК}) \cdot g_z, \quad (2.2)$$

де $m_{БК}$ – наважка блоку клапанів;

$m_{ЯК}$ – наважка якоря;

g_z – земне тяжіння із прискоренням.

Зусилля тиску на пружний диск з боку камери пульсатора КП4 визначається як, Н:

$$F_{КП4} = \frac{\pi \cdot D_M^2}{4} \cdot (P_{КП4} - P_{КП1}), \quad (2.3)$$

де D_M – пружний диск діаметром;

$P_{КП1}$ – рівень абсолютного тиску в просторі КП1;

$P_{КП4}$ – рівень абсолютного тиску в просторі КП4.

Зусилля від сили тиску атмосфери з боку камери пульсатора КП3 визначається за формулою, Н:

$$F_{КП3} = \frac{\pi \cdot D_{\phi 2}^2}{4} \cdot (P_{КП3} - P_{КП2}), \quad (2.4)$$

де $P_{КП2}$ – рівень абсолютного тиску в просторі КП2;

$P_{КПЗ}$ – рівень абсолютного тиску в просторі КПЗ.

В положенні поданому на рис. 2.2 пружний диск завдяки пружним властивостям матеріалу виготовлення буде прагнути випрямитися. Зусилля із яким пружний диск буде прагнути повернутись у положення початкове знаходиться як, Н:

$$F_M = \frac{h_M \cdot E_M \cdot \delta_M^3}{k_M \cdot R_M^2}, \quad (2.5)$$

де h_M – лінійна зміна положення гнучкого диска під час положення;

k_M – поправка на геометричну форму пружного диска;

R_M – пружний диск з радіусом;

E_M – пружна характеристика диска пружного;

δ_M – пружний диск товщиною.

Як видно із наведених залежностей роботоздатність розробленого пульсатора залежить як від геометричних розмірів елементів конструкції так від фізико-механічних властивостей матеріалу пружного диску і, мабуть саме головне – від рівня тиску. Рівень тиску є визначником також впливу на стан здоров'я тварин під час машинного доїння корів, тому він має відповідати встановленим вимогам.

Як тільки тиск у камері пульсатора КП4 зрівняється із тиском у камері пульсатора КП1, клапанний блок буде рухатись доверху. Це відбувається під дією сил пружних властивостей матеріалу пружного диска та різниці тисків які виникають у камерах пульсатора КП1 та КП3. Таке положення клапанного блоку буде відповідати такту стискування.

Зусилля ($F_{БК2}$) із яким рухомі складові пульсатора будуть рухатись доверху (рис. 2.3) визначаються виходячи із умови рівноваги:

$$F_{БК2} = F_M + F_{КПЗ} - G_{БК} > 0, \quad (2.6)$$

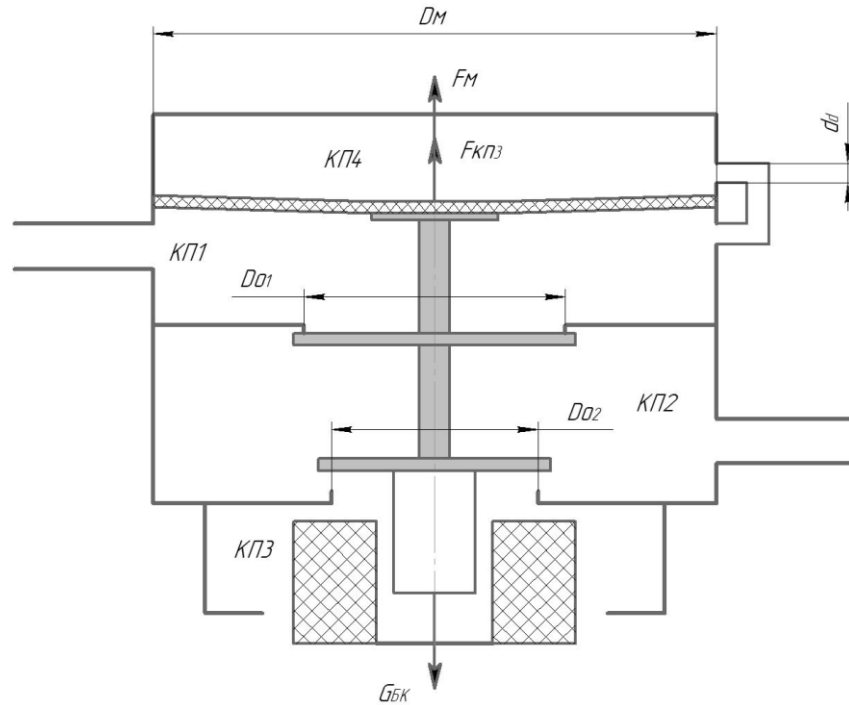


Рис. 2.3. Положення елементів конструкції пульсатора та діючі зусилля при переході до такту стискування.

Через деякий керований проміжок часу до котушки подається напруга. В наслідок цього якор разом і блоком клапанів буде переміщуватися донизу (рис. 2.4).

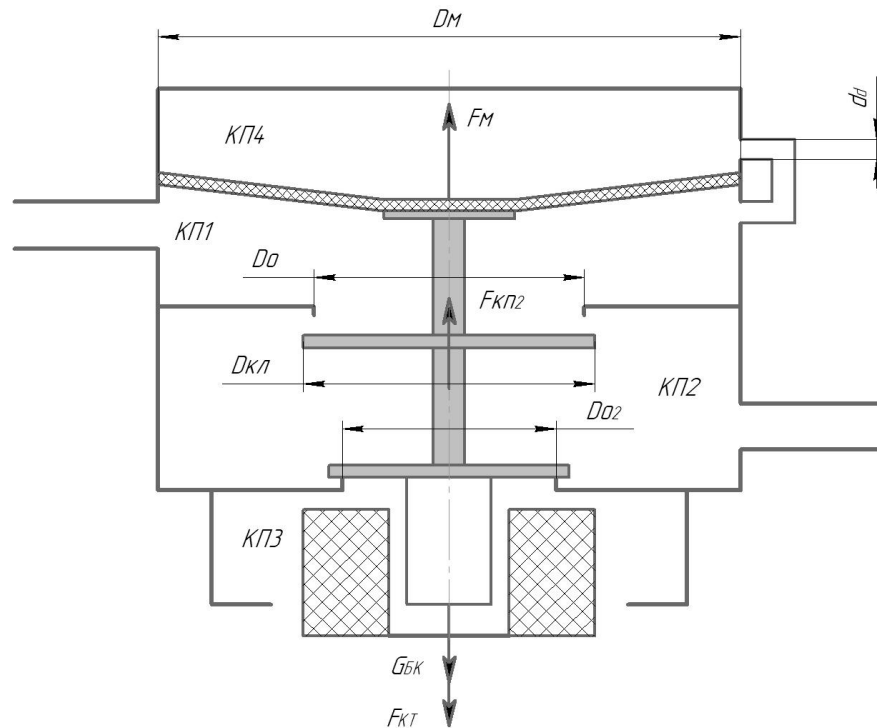


Рис. 2.4. Положення елементів конструкції пульсатора та діючі зусилля при переході до такту виведення молока.

Зусилля яке має розвинути котушка для примусового переміщення рухомих елементів пульсатора донизу можна визначити із умови рівноваги, Н:

$$F_{KT} + G_{БК} - F_M - F_{КП2} > 0, \quad (2.7)$$

де F_{KT} – зусилля від котушки;

$F_{КП2}$ – сукупне зусилля від тиску з боку камер пульсатора КП2 та КП1.

$$F_{КП2} = \frac{\pi \cdot D_{КЛ}^2}{4} \cdot (P_{КП2} - P_{КП1}), \quad (2.8)$$

де $D_{КЛ}$ – клапан отвору D_{o2} діаметром;

$P_{КП2}$ – рівень абсолютного тиску в просторі КП2;

$P_{КП1}$ – рівень абсолютного тиску в просторі КП1.

Зусилля впливу на рухомі складові розробленого пульсатора спричинене подачею напруги до котушки можна встановити за формулою, Н:

$$F_{KT} = \frac{\pi \cdot d_{Я}^2}{4 \cdot h_{Я}^2} \cdot \frac{l}{2} (\omega I)^2 \cdot \mu_{Я}, \quad (2.9)$$

де $d_{Я}$ – діаметр якоря електромагніту, м;

$h_{Я}$ – величина переміщення якоря електромагніту, м;

$\mu_{Я}$ – характеристика магнітна матеріалу осердя;

ωI – амперна характеристика котушки із певною кількістю витків.

Поправка на геометричну форму пружного диска встановлюється за відомими довідниковими формулами, а саме:

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

де μ_M – властивість матеріалу пружного диска за Пуансоном;

c – ступінь впливу жорсткості пружного дика від його геометрії:

$$c = \frac{R_M}{r_M} \quad (2.11)$$

де r_M – характеристика жорсткості матеріалу пружного диска.

На основі викладеної послідовності встановлення конструкційно-геометричних параметрів та технологічних режимів роботи розробленого пульсатора проведемо аналітичні дослідження для виявлення їх оптимальних значень (рис. 2.5-2.8).

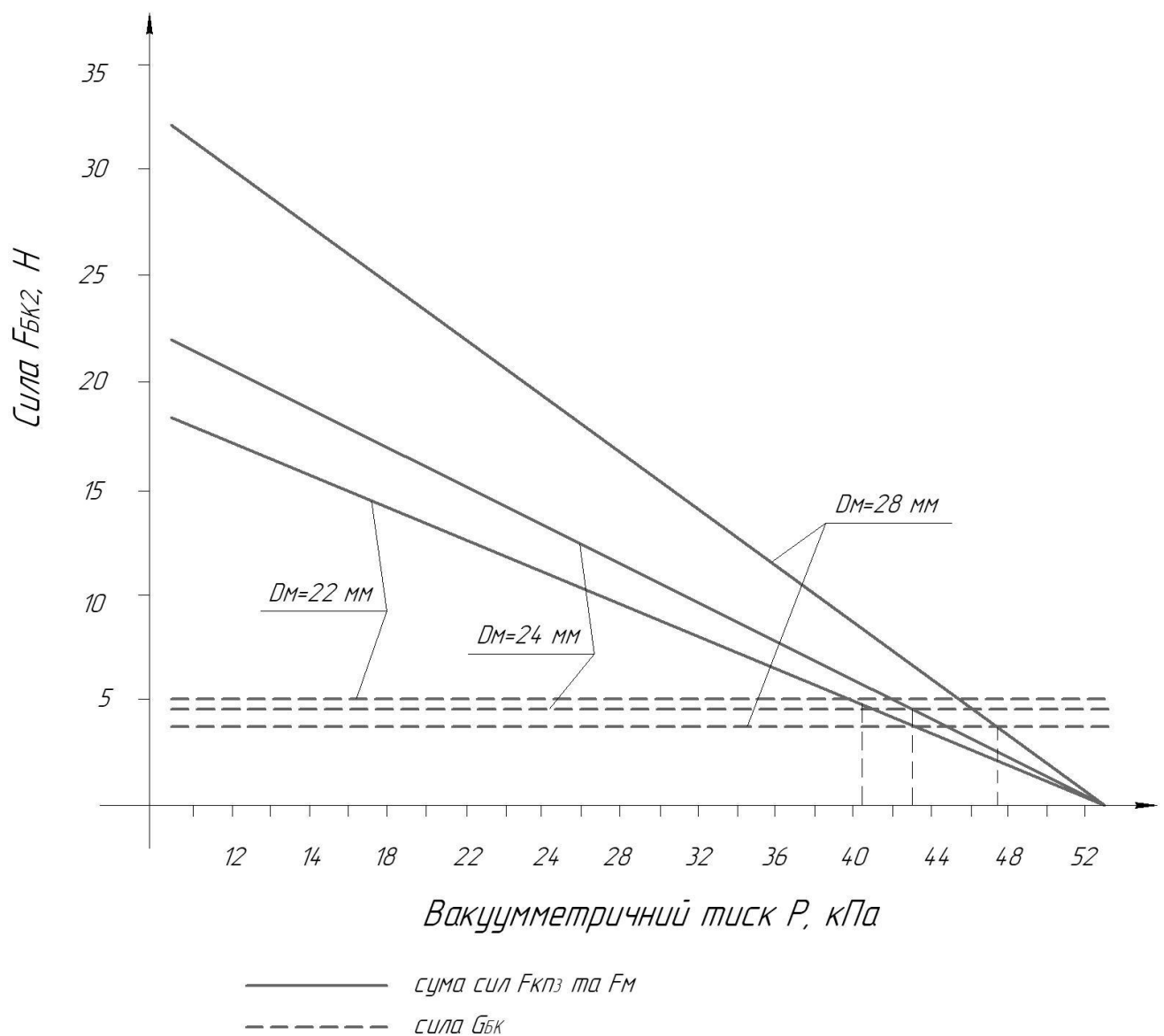


Рис. 2.5. Вплив рівня тиску вакууму на зусилля спрацювання блоку клапанів у вертикальному напрямі доверху.

Відповідно до рис. 2.5, за умови вакуумного тиску на рівні 48 кПа зусилля для переміщення блоку клапанів не повинно перевищувати 4,8 Н при діаметрі пружного диска 28 мм та 5,0 Н при діаметрі диска 22 мм.

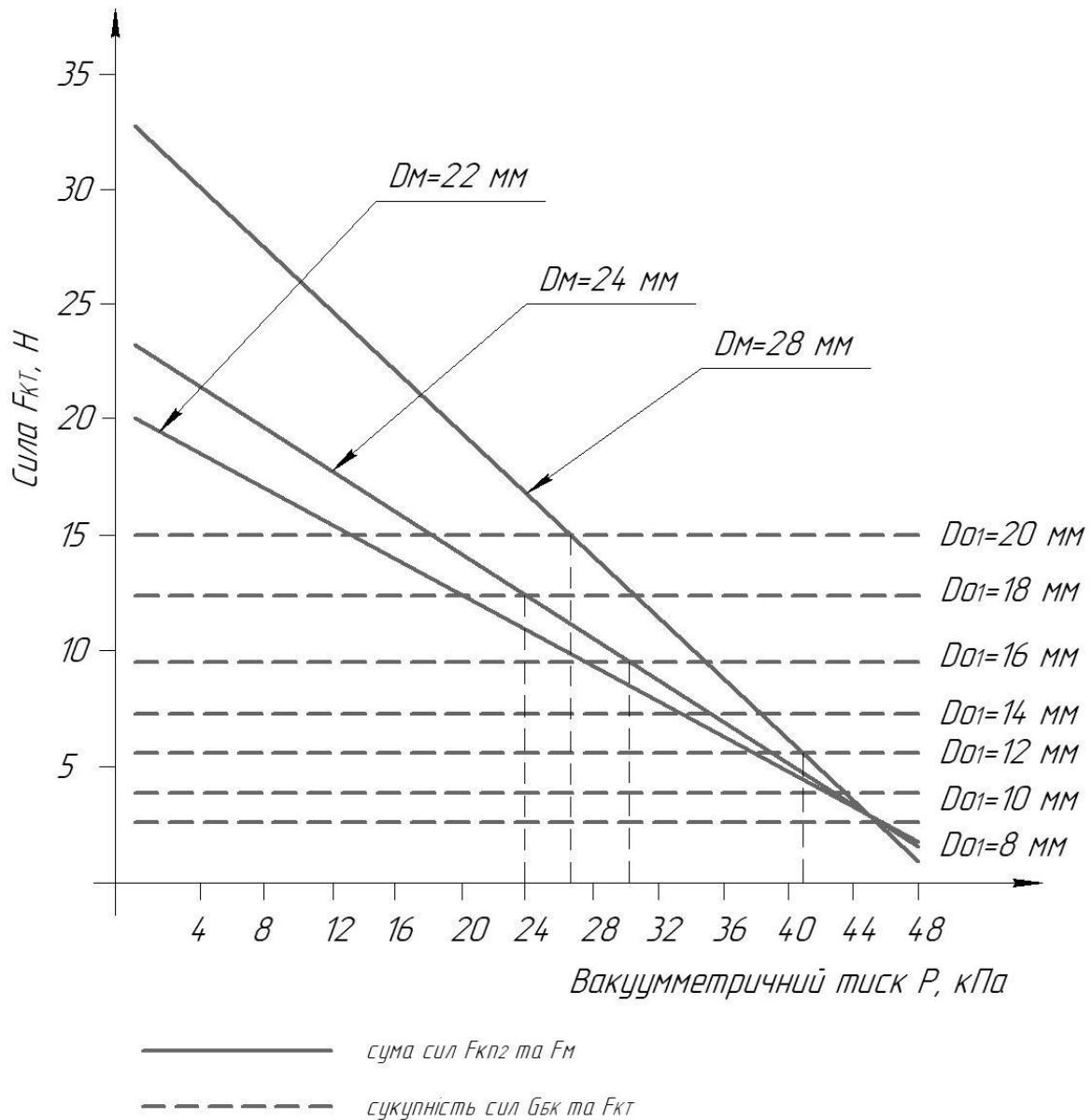


Рис. 2.6. Вплив рівня тиску вакууму на зусилля спрацювання блоку клапанів у вертикальному напрямі донизу.

Відповідно до рис. 2.6, мінімальне зусилля для спрацювання клапанного блоку при русі донизу знаходиться в межах 3,0 Н для рівня вакууму 45 кПа та

отвору D_{01} з діаметром 8,0 мм при всіх геометричних параметрах пружного диска.

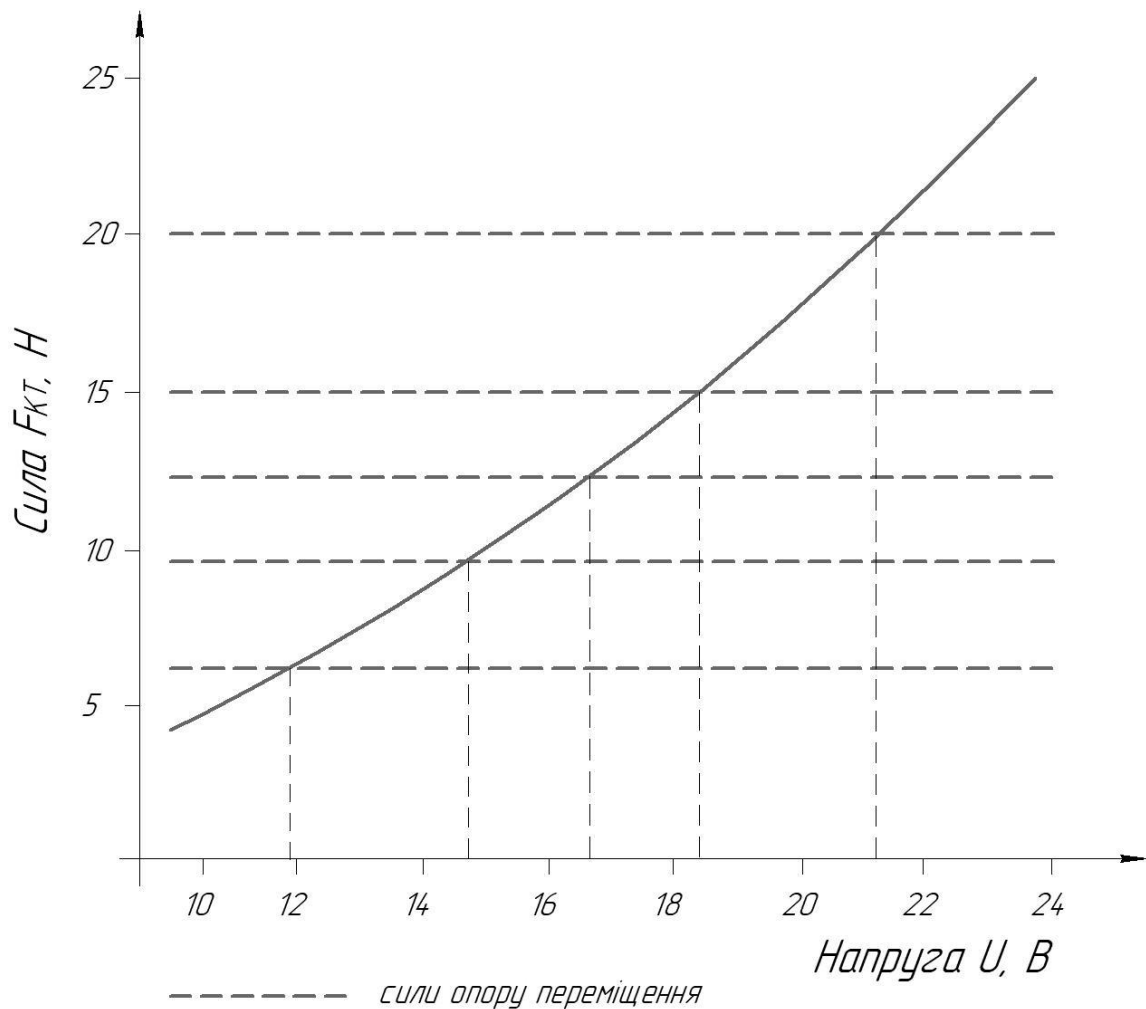


Рис. 2.7. Вплив рівня напруги на величину зусилля у котушці для спрацювання блоку клапанів у вертикальному напрямі донизу.

Відповідно до рис. 2.7, зі збільшенням зусилля на подолання сил опору переміщення рухомих елементів розробленого пульсатора необхідно збільшувати напругу живлення котушки. Проте, значення напруги в 12 В дозволяє згенерувати зусилля в районі 6 Н, що вище від необхідного майже в двічі.

Параметри електрично-механічної складової визначаються кількістю витків у котушці (1220), вагою якоря (4,45 г) та загальним опором котушки в 165 Ом. При цьому, на загальну потужність приводу виконавчих механізмів як

рівень вакуумного тиску так і геометрія отвору між камерами пульсатора КПЗ та КП2 (рис. 2.8).

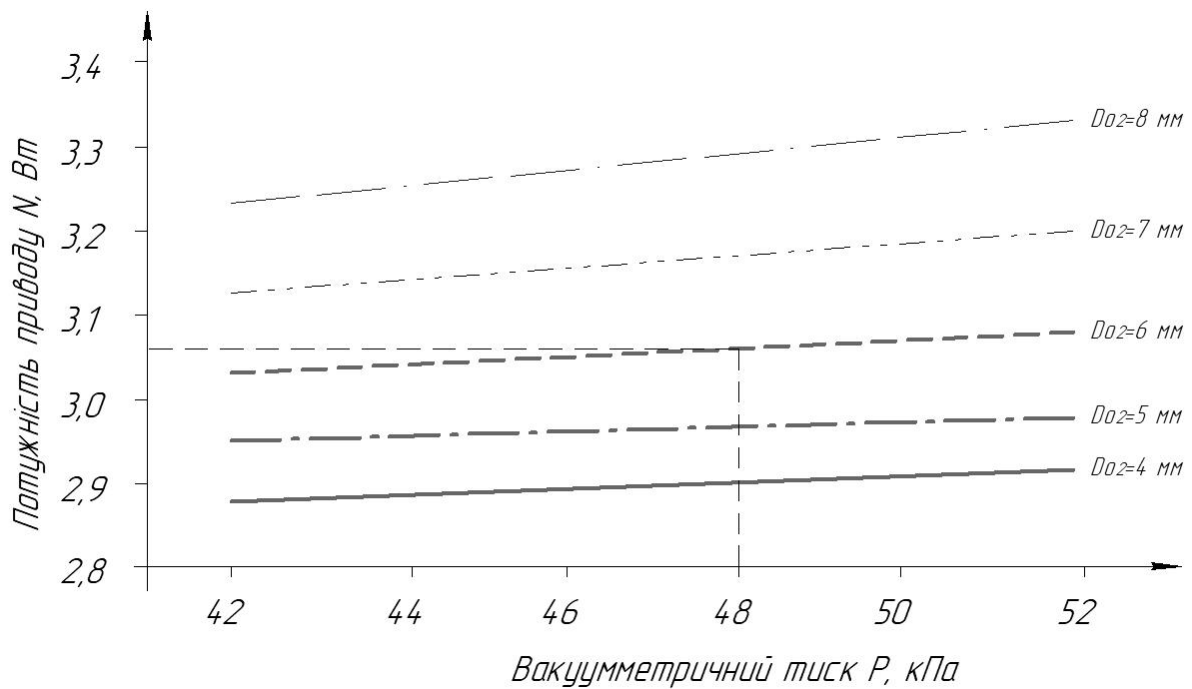


Рис. 2.8. Вплив рівня тиску вакууму на потужність для спрацювання блоку клапанів в режимі переходу між тактами.

Відповідно до рис. 2.8, за умови однаковому рівні робочого тиску вакууму 48 кПа при збільшенні розміру отвору D_{02} необхідно збільшувати потужність електрично-механічної складової розробленого пульсатора. У зв'язку із чим розмір отвору D_{02} приймемо із конструкційних міркувань на рівні 6 мм при потужності на привод 3,05 Вт.

Висновки до розділу 2

1. На основі оцінки позитивних та негативних ознак відомих конструкцій електронних пульсаторів у кваліфікаційній роботі розроблена удосконалена конструкція пульсатора із покращеною технологічною ефективністю. Так, завдяки застосуванню безпосереднього приводу клапанного блока із якорем

котушки зменшується тривалість перехідного періоду між тактом стискування та тактом виведення молока. Таке рішення сприятиме збільшенню на 12% тривалості такту виведення молока, що в свою чергу сприятиме зменшенню тривалості доїння корови в цілому.

2. Визначено, що за умови вакуумного тиску на рівні 48 кПа зусилля для переміщення блоку клапанів не повинно перевищувати 4,8 Н при діаметрі пружного диска 28 мм та 5,0 Н при діаметрі пружного диска 22 мм.

3. Встановлено, що для спрацювання клапанного блоку при його переміщенні донизу необхідно розвинути силу в межах 3,0 Н при рівні вакуумметричного тиску 48 кПа та отвору між першою та другою камерами пульсатора з діаметром на рівні 8,0 мм, незалежно від геометричних параметрів пружного диска. Визначено, що значення рівня напруги в 12 В у котушці дозволяє згенерувати зусилля на рухомі елементи пульсатора 6 Н, що двічі вище від необхідного значення.

4. Встановлено, що за умови дії робочого вакуумметричного тиску 48 кПа при збільшенні розміру отвору між третьою та другою камерами пульсатора необхідно збільшувати потужність електрично-механічної складової розробленого пульсатора. Окрім цього збільшується тривалість перехідного періоду. За умови прийнятого конструкційно розміру вказаного отвору рівному 6 мм потужності на привод рухомих елементів становитиме 3,05 Вт, при цьому розподіл між тактами становитиме 65 на 35, що вважається нормативним для сучасних пульсаторів доїльних апаратів.

РОЗДІЛ 3

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ УДОСКОНАЛЕНОГО ЕЛЕКТРОННОГО ПУЛЬСАТОРА

3.1. Особливості експлуатаційного використання удосконаленого пульсатора

Найбільшого поширення в системі машинного доїння корів на тваринницьких підприємствах набули доїльні апарати із пульсаторами попарного принципу дії. У зв'язку із цим розроблена конструкція електронного пульсатора попарного принципу (рис. 3.1).

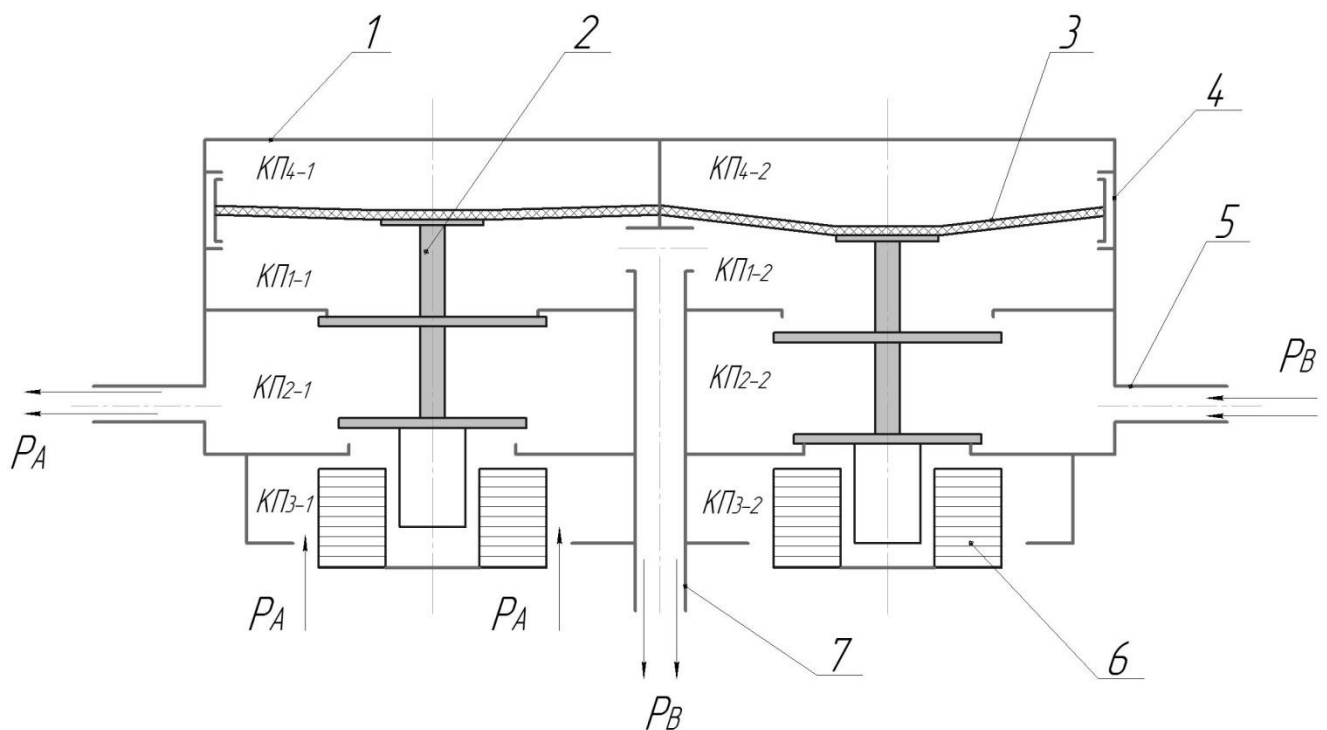


Рис. 3.1. Схема принципу роботи розробленого електронного пульсатора попарної дії: 1 – корпус; 2 – блок клапанний поєднаний із якорем; 3 – пружний диск; 4 – сполучна трубка; 5 – патрубок камери пульсатора $KП_2$; 6 – котушка; 7 – патрубок камери пульсатора $KП_1$; P_A – тиск рівний атмосферному; P_B – тиск рівний робочому вакууму; $KП_{1-1}$, $KП_{2-1}$, $KП_{3-1}$, $KП_{4-1}$ – камери пульсатора першого блоку; $KП_{1-2}$, $KП_{2-2}$, $KП_{3-2}$, $KП_{4-2}$ – камери пульсатора другого блоку.

У другому розділі розглядали принцип роботи одного блоку попарного пульсатора. На рис. 3.1 зображена схема роботи електронного пульсатора попарного принципу дії. Так, відповідно до поданої схеми (рис. 3.1) у другому блокові буде такт виведення молока із вимені корови, а у першому блоці – такт стискування дійкової гуми. У наступний проміжок часу такти у блоках зміняться на протилежні, і так триватиме до завершення видоювання корови.

Роботою зміни тактів керує контролер за допомогою котушки шляхом подавання або відключення подачі напруги. Для переходу до такту виведення молока до відповідної котушки потрібного блоку подається напруга і якор потягне блок клапанний донизу, а у іншому блоці в цей самий час напруги у котушці не буде і блок клапанний під дією тиску атмосфери буде мати рух догори.

3.2. Порівняльна оцінка впровадження удосконаленого пульсатора

Для встановлення економічної та експлуатаційної доцільності використання розробленого доїльного апарата необхідно виконати порівняльний аналіз із серійним доїльним апаратом одного із виробників. Для порівняння виберемо доїльну установку УДЯ-16 «Ялинка-автомат» вітчизняного виробника обладнання для машинного доїння корів ГК «Брацлав». Дана установка обладнання 16 доїльними апаратами які оснащені електронними пульсаторами ПЕ-03-000.

Основною відмінністю серійного пульсатора є використання непрямого приводу робочих органів. Це означає що якор у котушці виконує функцію клапана, який відкриває або закриває по чергово доступ до вакуумного тиску чи атмосферного тиску. При цьому виконавчі механізми переміщуються у відповідні положення діючого в даний момент часу такту за допомогою енергії вакууму, тобто за рахунок різниці тисків між камерами. Це схоже на роботу звичайного пневматичного пульсатора, тільки моментом появи відповідного тиску у другій камері (вакуум чи атмосферний тиск) керує клапан катушки при

подачі до нього керуючого сигналу. Такий підхід не усуває головного недоліку пневматичних пульсаторів – суттєва тривалість перехідних процесів, хоча дозволяє зробити процес доїння керованим щодо тривалості та співвідношення тактів. У розробленого пульсатора використовується безпосередній привод блоку клапанів за допомогою включення в роботу електромагніта. За рахунок прямого приводу зміна тактів відбувається майже миттєво в момент включення електромагніта, що дозволяє тривалість перехідних процесів і машинного доїння в цілому на 12%.

Розрахунок порівняльної оцінки виконувався відповідно до встановлених методики [] у додатку, результати внесені у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1.

Порівняльна оцінка пульсаторів

Показник	Пульсатор	
	Серійний ПЕ-03-000	Розроблений
Тип пульсатора	попарний	попарний
Ціна одиниці, грн.	15000	17500
Кількість на доїльній установці, шт.	16	16
Тривалість роботи установки протягом року, год.	1217	1076,96
Сукупні експлуатаційні витрати, грн/рік	277476	244178,88
Приведені видатки, грн/рік	663156	610409,28
Сукупний економічний ефект від застосування, грн/рік	-	52746,72
Термін окупності додаткових капіталовкладень, років	-	0,98

Таким чином, впровадження у виробництво розробленого пульсатора дозволить отримати значний економічний ефект, а додаткові капіталовкладення окупляться впродовж року.

Висновки до розділу 3

1. Впровадження в експлуатацію удосконаленого пульсатора доїльного апарата дає змогу отримати річну економію коштів в розмірі 52746,72 грн порівняно із експлуатацією серійного пульсатора. Додаткові капіталовкладення у розроблення та виготовлення пульсатора удосконаленого у кваліфікаційній роботі окупляться протягом 0,98 років. Це досягається за рахунок зменшення загальної тривалості машинного доїння 400 корів на доїльній установці обладнаній 16 доїльними апаратами з розробленими пульсаторами.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз підтверджує доцільність ширшого впровадження пульсаторів з електронним керуванням у системи машинного доїння корів – як для стаціонарних комплексів, так і для індивідуальних мобільних агрегатів. Наявність великої номенклатури таких пристроїв на ринку свідчить про високий попит із боку виробників тваринницької продукції. Попри різноманітність конструкційно-технологічних рішень, сучасним електромагнітним пульсаторам притаманні певні недоліки. Зокрема, вони мають відносно складну будову, а оперативне переналаштування частоти пульсації та співвідношення тактів безпосередньо під час роботи апарата є ускладненим. Окрім цього, актуальним залишається завдання зниження їхнього енергоспоживання, що може бути реалізовано шляхом інтеграції підсилювальних систем приводу через електричні пристрої якір-катушка.

2. На основі оцінки позитивних та негативних ознак відомих конструкцій електронних пульсаторів у кваліфікаційній роботі розроблена удосконалена конструкція пульсатора із покращеною технологічною ефективністю. Так, завдяки застосуванню безпосереднього приводу клапанного блока із якорем котушки зменшується тривалість перехідного періоду між тактом стискування та тактом виведення молока. Таке рішення сприятиме збільшенню на 12% тривалості такту виведення молока, що в свою чергу сприятиме зменшенню тривалості доїння корови в цілому.

3. Визначено, що за умови вакуумного тиску на рівні 48 кПа зусилля для переміщення блоку клапанів не повинно перевищувати 4,8 Н при діаметрі пружного диска 28 мм та 5,0 Н при діаметрі пружного диска 22 мм. Встановлено, що для спрацювання клапанного блоку при його переміщенні донизу необхідно розвинути силу в межах 3,0 Н при рівні вакуумметричного тиску 48 кПа та отвору між першою та другою камерами пульсатора з діаметром на рівні 8,0 мм, незалежно від геометричних параметрів пружного диска. Визначено, що значення рівня напруги в 12 В у котушці дозволяє

згенерувати зусилля на рухомі елементи пульсатора 6 Н, що двічі вище від необхідного значення.

4. Встановлено, що за умови дії робочого вакуумметричного тиску 48 кПа при збільшенні розміру отвору між третьою та другою камерами пульсатора необхідно збільшувати потужність електрично-механічної складової розробленого пульсатора. Окрім цього збільшується тривалість перехідного періоду. За умови прийнятого конструкційно розміру вказаного отвору рівному 6 мм потужності на привод рухомих елементів становитиме 3,05 Вт, при цьому розподіл між тактами становитиме 65 на 35, що вважається нормативним для сучасних пульсаторів доїльних апаратів.

5. Впровадження в експлуатацію удосконаленого пульсатора доїльного апарата дає змогу отримати річну економію коштів в розмірі 52746,72 грн порівняно із експлуатацією серійного пульсатора. Додаткові капіталовкладення у розроблення та виготовлення пульсатора удосконаленого у кваліфікаційній роботі окупляться протягом 0,98 років. Це досягається за рахунок зменшення загальної тривалості машинного доїння 400 корів на доїльній установці обладнаній 16 доїльними апаратами з розробленими пульсаторами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Фененко А. І. Механізація доїння корів. Теорія і практика. К., 2008. 200 с.
2. Машина для тваринництва та птахівництва. / за ред. В. І. Кравчука та Ю. Ф. Мельника. Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л.Погорілого, 2009. 207 с.
3. Машина та обладнання для тваринництва / за ред. І. Г. Бойко. Харків : Видавництво ХНТУСГ, 2006. 279 с.
4. Кузьменко М. В. Конструкційно-технологічні вимоги до пульсатора доїльного апарата. *Студентські читання–2025* : матеріали науково-практичної конференції. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 137–139.
5. Хомик Н. І., Довбуш А. Д. Машина та обладнання для тваринництва : курс лекцій. ч. 2. Тернопіль : Видавництво ТНТУ, 2013. 224 с.
6. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І. Машина та обладнання для тваринництва : підручник. К. : Кондор, 2012. 713 с.
7. Кузьменко М. В. Оцінка конструкційних особливостей електромагнітних пульсаторів. *Наукові читання – 2026* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 20 квітня 2026 р. Житомир: Поліський національний університет, 2026. Ч. 2. С. 123–126.
8. DeLaval Pulsator EP290. URL: <https://www.delavaltrakya.com/en/product-page/delaval-pulsat%C3%B6r-ep290>.
9. DL EP190 / EP290 Pulsator. URL: <https://www.agromilk.it/electronic-pulsators/dl-ep190-ep290-pulsator>
10. Recambios para pulsador EP190. URL: <https://xn--tiendaordeobeb.com/pulsacion/712-recambios-para-pulsador-ep190-12v-y-24v-96679084-85977680.html>
11. Пульсатор LE 30. URL: <https://agrosystem.com.ua/product/pulsator-le-30-24-vdc-1069001/>

12. Interpuls Pulsator LE30 12V. URL: <https://www.melktechnik-discount.de/pulsatoren/elektronische-pulsatoren/interpuls-elektropulsatoren/passive-interpuls-elektropulsatoren/interpuls-pulsator-le30-12v-passiv-4-anschluesse-ohne-luftfilter-itp-1069008.html>
13. Пульсатор ПЕ-03. URL: <https://www.bratslav.com/ua/product/pulsator-pe-03-000-ua/>
14. StimoPuls-GEA Westfalia Pulsator. URL: <https://hambydairysupply.com/autopuls-apex-mz-stimopuls-gea-westfalia-pulsator/>
15. Шабельник Б. П., Троянов М. М. Теорія та розрахунок машин для тваринництва. Х.: ХДТУСГ, 2012. 216 с.
16. Бойко І.Г. Теорія та розрахунок машин для тваринництва /І.Г. Бойко, В.Г Грідасов, А.І. Дзюба та ін.; За ред. І.Г. Бойко. Х.: НМЦ ХНТУСГ, 2002. 216 с.
17. Бойко А. В. Гідрогазодинаміка : підручник. Х. : НТУ «ХП», 2007. 444 с.
18. Калетнік Г. М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість : підручник / за ред. Г. М. Калетніка, М. Г. Чаусова. Київ: Хай-Тек Прес, 2013. 528 с.
19. Борозенець Г. М., Павлов В. М., Семак І. В. Деталі машин : навчальний посібник. К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. 220 с.
20. Опір матеріалів: навч. підручник / за ред. Г. С. Писаренка. К.: Вища школа, 2004. 655 с.
21. Ефективність інженерних рішень : навчальний посібник / Л. М. Данильченко, В. В. Васильків, І. Г. Ткаченко, М. Д. Сіправська. Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2024. 248 с.