

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА

Кваліфікаційна наукова праця

на правах рукопису

Яцунський Петро Петрович

УДК 637.116

ДИСЕРТАЦІЯ

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ ПНЕВМОЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО
ПУЛЬСОКОЛЕКТОРА ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА**

Галузь знань 13 – “Механічна інженерія”

133 – “Галузеве машинобудування”

Подається на здобуття освітньо-наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних наукових досліджень. Використані ідеї та результати інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

_____Яцунський Петро Петрович

Науковий керівник:

Дмитрів Василь Тарасович,
доктор технічних наук, професор

Львів 2022

АНОТАЦІЯ

Яцунський П.П. Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів пневмоелектромагнітного пульсоколектора доїльного апарата. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD) за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» (13 «Механічна інженерія») – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти та науки України, Львів – 2022.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності машинного доїння корів шляхом розроблення і обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів пневмоелектромагнітного пульсоколектора доїльного апарата.

Об'єктом дослідження є технологічний процес доїльного апарата з пневмоелектромагнітним пульсоколектор.

У дисертаційній роботі проаналізовано вплив конструкційно-технологічних параметрів на ефективність машинного доїння та молоковіддачу корови. Проведено аналіз конструкцій пневмоелектромагнітних пульсаторів та суміщених пульсоколекторів. Показано, що використання електромагнітного приводу непрямої дії веде до спотворення керуючого пневматичного сигналу, мінімальну потужність приводу клапана забезпечує мінімальний діаметр перепускного отвору, динамічність роботи системи перемикання тактів пульсатора забезпечується напругою живлення електронного блоку пульсатора до 24 В. Встановлено, що допустимі межі вакуумметричного тиску – 32-48 кПа, частота пульсацій – від 30 хв⁻¹ до 120 хв⁻¹, а стимулююча частота пульсацій в такті ссання може становити 180 хв⁻¹, 200 хв⁻¹ і 300 хв⁻¹.

Розроблено структурно-функціональну схему пневмоелектромагнітного пульсоколектора, що реалізує унеможливлення силового навантаження дійкової гуми на дійку методом урівноваження тисків в міжстінковій і піддійковій камерах доїльних стаканів.

Встановлено, що основними факторами, які впливають на ефективне функціонування пневмелектромагнітного пульсоколектора є технологічні режими роботи доїльного апарата (вакуумметричний тиск, частота пульсації, співвідношення між тактами, інтенсивність молоковіддачі), конструкційні параметри пневмелектромагнітного пульсоколектора (геометричні розміри якоря-клапана і внутрішні розміри корпусу пульсоколектора, параметри електромагніту та геометричні розміри повітряних каналів корпусу).

Отримано аналітичні залежності для моделювання швидкості потоку повітря в міжстінному просторі “якір-клапан – внутрішня поверхня корпусу пульсоколектора” та дотичних напружень, які встановлюють взаємозв’язок між характеристикою середовища, вакуумметричним тиском і конструкційними параметрами якоря-клапана, що уможлиблює моделювання кінематичних характеристик руху повітря і динамічного зусилля на якір-клапан.

Проведено теоретичні дослідження з визначення ампер-витків електромагніту в режимі утримання якоря-клапана в положенні для такту ссання та в момент підняття якоря-клапана в такті стиску в залежності від технологічних характеристик і конструкційних параметрів пульсоколектора. Встановлено, що із збільшенням зазору між верхньою площиною якоря-клапана і магнітопроводом та із зростанням вакуумметричного тиску значення ампер-витків електромагніту зростає. Так, за зазору $\delta=0,1$ мм і вакуумметричного тиску $P_B=50$ кПа кількість ампер-витків електромагніта для утримання якоря-клапана у такті «ссання» перевищує $IW=9$ А·Вит, а за зазору $\delta=1$ мм для утримання якоря-клапана у верхньому положенні необхідно $IW=90$ А·Вит електромагніту. Для підняття якоря-клапана з нижнього положення (перехід від такту «стиску» до такту «ссання») та зміни вакуумметричного тиску від 5 кПа до 50 кПа ампер-витки електромагніту необхідно забезпечити від $IW=106$ А·Вит до $IW=335$ А·Вит.

У результаті теоретичних досліджень нами встановлено, що за $IW=400$ А·Вит і вакуумметричного тиску $P_B=50$ кПа, час піднімання якоря-клапана на віддалі $y=4$ мм становить $t=0,102$ с. За значення $IW=100$ А·Вит час

піднімання якоря-клапана становить $t=0,23$ с і із збільшенням потужності електромагніту тривалість піднімання якоря-клапана зменшується.

Тривалість піднімання якоря-клапана за переходу пневмоелектромагнітного пульсоколектора від такту «стиску» до такту «ссання» є нелінійною характеристикою, із збільшенням ампер-витків електромагніту тривалість часу піднімання якоря-клапана зменшується. Із зменшенням вакуумметричного тиску тривалість піднімання якоря-клапана за переходу пневмоелектромагнітного пульсоколектора від такту «стиску» до такту «ссання» також зменшується.

Теоретичні дослідження проведено з використанням основних законів газової динаміки і пневматики та методів класичної механіки, інтегрального і диференціального числення. Експериментальні дослідження виконані в лабораторних умовах з використанням тензометричного комплексу з цифровим комп'ютерним осцилографом та методів планування багатофакторних експериментів. Статистичне опрацювання експериментальних даних проводили із використанням відповідних програмних продуктів (Microsoft Excel, Statistica).

Удосконалений стенд для експериментальних досліджень пневмоелектромагнітного пульсоколектора, що уможливорює вимірювання в часі динаміку зміни вакуумметричного тиску в процесі роботи доїльного апарата з використанням імітатора інтенсивності молоковіддачі.

Розроблений експериментальний пневмоелектромагнітний пульсоколектор.

В основі проведення експериментальних досліджень є багатофакторний планований експеримент і отримані регресійної моделі в натуральних факторах для дво- і трифакторної моделі відповідного порядку.

Встановлено, що потужність споживання зростає із зменшенням частоти пульсації й збільшенням співвідношення тактів. За частоти пульсації 1 Гц і співвідношення такту ссання до такту стиску 70:30, споживана потужність пневмоелектромагнітного пульсоколектора не перевищує 5 Вт.

Інтенсивність молоковіддачі із зменшенням частоти пульсації та збільшенням вакуумметричного тиску в піддійковій камері доїльних стаканів – зростає. Співвідношення між тактами пульсоколектора на інтенсивність молоковіддачі впливає незначно.

Досліджено взаємозв'язок між вакуумметричним тиском в міжстінковій і піддійковій камерах доїльних стаканів та частотою пульсації, співвідношенням такту ссання до такту стиску й вакуумметричним тиском. За частоти пульсації 1 Гц, співвідношення між тактами від 0,67 до 1 вакуумметричний тиск в міжстінковій і піддійковій камерах буде коливатись від 14 до 16 кПа. Інтенсивність молоковіддачі із збільшенням веде до збільшення втрат вакууму.

Унеможливлення силового навантаження дійкової гуми на дійку відбувається за урівноваження тисків в міжстінковій і піддійковій камерах доїльних стаканів.

В виробничих умовах проведено перевірку ефективності машинного доїння доїльним апаратом з розробленим пневмоелектромагнітним пульсоколектором та порівняння його з доїльним апаратом в склад якого входив ДА-Ф-50 (прототип). Дане дослідження проводилось на навчально-демонстраційній фермі Золочівського фахового коледжу Львівського національного університету природокористування, а також проведено апробацію результатів експериментальних досліджень на молочній фермі в м. Сіндал (Данія). Початкові технологічні параметри відповідних доїльних апаратів були однаковими при обох варіантах: співвідношення тактів – 60:40, 30:70 і 70:30; вакуумметричний тиск – 48-50 кПа; частота пульсацій – 1 Гц.

Результати розрахунків економічної ефективності засвідчили, що за рахунок використання доїльного апарата із пневмоелектромагнітним пульсоколектором можна досягти приріст середньодобового надою за рахунок повноти видоювання на 8,7 %, а сумарний річний економічний ефект на все поголів'я – 470293 грн.

Результати досліджень дослідження передані ТЗОВ „МЕТАЛВОРКШОР” Львівської області для розроблення технологічної

документації на виготовлення дослідної партії пневмоелектромагнітного пульсоколектора а також генератор імпульсів на основі пневмоелектромагнітного пульсоколектора впроваджено в навчальний процес Національного університету "Львівська політехніка" - в курс дисципліни «Розрахунок та проектування машин» для студентів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування.

Ключові слова: доїльний апарат, тиск, коливання, генератор імпульсів, електромагніт, вібрація, напруження, швидкість, пульсатор, планований експеримент, потужність, модель, ефективність функціонування.

ANNOTATION

Yatsunskyi P.P. Substantiation of design and technological parameters of pneumatic-electromagnetic pulsator, combined with collector for milking machine. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in specialty 133 "Industrial Engineering" (13 "Mechanical Engineering") - Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv - 2022.

The dissertation is devoted to increase of efficiency milking machine for cows by development and substantiation design and technological parameters of the pneumatic-electromagnetic pulsator combined with collector of the milking machine.

The object of research is the technological process of the milking machine with pneumatic electromagnetic pulsator combine with collector.

The dissertation analyzes the influence of design and technological parameters on the efficiency of machine milking and milk ejection of cows. The analysis of constructions of pneumatic-electromagnetic pulsator combined with collector is carried out. It is shown that the use of electromagnetic drive of indirect action leads to distortion of the control pneumatic signal, the minimum power of the valve drive provides the minimum diameter of the bypass hole, the dynamics of the pulsator clock switching system is provided by the electronic voltage by 24V. It is established that the

allowable limits of vacuum pressure - 32-48 kPa, ripple frequency - from 30 min⁻¹ to 120 min⁻¹, and the stimulating ripple frequency in the suction stroke can be 180 min⁻¹, 200 min⁻¹ and 300 min⁻¹.

A structural and functional scheme of a pneumatic-electromagnetic pulsator, combined with collector has been developed, which implements the impossibility of force loading of teat rubber on teats by the method of balancing pressures in the interwall and subsurface chambers of milking cups.

It is established that the main factors influencing the effective functioning of the pneumatic-electromagnetic pulsator combined with collector are technological modes of operation milking machine (vacuum pressure, ripple frequency, ratio between the strokes, milk ejection), design parameters of the pneumatic-electromagnetic pulsator, electromagnet parameters and geometric dimensions of the air ducts in the housing.

Analytical dependences for modeling the air flow velocity in the wall space "armature-valve - the inner surface of the pulsator combined with collector" and tangential stresses, which establish the relationship between environmental characteristics, vacuum pressure and design parameters of the valve armature, which allows modeling kinematic characteristics air and the action of dynamic force on the anchor valve.

Theoretical studies to determine the ampere-turns of the solenoid in the mode holding the armature-valve in the position for the suction stroke and at the time of raising the armature-valve in the compression stroke depending on the technological characteristics and design parameters of the pulsator combined with collector. It is established that with the increase of the gap between the upper plane of the armature-valve and the magnetic conductor and with the increase of the vacuum pressure the value ampere turns of the electromagnet increases. The gap $\delta=0,1$ mm and vacuum pressure $P_B=50$ kPa, the number of ampere-turns of the solenoid to keep the armature valve in the stroke "suction" exceeds $I=9$ A·Vit, and at a gap $\delta=0,1$ mm to hold the armature -valve in the upper position is required $IW=9$ A·Vit · solenoid wind. To raise the armature valve from the lower position (transition from compression stroke to

suction stroke) and change the vacuum pressure from 5 kPa to 50 kPa ampere-turns of the solenoid must be provided from $IW=106 \text{ A}\cdot\text{Vit}$ to $IW=335 \text{ A}\cdot\text{Vit}$.

Result of theoretical research it was found that at $IW=400 \text{ A Vit}$ and vacuum pressure $P_B=50 \text{ kPa}$, the lifting time of the valve armature at a distance of $y=4 \text{ mm}$ is $t=0,102 \text{ s}$. When value $IW=100 \text{ A}$ the lifting time of the valve armature is $t=0,23 \text{ s}$. and as the power of the solenoid increases, the lifting time of the valve armature decreases.

The duration of raising the armature-valve during the transition of the pneumatic-electromagnetic pulsator combined with collector from the stroke of "compression" to the stroke of "suction" is a nonlinear characteristic with increasing ampere turns of the solenoid. When the vacuum gauge pressure decreases, the lifting time of the valve armature during the transition of the pneumatic-electromagnetic pulsator combined with collector from the "compression" stroke to the "suction" stroke also decreases.

Theoretical research was conducted using the basic laws of gas dynamics and pneumatics and methods of classical mechanics, integral and differential calculus. Experimental studies were performed in the laboratory using a strain gauge complex with a digital computer oscilloscope and methods for planning multifactorial experiments. Statistical processing of experimental data was performed using appropriate software products (Microsoft Excel, Statistica).

Improved stand for experimental studies of the pneumatic-electromagnetic pulsator combined with collector, which allows measuring in time the dynamics of changes in vacuum pressure during operation milking machine using a simulator of milk ejection.

An experimental the pneumatic-electromagnetic pulsator combined with collector has been developed.

The basis of experimental research is a multifactor planned experiment and the obtained regression model in natural factors for two- and three-factor models of the corresponding order.

It is established that power consumption increases with decreasing ripple frequency and increasing the ratio between the stroke. If ripple frequency is 1 Hz and

the ratio between the stroke is 70:30, the power consumption of the pneumatic-electromagnetic pulsator combined with collector does not exceed 5 W.

The milk ejection will be increases when ripple frequency and increasing vacuum gauge pressure in the milking chamber of the milking cups. The ratio between the stroke of the pulsator combined with collector has little effect on the milk ejection.

The relationship between the vacuum pressure in the interstitial and subsurface chambers of milking cups and the ripple frequency, the ratio between the strokes and vacuum pressure was studied. When the ripple frequency is 1 Hz, the ratio between the strokes is from 0.67 to 1 and vacuum pressure in the interwall and subsurface chambers will range from 14 to 16 kPa. The increasing ripple frequency leads to an increase value of vacuum pressure.

Impossibility of force loading of teat rubber on the teat occurs by balancing the pressure in the interwall and sucker chambers of milking cups.

In production conditions the efficiency of machine milking was checked by a milking machine with a developed the pneumatic-electromagnetic pulsator combined with collector and compared with a milking machine which included DA-F-50 (prototype). This study was conducted on the training and demonstration farm of Zolochiv Vocational College of the Lviv National University of Nature Management, and also tested the results of experimental research on a dairy farm in Sindal (Denmark). The initial technological parameters of wastewater milking machines were the same for both options: vacuum pressure - 48-50 kPa; the ratio between the strokes - 60:40 30:70 and 70:30; ripple frequency - 1 Hz.

The results of economic efficiency calculations showed that due to the use of milking parlor from the pneumatic-electromagnetic pulsator combined with collector it is possible to increase the average daily milk yield due to the completeness of milking by 8.7%, and the total annual economic effect on all livestock - 470293UAH.

The results of the research were transferred to “METALWORKSHORE” LLC of Lviv region for the development of technological documentation for the production pneumatic-electromagnetic pulsator combined with collector and pulse generator based on pneumatic-electromagnetic pulsator combined with collector introduced in

the educational process for undergraduate students with a Bachelor's degree in 133 - Mechanical Engineering.

Keywords: milking machine, pressure, oscillations, pulse generator, electromagnet, vibration, voltage, speed, pulsator, planned experiment, power, model, efficiency.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА, В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

статті у науково періодичних виданнях інших держав

1. Dmytriv V.T., Dmytriv I.V., Yatsunskyi P.P. Experimental pulse generator combined with the milking machine collector / Експериментальний генератор імпульсів суміщений із колектором доїльного апарату. DOI: 10.35633/INMATEH-59-24. INMATEH - Agricultural Engineering. National institute of research-development for machines and installations designed to agriculture and food industry - INMA Bucharest, vol. 59, 2019. no.3/ P. 219-226. eISSN: 2068-2239. Elsevier SCOPUS, Web of science.

2. Dmytriv V.T., Dmytriv I.V., Horodetskyu I.M., Yatsunskyi P.P. Adaptive cyber-physical system of the milk production process / Адаптивна кібер-фізична система процесу виробництва молока. DOI: <https://doi.org/10.35633/inmateh-61-22>. INMATEH - Agricultural Engineering. National institute of research-development for machines and installations designed to agriculture and food industry - INMA Bucharest, vol. 61, 2020. no.2/ P. 199-208. eISSN: 2068-2239. Elsevier SCOPUS, Web of science.

3. Yatsunskyi P.P. THE RESULTS OF RESEARCH PNEUMATIC ELECTROMAGNETIC PULSATOR COMBINED WITH COLLECTOR. Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania ISSN 2029-2341 / eISSN 2029-22522022 2022 - Volume 14,

<https://doi.org/10.3846/mla.2022.15162>

статті у фахових виданнях України

1. Дмитрів В.Т., Дмитрів І.В., Яцунський П.П., Дослідження пневмоелектромагнітного пульсоколектора доїльного апарата методом планованого експерименту. Інженерія природокористування [Науковий журнал]. Харків, 2019. №2 (12). С. 66-72.
2. Petro Yatsunskyi "The pressure oscillation in the inter-wall chamber of the treat cup". Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science., 2021, Вип.7. №3-4. С. 11-19.

Опубліковані праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

1. Яцунський П.П. Методика експериментальних досліджень доїльного апарата з адаптацією режимів роботи до молоковіддачі. Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців «Перші наукові кроки 2017», Кам'янець-Подільський, 2017. С.174.
2. Дмитрів В.Т., Яцунський П.П. Пневмоелектромагнітний пульсоколектор, як елемент системи автоматики. IV міжнародна наукова конференція «вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах», Вінниця, 2017. С. 193-194.
3. Яцунський П.П. Конструкційний аналіз пульсоколекторів. VI науково-технічна конференція «технічний прогрес у тваринництві та агропромисловості», Глеваха, 2017. С. 70-72.
4. Дмитрів В.Т., Яцунський П.П. Автоматизована система вимірювання параметрів тиску та керування Пневмоелектромагнітним пульсоколектором. V Всеукраїнська науково-практична конференція "Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин та знарядь", Київ, 2019. С. 180-182.
5. Дмитрів В.Т., Яцунський П.П. Генератор імпульсів для доїльної установки / pulse generator for milking installation. 14-й міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків. Львів, 2019. С. 152-154.

6. Dmytriv V.T., Dmytriv I.V., Horodetskyu I.M., Yatsunskyi P.P. Adaptive cyber-physical system of the milk production process / Адаптивна кібер-фізична система процесу виробництва молока. ISB-INMA TEN 2019, 31.10–11.11.2019/ Agricultural and mechanical engineering. Bucharest, 2019. С. 154-163.

7. Яцунський П.П. Стенд для експериментальних досліджень генераторів імпульсів доїльних апаратів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Експлуатаційна та сервісна інженерія": присвячена 90-річчю ХНТУСГ та 120 річниці з дня народження академіка П. М. Василенка. (м.Харків,15-16 жовтня 2020 р. Харків, 2020. С. 46-47. <http://dSPACE.khntusg.com.ua/handle/123456789/14893>

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

1. Дмитрів В.Т., Ванько В.М., Лаврик Ю.М. Банга В.І., Гонсьор О.Й. Городняк Р.В., Ткачишин Р.С., Дмитрів І.В., Красниця Б.С., Дробот І.М. (2017). Розроблення адаптивної кіберфізичної системи процесу виробництва молока (0116U004616). Звіт НДР. ЛНАУ. Львів, 2017. С.179. (інв. № 0718U000729) статті у науково періодичних виданнях інших держав

ЗМІСТ

ВСТУП	16
РОЗДІЛ І АНАЛІЗ СУЧАСНОГО РОЗВИТКУ ПУЛЬСАТОРІВ ДОЇЛЬНИХ АПАРАТІВ.....	22
1.1 Вплив технологічних параметрів на ефективність машинного доїння та молоковіддачу корови.....	22
1.2 Аналіз конструкцій пневмоелектромагнітних пульсаторів та суміщених пульсоколекторів.....	26
1.2.1 Пульсоколектори.....	26
1.2.2 Пневмоелектромагнітні пульсатори.....	30
1.3 Аналіз та класифікація колекторів.....	35
1.4 Аналіз теоретичних досліджень.....	40
1.5 Висновки до першого розділу.....	49
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПНЕВМОЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПУЛЬСОКОЛЕКТОРА ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА.....	51
2.1 Функціонально - структурна модель пульсоколектора пневмоелектромагнітного типу.....	51
2.2 Аналітична модель роботи генератора імпульсів пневмоелектромагнітного пульсоколектора в статиці.....	54
2.3 Результати моделювання роботи пневмоелектромагнітного пульсоколектора в статиці.....	58
2.4 Модель потоку повітря в каналі системи «якір-клапан-корпус пульсоколектора»	60
2.5 Аналіз сил, що діють на якір-клапан пневмоелектромагнітного пульсоколектора	66
2.6 Теоретичні дослідження часу якоря-клапана пневмоелектромагнітного пульсоколектора.....	71
2.7 Висновки до другого розділу.....	77

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПНЕВМОЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПУЛЬСОКОЛЕКТОРА ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА.....	79
3.1 Програма експериментальних досліджень.....	79
3.2 Розроблений пневмоелектромагнітний пульсоколектор та лабораторний стенд для експериментальних досліджень	79
3.3 Методика експериментальних досліджень потужності пневмоелектромагнітного пульсоколектора.....	85
3.4 Методика експериментальних досліджень інтенсивності молоковіддачі.....	90
3.5 Методика експериментальних досліджень вакуумметричного тиску доїльного стакану.....	94
3.5.1 Методика експериментальних досліджень вакуумметричного тиску в міжстінковій камері доїльного стакану.....	94
3.5.2 Методика експериментальних досліджень вакууму в піддійковій камері доїльного стакану.....	97
3.6 Висновки до третього розділу.....	99
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПНЕВМОЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПУЛЬСОКОЛЕКТОРА ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА	100
4.1 Результати експериментальних досліджень споживаної потужності пневмоелектромагнітного пульсоколектора	100
4.2 Результати експериментальних досліджень інтенсивності молоковіддачі.....	104
4.3 Результати експериментальних досліджень вакууму в міжстінковій та піддійковій камері доїльного стакану.....	107
4.3.1 Результати експериментальних досліджень вакуумметричного тиску в міжстінковій камері доїльного стакану.....	107
4.3.2 Результати проведення експериментальних досліджень вакуумметричного тиску в піддійковій камері доїльного стакану.....	112

4.4	Висновки до четвертого розділу.....	117	
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ			
ПНЕВМОЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПУЛЬСОКОЛЕКТОРОМ			119
5.1	Мета і завдання виробничої перевірки пневмоелектромагнітного пульсоколєктора	119	
5.2	Методика виробничої перевірки.....	119	
5.2.1	Результати перевірки.....	120	
5.3	Економічна ефективність використання доїльного апарата з пневмоелектромагнітним пульсоколєктором.....	123	
5.4	Висновки до п'ятого розділу.....	128	
ВИСНОВКИ		130	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		133	
ДОДАТКИ.....		148	
ДОДАТОК А.....		149	
ДОДАТОК Б.....		153	
ДОДАТОК В.....		154	
ДОДАТОК Г.....		156	
ДОДАТОК Д.....		158	
ДОДАТОК Е.....		160	
ДОДАТОК Є.....		162	
ДОДАТОК Ж.....		163	
ДОДАТОК З.....		164	
ДОДАТОК И.....		165	

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогоднішній час автоматизована доїльна техніка і доїльні технології широко розвинулись, від простих доїльних апаратів до повністю автоматизованих систем. Країни, в яких виробництво молока лежить на високому рівні, останні два десятиліття особливу увагу приділяють автоматизації доїння. За цей час продуктивність тварин в цих країнах збільшилась в декілька разів.

Автоматизація проводиться всіх технологічних процесів і окремих операцій які між собою взаємопов'язані. Це в свою чергу підготовка вимені до доїння, стимуляція молоковіддачі, сам процес доїння, додоювання, потоку молока з подальшим збором, облік молока, миття доїльного обладнання та ін. Здійснення кожного з цих процесів чи операції виконується певною частиною доїльної установки.

Пульсоколектор є основною складовою доїльного апарата, що ставить до його роботи ще більші вимоги. Для пульсаторів, в тому числі і пульсоколеторів, ставляться достатньо високі технологічні й конструктивні вимоги: стабільність частоти пульсації, співвідношення між тактами та надійності роботи, плавний та безболісний для тварини перехід між режимами технологічного процесу в реальному часі.

Тому, модернізація конструкцій є актуальним питанням сьогодення. За рахунок вищевказаного, дана дисертаційна робота присвячена підвищенню ефективності машинного доїння корів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась відповідно до проекту прикладного дослідження “Розроблення адаптивної кібер-фізичної системи процесу виробництва молока”, який фінансувався з держбюджету Міністерства освіти і науки України (№ д.р. 0116U004616, 2016-2017 р.р.).

Мета і завдання дослідження – підвищення ефективності машинного доїння корів шляхом розроблення і обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів пневмоелектромагнітного пульсоколектора доїльного апарата.

Для досягнення поставленої мети висунуто *наукову гіпотезу*, згідно з якої підвищення ефективності машинного доїння корів може бути досягнуто шляхом обґрунтування розроблення і обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів пневмоелектромагнітного пульсоколектора доїльного апарата. Процес перевірки даної гіпотези передбачає вирішення наступних завдань:

- проаналізувати існуючі конструкції пульсаторів й пульсоколекторів доїльного апарату і елементи математичних залежностей їх функціонування та розробити структурну схему функціонування пневмоелектромагнітного пульсоколектора;

- теоретично встановити залежність швидкості потоку повітря в системі “якір-клапан – корпус пульсоколектора”, що характеризує складову динамічного зусилля на переміщення якоря-клапана;

- теоретично дослідити часові характеристики переміщення якоря-клапана в залежності від конструкційно-технологічних параметрів та обґрунтувати потужність електромагніту пневмоелектромагнітного пульсоколектора;

- розробити програму й методику експериментальних досліджень та експериментально дослідити потужність споживання пневмоелектромагнітним пульсоколектором, інтенсивність молоковіддачі та вакуумметричний тиск в міжстінковій і піддійковій камерах доїльного стакана від технологічних параметрів функціонування доїльного апарата;

- провести виробничу перевірку пневмоелектромагнітного пульсоколектора і дати техніко-економічну оцінку результатів досліджень.

Об’єктом досліджень є технологічний процес доїльного апарата з пневмоелектромагнітним пульсоколектором.

Предметом дослідження є закономірності взаємодії технологічних параметрів роботи пневмоелектромагнітного пульсоколектора в залежності від

його основних конструкційних і технологічних параметрів, що уможлиблює обґрунтування режимів роботи і впливають на ефективність процесу машинного доїння.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження проводили з використанням основних законів газової динаміки і пневматики та методів класичної механіки, інтегрального і диференціального числення. Експериментальні дослідження виконані в лабораторних умовах з використанням тензометричного комплексу з цифровим комп'ютерним осцилографом та методів планування багатофакторних експериментів. Статистичне опрацювання експериментальних даних проводили із використанням відповідних програмних продуктів (Microsoft Excel, Statistica).

Дослідження виконували в лабораторії кафедри механізації та автоматизації тваринництва якості та стандартизації Львівського національного аграрного університету з дотриманням державних і галузевих стандартів.

Наукова новизна одержаних результатів:

Уперше:

отримано:

- аналітичні залежності швидкості потоку повітря в міжстінному просторі “якір-клапан, внутрішня поверхня корпусу пульсоколектора” та дотичних напружень, які встановлюють взаємозв'язок між характеристикою середовища, вакуумметричним тиском і конструкційними параметрами якоря-клапана, що уможлиблює моделювання кінематичних характеристик руху повітря й динамічного зусилля на якір-клапан;

- аналітичну залежність часової характеристики переміщення якоря-клапана за його динамічного навантаження, яка встановлює взаємозв'язок між конструкційними параметрами якоря-клапана, дотичними напруженнями, швидкістю потоку повітря, вакуумметричним тиском, характеристикою середовища, ампер-витками електромагніту, що уможлиблює моделювання часової характеристики переміщення якоря-клапана та обґрунтувати потужність електромагніту пневмоелектромагнітного пульсоколектора.

Набуло подальшого розвитку:

- кореляційна залежність потужності споживання пневмоелектромагнітного пульсоколектора, яка встановлює взаємозв'язок між частотою пульсації і співвідношенням між тактами, що підтверджує роботоздатність пневмоелектромагнітного пульсоколектора та адекватність теоретичних положень;

- кореляційна залежність інтенсивності молоковіддачі яка встановлює взаємозв'язок між вакуумметричним тиском в піддійковій камері доїльного стакана, частотою пульсації і співвідношенням між тактами, що підтверджує роботоздатність пневмоелектромагнітного пульсоколектора та уможливорює обґрунтувати раціональні параметри процесу машинного доїння;

- кореляційні залежності вакуумметричного тиску в піддійковій і міжстінковій камерах доїльного стакана, які встановлюють взаємозв'язок між інтенсивністю молоковіддачі, частотою пульсації і співвідношенням між тактами та уможливорює обґрунтувати раціональні режимні параметри роботи пневмоелектромагнітного пульсоколектора.

Удосконалено методику дослідження часових характеристик режимів роботи пульсоколектатора на основі диференціального вивчення перехідних процесів шляхом високочастотного сканування зміни вакуумметричного тиску.

Практичне значення одержаних результатів:

- з використанням раціональних конструкційно-технологічних параметрів розроблено пневмоелектромагнітний пульсоколектор доїльного апарата, який забезпечує підвищення ефективності машинного доїння, стимулюючи видоювання відповідно до фізіології молоковіддачі корови, розроблена конструкція пневмоелектромагнітного пульсоколектора може бути використана як елементна база для автоматизованих доїльних систем;

- результати дослідження передані ТЗОВ „МЕТАЛВОРКШОР” Львівської області для розроблення технологічної документації на виготовлення дослідної партії пневмоелектромагнітного пульсоколектора;

- генератор імпульсів на основі пневмоелектромагнітного пульсоколектора впроваджено в курс дисципліни «Розрахунок та проектування машин» для студентів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування національного університету «Львівська політехніка».

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та експериментальні дослідження за темою дисертаційної роботи виконані автором самостійно.

Постановка задач, аналіз і трактування результатів виконані спільно з науковим керівником і частково зі співавторами публікацій.

Особистий внесок наступний: [85] - укомплектовано стенд для експериментальних досліджень генераторів імпульсів доїльних апаратів; [94] – проаналізовано ключові аспекти автоматизованої системи вимірювання параметрів тиску та керування пневмоелектромагнітним пульсоколектором; [93] – апробація результатів досліджень вакуумметричного тиску в піддійковій камері доїльних стаканів методом планованого експерименту; [31] – аналіз пульсоколекторів доїльних апаратів; [29] – розроблено методику експериментальних досліджень доїльного апарата з адаптацією режимів роботи; [90] - проаналізовано фактори, які впливають на інтенсивність молоковіддачі і споживану потужність та розроблено моделі інтерпретації регресійних залежностей за експериментальними даними; [56, 91, 97] - обґрунтовано розмір пам'яті оперативної інформації про параметри процесу, їх структуру та функціональний зміст та наведено функціональний зміст та структуру інформації про технологічний процес бази даних даними генератора імпульсів із суміщеним колектором доїльного апарата; [92] - описано процес дослідження пневмоелектромагнітного пульсоколектора, проведено планований експеримент на базі повного факторного експерименту та змодельовано рівняння регресійної залежності критерія відгуку від факторів.

У наукових публікаціях за темою дисертації, що написані у співавторстві, особистий внесок здобувача становить від 50 до 70 %.

Апробація результаів досліджень. Основні результати досліджень доповідались та отримали позитивну оцінку на: Всеукраїнській науково-

практичній конференції студентів та молодих науковців «Перші наукові кроки 2017», Кам'янець-Подільський, 2017 р; Четвертій міжнародній науковій конференції «вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (вкдтс-2017)» - 2017; VI науково-технічній конференції «технічний прогрес у тваринництві та агровиробництві» - грудень 2017 р; V Всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин та знарядь» 2019 р; 14-ому міжнародному симпозіумі українських інженерів-механіків у Львові: КІНПАТРИ ЛТД, 2019; Міжнародній науково-практичній конференції "Експлуатаційна та сервісна інженерія": присвячена 90-річчю ХНТУСГ та 120 річниці з дня народження академіка П. М. Василенка, 15-16 жовтня 2020 р. Харків: ХНТУСГ, 2020; Міжнародній науково-практичній конференції «Технічний прогрес в АПВ» 21 – 22 березня 2019 року; Серія конференцій для молодих науковців Литви «Наука – майбутнє Литви» будівництво, конструкції та прикладна механіка, 26.03.2021; національна ХХІХ конференція литовської асоціації обчислювальної механіки, ВГТУ, квітень 2021; Міжнародна конференція - Сільське господарство та машинобудування. – Бухарест, 31.10–11.11.2019.

Публікації. Основні аспекти дисертації та результати наукових досліджень опубліковано у 12 наукових працях, у тому числі: 3 статті у науково періодичних виданнях інших держав, 2 статті у науковому фаховому виданні України; 7 матеріалів тез у збірниках доповідей міжнародних науково-практичних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел з 126 найменувань та 8 додатків. Дисертацію викладено на 166 сторінках комп'ютерного тексту (основна частина – 113 сторінки), містить 17 таблиць та 44 рисунків.

РОЗДІЛ І

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО РОЗВИТКУ ПУЛЬСАТОРІВ ДОЇЛЬНИХ АПАРАТІВ

1.1 Вплив технологічних параметрів на ефективність машинного доїння та молоковіддачу корови

Доїння корів є однією із складних і відповідальних операцій у загальному технологічному процесі виробництва молока [3]. Отримання молока, як кінцевого продукту за допомогою доїльної машини, воно проходить ще три етапи в організмі корови [4, 5]:

- молокоутворення (селекція молока);
- накопичення молока в молочних залозах;
- виведення молока з вимені корови.

На молокоутворення та накопичення молока безпосередньо доїльний апарат впливу не має. Виведення молока з молочної залози корови є складнорефлекторним актом, який відбувається за певних умов - ссанні або доїнні [1, 5]. Ссання - це природний спосіб отримання молока телям, що є найощадливішим та найпристосованішим до фізіологічних властивостей тварини. Цей спосіб був сформований внаслідок еволюції, і в ньому є свої недоліки – не повне виведення молока з вимені корови та його неможливе використання в промислових та інших цілях, а лише застосування при годівлі телят [1, 4]. Проте, всі розробники доїльного обладнання за основу для доїння беруть параметри даного способу, та ставиться задача максимально наблизити їх в сучасному доїльному апараті до фізіології тварини (корови).

На сьогодні найсучасніша доїльна машина, що забезпечує „чисте” машинне видоювання (ручне додоювання – не перевищує 100 г), не забезпечує виведення до 3 літрів альвеолярного молока з вимені корови [7, 8].

Конструкція доїльних установок, апаратів і технологія доїння повинні максимально забезпечувати стимулювання безумовного та умовного рефлексів

молоковиведення у корів. Тільки при такому функціонуванні фізіологічних процесів корова може свій генетичний потенціал реалізувати повноцінно [6, 10, 49].

Розроблення, удосконалення та створення кращих технічних засобів та технологій - це постійний процес, направлений на пошук технічних рішень, що сприяли б кращій взаємодії виконавчого механізму апарата і корови [9 - 11].

При порушенні технології машинного доїння втрати молока можуть сягати до 30 % [2].

Тому для одержання максимальної кількості молока, та відповідно забезпечення доїльної машини фізіологічним характеристикам молоковіддачі, необхідно в процесі доїння адаптувати ряд параметрів, як технологічних (вакууметричний тиск, частота пульсації, співвідношення тактів, тривалість перехідних процесів, організація виведення молока з чвертей вимені) так і конструкційних (доїльного стакану, дійкової гуми, маси підвісної частини та ін.) [11, 61, 69].

При проведенні експерименту для складових доїльного апарата, основну увагу звертають на криву інтенсивності молоковіддачі. Дана графічна характеристика поділяється на чотири фази: зростання; рівноваги; спаду; додоювання [69].

Коливання вакууму має негативний вплив, тому спираючись на ряд дослідників, які вважають, що робочий вакууметричний тиск не повинен перевищувати позначки 66,7 кПа [4, 7, 20, 104 - 105]. Для тритактних доїльних апаратів оптимальне значення вакууметричного тиску – 50,8 - 53,5 кПа, для двохтактних 48 - 50,8 кПа [21-23]. На сьогодні немає єдиної думки щодо цих значень. В загальному вакуум в системі може коливатись від 30 кПа до 80 кПа. Проте найпопулярніші доїльні апарати працюють в діапазоні вакууметричного тиску 46 - 50 кПа [1, 24-25, 106].

Більшість корів буде доїтися швидко, м'яко і видоюватись повністю при значенні вакууметричного тиску у доїльних стаканах в межах від 32 кПа до 42 кПа. Безьє та ін. зазначають, що вакуум на кінцях дійок не повинен

перевищувати 42 кПа, перевищення даної межі призводить до травматизму дійок тварини [107 - 108].

В більшості високий вакуум збільшить швидкість потоку молока, краще виведення молока з вимені корови, забезпечить краще додоювання в кінці процесу доїння [17, 79], але також може призвести до небажаних явищ, що спричиняє захворювання вимені [109 - 112].

Вакуум не повинен бути надто вищий, ніж 42 кПа, оскільки це може спричинити пошкодження тканин, головним чином під час періодів низького рівня молока [35].

Дослідження вчених Хаманн Дж., Мейн Г.А., Ветцель С. показують, що рівень вакууму має значний вплив на зміну товщини дійок корови [12, 105].

Також, результати досліджень вчених Дж.Безьє, та Р. М. Брукмаєр показують, що під час доїння, рівень вакууму в дійках і колекторі зменшується в залежності від інтенсивності молоковіддачі. За максимальної інтенсивності молоковіддачі корови рівень вакууму в дійках, колекторі і молокопроводі знижується до 33 - 34 кПа, при постійному вакуумі в системі 42 кПа [22, 38, 73, 113 - 115].

Дослідники Дмитрів В. Т. та Сиротюк В. М., розробили спосіб машинного доїння корів за якого вакуумметричний тиск, що забезпечує роботу доїльного апарата, становить 40-55 кПа, а частота основних пульсацій 0,8 - 1,2 Гц [16, 38-39, 46, 116].

Дані результатів досліджень Брендсмен С. [13] показують, що і сам дизайн доїльних стаканів більшою мірою впливає на характеристики доїння, ніж характеристики пульсації або рівень вакууму, а його конструкція більшою мірою має вплив на зміну тканин дійки ніж інші параметри доїльного апарата.

Для забезпечення необхідного режиму виведення молока необхідно забезпечити частоту пульсації змінного вакуумметричного тиску. Частота пульсації для різних апаратів не є величина постійна і пропонується в межах від 0,55 до 1,33 Гц [39, 16, 117 - 118].

В загальному результаті досліджень, що стосуються характеристик доїльних апаратів, стверджують, що для більшості доїльних апаратів може пропонуватись частота пульсації 0,9 – 1,1 Гц. Ці дані залишилися показниками характеристик і сучасних доїльних апаратів [22, 48-50]. Ряд джерел вказують на те, що частота пульсації у доїльних апаратах повинна коливатись в межах 0,75 - 3 Гц, з них найпоширенішими застосовується 0,83-1,17 Гц [4, 36, 37].

Також дослідниками встановлено, за збільшення частоти пульсації можна максимально скоротити абсолютну тривалість такту ссання і для виведення молока з вим'я ефективно використати перехідні процеси виконавчого механізму від ссання до стиснення і від стиснення до ссання [29, 51, 52].

Збільшення частоти пульсації виконують при надіванні доїльних стаканів на дійки корови, що сприяє кращому фіксуванню їх на недорозвинених дійках. Однак збільшення частоти пульсації призводить до зростання втрат енергії.

Дослідників та науковців зарубіжних країн не об'єднує одна думка щодо правильного вибору частоти пульсації. Провівши досліді Фріц В. зробив висновок, що збільшення частоти пульсації призводить до незначного зростання швидкості доїння [20], до такого результату дійшов Крейг Т. В. [14].

Висновками Крейг Т. В. із співавторами [14] і О'Каллаган Е. Д. [15], зробили висновок, що доїльні машини, які мають широке співвідношення тактів пульсації уможливило швидке доїння, ніж ті, що мають вузьке співвідношення частоти пульсації. Зміни в тканинах дійки та характеристик доїння, що спостерігаються для колекторів та моделей пульсації в системі доїння низького рівня вакууму, були подібними до тих, що спостерігалися для цих компонентів в системі доїння середнього рівня. Усі процедури пульсації при застосуванні технологій доїння змінювалися у межах $\pm 5\%$, як це було запропоновано Хаманом і Меїном [12] як показник ефективності пульсації.

Аналіз досліджень показує, що збільшення співвідношення тактів від 1:1 до 4:1 – збільшує швидкість доїння на 40 – 50 % [40].

Коефіцієнт пульсації доїльної машини впливає на час перебігу молока та час доїння, а також, як вказується, впливає на стан ссання та кількість соматичних клітин молочної залози [18].

Раніше дослідники виявили, що перехідний час 120 с позитивно впливає на корову при доїнні і відповідає фізіологічним характеристикам процесу доїння корів [26].

Ряд науковців сходиться до одної думки, що корів необхідно доїти з однаковою частотою пульсацій впродовж всього процесу доїння, а якщо недотримуватись цієї умови наступить зменшення надоїв молока [41-45].

1.2 Аналіз конструкцій пневмоелектромагнітних пульсаторів та суміщених пульсоколекторів

Розглядаючи доїльний апарат як пристрій, його можна розділити на три основних частини [32]:

- пульсатор,
- колектор,
- доїльні стакани.

Основним з цих механізмів, що визначає характер роботи дійкової гуми, є пульсатор. Він відповідає за формування режимів машинного доїння: співвідношення тактів, частота пульсацій, характер динаміки змикання і розмикання дійкової гуми [30].

1.2.1 Пульсоколектори

Особливістю пульсоколектора ДА-Ф-50 (рис. 1.1, а) є суміщення пульсатора і колектора [33, 55], який забезпечує, під час такту ссання, однаковий вакууметричний тиск у піддійкових і міжстінкових камерах доїльних стаканів незалежно від інтенсивності молоковіддачі. Даний пульсоколектор містить комбінований корпус з вхідними молочними і повітряними патрубками,

тарілчастий стержень, розподільник камер, кришку, молокозбірну камеру, клапан в зборі.

Американською фірмою «BOB-White systems» був розроблений пульсоколектор (рис. 1.1, б) NuPuls [34], який повністю виготовлений з пластику, колектор теж повністю суміщений з вакуумним пульсатором. Частота пульсації регулюється індивідуально до кожної корови, зменшуючи навантаження на дійки і запобігає падіння підвісної частини доїльного апарата. Завдяки сконструйованій більшій чаші та більш крутому куту патрубку виводу, швидкість збору молока та виведення його в лінію молокопроводу збільшилась. Це допомагає підтримувати стабільний вакууметричний тиск, який має вирішальне значення для інтенсивності молоковіддачі.

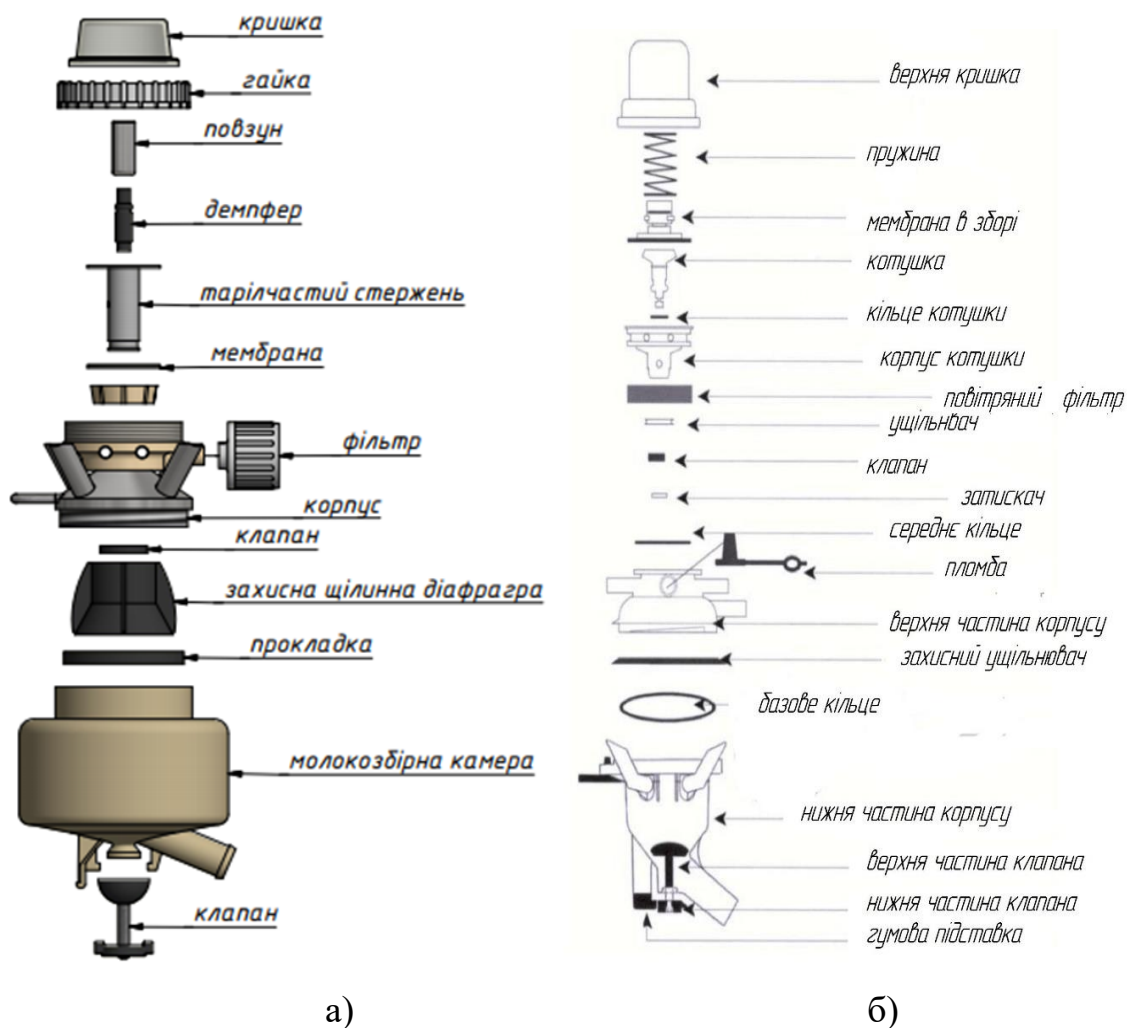


Рис.1.1 [31] – Пульсоколектори доїльного апарата:
а) - ДА-Ф-50; б) - NuPuls фірми BOB-White systems

Пульсоколектор (рис. 1.2) запатентований Ходаревим В.Я., та ін., складається з мембранного пульсатора, і відрізняється тим, що містить пристрій регулювання співвідношення тактів, виконаний у вигляді розміщеного в кришці осьового гвинта 8 з магнітом 9, а у верхній частині штока клапана 12 із сторони магніту 9 встановлено феромагнітну вставку 13. Канали від кільцевої камери атмосферного тиску з'єднані з лабіринтовим каналом 22, виконаним між корпусом 1 і зовнішньою торцевою поверхнею молокозбірної камери 3 [47].

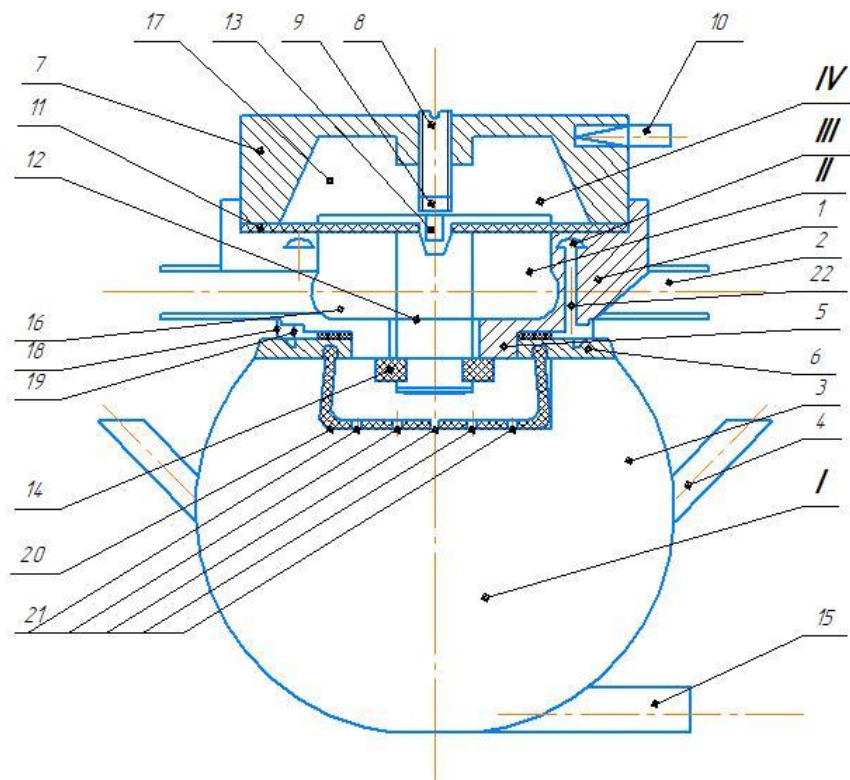


Рис. 1.2 – Пульсоколектор ПВД-2-3:

- 1-корпус; 2- патрубки з'єднання з міжстінковими стаканами;
- 3- молокозбірник; 4- патрубки; 5- нижня частина; 6- верхня основа;
- 7- кришка; 8 - осьовий гвинт; 9- магніт; 10- регулювальний гинт;
- 11 - мембрана; 12- шток; 13- феромагнітна вставка; 14- клапан;
- 15- відвідний патрубков; 16- робоча камера змінного вакууму;
- 17- управляюча камера; 18 і 19- кільцевий виступ; 20 - гумовий клапан;
- 21- щілини для проходу повітря в молоко збірну камеру;
- 22- лабіринтовий канал

Робота пульсоколектора ПВД-2-3

Такти	Камери					
	стакана		пульсоколектора			
	піддійкова	міжстінна	I	II	III	IV
Смоктяння	0	0	0	0	+	+
Стиску	0	+	0	+	+	0
Відпочинку	+	+	0	+	+	0

0 – вакуум в камері; + - повітря з атмосферним тиском; I - камера постійного вакууму; II і IV – камери змінного тиску; III – камера постійного атмосферного тиску

Основною частиною пульсоколектора (рис. 1.3) конструкції Вінтерле Г.Р. є молокопастка з поплавками для кожної частини вімя корови [76]. Даний пристрій забезпечує зміну вакуумного режиму під кожною дійкою тварини в залежності від інтенсивності потоку молока.

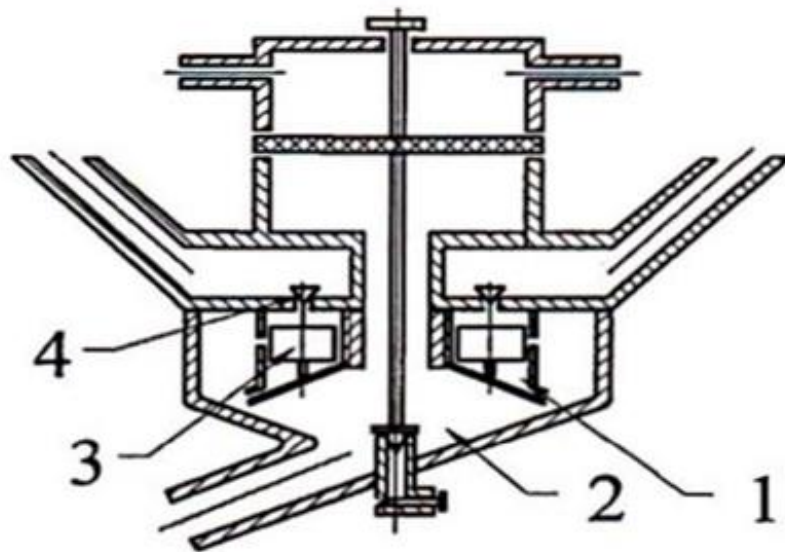


Рис. 1.3 – Пульсоколектор:

1 - молокопастка; 2 – молокозбірна камера; 3 – поплавки; 4 – клапан

Працює даний пульсоколектор наступним чином. Вакуум надходить в молочну камеру 2, заповнює молокопастку 1, і далі через калібрований отвір, який регулюється клапаном проходить в піддійкову камеру доїльного стакана. За рахунок цього встановиться понижений вакуум, що забезпечить позитивну дію на дійки вимені тварини. Коли починається процес доїння, за достатньої величини молоковіддачі, поплавок 3 спливає в молокопастці 1, за рахунок чого відкривається канал 4. Наступним кроком відсмоктується повітря з підсоскової камери доїльного стакана поки там не встановиться номінальний значення вакууму. За зниження інтенсивності молоковіддачі поплавок 3 спускається і виконується зворотнє перемикання.

Але слід відмітити, що багато науковців звертають увагу не тільки на можливість зміни регулювання вакууму в піддійковій камері доїльних стаканів, але й можливість конструювати та регулювати вакуум в міжстінковій камері доїльних стаканів F:

$$F = \frac{t_{cc} - (t_1 + t_2 + \dots + t_n)}{t_{cc}} \cdot 100\%, \quad (1.1)$$

де $t_1 + t_2 + \dots + t_n$ - періоди часу, при яких відбувалося збільшення до

критичної зони, с;

t_{cc} – зашальне час такту «ссання», с.

1.2.2 Пневмоелетромагнітні пульсатори

Пульсатор [27] (рис. 1.4) має лінійно-рухомий привід, що дозволяє вказати перехідний час від смоктання до стиснення в доїльній чашці. що містить корпус з патрубками постійного і змінного вакууму, атмосферний канал з фільтром, клапанний механізм, з'єднаний з лінійним електродвигуном. Який відрізняється тим, що в камері змінного вакууму на кінці вала лінійного електродвигуна жорстко закріплений конусний клапан, а на ковзної посадці розташований нижній клапан в формі диска, який перекриває камеру постійного

вакууму при нижньому положенні якоря лінійного електродвигуна і відкриває камеру постійного вакууму при верхньому положенні якоря.

Проте розроблений пульсатор характеризується наявністю верхнього та нижнього клапанів, які при роботі лінійного електроприводу відкривають і закривають атмосферні та вакуумні канали, що призводить до м'якого огинання дійок тварини дійковою гумою, за винятком зворотного молочного потоку при зміні циклу смоктання шляхом удару стиснення та пошкодження дійок вимені корів [26, 28, 53].

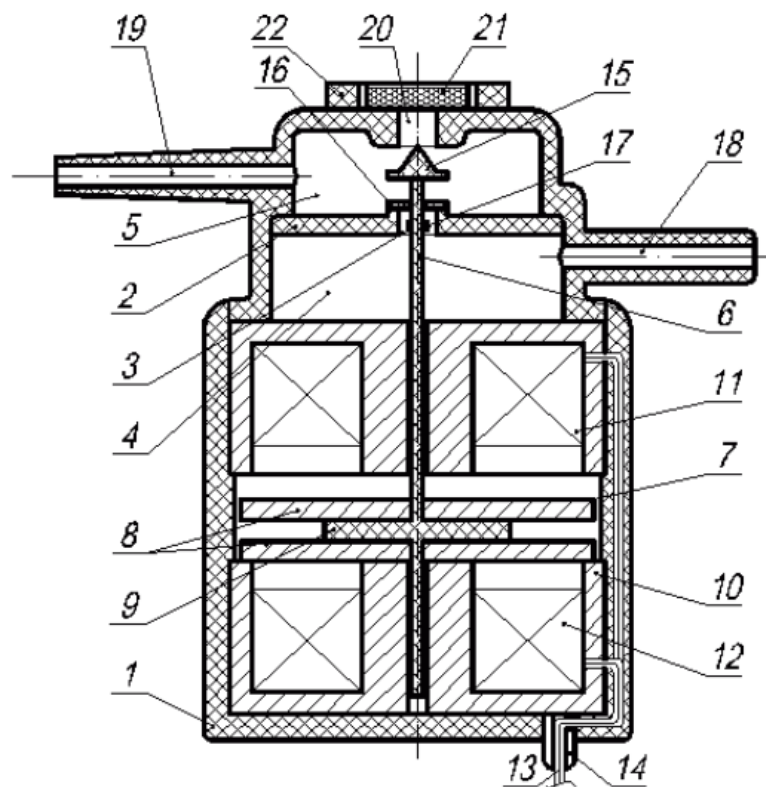


Рис. 1.4 - Конструкційна схема та загальний вигляд електричного пульсатора доїльного апарата подвійної дії[28, 53].:

- 1 - корпус; 2 – перегородка; 3-отвір з'єднаний з постійним вакуумом; 4 – камера постійного вакууму; 5 – камера змінного вакууму; 6 - стержень; 7 - якір;
 8 – магнітопровідні диски; 9 – немагнітна вставка; 10 – магнітопроводи;
 11, 12 – магнітні котушки; 13 – виводи котушок; 14 – сальник; 15 – кінцевий клапан; 16 – запорний клапан; 17 – обмежувач; 18 – патрубок постійного вакууму; 19 – патрубок змінного вакууму; 20 – атмосферний канал; 21 – фільтр;
 22 – фіксує кришка

Пульсатор з автономним управлінням для доїльного залу. За допомогою мікропроцесора виконується керуванням частотою пульсації та стимуляції. Також на ньому можливе окреме керування передніми та задніми дійками корови.

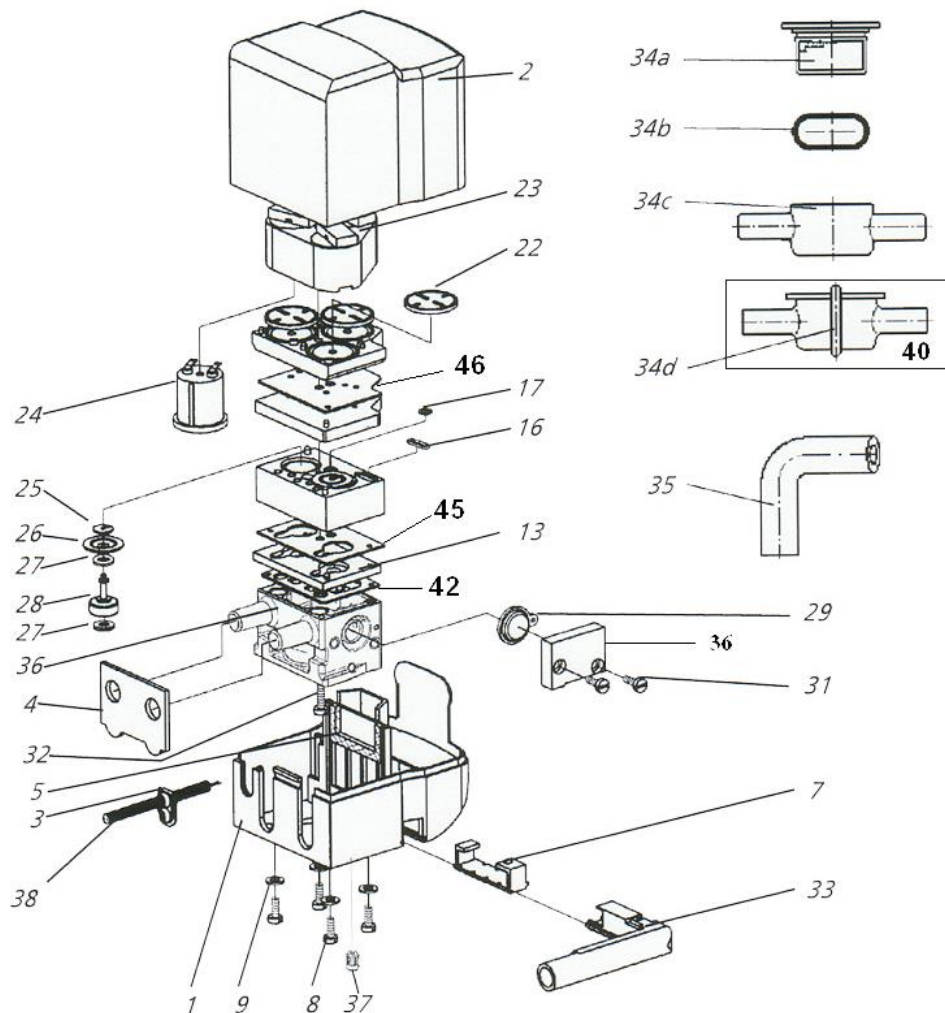


Рис. 1.5 – Електричний пульсатор Westfalia StimoPuls APEX M-P [54] :

1 – корпус; 2 – кришка; 3 – втулка; 4, 5 – ущільнювач; 6 – блок електронного управління; 7 – кришка; 8 – болт; 9 – шайба; 10 – пускач; 13 – пластина ущільнювача; 16, 17, 27 – ущільнююче кільце; 22 – мембрана; 23 – пластина; 24 – електромагніт клапана; 25 – шайба зажимна; 26 – мембрана; 28 – поршень; 29 – мембрана; 31 – болт; 32 – болт з циліндричною головкою; 33 – патрубок; 34a – фільтр; 34b, 34d – ущільнююче кільце; 34c – корпус; 35 – кут; 36 – корпус пульсатора; 37 – втулка різьбова

Особливий своєю будовою є електромагнітний пульсатор (рис. 1.6), запатентований Нікітенком Г. В. та Грінченком В. А. [72]. Він має наявний у своєму корпусі лінійний двигун зі збірним якорем, який в свою чергу складається з немагнітної прокладки і двох магнітних вставок. Розміщений між двома магнітопроводами П-подібної форми з намагнічувальними котушками та прикріплений завдяки штоку [72].

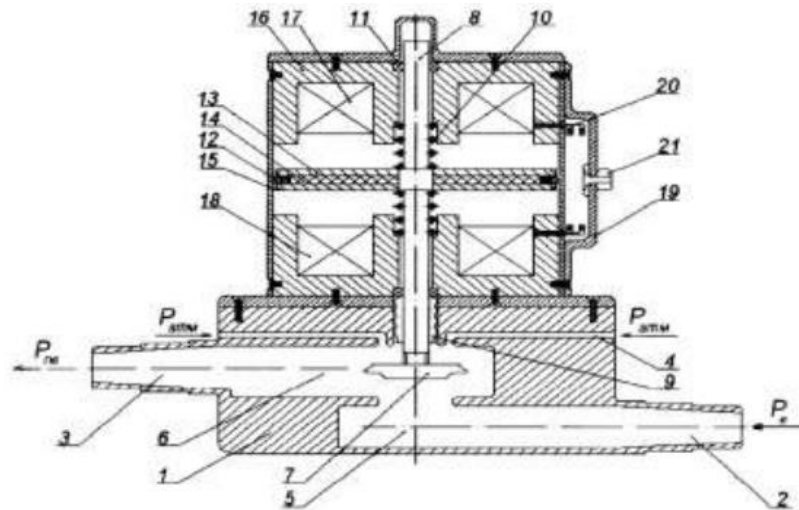


Рис. 1.6 – Електромагнітний пульсатор доїльного апарата

Лінійний двигун забезпечує двосторонній рух якоря і клапана, що перекриває по чергові отвори підведення атмосферного та вакуумметричного тисків. Це сприяє швидкому переводі пульсатора з одного стану в інший, забезпеченні більшої точності технічних характеристик самого доїльного апарату. Проте в ньому є ряд недоліків: присутність пар тертя; можливе збільшення енергоспоживання.

Завдяки розробці Дмитріва І.В. [4, 57], а саме енергоощадного пневмоелектромагнітного пульсатора попарної дії, що уможливорює адаптацію режимів роботи до фізіологічних властивостей тварини в процесі роботи. Даний пульсатор фіксується безпосередньо на доїльний стакан, чим забезпечується керування режимами роботи персонально для кожної з дійок.

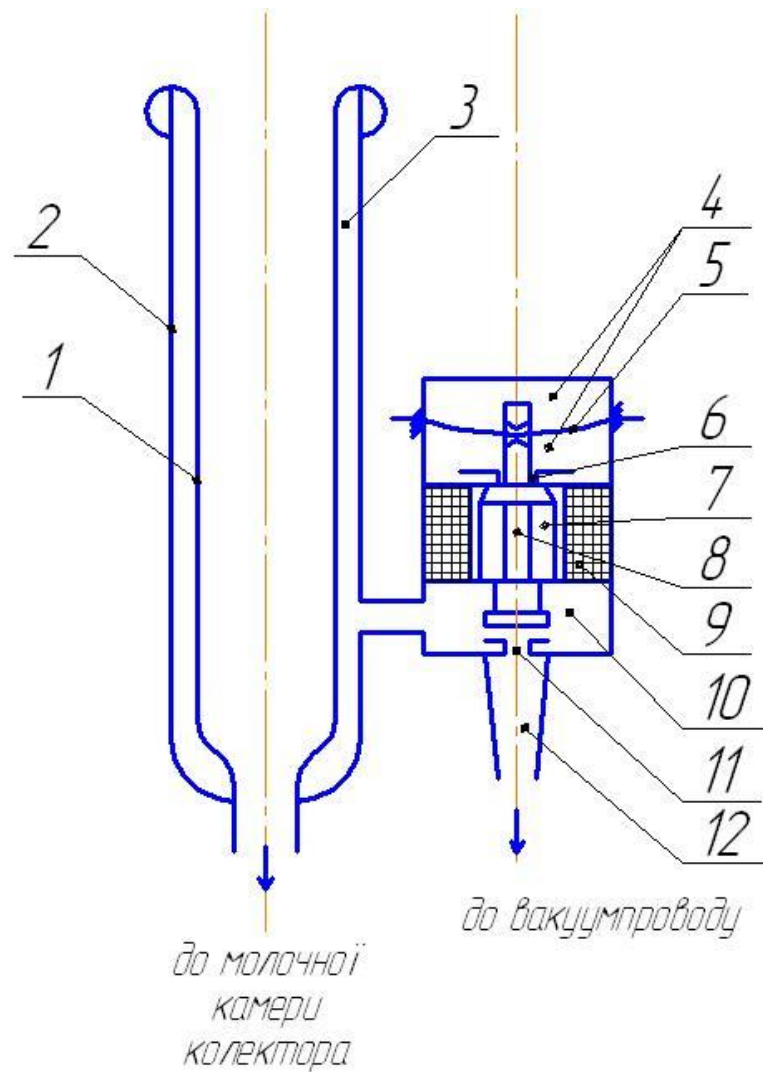


Рис. 1.7 – Схема системи „доїльний стакан - пульсатор”:

1 – дійкова гума; 2 – доїльний стакан; 3 – міжстінкова камера змінного вакуумметричного тиску доїльного стакана; 4 – камера атмосферного тиску; 5 – мембрана; 6 - отвір надходження повітря в камери змінного вакуумметричного тиску; 7 – якір-клапан; 8 – перепускний канал якір-клапана; 9 – електромагніт; 10 – камера змінного вакуумметричного тиску пульсатора; 11 – калібрований отвір відкачування повітря; 12 – камера постійного вакуумметричного тиску

Запропонована конструкція Дмитрієм В.Т. та ін. [58] електромагнітного пульсатора попарної дії, підвищує тривалість безвідмовності та довговічності

роботи. Даний пульсатор містить вісесиметричний корпус, в якому якір-клапани виконані у вигляді суцільного металевого стержня з прорізами вздовж.

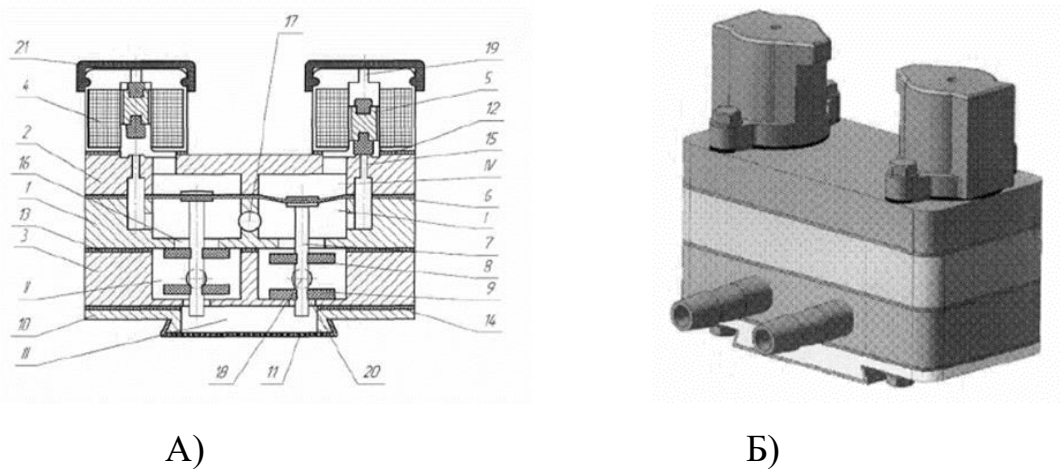


Рис. 1.8 [7, 75] – Попарний електромагнітний пульсатор:

I - камера постійного вакууму; II - робоча камера; III - камера атмосферного тиску; IV - керуюча камера; 1 - корпус; 2 - верхня кришка; 3 - нижня кришка; 4 - електромагніт; 5 - якір-клапан; 6 - мембрана; 7 - шток; 8 - верхній клапан; 9 – нижній клапан; 10 - фіксатор; 11, 21 - фільтрувальні елементи; 12, 13, 14 - прокладки; 15 – калібрувальний отвір; 16 - отвір між робочою камерою і камерою постійного вакууму; 17 - центральний отвір; 18 - вихідний штуцер; 19 - отвір в електромагніті, 20 - отвір для сполучення із атмосферним тиском

Всі камери пульсатора розміщені співвісно, а мембрана і прокладка поєднанні в один елемент, чим дослідники значно спростили конструкторську даного пульсатора та добилися полегшили його виготовлення та використання в процесі експлуатації.

1.3 Аналіз та класифікація колекторів

Однією з важливих складових доїльного апарата, що є колектор. Його об'єм, розміщення виводів на дійки корови, маса, матеріал з якого він

сиготовлений та ін. параметри колектора впливають в цілому на швидкість та якість доїння.

Колектор для доїльних установок «milking claw westfalia 300cc» важить всього 550 грам, що робить його одним з найлегших колекторів із нержавіючої сталі. Його місткість становить 300 міліграм, що суттєво створює конкуренцію на ринку при виборі колекторів. Також, до однієї з його переваг, можна віднести кут викиду молока. Кут в 22 градуси забезпечує видалення молока при максимальній інтенсивності молоковіддачі корови.

Особливої уваги заслуговує колектор фірми DeLaval моделі «Style



Standard Flo-View Claw» (рис. 1.9). Більш розширені виходи на соски вимені корови, розміщені на верхній основній частині 2, відповідають формі вимені корови. Збільшення об'єму колектора до 180 см³, конструктори зменшили цим шанси на коливання вакууму. Нижня основна частина 8 виготовлена із полімеру Grilamid TR55, відомого своєю прозорістю, довговічністю, стійкістю до гідролізу та нагрівання. До недоліків слід віднести високу вартість, невеликий об'єм і взаємозамінність та використання тільки з обладнанням фірми DeLaval.

Рис. 1.9 [2]- колектор фірми DeLaval модель «Style Standart Flo-View Claw»:

1-регулятор; 2-верхня частина; 3-сальник; 4-клапан; 5-нижня частина; 6-фіксатор клапана

Проте фірма DeLaval має в своїй колекції і колектори з більшою продуктивністю. Найпопулярніших з їхньої лінійки є колектор моделі «350CC Milk Claw Model Numbe HL-M04» DeLaval (таб.1.2). Колектори даної моделі

виготовляються в різних діапазонах об'єму: 160 мл, 300 мл, 350 мл і 400 мл. До недоліків відносяться габаритні розміри.

Нескладний за конструкцією є колектор фірми Delmer модель Milking Claw 240 сс. Об'єм молочної камери становить 240 мл. Виготовлений з високоякісного пластику. Досить мала маса. Низька ціна.

Особливої уваги заслуговує колектор запатентований відомою зарубіжною фірмою InterPuls - Lunik 200. Це інноваційна модель колектора, що ідеально підходить для різного типу доїльних систем. Центральна трубка виходу молока та вся внутрішня форма усуває та гальмує закручування, що в свою чергу сприяє плавнішому виведенню молока з колектора. Сам колектор Lunik 200 виготовлений з міцного, ударостійкого, легкого харчового термопластичного матеріалу. Дуже зручний у користуванні, легко очищати та мити, складається лише з двох частин. А особлива система запірних клапанів робить Lunik 200 унікальним колектором у своїй категорії.

На вітчизняному ринку один з найпопулярніших колекторів на сьогоднішній день є колектор "МАЙГА". Його об'єм сягає 140 см³. Він призначений для збирання молока з доїльних станків для подальшої передачі його. Колектор "МАЙГА" виготовляється з високоякісного міцного пластику. Складається він з розділювача, основи з тягарцем, клапана та кришки колектора. Він може використовуватися на всіх доїльних апаратах, окрім доїльних апаратів преміум класу. Проте в нього є ряд недоліків: клапан не фіксується, об'єм 140 мл не встигає відводити все молоко, пластиковий захист руйнується при падінні, незручний підвіс.

Значною відмінністю та хорошими показниками зарекомендував себе колектор «Kurtsan». Це повністю розбірний та практичний пластиковий колектор. Вирізняється на ринку своєю надійністю та популярністю на ринку. В його конструкцію входить демпфер-захист, що забезпечую високу ударостійкість. Великий об'єм колектора забезпечує швидкий вивід молока. Також, до переваг слід віднести зручний підвіс, який закріплений під кутом, що дає змогу легко одівати його та знімати.

Таблиця 1.2

Характеристика колекторів доїльних апаратів

№ п\п	Марка\ виробник	Зовнішній вигляд	Основні технічні характеристики	Прим.
1	3	4	5	6
1	Milking claw westfalia 300cc		Продуктивність - 300 мл Основа частина – нержавіюча сталь 304 вага – 550 грам	Виготовлений з високоякісного пластикового матеріалу, він міцний, зносостійкий та стійкість до корозії та може експлуатуватися тривалий час
2	DeLaval- Style Standard Flo-View Claw		Продуктивність – 180 мл	Чаша виготовлена з Grilamid TR55 – прозорого полімеру, хороша міцність, прозорість, тривалий термін служби, стійкість до нагрівання та стійкість до гідролізу
3	350CC Milk Claw. Model Numbe HL-M04 Delavel		Продуктивність - 350мл	

Продовження таблиці 1.2				
1	2	3	4	5
4	Delmer Milking Claw 240 cc for Milking Machines		Продуктивність – 240 мл	Сумісний з доїльними апаратами Delmer та іншими брендами.
5	InterPuls Lunik 200		Продуктивність – 200 мл	Особлива система запірних клапанів
6	Колектор "МАЙГА" 140 см ³		Продуктивність – 140 мл Диаметр – 75 мм	Використання на всіх доїльних апаратів, крім преміум класу
7	Kurtsan\ Турція		Продуктивність – 300 мл	Виготовляється в різних об'ємах: 180, 240, 300 та 450 см ³

Вчені Ревенко І.І. та ін. [74] запатентували колектор, в конструкції якого змінили кут нахилу патрубків для молочних трубок (рис. 1.10). Вони розміщені по дотичній до циліндричної поверхні камери 2 постійного вакуумметричного тиску і з'єднуються з нею за годинниковою стрілкою. Саме таке розміщення молочних патрубків забезпечує рух потоку молока по дотичній, що надходить з доїльних стаканів. Вчені запевняють, що саме така конструкція забезпечить

кращу пропускну здатність, швидке виведення молока та не буде гальмувати весь процес доїння.

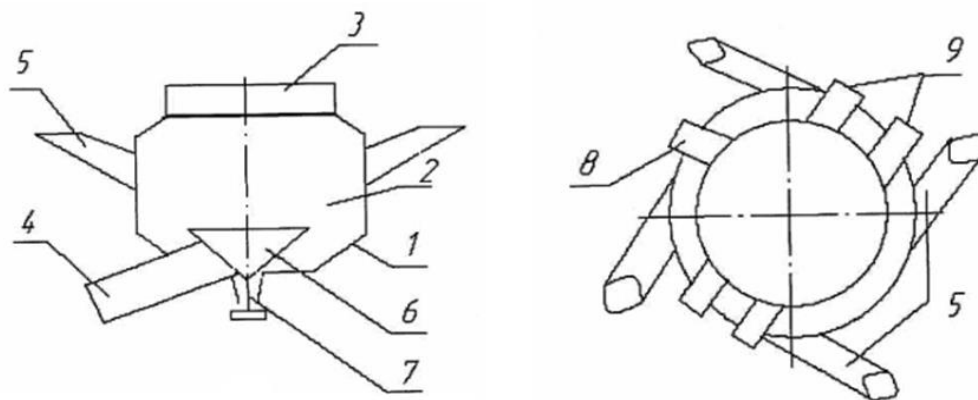


Рис. 1.10 – Колектор доїльного апарата:

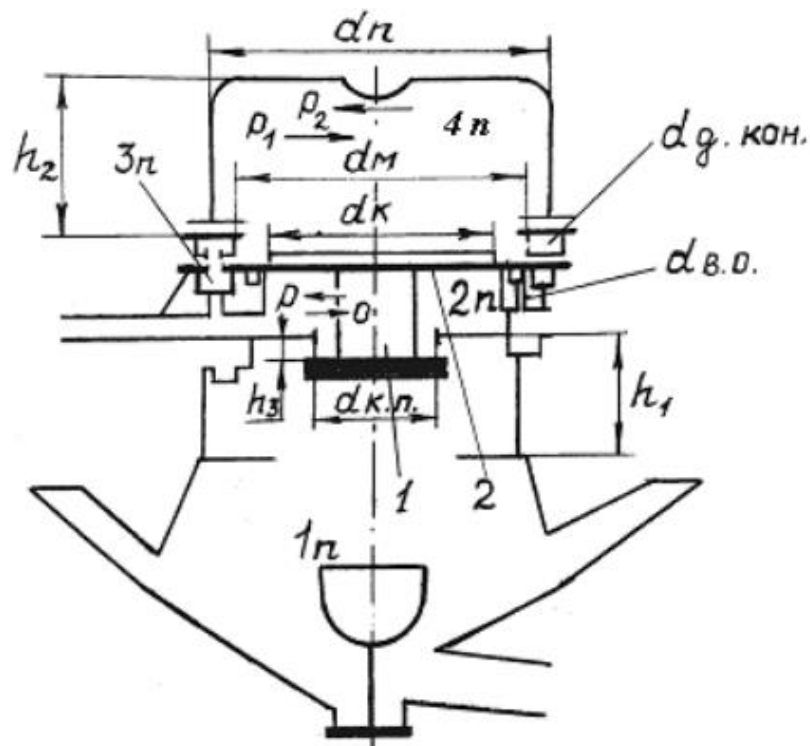
1 – корпус; 2 – камера постійного вакуумметричного тиску (молочна);
 3 – камера змінного вакуумметричного тиску (розподільна); 4 – патрубок для молочного шлангу; 5 – патрубки для встановлення дійок; 6 – клапан; 7 – отвір для підсмоктування повітря; 8 – патрубок для повітряних шлангів; 9 – патрубки для з'єднання з міжстінковим простором доїльних стаканів

1.4 Аналіз теоретичних досліджень

Дослідник Ходарев В.Я. встановив, що стабільність режиму роботи доїльного апарата при використанні даного пульсоколектора (рис. 1.11) не витримується і всі величини змінюються від функціональних властивостей вимені корів. Тому, для подальших теоретичних досліджень він врахував також фактор динамічного потоку повітря в каналах, діаметр, довжину дросельних каналів які з'єднують камери 2п, 3п, 4п і $d_{д.кон.}$ та інерцію рухливих частин клапанного механізму [70].

В даному пульсоколекторі забезпечення зміни частоти пульсації і співвідношення між тактами відбувається за рахунок співвідношення зміни величини вакууму в камері 1п і в керуючій камері 4п. Це уможливило також

адекватно змінити технологічні робочі параметри пульсоколектора від значень інтенсивності молоковіддачі [70].



Рисцнок 1.11 - Дія сил в Пульсоколекторі ПВД-2-3 [70]

Лаврик Ю.В. дослідив, що необхідна потужність для роботи пневмоелектромагнітного пульсатора попарної дії, залежить від діаметра каліброваного отвору (який з'єднує керуючу камеру з камерою постійного вакуумметричного тиску $d_{кв.}$) ампер-витків електромагніта IW , маси якоря-клапана $m_{як}$ і вакуумметричного тиску P_B . За вакуумметричному тиску 48 кПа та діаметрі каліброваного отвору не більше 0,3 - 0,5 мм потужність приводу змінюється в межах 2,9 - 3,1 Вт (рис. 1.12)[71].

Гордієвських М.Л. [77] в своїй докторській роботі досліджував підвищення ефективності машинного доїння корів шляхом модернізації технологічного процесу доїння і технічних засобів його реалізації. Ним було розроблено і теоретично обгрунтовано первинний кільцевий перетворювач сигналу, який уможливорює регулювання величини вакуумметричного тиску в піддійковій та міжстінковій камерах доїльного стакана. Даний датчик

уможливилює здійснювати дискретний контроль в інтервалі інтенсивності потоку молока 200-550 грам/хв з точністю до 10%. Запропоновано спосіб захисту дійок корови від впливу високого вакуумметричного тиску: зниження величини до 40...41 кПа в міжстінкових камерах доїльних стаканів – при інтенсивності молоковіддачі молока менше 200 - 220 г/хв і мікропульсації дійкової гуми 7...8 Гц [77].

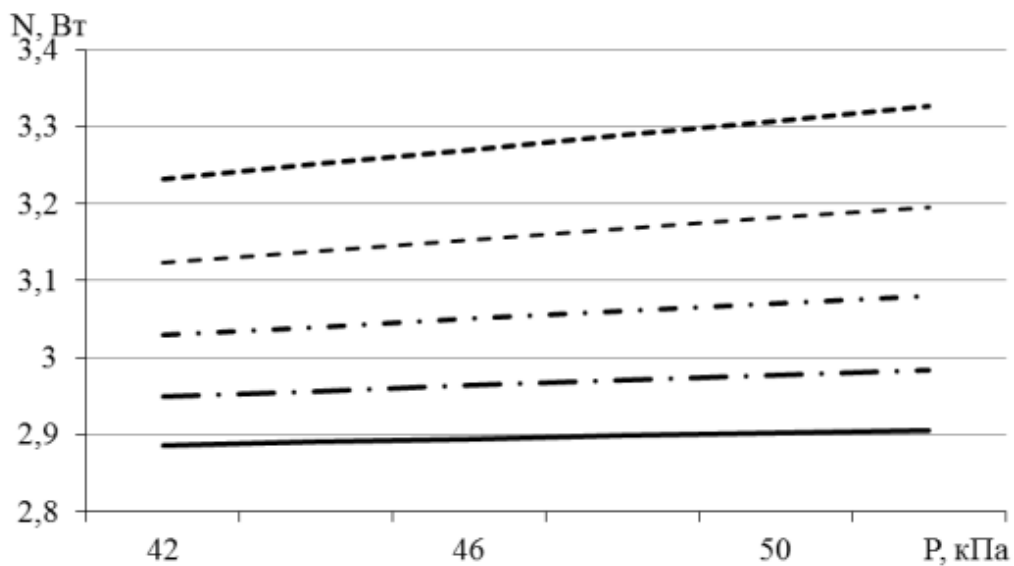


Рис. 1.12 [71] – Залежність необхідної потужності електромагнітного пневмоелектромагнітного пульсатора попарної дії від вакуумметричного тиску при різних діаметрах каліброваного отвору.

Теоретичне обґрунтування ефективності даного пристрою на початку і в кінці технологічного процесу доїння описали Анисімов Н.Г. та Гордієвських М.Л. [78].

Свірідов А.Г [79] запропонував залежність для розрахунку втрат тиску на подолання сил тертя:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{8\lambda l Q^2 \rho}{\pi^2 d^5 \left(1 - \frac{\varphi - 1 + \sqrt{(\varphi - 1)^2 + 4\varphi^2}}{2\varphi}\right)}, \quad (1.2)$$

де λ – коефіцієнт Дарсі;

l – довжина трубопроводу, м;

ρ – густина суміші, кг/м³;

Q – об'ємна витрата суміші, м³/с;

d – внутрішній діаметр трубопроводу, м;

φ – коефіцієнт повітровмісту молока.

В процесі досліджень він встановив, що за постійного тиску в вакуумпроводі $P_v=30$ кПа і зміні каліброваного отвору клапанного механізму від 1 до 2 мм витрата повітря через нього буде збільшуватись від 4,1 до 16,2 л/хв. Дану витрату повітря в залежності від каліброваного діаметра під час роботи доїльної установки дуже точно описується поліномом третього порядку. За зміни діаметра каліброваного отвору від 1 до 2 мм, але вже стабільному вакууметричному тиску $P_v=40$ кПа витрата повітря змінюється від 2,1 до 2,8 л/хв. Крім цього, ним встановлено, що за зміни масової витрати суміші від 0,125 до 0,75 кг/хв ($P_v=50$ кПа; $d_k=1,4$ мм; $d_{M\ TP}=8$ мм,) на проміжку доїльний стакан – молочна трубка значення тиску буде зростати від 419 до 637 Па; а при зміні масової витрати молока від 1 до 3 кг/хв ($P_v=50$ кПа; $d_k=1,8$ мм; $d_{M\ TP}=8$ мм, $d_{M\ Ш}=14$ мм) на проміжку колектор – молочний шланг, відповідно величина вакууму буде збільшуватись від 3420 Па до 4900 Па. Дослідник показав, що отримані ним залежності досить точно описані теоретичними та експериментальними залежностями.

Чехунов О.А. [80] в своїх дослідженнях привів аналітичні залежності для знаходження діаметра впускного клапана, швидкості подачі та відкачування повітря:

$$d_{\text{вк}} = \sqrt{\frac{128\mu_{\text{в}}l_{\text{во}}V}{\pi l(P_0 - P_{\text{во}})}}; \quad (1.3)$$

$$v_{\text{под}} = \frac{\pi d_{\text{под}}^4}{128\mu_0 l_{\text{под}}} (P_0 - P_{\text{под}}); \quad (1.4)$$

$$v_{\text{від}} = \frac{\pi d_{\text{від}}^4}{128\mu_0 l_{\text{від}}} (P_{\text{від}} - P_{\text{в}}), \quad (1.5)$$

де P_0, P_v – атмосферний та вакууметричний тиск, кПа;

$l_{\text{под}}, l_{\text{від}}$ – довжина отворів при подачі та відкачуванні повітря, м;

$d_{\text{под}}^4, d_{\text{від}}^4$ – приведений діаметр отворів відповідно для подачі та відкачування повітря, м.

В роботі Логачевої О.В. [81] через рівняння Бернуллі було виведено рівняння для визначення швидкості потоку повітря в найбільш вузькому його поперечному перерізі:

$$\vartheta = \sqrt{\frac{2gk}{k-1} \sqrt{\frac{P}{\gamma_M} - \frac{P_a}{\gamma_a}}}, \quad (1.6)$$

де k – показник адаптивного процесу, для двоатомних газів $k = 1,4$;

g – прискорення вільного падіння, м/с²

γ_a – питома маса атмосферного повітря, кг/м³;

γ_M – питома маса повітря в камері, кг/м³;

P – тиск повітря в камері, Н/м²;

P_a – тиск атмосферного повітря, Н/м².

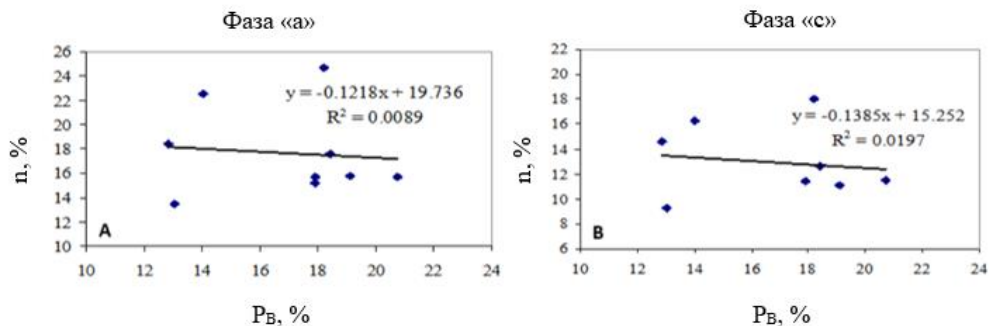


Рис. 1.13 – Кореляційна залежність між двома параметрами (вакууметричний тиск, частота пульсації), при двох фазах «а» і «с»

Дослідники Марія Карія та ін. [119] досліджували вплив різних доїльних агрегатів на частоту пульсації. Ними визначено, що сила тиску яка створюався на доїльні стакани та збільшення величини вакууметричного тиску від 38 кПа до 44 кПа суттєво не вплинув на частоту пульсації, це показано на рисунку як кореляційну залежність $R^2=0.009$ для фази “а” і $R^2=0.020$ для фази ”с” (рис 1.13). Проте, з частотою пульсації в 120 циклів за хвилину, при використанні колектора

менше 85 мл, за різкого переходу з такту ссання в такт стисну є можливість зворотнього ходу молока в доїльні стакани.

Для діагностики деяких доїльних апаратів науковцями Рошка Р. та ін. [120] розроблена керована система, в якій керування компонентами механічного доїльного апарату виконується за допомогою комп'ютера, блок-схема керування показана на рис. 1.14. Дана система складається з керованого компютером генератора імпульсів, який в свою чергу керує пульсатором електромагнітного типу та керованої комп'ютером системи вакуумметричного тиску.

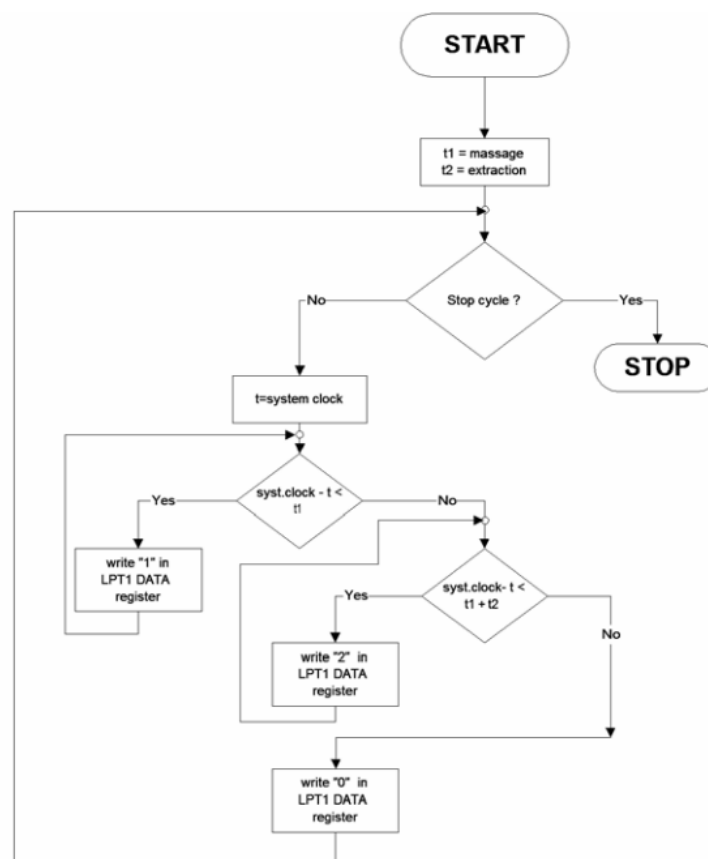


Рис. 1.14 - Блок-схема комп'ютерного програмного забезпечення для керування генератором імпульсів

Відповідно при перевірці системи науковцями Рошка Р. ін. [120] були випробувані два типи пульсаторів: електромагнітний, керованим генератором імпульсів за допомогою комп'ютера, і пульсатором STIMO IQ з вбудованим електронним генератором імпульсів. Генератор імпульсів, керований комп'ютером, разом з електромагнітним пульсатором, уможливує регулювання

як частоти пульсації, так і співвідношення між тактами (рис. 1.15), а також може бути корисним у дослідженнях щодо впливу характеристик циклу пульсації на якість виробництва молока, здоров'я вим'я тварини тощо. Контрольована комп'ютером система реєстрації тиску дозволяє оцінити пульсатор і характеристики доїльних стаканів.

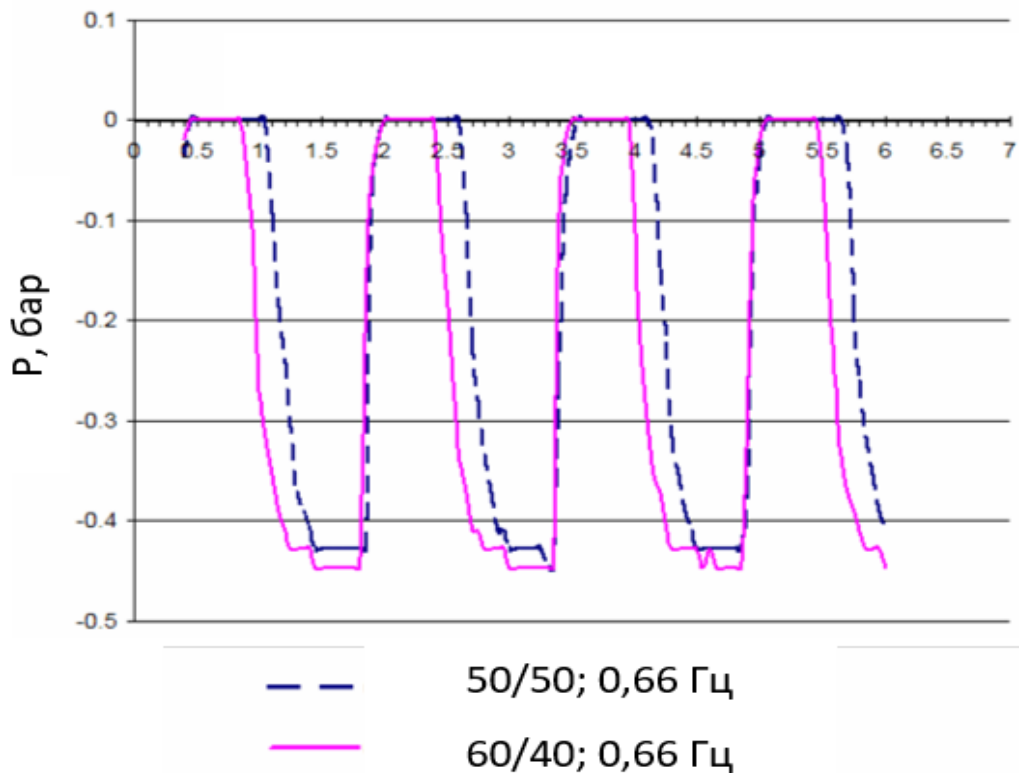


Рис. 1.15 - Результати експерименту електромагнітного пульсатора з керованим генератором імпульсів (0,66 Гц)

Вченими Ульріх Штробель та ін. [121] досліджено зміну потоку молока за різних значень вакуумметричного тиску на кінцях дійок корови. Найкращі значення показників дослідним шляхом показані в моделі керування як регресійна залежність, а саме як 5-параметрична функція Річарда:

$$y = (A) + \frac{(B - A)}{\left((1 + \exp(C + D_x)) \cdot E \right)}. \quad (1.7)$$

Рівняння (1.9) уможливило досліджувати чутливість моделі вакуумної системи в спрощеній структурі щодо будь-яких збурень і вхідних змінних, що

задаються параметрами доїльного апарата (рис. 1.16). Проаналізувавши вплив конструкцій параметрів доїльного апарату на процес доїння, вчені Ewa Golisz та ін. [122] дійшли висновку, що менший вплив на перепади вакууму відбувається при: зміні місцевих втрат і коефіцієнта лінійного опору в довшому молочному шланзі; менший потік вхідного повітря; більший потік суміші повітря-молока; більший діаметр молочної трубки [122].

$$\Delta x = \frac{dx(x_0, A_{s0}, U_{s0})}{dA_{si}} \cdot \Delta A_s = - \left[\frac{\frac{dW(x_0, A_s, U_s)}{dA_{si}}}{\frac{dW(x_0, A_s, U_s)}{dx}} \right] \cdot \Delta A_s. \quad (1.8)$$

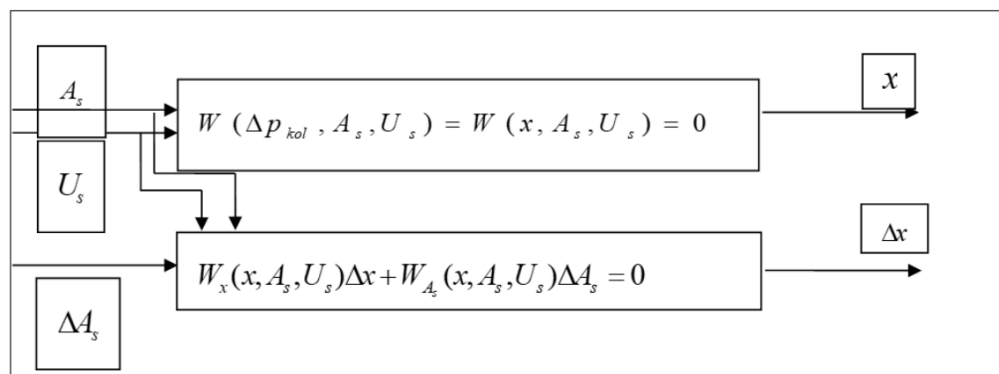


Рис. 1.16 - Модель вакуумної системи та її чутливості

Експериментальні дослідження системи доїння в режимі реального часу є складними. Вченими Хюля Оз. , Сандра Роуз-Мейерхофер і ін. [123] для прогнозування змінних для кращої доїльної системи, проведено дослідження для знаходження математичної моделі середнього значення вакуумметричного тиску в колекторі доїльного апарата. Зв'язок між оптимізованими змінними коливань пов'язаним із середнім вакуумом описується кореляційним рівнянням[123]:

$$Y_m = 37,79 + 6,6X_1 - 1,17X_3 - 0,76X_1 \cdot X_2 + 0,84X_2 \cdot X_4 - 0,97X_3 \cdot X_4 - 1,16X_1^2 \cdot X_2 + 0,74X_1^2 \cdot X_4, \quad (1.9)$$

де X_1 – вакууметричний тиск в системі Р;

X_2 – співвідношення між тактами t/T;

X_3 – інтенсивність молоковіддачі, Q;

X_4 – частота пульсації, п.

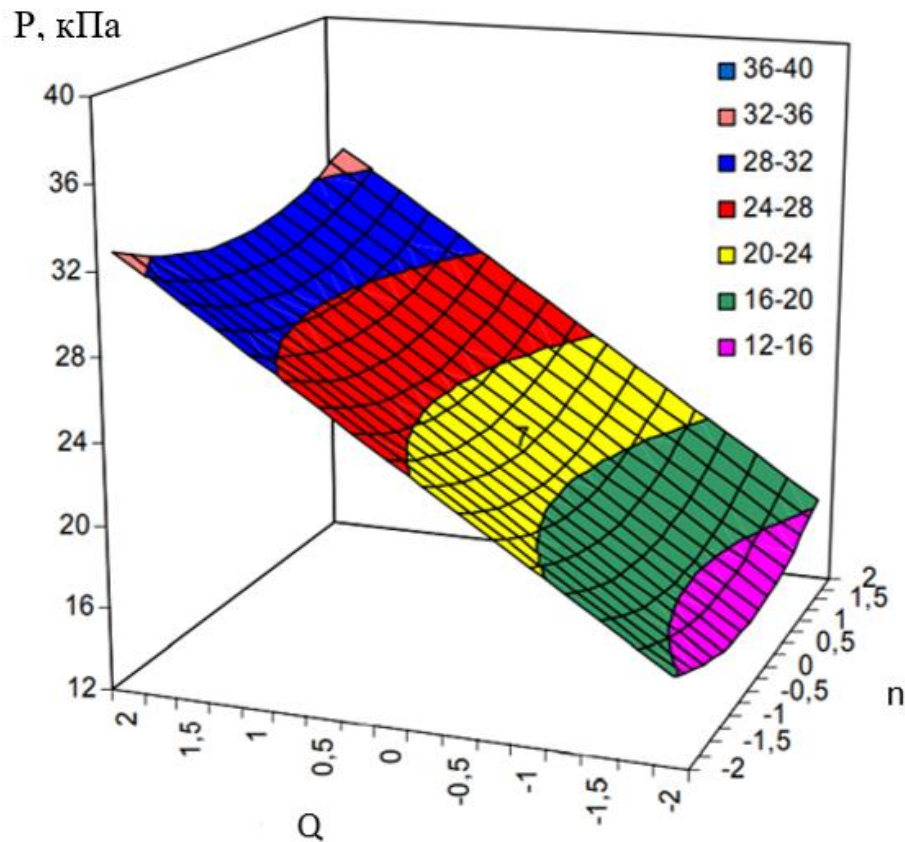


Рис. 1.17 [125] - Падіння вакууму в d-фазі як функція інтенсивності молоковіддачі Q та частоти пульсації n

Хюля Оз. та ін. [125] провели математичне дослідження, що уможливорює передбачити перепади вакууму в колекторі доїльного апарата та доїльних стаканах за різних фаз доїння. Врахувавши фактори, які впливатимуть на коливання вакууму, ними проведено дослідження та виведено серію рівнянь регресії.

Падіння вакууму в d-фазі як функція інтенсивності молоковіддачі Q та частоти пульсації n описується рівнянням:

$$P = 22,53 + 4,19 \cdot X_3 + 2,29 \cdot X_1 + 0,43 \cdot X_2^3 + 0,82 \cdot X_1^2 \cdot X_4 + 0,78X_1 \cdot X_3 + 0,52 \cdot X_4^2. \quad (1.10)$$

Дані рівняння дослідники представили графічно (рис. 1.17)

1.5 Висновки до першого розділу

На підставі проведено огляду й аналізу конструкцій пульсоколекторів, алгоритмів і моделей їх функціонування можна зробити наступні висновки.

1. Як показав результат аналізу впливу конструкційно-технологічних параметрів пульсаторів й пульсоколекторів доїльних апаратів на процес молоковіддачі корови досі відсутній єдиний алгоритм роботи, який би забезпечив адекватну реакцію молоковиділення корови на режимні зміни в роботі пульсоколектора, при цьому основним параметром залишається інтенсивність молоковіддачі.

2. Аналіз технологічних особливостей функціонування доїльного апарата показав, що допустимі межі вакуумметричного тиску – $42\div 48$ кПа, частота пульсацій – від 30 хв⁻¹ до 120 хв⁻¹, а стимулююча частота пульсацій в такті ссання може становити 180 хв⁻¹, 200 хв⁻¹ і 300 хв⁻¹.

3. Аналіз існуючих конструкцій пульсоколекторів та пульсаторів доїльних апаратів показав, що використання електромагнітного приводу непрямой дії веде до спотворення керуючого пневматичного сигналу, мінімальну потужність приводу клапана забезпечує мінімальний діаметр перепускного отвору, динамічність роботи системи перемикання тактів пульсатора забезпечується напругою живлення електронного блоку пульсатора до 24 В.

4. Аналіз наукових праць з теорії роботи пульсаторів й пульсоколекторів доїльних апаратів показав, що основними параметрами, які досліджуються є втрати тиску, швидкість молоковіддачі частота пульсацій в залежності від конструкційних параметрів та технологічних режимів машинного доїння.

Виходячи з наведених висновків сформована мета наукових досліджень.

Як гіпотезу приймаємо припущення про те, що підвищення ефективності машинного доїння корів може бути досягнуто шляхом обґрунтування розроблення і обґрунтування конструкційно - технологічних параметрів пневмоелектромагнітного пульсоколектора доїльного апарата.

Мета дослідження – підвищення ефективності машинного доїння корів шляхом розроблення і обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів пневмоелектромагнітного пульсоколектора доїльного апарата.

Для досягнення поставленої мети необхідно рішення наступних завдань:

- проаналізувати існуючі конструкції пульсаторів й пульсоколекторів доїльного апарату і елементи математичних залежностей їх функціонування та розробити структурну схему функціонування пневмоелектромагнітного пульсоколектора;

- теоретично встановити залежність швидкості потоку повітря в системі “якір-клапан–корпус пульсоколектора”, що характеризує складову динамічного зусилля на переміщення якоря-клапана;

- теоретично дослідити часові характеристики переміщення якоря-клапана в залежності від конструкційно-технологічних параметрів та обґрунтувати потужність електромагніту пневмоелектромагнітного пульсоколектора;

- розробити програму й методику експериментальних досліджень та експериментально дослідити потужність споживання пневмоелектромагнітним пульсоколектором, інтенсивність молоковіддачі та вакуумметричний тиск в міжстінковій і піддійковій камерах доїльного стакана від технологічних параметрів функціонування доїльного апарата;

- провести виробничу перевірку пневмоелектромагнітного пульсоколектора і дати техніко-економічну оцінку результатів досліджень.

Основні наукові результати розділу опубліковано в працях автора.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПНЕВМОЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПУЛЬСОКОЛЕКТОРА ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА

2.1 Функціонально - структурна модель пульсоколектора пневмоелектромагнітного типу

Пульсоколектор задає режим роботи та визначає основні параметри. До його складу входить значна кількість складових частин, які завдяки механічній, пневматичній, електричній, магнітній дії взаємодіють між собою. Тому є необхідність провести аналіз та чітко розділити пульсоколектор на певні функціональні елементи. Проте є конструкційні елементи, які відповідають та можуть виконувати дві і більше функції, або навпаки – використовуються дві або більше складові частини пульсоколектора для виконання однієї функції [75].

Розглядатимемо конструкцію пульсоколектора, що зображена на рис. 2.1. Робота пульсоколектора описується наступним чином. Пневмоелектромагнітний пульсоколектор доїльного апарата працює наступним чином. На електромагніт 1 подається струм, після чого якір-клапан 2 переміщується в гору, перекриваючи при цьому отвір атмосферного тиску 4, який з'єднаний з камерою атмосферного II. За рахунок того, що якір-клапан 2 переходить в верхню мертву точку, перепускний канал 6, який з'єднаний з молочною камерою та камерою змінного тиску I, відкривається і вакуум проходить в міжстінкові простори доїльного стакану. В міжстінковій і піддійковій камерах вакуум, відбувається такт ссання.

Припиняється подача струму на електромагніт 1, якір-клапан 2, під дією атмосферного тиску та сили тяжіння переміщується в низ, перекриваючи при цьому канал 6. Атмосферний тиск через канали 3 та 4 надходить до камери змінного тиску I, а потім до міжстінкової камери доїльного стакану. Внаслідок різниці тисків у міжстінковій і піддійковій камерах доїльного стакана, стискається, відбувається такт стиску.

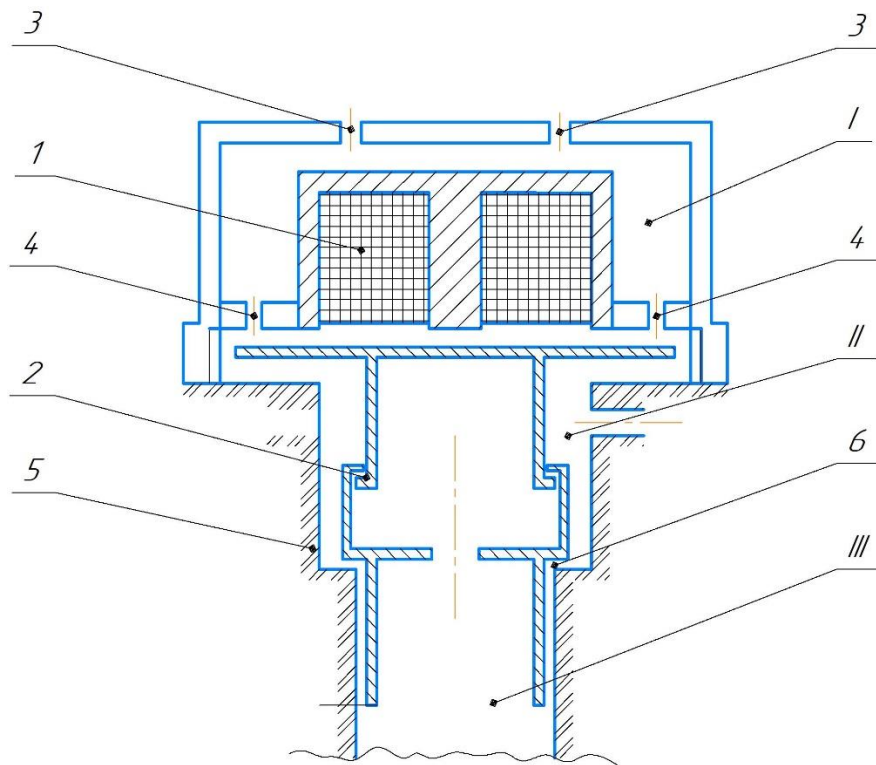


Рис. 2.1 – Схема пневмоелектромагнітного пульсоколектора:

I – камера атмосферного тиску; II - камера змінного тиску; III - камера постійного вакууму
 1 – електромагніт; 2 – якір-клапан; 3 і 4 – отвір атмосферного тиску;
 5 – корпус; 6 – нижній канал

Враховуючи принцип роботи, функціональні особливості пневмоелектромагнітного пульсоколектора розробляємо функціональну модель даного пульсоколектора. Функціональна модель уможливіє уникнути надмірну деталізацію в роботі та дослідженнях пневмоелектромагнітного пульсоколектора, а також спростити аналіз [95].

Функціональну модель досліджуваного пульсоколектора наведено на рис. 2.2, показано зв'язок між елементами.

До основних параметрів, якими характеризується модель, належать:

- електромагніт характеризується амер-витками IW та споживаною потужністю N ;

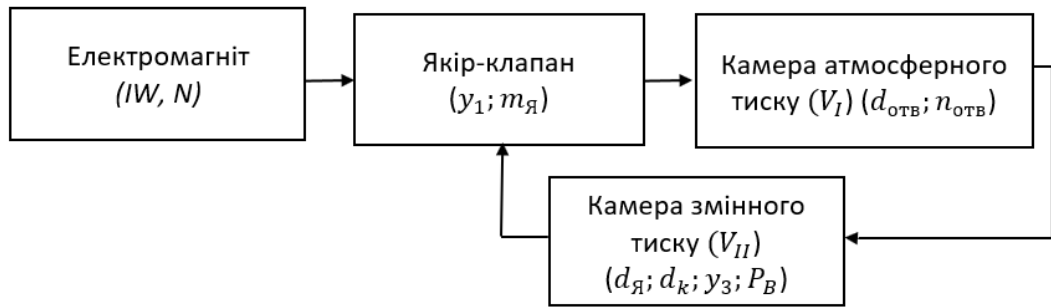


Рис. 2.2 – Функціональна модель роботи пульсоколектора

- якір-кран характеризується ходом якоря y_1 , та масою якоря $m_я$;
- камера атмосферного тиску V_I , характеризується діаметром отворів $d_{отв}$ і їх кількістю $n_{отв}$;
- камера змінного тиску V_{II} , характеризується геометричними розмірами перепускного каналу $d_я$, $d_к$ і y_3 , і вакуумметричного тиску $P_в$.

Дані характеристики та їх взаємозв'язки приведено на параметричній схемі (рис. 2.3).

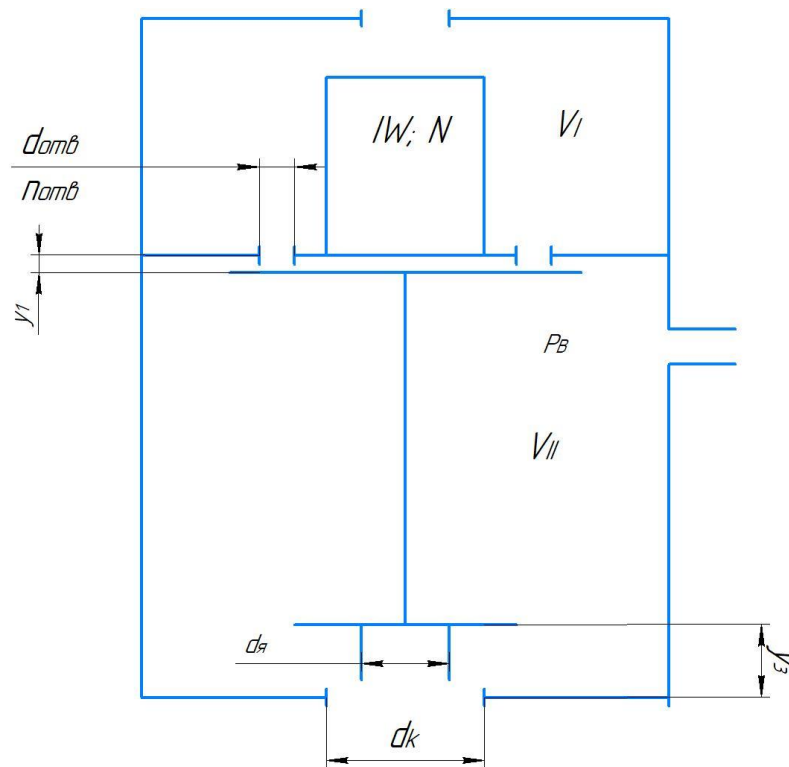


Рис. 2.3 – Параметрична схема пневмоелектромагнітного пульсоколектора відносно конструкційно-технологічних характеристик

2.2 Аналітична модель роботи генератора імпульсів пневмоелектромагнітного пульсоколектора в статистиці

Досліджуючи роботу пневмоелектромагнітного пульсоколектора слід брати до уваги лише два стійких положення рівноваги якоря-клапана, які чергуються в часі. Це забезпечує функціонування двох тактів роботи доїльного апарату – ссання та стиску. Здійснюємо силовий аналіз пневмоелектромагнітного пульсоколектора. Для цього скористаємось вже існуючими прикладами розрахунку параметрів для подібного обладнання [19, 41, 42, 60, 71, 99 - 102]. Розглядаємо розподіл сил, які діють на якорь-клапан пульсоколектора, під час такту ссання (рис. 2.4).

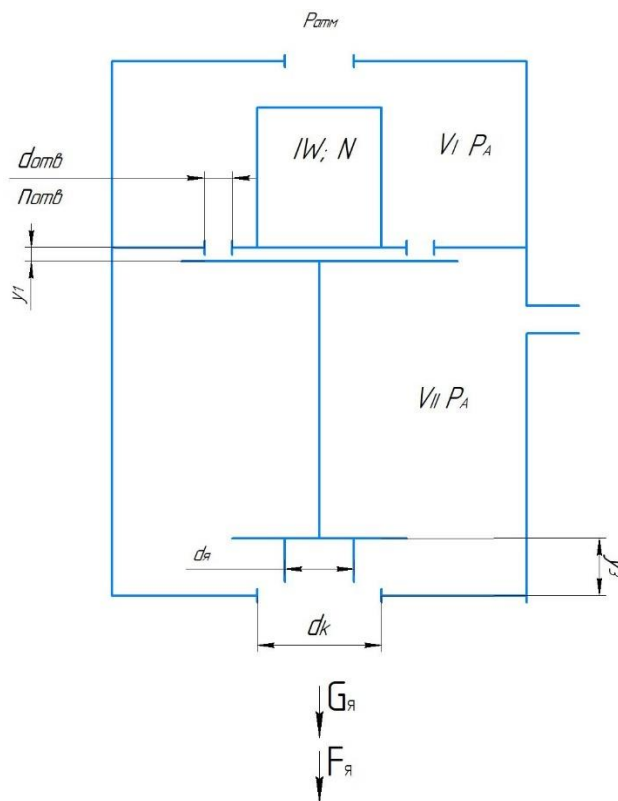


Рис. 2.4 – Розподіл сил під час такту стиску: V_I .- камера атмосферного тиску; V_{II} – камера змінного тиску; V_{III} – камера постійного вакууму; $G_{я}$ – вага якоря-клапана; $F_{я}$ – сила створена різницею тисків в камерах змінного тиску і постійного вакууму

Розглянемо сили, що діють у керуючій частині пневмоелектромагнітного пульсоколектора під час такту стиску. На якір-клапан буде діяти сила ваги, яка описується виразом:

$$G_{\text{я}} = m_{\text{я}} \cdot g, \quad (2.1)$$

де $m_{\text{я}}$ – маса якоря-клапана, кг.

Також, на якір-клапан діє сила, створена різницею тисків в камерах змінного тиску і постійного вакууму.

Тиск у камері змінного тиску рівний P_{II} , а у камері атмосферного тиску відповідно P_I ,

Сила, спричинена різницею тисків, визначаємо з виразу:

$$F_{\text{я}} = S_{\text{пер}} \cdot (P_A - P_B), \quad (2.2)$$

де $S_{\text{пер}}$ – площа поперечного перерізу, мм²

P_A – атмосферний тиск, кПа;

P_B – вакууметричний тиск, кПа.

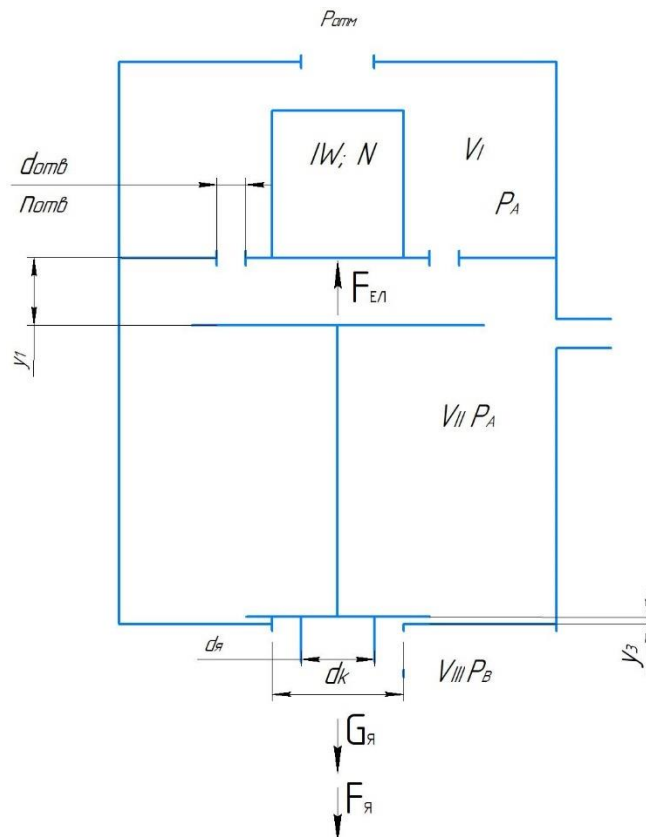


Рис. 2.5 – Розподіл сил під час переходу від такту стиску до такту ссання

Згідно рис. 2.4, площу поперечного перерізу $S_{\text{пер}}$ знаходимо за формулою:

$$S_{\text{пер}} = \frac{\pi(d_k^2 - d_{\text{я}}^2)}{4}. \quad (2.3)$$

Для забезпечення виконання такту стиску положення якоря-клапана повинно визначатися наступним рівнянням. Для керуючої частини:

$$G_{\text{я}} + F_{\text{я}} > 0. \quad (2.4)$$

Якір-клапан буде знаходитись у такому положенні допоки на електромагніт подамо струм живлення. В момент подачі струму розподіл сил в керуючій з'явиться електромагнітна сила (рис. 2.5).

Перехід пульсоколлектора від стану, що відповідає такту ссання, до стану, що відповідає такту ссання, необхідно, щоб електромагнітна сила електромагніту, що діє на якір-клапан була більшою за суму сил $G_{\text{я}}$ та $F_{\text{я}}$. Повинна виконуватись нерівність:

$$F_{\text{ел}} > G_{\text{я}} + F_{\text{я}}, \quad (2.5)$$

де $F_{\text{ел}}$ – електромагнітна сила, що діє на клапан, Н.

Скориставшись працями попередніх вчених [71, 100 - 101, 103] визначаємо електромагнітну силу:

$$F_{\text{ел}} = \frac{1}{2} \cdot (IW)^2 \cdot \mu_0 \frac{S_{\text{МП}}}{y_1^2}, \quad (2.6)$$

де IW – ампер витки електромагніту, А · Вит;

μ_0 – магнітна проникність у вакуумі, ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$), Гн/м;

y_1 - переміщення якоря-клапана, м;

$S_{\text{МП}}$ – площа поперечного перерізу магнітопроводу електромагніту, м².

В даному випадку якір-клапан переміститься ввєрх, відкривучи отвір з діаметром d_k . Через певний проміжок часу, завдяки відкритому каналу в керуючій камері та міжстінкових доїльних стаканах встановиться вакууметричний тиск (рис. 2.6). Таке положення клапанів відповідатиме такту ссання.

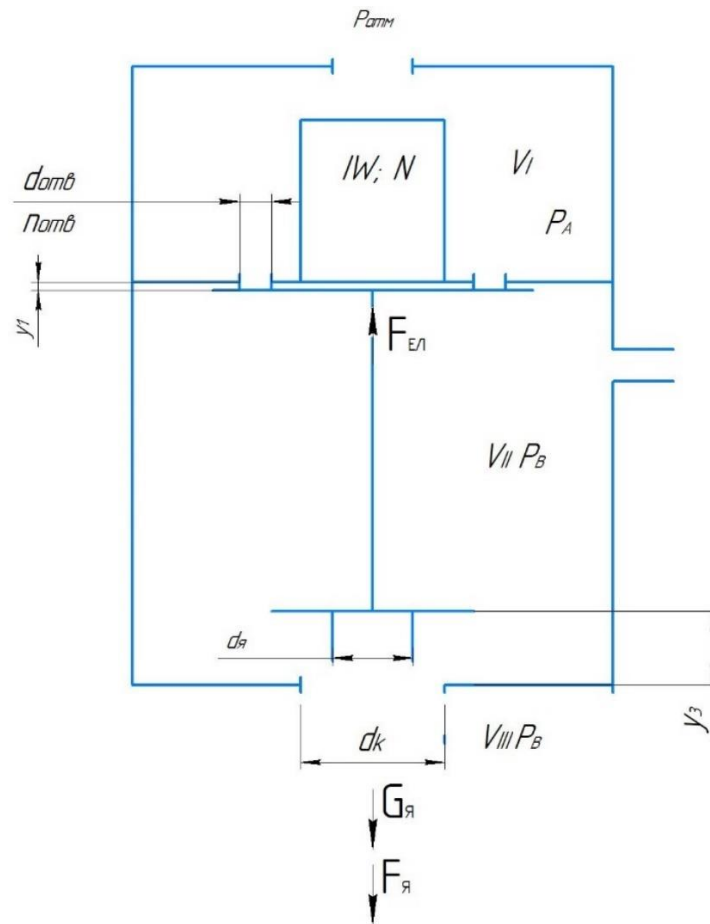


Рис. 2.6 – Розподіл сил під час такту ссання

Сили, як і в попередньому варіанті залишаються незмінними, окрім сили $F_я$, яку обчислюємо за виразом:

$$F_я = \frac{\pi \cdot d_{отв}^2}{4} \cdot n_{отв} (P_A - P_B), \quad (2.7)$$

де $d_{отв}$ – діаметр отвору, що з'єднує керуючу камеру з камерою атмосферного тиску, м;

$n_{отв}$ - кількість отворів;

P_A – атмосферний тиск, Па;

P_B – вакууметричний тиск, Па.

2.3 Результати моделювання роботи пневмоелектромагнітного пульсоколектора в статистиці

Розглянемо пневмоелектромагнітний пульсоколектор в момент подачі струму на електромагніт. Проводимо аналіз нерівності (2.5) Параметри електромагніту і якоря-клапана: кількість витків електромагніту 1200, маса якоря-клапана $m_{\text{я}}=0,023$ кг, діаметр клапана $d_{\text{к}}=0,0165$ м, напруга $U=10-24$ В при активному опорі котушки 100 Ом. Графіки розподілу сил ($F_{\text{ел}}$, $G_{\text{я}}$, $F_{\text{я}}$) наведені на рис. 2.7.

Побудова графіка уможливорює порівняти сили, які діють на якор-клапан та визначення необхідної потужності, яку необхідно електромагніту, для подолання сили притягання якоря-клапана в нижньому положенні із-за різниці тисків. Момент переведення якоря-клапана пульсоколектора від такту стиску до такту ссання виконується за умови (2.5), і залежить від площі поперечного перерізу отвору $S_{\text{пер}}$ і напруги живлення на електромагніті U .

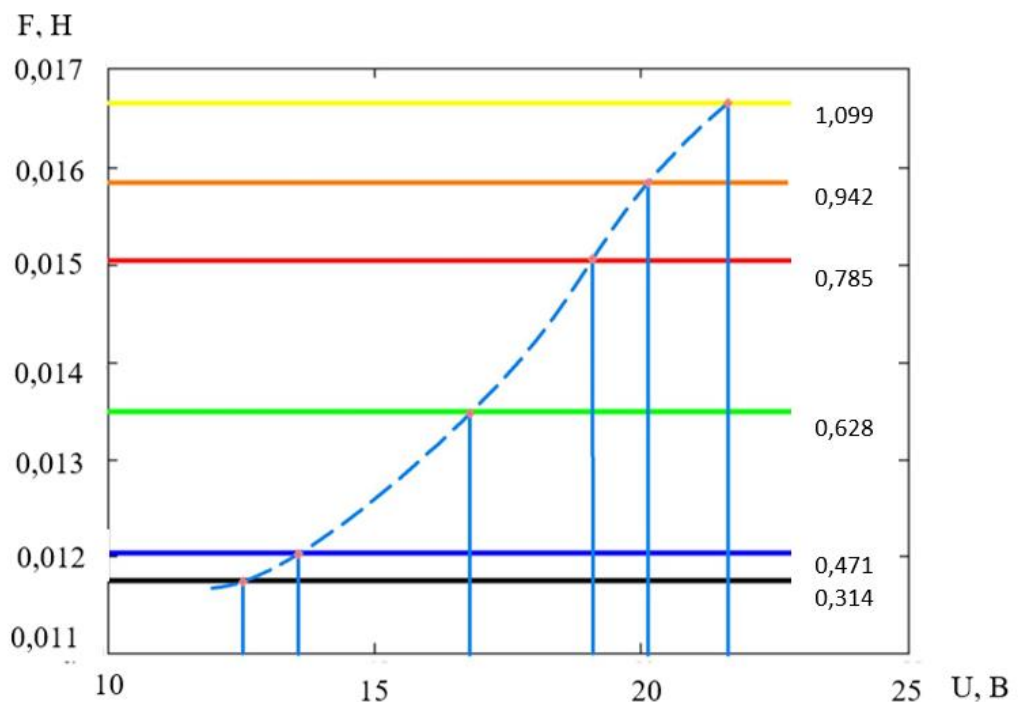


Рис. 2.7 – Розподіл сил в залежності від напруги живлення електромагніту за вакуумметричного тиску 48 кПа

Так, при вакуумметричному тиску 48 кПа, мінімальна напруга живлення електромагніту, для забезпечення виконання такту ссання, становить 12,5 В; 13,5 В; 16,3 В; 19,2 В; 20,2 В та 21,5 В для площ поперечного перерізу із значеннями 0,314 мм²; 0,471 мм²; 0,628 мм²; 0,785 мм²; 0,942 мм²; та 1,099 мм².

Розглянемо залежність мінімального значення напруги живлення від значень площі поперечного перерізу від 0,314 мм² до 1,256 мм² від вакуумметричного тиску, який змінюється в межах 38-50 кПа, (рис.2.8).

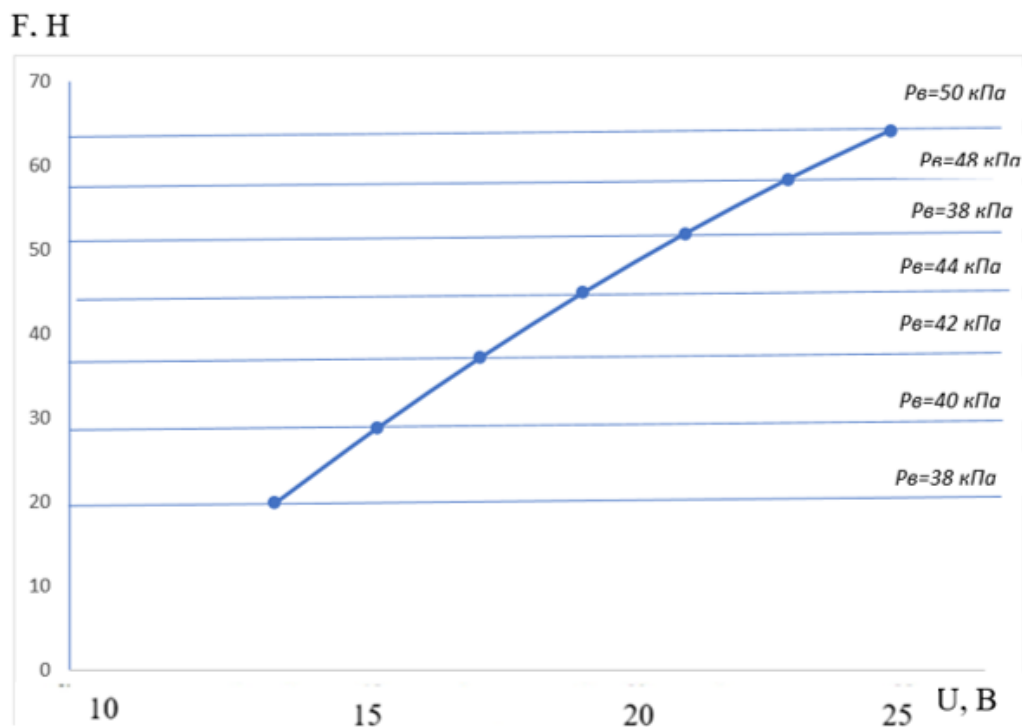


Рис. 2.8 – Розподіл сил в залежності від підведеної напруги до електромагніту при вакуумметричному тиску $P_v = 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50$ кПа

За площі поперечного перерізу $S_{пер}=1,256$ мм² та максимально допустимому вакуумметричного тиску $P_v=50$ кПа необхідно забезпечити напругу на електромагніті до 25 В (рис. 2.8). Проте, за площі поперечного перерізу зі значенням $S_{пер}=0,314$ мм² – напруга живлення $U=12,7$ В. Такі значення напруг живлення для уможливлення переходу пульсатора від такту стиску до такту ссання.

2.4 Модель потоку повітря в каналі системи «якір-клапан-корпус пульсоколектора»

Розглянемо модель (рис. 2.9) яка складається з двох елементів, між якими утворено кільцевий отвір по якому протікає повітря в процесі переміщення якоря-клапана.

Виділяємо в зазорі між якір-клапаном 1 і внутрішньою стінкою корпусу 2 кільцевий об'єм повітря, яке рухається від простору з атмосферним тиском P_A до простору з вакууметричним тиском P_B . Довжина виділеного об'єму має довжину якоря-клапана – $l_{я}$.

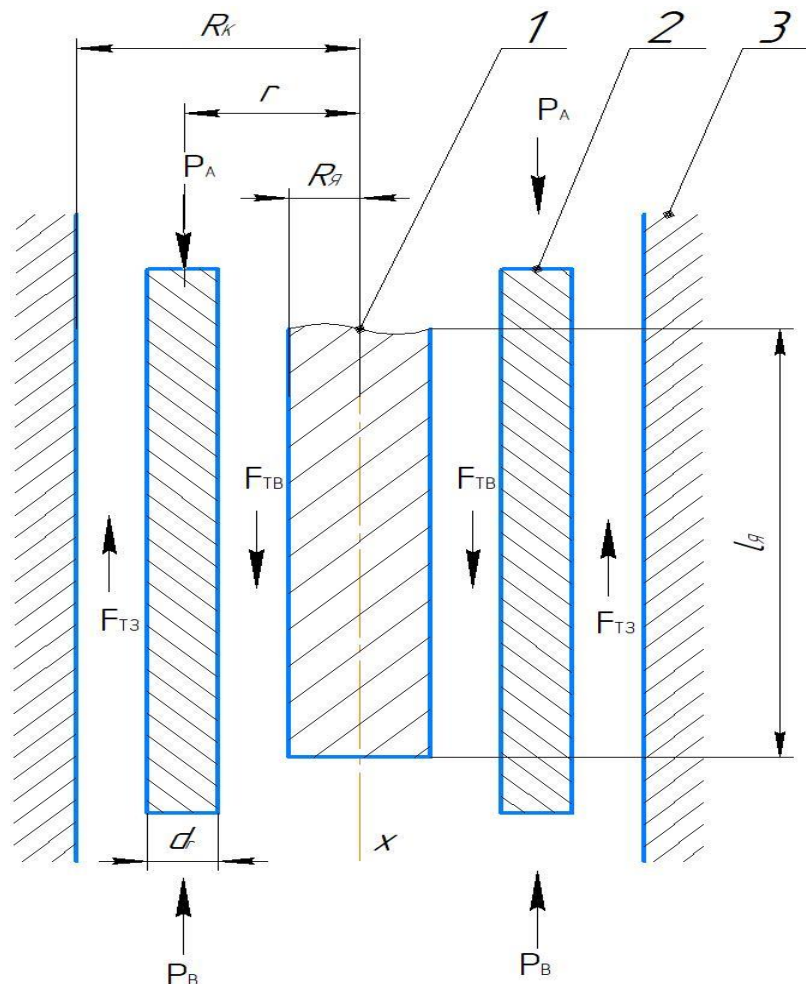


Рис. 2.9 – Схема моделі відкачування повітря в пульсоколекторі:

1 – якір-клапан; 2 – умовно виділений простір, що характеризує потік повітря умовного об'єму; 3 – зовнішній корпус, в якому переміщується якір-клапан

Рівняння дії сил на вісі X, яка співнапрямлена з віссю якоря-клапана.

$$F_A + F_{ТВ} - F_B - F_{ТЗ} = 0, \quad (2.8)$$

де F_A – сила тиску повітря зі сторони атмосферного тиску:

$$F_A = \pi \cdot 2 \cdot r \cdot d_r \cdot P_A; \quad (2.9)$$

$F_{ТВ}$ – сила тертя, що виникає зі сторони поверхні якоря-клапана:

$$F_{ТВ} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l_{Я} \cdot \tau; \quad (2.10)$$

F_B – сила тиску повітря зі сторони вакуумметричного тиску:

$$F_B = \pi \cdot 2 \cdot r \cdot dr \cdot P_B; \quad (2.11)$$

$F_{ТЗ}$ – сила тертя повітря зі сторони внутрішньої поверхні корпуса, де рухається якір-клапан:

$$F_{ТЗ} = 2 \cdot \pi \cdot (r + dr) \cdot l_{Я} \cdot (\tau + dr), \quad (2.12)$$

де r – біжучий радіус, м;

dr – прирість товщини шару повітря, м;

τ – дотичні напруження на циліндричній поверхні, $\frac{H}{m^2}$.

Підставимо значення залежностей (2.9-2.12) у рівняння (2.8), отримуємо:

$$\begin{aligned} 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot (P_A - P_B) + 2 \cdot \pi \cdot l_{Я} \cdot (dr) \cdot (-d\tau) &= 0; \\ 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot \Delta P - 2 \cdot \pi \cdot l_{Я} \cdot dr \cdot d\tau &= 0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

Проведемо спрощення рівняння (2.13):

$$\Delta P \cdot r \cdot dr - l_{Я} \cdot dr \cdot d\tau = 0. \quad (2.14)$$

Проінтегруємо рівняння (2.14):

$$\Delta P \cdot \frac{r^2}{2} - l_{Я} \cdot r \cdot \tau + C_1 = 0. \quad (2.15)$$

Дотичні напруження запишемо як [98] :

$$\tau = \mu \frac{d\vartheta}{dr}, \quad (2.16)$$

де μ – динамічна в'язкість повітря за заданих фізико-механічних характеристик.

Тоді рівняння (2.15) з врахуванням залежності (2.16) набуде вигляду:

$$\Delta P \cdot \frac{r^2}{2} - l_{Я} \cdot r \cdot \mu \cdot \frac{d\vartheta}{dr} + C_1 = 0. \quad (2.17)$$

Проведемо перетворення і отримаємо:

$$d\vartheta = \frac{r^2 dr}{2 \cdot l_{\text{я}} \cdot r \cdot \mu} - C_1 \cdot \frac{dr}{l_{\text{я}} \cdot r \cdot \mu} . \quad (2.18)$$

Інтеграл залежності (2.18) буде:

$$\vartheta = \frac{\Delta P \cdot r^2}{4 \cdot l_{\text{я}} \cdot \mu} - \frac{C_1}{l_{\text{я}} \cdot \mu} \cdot \ln r + C_2 . \quad (2.19)$$

Постійні інтегрування визначаємо з граничних умов:

$$r = R_{\text{я}}; \vartheta = 0; r = R_{\text{к}}.$$

Запишемо систему рівнянь для визначення постійних інтегрувань

$$\begin{cases} \frac{\Delta P \cdot R_{\text{я}}^2}{4 \cdot l_{\text{я}} \cdot \mu} - \frac{C_1}{l_{\text{я}} \cdot \mu} \cdot \ln R_{\text{я}} + C_2 = 0 \\ \frac{\Delta P \cdot R_{\text{к}}^2}{4 \cdot l_{\text{я}} \cdot \mu} - \frac{C_1}{l_{\text{я}} \cdot \mu} \cdot \ln R_{\text{к}} + C_2 = 0 \end{cases} ; \quad (2.20)$$

Розв'язок системи рівняння (2.20) дає нам значення постійних інтегрування:

$$C_1 = \frac{\Delta P (R_{\text{к}}^2 - R_{\text{я}}^2)}{4 \cdot \ln \frac{R_{\text{я}}}{R_{\text{к}}}} ;$$

$$C_2 = \frac{\Delta P \cdot R_{\text{я}}^2}{4 \cdot l_{\text{я}} \cdot \mu} + \frac{\Delta P (R_{\text{к}}^2 - R_{\text{я}}^2)}{4 \cdot \ln \frac{R_{\text{я}}}{R_{\text{к}}}} \cdot \ln R_{\text{я}} ;$$

Підставляємо вирази постійних інтегрування C_1 і C_2 у залежності (2.19):

$$\vartheta = \frac{\Delta P}{4 \cdot l_{\text{я}} \cdot \mu} \left[R_{\text{я}}^2 + r^2 + \frac{(R_{\text{к}}^2 - R_{\text{я}}^2)}{\ln \frac{R_{\text{я}}}{R_{\text{к}}}} \cdot \ln \frac{R_{\text{я}}}{r} \right] . \quad (2.21)$$

Отриманий вираз промодельємо відповідно до значень біжучого радіуса r та різниці тисків ΔP . Графік залежності швидкості ϑ в початковий момент піднімання якоря-клапана наведено на (рис. 2.10 та рис. 2.11).

Знаючи швидкість потоку повітря в циліндричному зазорі, можна визначити дотичні напруження в зазорі. Для визначення дотичних напружень берем диференціал залежностей (2.21) по dr :

$$\frac{d\vartheta}{dr} = \frac{\Delta P}{2 \cdot l_{\text{я}} \cdot \mu} \left(r + \frac{R_{\text{я}}^2 - R_{\text{к}}^2}{r} \cdot \frac{1}{\ln \frac{R_{\text{я}}}{R_{\text{к}}}} \right). \quad (2.22)$$

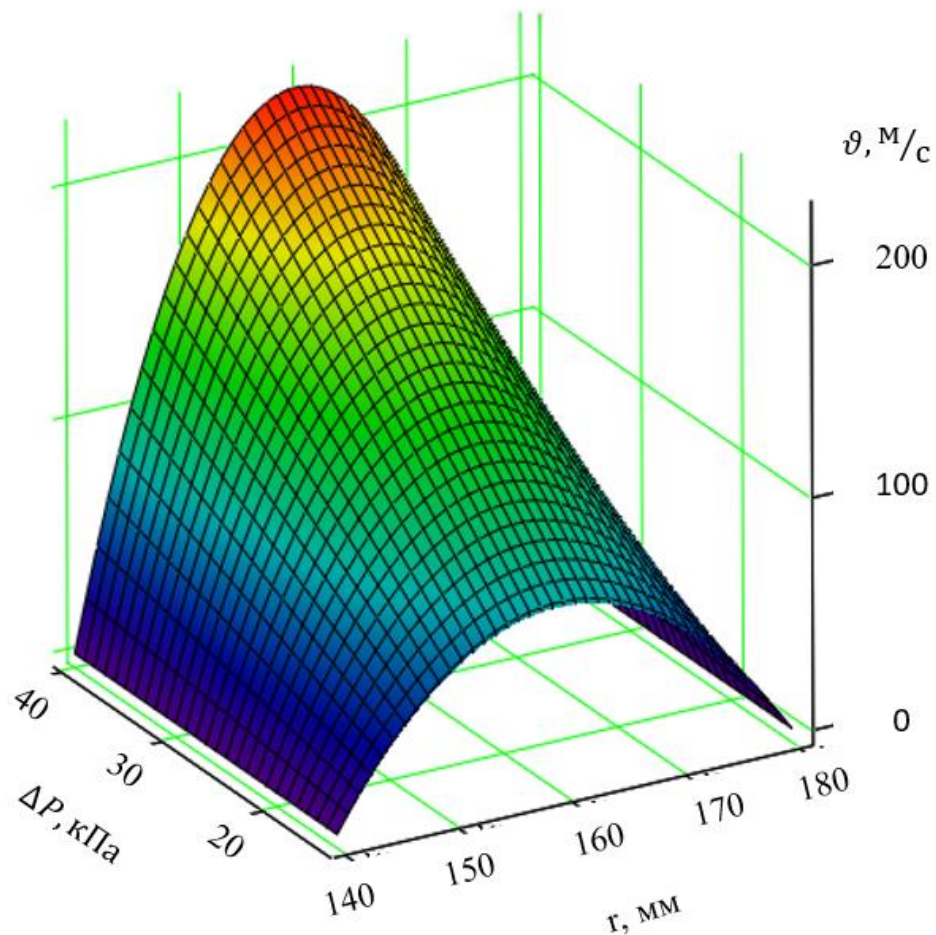


Рис. 2.10 – Графік залежності швидкості потоку повітря в циліндричному зазорі від біжучогоа радіуса r та різниці тиску ΔP

Підставимо залежність (2.22) у рівняння дотичних напружень (2.16), отримаємо:

$$\tau = \frac{\Delta P (r^2 + R_{\text{я}}^2 - R_{\text{к}}^2)}{2 \cdot l_{\text{я}} \cdot r \cdot \ln \frac{R_{\text{я}}}{R_{\text{к}}}}. \quad (2.23)$$

За умови, що $r = R_{\text{я}}$ або $r = R_{\text{к}}$, тоді

$$r = \frac{\Delta P (2R_{\text{Я}}^2 - R_{\text{К}}^2)}{2 \cdot l_{\text{Я}} \cdot R_{\text{Я}} \cdot \ln \frac{R_{\text{Я}}}{R_{\text{К}}}} \text{ або } \tau = - \frac{\Delta P \cdot R_{\text{К}}}{2 \cdot l_{\text{Я}} \ln \frac{R_{\text{Я}}}{R_{\text{К}}}}. \quad (2.24)$$

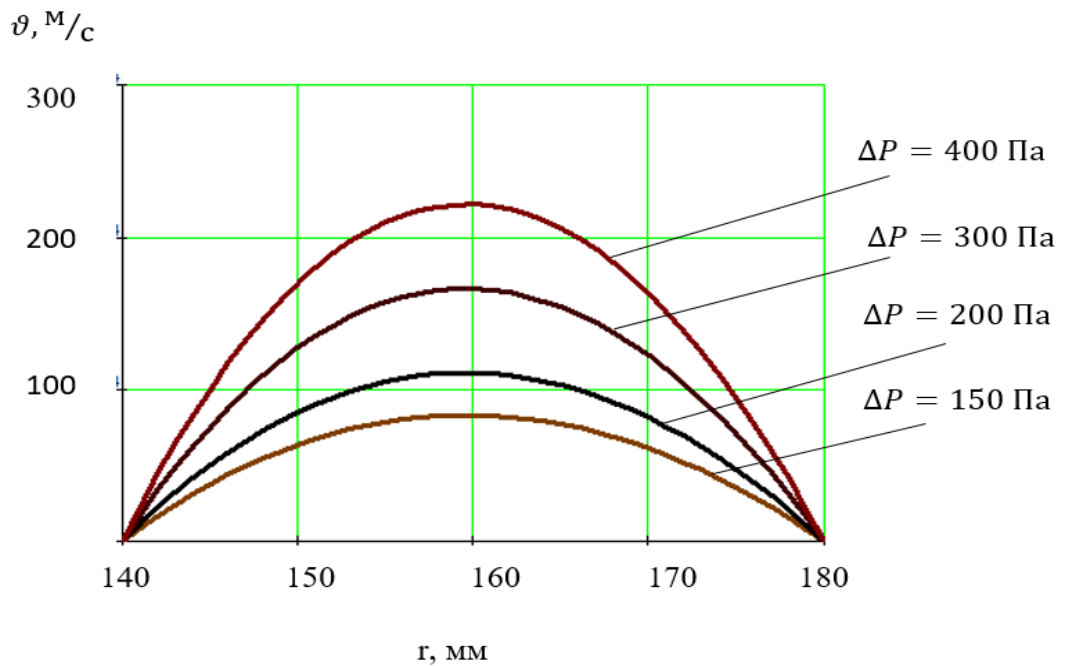


Рис. 2.11 – Графік залежності швидкості потоку повітря в циліндричному зазорі від біжучого радіуса r за різниці тисків ΔP в каналі системи «якір-клапан-корпус пульсоколектора»

За умови, що $\frac{d\vartheta}{dr} = 0$, коли $r = R_{\text{К}}$, де $\Delta P = P_{\text{А}} - P_{\text{В}}$ – різниця тисків на початку і в кінці циліндричного зазору буде в межах 100÷400 кПа.

Зрозуміло, що $R_{\text{Я}} \leq r \leq R_{\text{К}}$. Тому, максимальне значення дотичного напруження повинно буде встановити за умови, що

$$r = R_{\text{К}} \quad (2.25)$$

Дотичні напруження відповідають ламінарному режиму потоку пограничного шару (рис. 2.11).

Для визначення дотичних напружень рахуємо, що якір-клапан рухається (електрична сила його піднімає). Тоді для визначення постійних інтегрування в системи рівнянь (2.20) запишемо граничні умови:

$$r = R_{\text{Я}} \Rightarrow \vartheta = \vartheta_{\text{Я}} \text{ якщо } r = R_{\text{К}} \Rightarrow \vartheta = 0.$$

Система рівнянь для визначення постійних інтегрувань буде мати вигляд

$$\begin{cases} -\frac{\Delta P \cdot R_{\text{Я}}^2}{4 \cdot l_{\text{Я}} \cdot \mu} - \frac{C_1}{l_{\text{Я}} \cdot \mu} \cdot \ln R_{\text{Я}} + C_2 = \vartheta_{\text{Я}} \\ -\frac{\Delta P \cdot R_{\text{К}}^2}{4 \cdot l_{\text{Я}} \cdot \mu} - \frac{C_1}{l_{\text{Я}} \cdot \mu} \cdot \ln R_{\text{К}} + C_2 = 0 \end{cases}; \quad (2.26)$$

Розв'язок системи рівнянь (2.26) дає значення постійних інтегрування для умови, коли якір-клапан рухається:

$$C_1 = -\frac{\vartheta_{\text{Я}} \cdot l_{\text{Я}} \cdot \mu}{\ln \frac{R_{\text{Я}}}{R_{\text{К}}}} + \frac{\Delta P}{4 \cdot \ln \frac{R_{\text{Я}}}{R_{\text{К}}}} (R_{\text{К}}^2 - R_{\text{Я}}^2); \quad (2.27)$$

$$C_2 = -\frac{\Delta P (R_{\text{К}}^2 - R_{\text{Я}}^2) \ln R_{\text{Я}}}{4 \cdot l_{\text{Я}} \cdot \mu \cdot \ln \frac{R_{\text{Я}}}{R_{\text{К}}}} + \frac{\Delta P \cdot R_{\text{К}}^2}{4 \cdot l_{\text{Я}} \cdot \mu} - \frac{\vartheta_{\text{Я}} \ln R_{\text{К}}}{\ln \frac{R_{\text{Я}}}{R_{\text{К}}}}. \quad (2.28)$$

Підставимо вирази (2.27) і (2.28) постійних інтегрування у залежність (2.19), отримаємо рівняння швидкості потоку повітря за умови, що потік повітря рівнозначний швидкості $\vartheta_{\text{Я}}$:

$$\begin{aligned} \vartheta = & \frac{\Delta P \cdot r^2}{4 \cdot l_{\text{Я}} \cdot \mu} + \frac{\vartheta_{\text{Я}} \ln r}{\ln \frac{R_{\text{Я}}}{R_{\text{К}}}} - \frac{\Delta P (R_{\text{К}}^2 - R_{\text{Я}}^2)}{4 \cdot l_{\text{Я}} \cdot \mu \cdot \ln \frac{R_{\text{Я}}}{R_{\text{К}}}} \ln R_{\text{К}} + \frac{\Delta P (R_{\text{К}}^2 - R_{\text{Я}}^2)}{4 \cdot l_{\text{Я}} \cdot \mu \cdot \ln \frac{R_{\text{Я}}}{R_{\text{К}}}} \ln r + \frac{\Delta P \cdot R_{\text{К}}^2}{4 \cdot l_{\text{Я}} \cdot \mu} \\ & - \frac{\vartheta_{\text{Я}} \ln R_{\text{К}}}{\ln \frac{R_{\text{Я}}}{R_{\text{К}}}}. \end{aligned} \quad (2.29)$$

Проведемо диференціювання залежності (2.29) по dr і підставимо рівняння дотичних напружень (2.16):

$$\frac{d\vartheta}{dr} = \frac{\Delta P \cdot r}{2 \cdot l_{\text{Я}} \cdot \mu} + \frac{\vartheta_{\text{Я}}}{r \cdot \ln \frac{R_{\text{Я}}}{R_{\text{К}}}} + \frac{\Delta P (R_{\text{К}}^2 - R_{\text{Я}}^2)}{4 \cdot l_{\text{Я}} \cdot \tau \cdot \ln \frac{R_{\text{Я}}}{R_{\text{К}}}}. \quad (2.30)$$

Тоді дотичні напруження будуть становити

$$\tau = \frac{\Delta P \cdot r}{2 \cdot l_{\text{Я}}} + \frac{\vartheta_{\text{Я}} \cdot \mu}{r \cdot \ln \frac{R_{\text{Я}}}{R_{\text{К}}}} - \frac{\Delta P (R_{\text{К}}^2 - R_{\text{Я}}^2)}{4 \cdot l_{\text{Я}} \cdot \tau \cdot \ln \frac{R_{\text{Я}}}{R_{\text{К}}}}. \quad (2.31)$$

Знаючи дотичні напруження, які виникають на поверхні якір-клапана в процесі його переміщення в такті «ссання», промодельємо силові характеристики роботи пневмоелектромагнітного пульсоколєктора.

2.5 Аналіз сил, що діють на якір-клапан пневмоелектромагнітного пульсоколектора

Розглянемо систему сил, які діють на якір-клапан у наступних режимах роботи. Розглянемо схеми роботи.

Такт ссання. Якір-клапан піднятий і на нього діють сили, наведені на рис. 2.12.

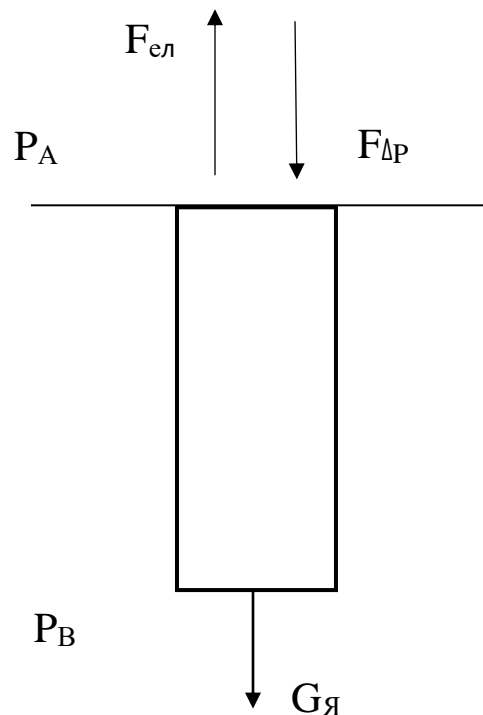


Рис. 2.12 – Схема дії сил на якір-клапан в такті «ссання»:

P_A – атмосферний тиск; P_B – вакууметричний тиск; $G_{я}$ – сила ваги якоря-клапана;

$F_{ел}$ – сила електромагніту; $F_{\Delta P}$ – сила спричинена різницею тисків

Для утримання якоря-клапана в режимі «ссання» записуємо рівняння рівноваги:

$$F_{ел} = F_{AT} + G . \quad (2.32)$$

Складову електромагнітної сили визначимо за формулою [98]:

$$F_{ел} = \frac{(IW)^2 \cdot S_{МП} \cdot \mu_0}{2 \cdot \delta^2} , \quad (2.33)$$

де IW – ампер-витки електромагніту, А·Вит;

$S_{МП}$ – площа поперечного перерізу магнітопроводу електромагніту, м²;

μ_0 – магнітна проникність у вакуумі, $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/М}$;

δ – зазор між якорем-клапаном та торцем магнітопроводу, м;

Силу різниці тисків визначаємо за формулою:

$$F_{\Delta P} = (P_A - P_B) \cdot \sum S_{AT}, \quad (2.34)$$

де $\sum S_{AT}$ – сумарна площа поперечного перерізу отворів у корпусі електромагніту (див. рис. 2.13):

$$\sum S_{AT} = \frac{\pi \cdot d_{\text{отв}}^2}{4} \cdot n_{\text{отв}}, \quad (2.35)$$

де $n_{\text{отв}}$ – кількість отворів, які сполучені з атмосферою, $n_{\text{отв}}=10$ од.

Гравітаційна сила ваги клапана відповідно становить:

$$G_{\text{я}} = m_{\text{я}} \cdot g, \quad (2.36)$$

де $m_{\text{я}}$ – маса якоря-клапана, кг.

Тоді вираз (2.32) набуде вигляду:

$$\frac{(IW)^2 \cdot S_{МП} \cdot \mu_0}{2 \cdot \delta^2} = (P_A - P_B) \cdot \sum S_{AT} + m_{\text{я}} \cdot g. \quad (2.37)$$

Площу поперечного перерізу магнітопроводу електромагніту розраховуємо за виразом:

$$S_{МП} = \pi \cdot (R_1^2 - R_2^2 + R_3^2). \quad (2.38)$$

З формули (2.37) визначаємо кількість ампер-витків в залежності від технологічних характеристик і конструкційних параметрів пульсоколлектора.

$$IW = \sqrt{\frac{(P_A - P_B) \cdot d_{\text{отв}}^2 \cdot n_{\text{отв}} \cdot \delta^2}{2 \cdot \mu_0 \cdot (R_1^2 - R_2^2 + R_3^2)} + \frac{m_{\text{я}} \cdot 2 \cdot \delta^2 \cdot g}{\mu_0 \cdot \pi \cdot (R_1^2 - R_2^2 + R_3^2)}}. \quad (2.39)$$

Проведемо моделювання умови утримання якоря-клапана у верхньому положенні, забезпечуючи функціонування такту «ссання» пневмоелектромагнітним пульсоколлектором (рис. 2.14, рис. 2.15).

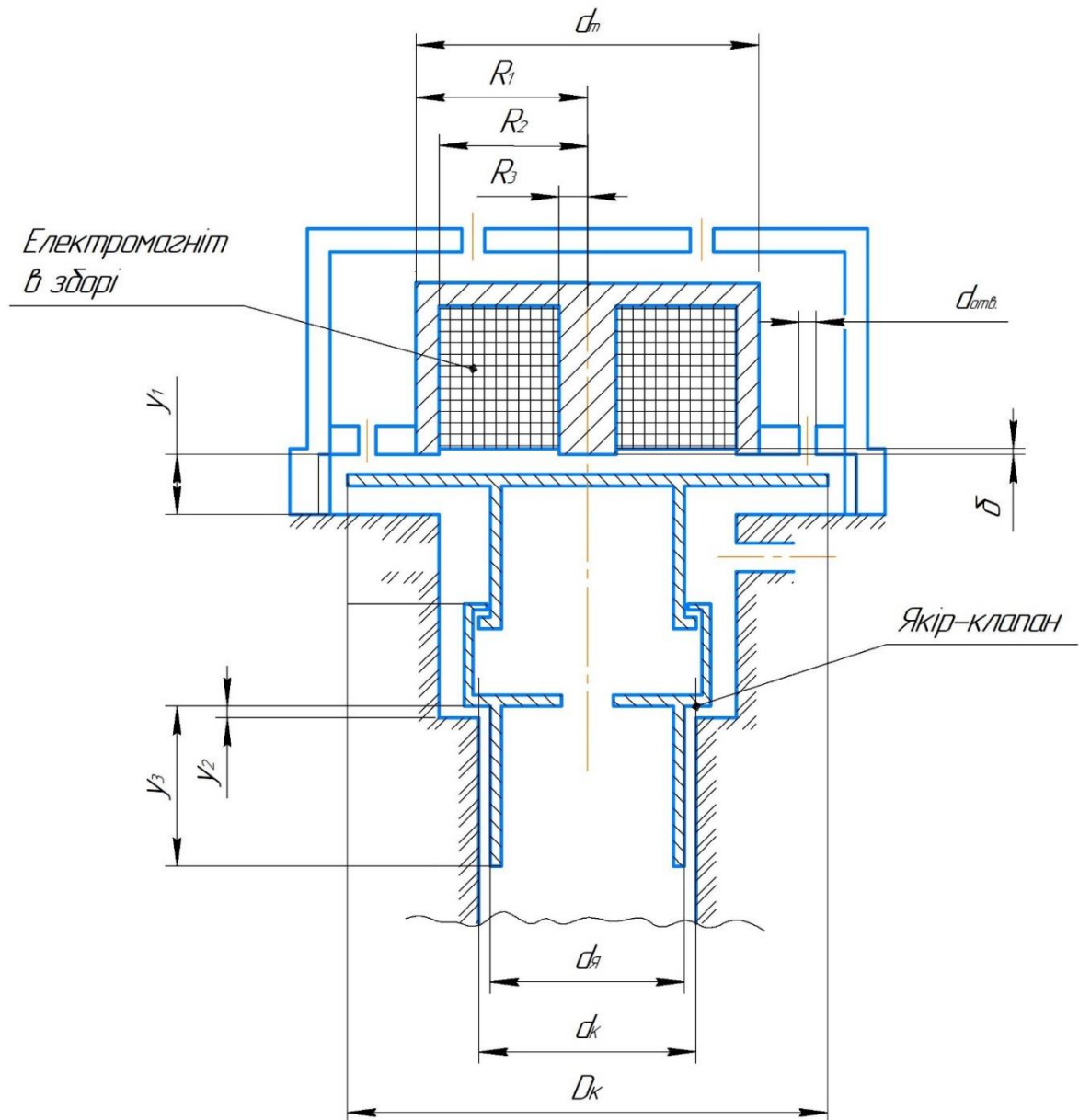


Рис. 2.13 – Схема системи «якір-клапан-електромагніт»

Результати моделювання показують, що із збільшенням зазору між верхньою площиною якоря-клапана і магнітопроводом та із зростанням вакуумметричного тиску значення ампер-витків електромагніту зростає. Так, за зазору $\delta=0,1$ мм кількість ампер-витків електромагніту для утримання якір-клапана у такті «ссання» перевищує $IW=9$ А·Вит і вакуумметричного тиску $P_B=50$ кПа. Якщо зазор $\delta=1$ мм і вакууметричний тиск $P_B=50$ кПа, для утримання якоря-клапана у верхньому положенні необхідно забезпечити для

електромагніту $IW=90$ А·Вит. Із збільшенням зазору δ ампер-витки електромагніту повинні зростають.

В режимі такту «стиску» якір-клапан буде знаходитись у нижньому положенні. Зазор між якорем-клапаном і магнітопроводом буде становити y_1 .

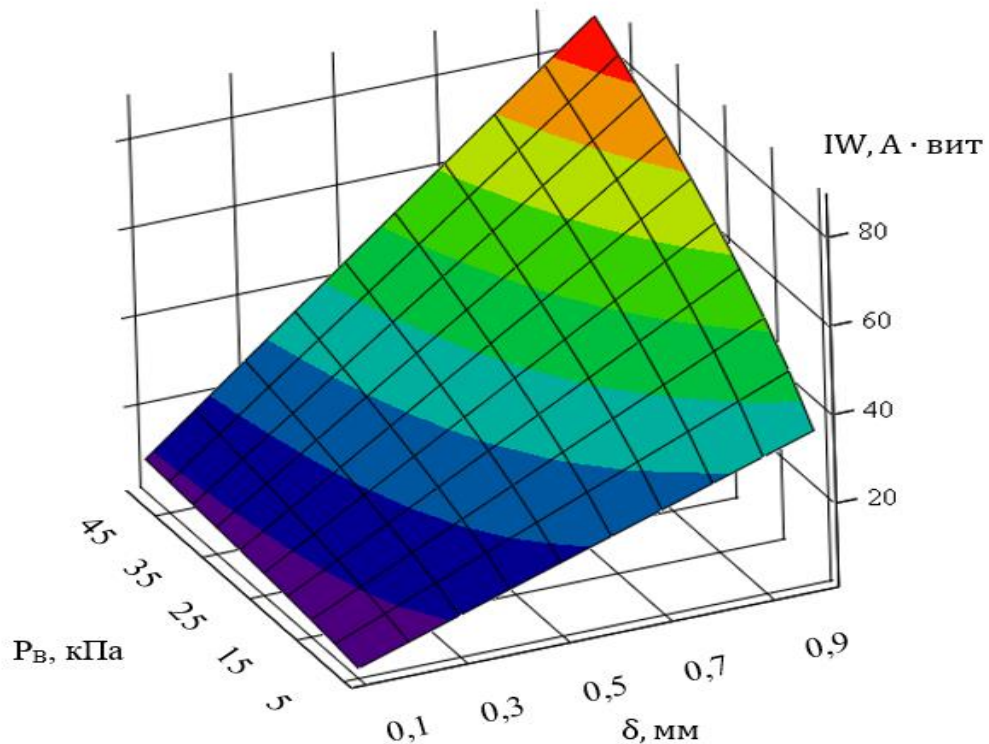


Рис. 2.14 – Залежність ампер-витків (IW) електромагніту для утримання якоря-клапана в такті ссання від вакуумметричного тиску (P_B) і віддалі (δ) між поверхнею якоря-клапана та магнітопроводом електромагніту

Тоді електромагнітна сила буде визначатись за залежністю:

$$F_{\text{ЕЛ}} = \frac{(IW)^2 \cdot S_{\text{МП}} \cdot \mu_0}{2 \cdot (\delta + y_1)^2}. \quad (2.40)$$

Силу різниці тисків визначимо за залежністю:

$$F_{\text{АТ}} = (P_A - P_B) \cdot (R_{\text{К1}}^2 - R_{\text{Я}}^2), \quad (2.41)$$

де $R_{\text{К1}}$ – радіус корпусу (рис. 2.13), м;

$R_{\text{Я}}$ – радіус якоря - клапана (рис. 2.13), м.

Тоді залежність (2.39) для умови «відривання» якоря-клапана у такті «стиску» буде мати вигляд:

$$IW = \sqrt{\frac{(P_{AT} - P_B) \cdot (R_{K1}^2 - R_{Я}^2) \cdot (\delta + y_1)^2 \cdot 2}{\mu_0 \cdot (R_1^2 - R_2^2 + R_3^2)}} + \frac{m_{Я} \cdot (\delta + y_1)^2 \cdot 2}{\mu_0 \cdot \pi \cdot (R_1^2 - R_2^2 + R_3^2)}. \quad (2.42)$$

В режимі такту «стиску» якір-клапан буде знаходитись у нижньому положенні. Зазор між верхню площиною якоря-клапана і торцем магнітопроводу електромагніту буде становити максимально $\delta = 4$ мм.

$IW, A \cdot \text{вит}$

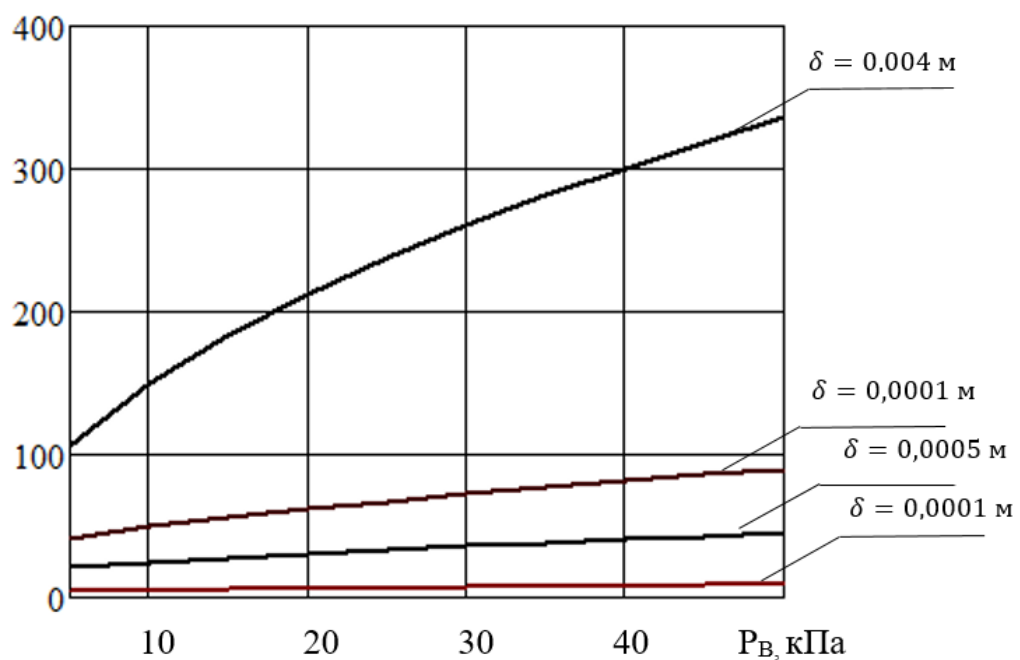


Рис. 2.15 – Залежність ампер-витків (IW) електромагніту для умови відривання якоря-клапана за вакуумметричного тиску (P_B) та віддалі (δ) між поверхнею якір-клапана і магнітопроводом

За зазору $\delta + y_1 = 0,004$ м для «відривання» якоря-клапана з нижнього положення (перехід від такту «стиску» до такту «ссання») та зміни вакуумметричного тиску від 5 кПа до 50 кПа ампер-витки електромагніту необхідно забезпечити від $IW = 106$ А·Вит до $IW = 335$ А·Вит (рис. 2.15).

2.6 Теоретичні дослідження часу переміщення якоря-клапана пневмоелектромагнітного пульсоколєктора

Розглянемо переміщення якоря-клапана, коли діє електромагнітна сила і якор-клапан знаходиться в процесі притягування електромагнітом. Запишемо рівняння руху якоря-клапана у наступному вигляді:

$$m_{\text{я}} \frac{dy^2}{dt^2} = F_{\text{ЕЛ}} - G_{\text{я}} - F_{\text{д}} - F_{\text{ТР}} \cdot \text{sing} \frac{dy}{dt}, \quad (2.43)$$

де $F_{\text{д}}$ – сила динамічного тиску, Н;

$F_{\text{ТР}}$ – сила тертя, яка виникає при потоку повітря між якорем-клапаном і корпусом, Н;

Силу динамічного тиску потоку повітря буде мати вигляд:

$$F_{\text{д}} = \rho_{\text{п}} \cdot \vartheta^2 \cdot S_{\text{ПК}} \cdot K_{\text{ОПТ}}, \quad (2.44)$$

де ϑ – швидкість потоку повітря, потік якого взаємодіє з поверхнею якоря-клапана, м/с;

$S_{\text{ПК}}$ – площа поверхні якоря-клапана, що взаємодіє з потоком повітря, м²;

$K_{\text{ОПТ}}$ – коефіцієнт лобового опору повітря;

$\rho_{\text{п}}$ – густина повітря за заданого тиску, кг/м³.

Силу тертя, що виникає за потоку повітря між якорем-клапаном і корпусом, розраховуємо за формулою:

$$F_{\text{ТР}} = \tau \cdot 2 \cdot \pi \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{к}}) \cdot y_{\text{з}}, \quad (2.45)$$

де τ – дотичні напруження тертя, залежність (2.31) Н/м²;

$y_{\text{з}}$ – віддаль контакту, де створюються дотичні напруження, м.

Враховуючи (2.40), (2.36), (2.44) і (2.45) рівняння (2.43) набуде вигляду:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{(IW)^2 \cdot S_{\text{МП}} \cdot \mu_0}{2 \cdot (\delta + y_1)^2 \cdot m_{\text{я}}} - g - \frac{\rho_{\text{п}} \cdot \vartheta^2 \cdot S_{\text{ПК}} \cdot K_{\text{ОПТ}}}{m_{\text{я}}} - \frac{\tau \cdot 2 \cdot \pi \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{к}}) \cdot y_{\text{з}}}{m_{\text{я}}} \cdot \text{sing} \frac{dy}{dt}. \quad (2.46)$$

Для зручності розв'язку залежності (2.46) проведемо деякі заміни. Вираз $\delta + y_1$ замінимо на y :

$$\delta + y_1 \Rightarrow y; \quad (2.47)$$

$$y_3 \Rightarrow y. \quad (2.48)$$

Відповідно, в залежностях (2.47) і (2.48) у харатерезує вертикальну складову переміщення якоря-клапана.

Залежність (2.46) з врахуванням рівнянь (2.47) та (2.48) набуде вигляду:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{(IW)^2 \cdot S_{МП} \cdot \mu_0}{2 \cdot y^2 \cdot m_{я}} - g - \frac{\rho_{П} \cdot \vartheta^2 \cdot S_{ПК} \cdot K_{ОПТ}}{m_{я}} - \frac{\tau \cdot 2 \cdot \pi \cdot (R_{я} + R_{к})}{m_{я}} \cdot y. \quad (2.49)$$

В залежності (2.49) складову $\sin g \frac{dy}{dt}$ невраховуємо при інтегруванні, так як вона характеризує напрям дії сил $F_{ТР}$.

Для зручності інтегрування приймаємо наступні заміни:

$$\frac{(IW)^2 \cdot S_{МП} \cdot \mu_0}{2 \cdot m_{я}} \Rightarrow A; \quad (2.50)$$

$$g + \frac{\rho_{П} \cdot \vartheta^2 \cdot S_{ПК} \cdot K_{ОПТ}}{m_{я}} \Rightarrow K; \quad (2.51)$$

$$\frac{\tau \cdot 2\pi \cdot (R_{я} + R_{к})}{m_{я}} \Rightarrow B. \quad (2.52)$$

Тоді залежність (2.49) із врахуванням (2.50), (2.51) і (2.52) запишемо:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{A}{y^2} - B \cdot y - K. \quad (2.53)$$

Диференціальне рівняння (2.53) приведемо до вигляду:

$$f_1(x) \cdot g_1(y^I) \cdot y^{II} = f_2(x) \cdot g_2(y^I); \quad (2.54)$$

$$\text{де } f_1(x) = 1; \quad g_1(y^I) = 1;$$

$$f_2(x) = \frac{A}{y^2} - B \cdot y - \frac{A}{y^2} - B_y - K;$$

$$g_2(y^I) = 1.$$

Отже, залежність (2.53) буде:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{A - By^3 - Ky^2}{y^2}. \quad (2.55)$$

Переведемо інтегрування (2.55) один раз:

$$\frac{dy}{dt} \int \frac{y^2 dy}{A - By^3 - Ky^2} = \int dt. \quad (2.56)$$

Для інтегрування залежності (2.56) вираз в знаменнику в лівій частині прирівнюємо до нуля і розв'яжемо кубічне рівняння.

Знаходимо корені рівняння, перемноживши вираз, замінивши змінну «у» на «х», тоді:

$$A - Bx^3 - Kx^2 = 0. \quad (2.57)$$

Корені рівняння (2.57) будуть становити:

$$x_1 = \frac{2\sqrt[3]{2} \cdot K^2 + B^2 \left(\frac{54 \cdot A}{B} - \frac{4K^3}{B^3} + 6\sqrt{3} \cdot \sqrt{\frac{A \cdot (27 \cdot A \cdot B^2 - 4K^3)}{B^4}} \right)^{\frac{2}{3}}}{6B^2 \sqrt[3]{\frac{27A}{B} - \frac{2K^3}{B^3} + 3\sqrt{3} \cdot \sqrt{\frac{A(27AB^2 - 4K^3)}{B^4}}}} - \frac{K}{3B}; \quad (2.58)$$

$$x_2 = \frac{2(-1)^{\frac{2}{3}} \cdot K^2 - \sqrt[3]{-2} \cdot B^2 \left(\frac{27A}{B} - \frac{2K^3}{B^3} + 3\sqrt{3} \cdot \sqrt{\frac{A \cdot (27AB^2 - 4K^3)}{B^4}} \right)^{\frac{2}{3}}}{3 \cdot 2^{\frac{2}{3}} \cdot B^2 \cdot \sqrt[3]{\frac{27A}{B} - \frac{2K^3}{B^3} + 3\sqrt{3} \cdot \sqrt{\frac{A \cdot (27AB^2 - 4K^3)}{B^4}}}} - \frac{K}{3B}; \quad (2.59)$$

$$x_3 = \frac{(-2)^{\frac{2}{3}} \cdot B^2 \left(\frac{27A}{B} - \frac{2K^3}{B^3} + 3\sqrt{3} \cdot \sqrt{\frac{A \cdot (27AB^2 - 4K^3)}{B^4}} \right)^{\frac{2}{3}} - 2\sqrt[3]{-2} \cdot K^2}{6B^2 \cdot \sqrt[3]{\frac{27A}{B} - \frac{2K^3}{B^3} + 3\sqrt{3} \cdot \sqrt{\frac{A \cdot (27AB^2 - 4K^3)}{B^4}}}} - \frac{K}{3B}. \quad (2.60)$$

Розв'язок рівняння (2.57) наведено в додатку А

Тоді результат інтегрування рівняння (2.56) буде:

$$\frac{dy}{dt} \cdot \left(- \sum_{x: x^3 B + x^2 K - A = 0}^x \frac{x \cdot \ln(|y - x|)}{2 \cdot K + 3x \cdot B} \right) = t + C_1. \quad (2.61)$$

Постійну інтегрування C_1 – визначаємо з умови:

$$t = 0; y = 0; \frac{dy}{dt} = 0; C_1 = 0.$$

Проінтегруємо рівняння (2.61).

$$- \int \sum_{x: x^3 B + x^2 K - A = 0}^x \frac{x \cdot \ln(|y - x|)}{2 \cdot K + 3x \cdot B} \cdot dy = \int t \cdot dt. \quad (2.62)$$

Проведемо заміну: $U = y - x$, де x – ціле число, незмінне у рівнянні (2.62)

Тоді

$$\frac{dU}{dy} = 1.$$

Відповідно:

$$\begin{aligned} & - \int \sum^x \frac{x \cdot \ln(|y-x|)}{2 \cdot K + 3x \cdot B} \cdot dy \Rightarrow \\ & \Rightarrow \sum^x \frac{x}{2 \cdot K + 3x \cdot B} \int \ln(U) \cdot dU = \\ & = \frac{x \cdot U \ln(U)}{2 \cdot K + 3x \cdot B} - \frac{x \cdot U}{2 \cdot K + 3x \cdot B}. \end{aligned} \quad (2.63)$$

Проводимо зворотню заміну

$$U = y - x;$$

Відповідно:

$$\begin{aligned} & \frac{x \cdot U \ln(U)}{2 \cdot K + 3x \cdot B} - \frac{x \cdot U}{2 \cdot K + 3x \cdot B} \Rightarrow \\ & \Rightarrow \frac{x \cdot (y-x) \cdot \ln(|y-x|)}{2 \cdot K + 3x \cdot B} - \frac{x \cdot (y-x)}{2 \cdot K + 3x \cdot B}. \end{aligned} \quad (2.64)$$

Тоді результат інтегрування залежності (2.62) буде:

$$- \left(\sum_{x: x^3 B + x^2 K - A = 0}^x \frac{x \cdot (y-x) \cdot \ln(|y-x|) - 1}{2 \cdot K + 3x \cdot B} \right) = \frac{t^2}{2} + C_2. \quad (2.65)$$

Постійну інтегрування C_2 визначаємо з умови $t = 0; y = 0$;

$$- \left(\sum^x \frac{-x^2 \cdot (\ln(|-x|) - 1)}{2 \cdot K + 3x \cdot B} \right) = C_2. \quad (2.66)$$

Враховуючи вирази (2.65), (2.66) та значення коефіцієнтів (2.50), (2.51), (2.52) і коренів (2.58), (2.59), (2.60) рівняння (2.57) отримаємо залежність, яка характеризує тривалість піднімання якоря-клапана пневмоелектромагнітного пульсоколектора в залежності від вакуумметричного тиску, конструкційних параметрів пульсоколектора і ампер-витків електромагніту.

$$\frac{t^2}{2} = - \left(\left(\sum_{x: x^3 B + x^2 K - A = 0}^x \frac{\ln(y-x)^{xy-x^2} - xy}{3 \cdot K + 3x \cdot B} \right) \right); \quad (2.67)$$

або

$$t = \sqrt{-2 \left(\sum_{x: x^3 B + x^2 K - A = 0}^x \frac{\ln(y-x)xy - x^2 - xy}{3 \cdot K + 3x \cdot B} \right)}; \quad (2.67, a)$$

де x – корені рівняння (2.58), (2.59), (2.60);

$$K = g + \frac{\rho_{\Pi} \cdot \vartheta^2 \cdot S_{\text{ПК}} \cdot K_{\text{ОПТ}}}{m_{\text{Я}}};$$

$$B = \frac{\sigma \cdot 2\pi \cdot (R_{\text{Я}} + R_{\text{К}})}{m_{\text{Я}}}.$$

$S_{\text{ПК}}$ – площа поверхні якоря-клапана, м^2 .

$$S_{\text{ПК}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{К}}^2}{4}.$$

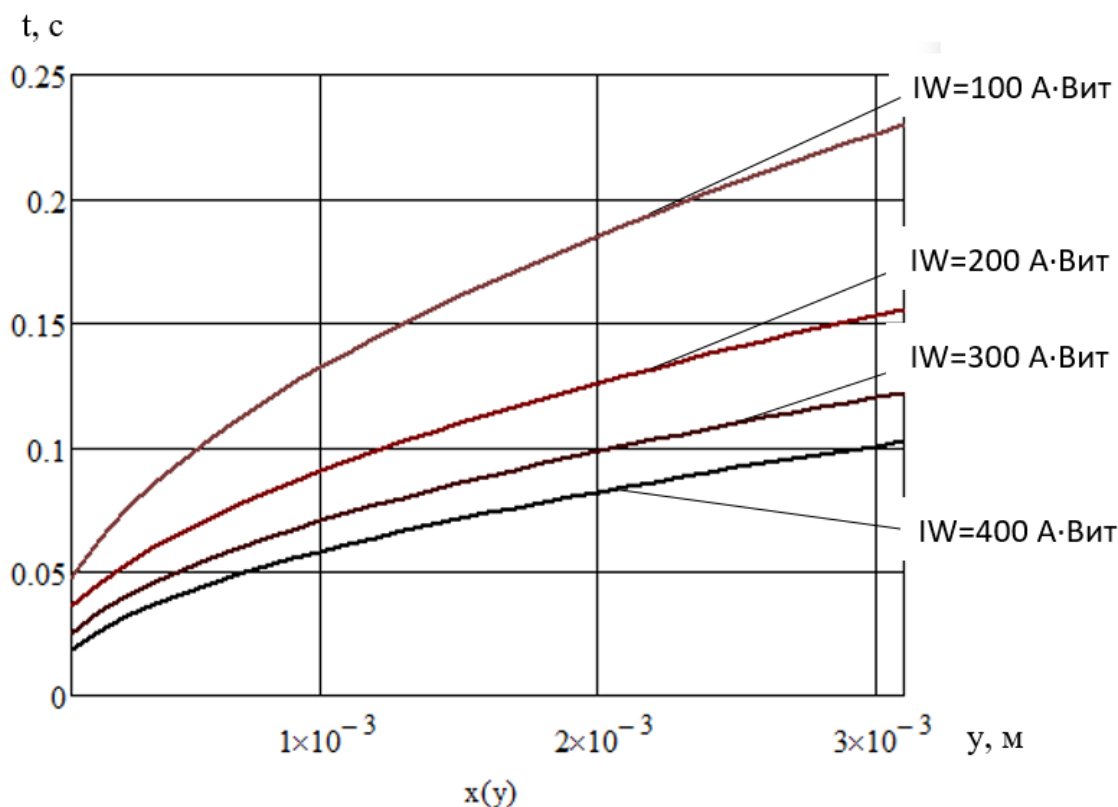


Рис. 2.16 – Час підняття якоря-клапана на віддаль u за заданого значення ампер-витків електромагніту

Дотичні напруження (2.31) з врахуванням системи рівнянь (2.26) для визначення переміщення якоря-клапана у рівнянні (2.67,а) розраховуємо за залежністю:

$$\tau = -\frac{(P_A - P_B) \cdot r}{2 \cdot (y_3 - y)} + \frac{(P_A - P_B) \cdot (R_K^2 - R_{Я}^2)}{4 \cdot (y_3 - y) \cdot r} \cdot \left(\frac{1}{\ln \frac{R_K}{R_{Я}}} \cdot \frac{\ln \frac{R_{Я}}{r}}{\ln \frac{r}{R_K}} - \frac{1}{\ln \frac{R_{Я}}{R_K}} \right). \quad (2.68)$$

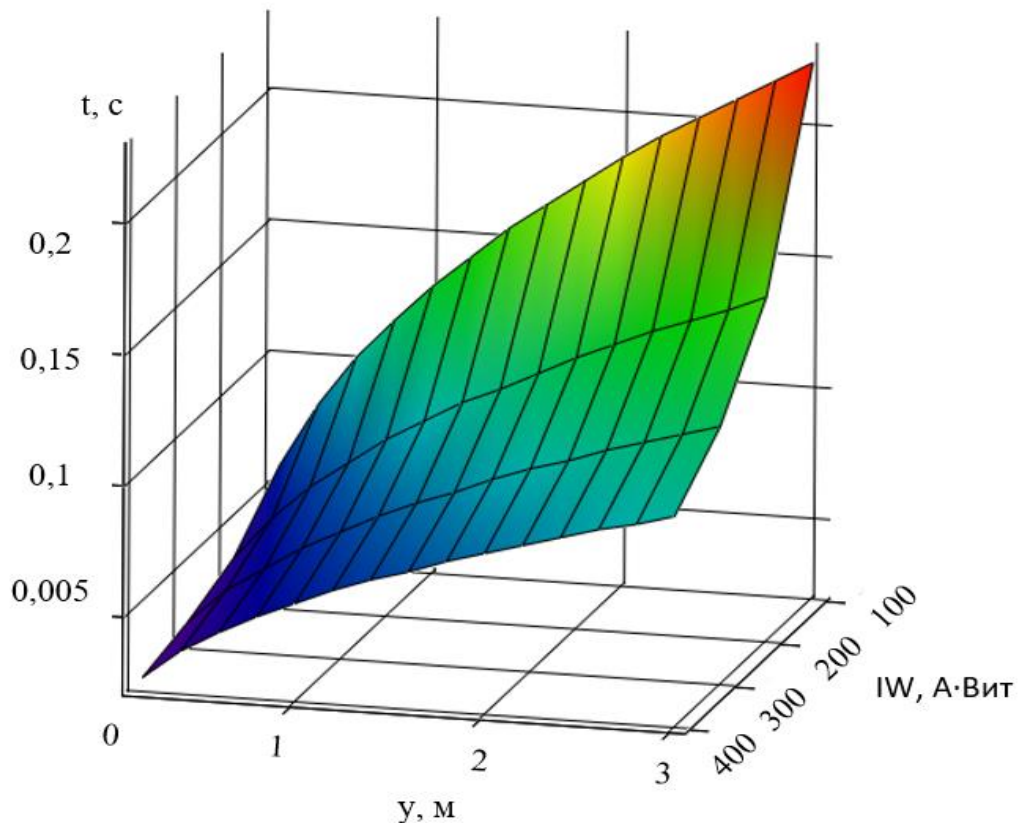


Рис. 2.17 – 3-D графічна залежність тривалості піднімання якоря-клапана на віддаль у залежності від ампер-витків IW елетромагніту

Моделювання залежності тривалості переміщення якоря-клапана пневмоелетромагнітного пульсоколєктора в залежності від вакуумметричного тиску, конструкційних параметрів і ампер-витків елетромагніту проводили в середовищі Mathcad. Результати моделювання приведено на рис. 2.16 - 2.17. Аналіз результатів моделювання тривалості піднімання якоря-клапана за переходу пневмоелетромагнітного пульсоколєктора від такту «стиску» до такту

«ссання» (рис. 2.16 - 2.17) є нелінійною характеристикою. Із збільшенням ампер-витків електромагніту тривалість часу піднімання якоря-клапана зменшується. За $IW=400$ А·Вит і вакуумметричного тиску $P_B=50$ кПа, час піднімання якоря-клапана на віддалі $y=4$ мм становить $t=0,102$ с. За $IW=100$ А·Вит час піднімання якоря-клапана становить $t=0,23$ с. Із збільшенням потужності електромагніту тривалість піднімання якоря-клапана зменшується.

2.7 Висновки до другого розділу

1. Розроблено структурно - функціональну схему пневмоелектромагнітного пульсоколектора, що реалізує унеможливлення силового навантаження дійкової гуми на дійку методом урівноваження тисків в міжстінковій і піддійковій камерах доїльних стаканів.

2. Отримано аналітичні залежності (2.21) і (2.31) для моделювання швидкості потоку повітря в між стінному просторі “якір-клапан – внутрішня поверхня корпусу пульсоколектора” та дотичних напружень, які встановлюють взаємозв’язок між характеристикою середовища, вакуумметричним тиском і конструкційними параметрами якоря-клапана, що уможлиблює моделювання кінематичних характеристик руху повітря й дії динамічного зусилля на якір-клапан. Встановлено, що за зміни вакуумметричного тиску від 15 до 40 кПа і зазору міжстінного простору “якір-клапан – внутрішня поверхня корпусу пульсоколектора” 4 мм максимальна швидкість потоку повітря змінюється від 82,98 м/с до 221,30 м/с.

3. Отримано аналітичну залежність (2.39) для визначення ампер-витків електромагніту в режимі утримання якоря-клапана в положення для такту ссання та в момент підняття якоря-клапана в такті стиску в залежності від технологічних характеристик і конструкційних параметрів пульсоколектора.

Встановлено, що із збільшенням зазору між верньою площиною якір-клапана і магнітопроводом та із зростанням вакуумметричного тиску значення ампер-витків електромагніту зростає. Так, за зазору $\delta=0,1$ мм кількість ампер-

витків електромагніта для утримання якір-клапана у такті «ссання» перевищує $IW=9 \text{ А}\cdot\text{Вит}$ і вакуумметричного тиску $P_B=50 \text{ кПа}$. Якщо зазор $\delta=1 \text{ мм}$ і вакуумметричний тиск $P_B=50 \text{ кПа}$, для утримання якір-клапана у верхньому положенні необхідно $IW=90 \text{ А}\cdot\text{Вит}$ електромагніту. Із збільшенням зазору δ ампер-витки електромагніту зростають.

Для підняття якір-клапана з нижнього положення (перехід від такту «стиску» до такту «ссання») та зміни вакуумметричного тиску від 5 кПа до 50 кПа ампер-витки електромагніту необхідно забезпечити від $IW=106 \text{ А}\cdot\text{Вит}$ до $IW=335 \text{ А}\cdot\text{Вит}$.

4. У результаті теоретичних досліджень встановлено, що за $IW=400 \text{ А}\cdot\text{Вит}$ і вакуумметричного тиску $P_B=50 \text{ кПа}$, час піднімання якоря-клапана на віддалі $y=4 \text{ мм}$ становить $t=0,102 \text{ с}$. За $IW=100 \text{ А}\cdot\text{Вит}$ час піднімання якоря-клапана становить $t=0,23 \text{ с}$, і із збільшенням потужності електромагніту тривалість піднімання якоря-клапана зменшується.

5. Аналіз теоретичних досліджень показує, що тривалість піднімання якоря-клапана за переходу пневмоелектромагнітного пульсоколектора від такту «стиску» до такту «ссання» залежність (2.67) є нелінійною характеристикою із збільшенням ампер-витків електромагніту тривалість часу піднімання якоря-клапана зменшується. Із зменшенням вакуумметричного тиску тривалість піднімання якоря-клапана за переходу пневмоелектромагнітного пульсоколектора від такту «стиску» до такту «ссання» також зменшується.

Раціональним параметром для конструювання електромагніту пневмоелектромагнітного пульсоколектора є $IW=335 \text{ А}\cdot\text{Вит}$. Відповідно час переходу від такту стиску до такту ссання буде $t=0,102 \text{ с}$.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПНЕВМОЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПУЛЬСОКОЛЕКТОРА ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА

3.1 Програма експериментальних досліджень

Для проведення експериментальних досліджень було виготовлено дослідний зразок пневмоелектромагнітного пульсоколектора. Програма експериментальних досліджень пневмоелектромагнітного пульсоколектора передбачає проведення експериментальних лабораторних досліджень. До програми експериментальних досліджень входять:

- удосконалення лабораторного стенду для експериментальних досліджень пневмоелектромагнітного пульсоколектора;
- визначення впливу частоти пульсації і співвідношення між тактами на потужність приводу якоря-клапана;
- визначення впливу частоти пульсації, співвідношення між тактами та вакуумметричного тиску на інтенсивність молоковіддачі доїльного апарата з пневмоелектромагнітним пульсоколектором;
- дослідження взаємозв'язку між тиском в міжстінковій та піддійковій камерах доїльних стаканів і технологічними параметрами доїльного апарата з пневмоелектромагнітним пульсоколектором;
- перевірка роботоздатності пневмоелектромагнітного пульсоколектора у виробничих умовах.

3.2 Розроблений пневмоелектромагнітний пульсоколектор та лабораторний стенд для експериментальних досліджень

Загальний вигляд пневмоелектромагнітного пульсоколектора, наведено на рис. 3.1.



Рис. 3.1 – Загальний вигляд пневмоелектромагнітного пульсоколетора

Прототипом для порівняння може бути пневматичний пульсоколектор, який складається з комбінованого корпусу з вхідними молочними і повітряними патрубками, тарілчастого стержня, розподільника камер, кришки, молокозбірної камери, клапана в зборі [55].

На рис. 3.2 наведено набір вузлів та деталей, які складають конструкцію пневмоелектромагнітного пульсоколетора доїльного апарата. Електромагніт встановлений герметично в верхню кришку, для створення камери атмосферного тиску (простір між електромагнітом та кришкою).

Для дослідження доїльного обладнання удосконалено лабораторний стенд [56].

Враховуючи особливості проведення досліджень, укомплектовано лабораторний стенд пневмоелектромагнітним пульсоколетором та системою автоматизованого зняття експериментальних даних [85].

Укомплектовано інтерфейсом прийому-передачі даних від сенсорів, системою вимірювання параметрів тисків та системою керування. Удосконалена лабораторний стенд дає змогу [86, 91, 97]:

- вимірювати вакуумметричний тиск у вхідному та вихідних патрубках пульсоколектора, в міжстінній та піддійковій камерах доїльних стаканів;



Рис. 3.2 – Будова пневмоелектромагнітного пульсоколектора:

- 1 – верхня гайка; 2 – електромагніт в зборі з кришкою; 3 – прокладка герметична; 4 – верхній частина якоря-клапана; 5– нижня частина якоря-клапана; 6 - корпус; 7 –молочна камера в зборі

- перетворення аналогових сигналів від первинних перетворювачів у цифровий код з подальшим їх опрацюванням та зберіганням в комп'ютері;
- відображення параметрів тиску сенсорів в режимі реального часу у графічному вигляді.

Додатково вмонтовані вакуумметри, які уможливають візуально стежити за зміною вакуумметричного тиску, для виставлення початкових умов експериментів без цифрової обробки аналогового сигналу від сенсорів. Використано цифровий блок живлення, що уможливує регулювання напруги і струму електромагніту пульсоколектора [86, 91 - 97].

Запропонована схема встановлення вимірювальних сенсорів дає змогу проводити дослідження роботи пульсоколектора, визначати вплив встановлених параметрів на характер зміни тисків у міжстінковій та піддійковій камерах доїльних стаканів, отримувати дані про вакуумметричний тиск у колекторі, на вході та виході пульсоколектора, в молочній та вакуумній лінії. Також на стенді було встановлено систему вимірювання інтенсивності молоковіддачі, система керування пневмоелектромагнітним пульсоколектором [56, 86].

Загальний вигляд лабораторного стенду наведено на рис. 3.4.

Пневмоелектромагнітний пульсоколектор 18 під'єднаний до штучного вим'я 23, вакуумметричний тиск вакуумним шлангом 19 подається до доїльного відра 5, та через молочний шланг 24 подається в пульсоколектор 18 до якого під'єднані доїльні стакани 2. Для вимірювання вакуумметричного тиску встановлено інтелектуальні сенсори тиску в камерах: піддійковій доїльного стакана – 13; міжстінковій доїльного стакана – 14; колекторі пульсоколектора доїльного апарата – 15; молокопроводі – 16. Послідовний цифровий код від інтелектуальних сенсорів подається на інтерфейс прийому-передачі даних 10, надходить до центрального комп'ютера 22, де здійснюється подальше опрацювання інформації. Сенсори живляться від блоку 4, а електромагніт від цифрового блоку живлення 9.

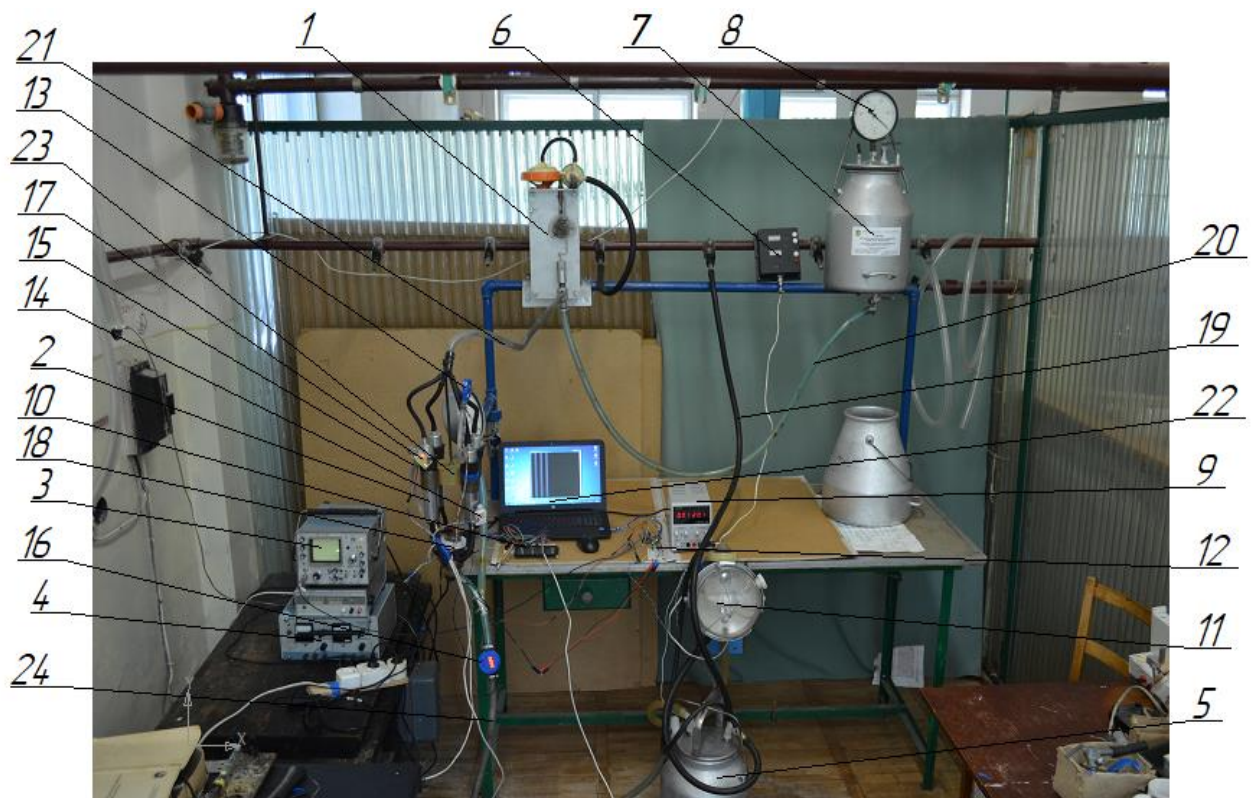


Рис. 3.4 - Загальний вигляд стенда для експериментальних досліджень [85]:
 1 – імітатор інтенсивності молоковіддачі; 2 – доїльні стакани; 3 – осцилограф;
 4 – блок стабілізованої напруги; 5 – доїльне відро; 6 – електронний блок вимірювача молоковіддачі; 7 – місткість імітатора молока; 8 – вакуумметр;
 9 – цифровий блок стабілізованої напруги і струму; 10 – система опрацювання даних від сенсорів вакуумметричного тиску; 11 – калібрувальний вимірювач молоковіддачі; 12 – система керування електромагнітом; 13-16 – сенсори тиску;
 17 - блок керування співвідношенням тактів та частотою пульсації;
 18 – пневмоелектромагнітний пульсоколектор; 19 – вакуумний шланг;
 20, 21, 24 – молочні шланги; 22 – центральний комп'ютер; - 23 – штучне вим'я

Детальна структурна схема лабораторної установки приведена на рис.3.5.

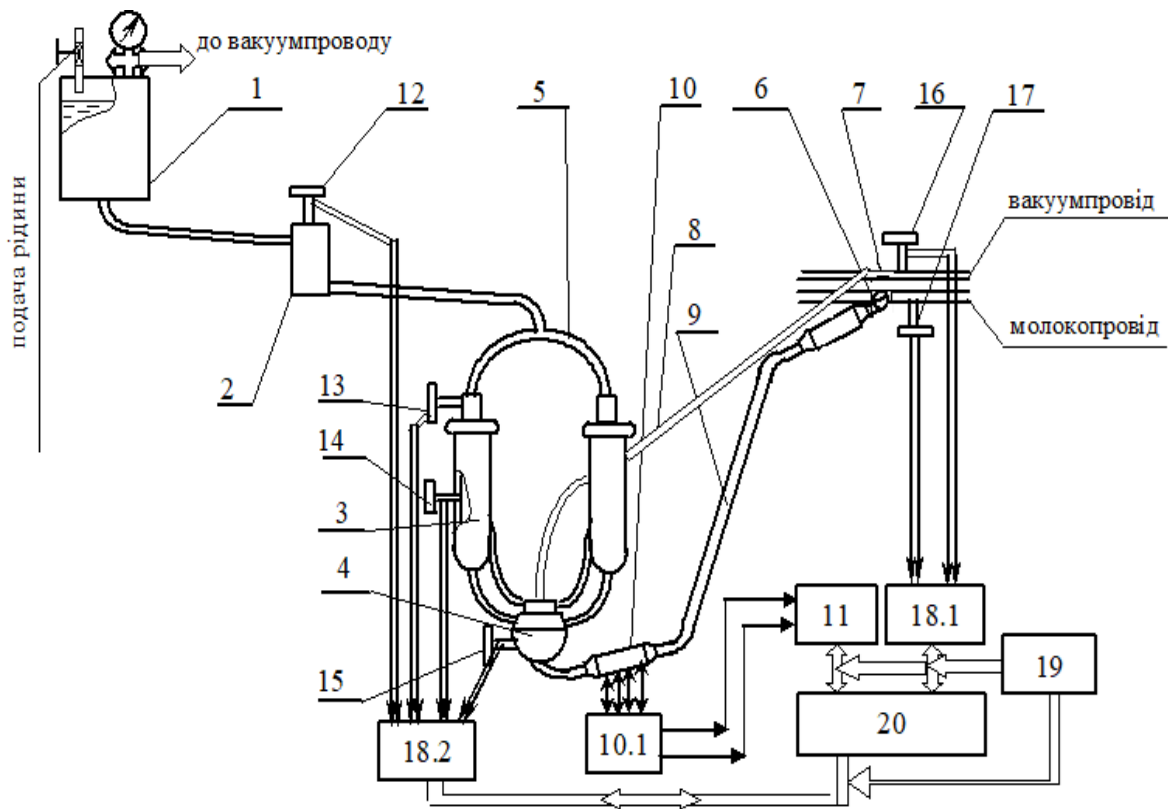


Рис. 3.5 – Структурна схема стенда для експериментальних досліджень:
 1 – місткість імітатора молока; 2 – імітатор інтенсивності молоковіддачі;
 3 – доїльні стакани; 4 – пневмоелектромагнітний пульсоколектор; 5 – штучне
 вим'я; 6 – молокопровід; 7 – вакумпривід; 8 – вакуумний шланг; 9 – молочний
 шланг; 10 – вимірювач інтенсивності молоковіддачі; 10.1 – електронний блок;
 11 – однокристальний мікроконтролер; 12 – сенсор імітатора молоковіддачі;
 13-17 – сенсори вакуумметричного тиску; 18 – однокристальний
 мікроконтролер обробки інформації з сенсорів тиску; 19 – цифровий блок
 стабілізованої напруги; 20 – комп'ютер з АЦП

Графіки даних зміни вакуумметричного тиску знятих з сенсорів встановлених на пульсоколекторіколекторі, при різних значеннях інтенсивності молоковіддачі, частоти пульсації та співвідношенні між тактами, в піддійковій та міжстінковій камерах доїльних стаканів наведено в дод. Б.

3.3 Методика експериментальних досліджень потужності пневмоелектромагнітного пульсоколектора

Для виконання програми експериментальних досліджень потужності пневмоелектромагнітного пульсоколектора було проведено експериментальне дослідження.

Основними факторами, відповідно до теоретичних висновків, які впливають на зміну потужності пульсоколектора та змінювались при проведенні даного експерименту є частота пульсації x_1 та співвідношення між тактами x_2 . Вакууметричний тиск (48 кПа) та інтенсивність молоковіддачі (39 г/с) залишались не змінними впродовж усього експерименту.

Плануємо двохфакторний планований експеримент на трьох рівнях із трикратною повторюваністю дослідів. Кількість дослідів визначаємо за формулою [63, 82]:

$$N = n^k, \quad (3.1)$$

де n – кількість рівнів фактора, приймаємо $n = 3$;

k – кількість факторів, приймаємо $k = 2$.

Звідси кількість дослідів отримаємо:

$$N = 3^2 = 9.$$

Врахувавши три кратну повторюваність дослідів, загальна кількість їх становитиме:

$$\sum N = 9 \cdot 3 = 27 \text{ дослідів.}$$

Приймаємо некомпозиційний план другого порядку Бокса-Бенкена [87].

Матрицю некомпозиційного плану другого порядку для двох факторів приведено в табл. 3.1.

На основі реальних режимів роботи доїльного апарату вибрано межі значень факторів, два рівні, нижній і верхній, в межах яких кожний з факторів змінювали при експерименті. Знаючи два основних рівні визначили основний – нульовий рівень та вибрали інтервал варіювання факторів. Навколо нульового рівня симетрично розміщуються експериментальні точки.

Матриця планованого двофакторного експерименту

№ дослідю	Рівні факторів		Потужність пневмоелетромагнітного пульсоколектора
	x_1	x_2	
1	+1	+1	y_1
2	0	+1	y_2
3	-1	+1	y_3
4	+1	-1	y_4
5	0	-1	y_5
6	-1	-1	y_6
7	+1	0	y_7
8	0	0	y_8
9	-1	0	y_9

Після цього переходимо від натуральних до кодованих значень факторів x_i , для цього скористаємося формулою [87, 88]:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\varepsilon}, \quad (3.2)$$

де X_i – натуральне значення фактора (розмірна величина);

X_{0i} – натуральне значення фактора на нульовому рівні;

ε – інтервал варіювання.

Інтервал варіювання визначаємо за формулою [82, 88]:

$$\varepsilon = \frac{x_i^B - x_i^H}{2}, \quad (3.3)$$

де $x_i^B - x_i^H$ – різниця значень i -го фактора на верхньому і нижньому рівнях відповідно.

Потужність пневмоелетромагнітного пульсоколектора залежать від частоти пульсації n , Гц та співвідношення між тактами ссання та стиску t/T , вибираємо рівні факторів.

Рівні варіювання факторів та їх дійсні та кодовані значення преведені в табл. 3.2

Таблиця 3.2

Рівні варіювання, дійсні та кодовані значення факторів

Фактор	Позначення	Розмірність	Рівні факторів			Інтервал варіювання ε
			верхній	нульовий	нижній	
			Кодові значення			
			+1	0	-1	
частоти пульсації n ,	x_1	Гц	1,33	1	0,67	0,33
співвідношення між тактами ссання та стиску t/T	x_2		2,33	1,5	0,67	0,83

Метою дослідження є одержання кореляційної залежності між факторами (частотою пульсації та співвідношенням між тактами) і критерієм відгуку (потужність пульсоколектора). За математичну модель прийнята функція:

$$y = f(n, t/T). \quad (3.4)$$

Дана кореляційна залежність може бути представлена у вигляді полінома:

$$y = b_0 + \sum^k b_i x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum^k b_{ii} x_i^2, \quad (3.5)$$

де y – функція відгуку;

b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коефіцієнти кореляційної залежності;

x_1, x_2 – кодовані значення факторів;

i, j – номери факторів.

Для апроксимації використовуємо лінійну частину кореляційної залежності (3.5).

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2. \quad (3.6)$$

Якщо залежність виявиться неадекватною, тоді використовується квадратична:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2. \quad (3.7)$$

Величини b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} називаються коефіцієнтами регресії і визначаються за формулами:

$$b_0 = k_1(n) \sum_{g=1}^N \bar{y}_g - k_2(n) \sum_{i=1}^n \sum_{g=1}^N x_{ig}^2 \bar{y}_g; \quad (3.8)$$

$$b_i = k_3(n) \sum_{g=1}^N x_{ig} \bar{y}_g; \quad (3.9)$$

$$b_{ij} = k_4(n) \sum_{g=1}^N x_{ig} x_{jg} \bar{y}_g; \quad (3.10)$$

$$b_{ii} = k_5(n) \sum_{g=1}^N x_{ig}^2 \bar{y}_g + k_6(n) \sum_{i=1}^n \sum_{g=1}^N x_{ig}^2 \bar{y}_g - k_7(n) \sum_{g=1}^N \bar{y}_g, \quad (3.11)$$

де $k_i(n)$ – табличні значення коефіцієнтів, які стосуються конкретного плану експерименту та області планування;

N – кількість дослідів.

Дані коефіцієнти регресії визначали з використанням програмного забезпечення Statistica 12.1 від StatSoft inc та Microsoft Excel 2016.

Після отримання результатів проведеного експерименту, опрацьовуємо їх за методикою [63 - 67]. Виходячи з того, що досліді мають однакову повторюваність, визначаємо їх відтворюваність за критерієм Кохрена (G- критерій). Відтворюваність моделі:

$$G_p \leq G_T, \quad (3.12)$$

де G_T – табличне значення критерію Кохрена, що визначається для ступенів вільності $f_1=m-1$ та $f_2=N$ і рівня значимості q (в технічних розрахунках приймається 5%-й рівень значимості $q = 0,05$);

G_p – розрахункове значення критерію Кохрена.

Якщо умова (3.12) виконується тоді експеримент є відтворюваним, якщо умова (3.12) не виконується, тоді експеримент є невідтворюваним. Розрахункове значення критерію визначаємо за формулою:

$$G_p = \frac{S_{n_{max}}^2}{\sum_{n=1}^N S_{ni}^2}, \quad (3.13)$$

де $S_{n_{max}}$ – максимальне значення порядкової дисперсії у досліді;

S_{ni} – порядкова дисперсія, яка визначається за формулою:

$$S_{ni}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (y_i - y_c)^2}{m - 1}, \quad (3.14)$$

де m - кількість дослідів, що повторюються.

$$y_c = \frac{\sum_{n=1}^m y_i}{m}. \quad (3.15)$$

Маючи два фактори, які впливають на критерій відгуку, можна зрозуміти що один з них має більший вплив, а інший менший. Для цього проводимо оцінку значимості коефіцієнтів, перевіряємо за допомогою критерію Стюдента (t – критерій) за умовою:

$$t_{ip} > t_m, \quad (3.16)$$

де t_{ip} - розрахункове значення t – критерію;

t_m – табличне значення критерію, визначене для вибраної величини значимості (0,95) й ступеня вільності $f_2 = N(m - 1)$;

N - кількість дослідів;

m - кількість повторюваності дослідів.

Розрахункове значення t – критерію визначаємо за формулою [89]:

$$t_{ip} = \frac{|b_i|}{S_{b_i}}, \quad (3.17)$$

де S_{b_i} - середньоквадратична похибка коефіцієнта регресії.

Дисперсію коефіцієнтів регресії визначають за формулою [64]:

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_2^2}{N}, \quad (3.18)$$

де S_2 - головна дисперсія, що залежить лише від похибки дослідів та кількості дослідів.

Головну дисперсію визначають за формулою:

$$S_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_n^2}{N}. \quad (3.19)$$

Перевірка кореляційної моделі на адекватність виконуємо за відомим методом [62 - 64], визначаємо за допомогою критерію Фішера (F - критерію). Для цього визначимо дисперсію адекватності:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_{pi} - \bar{y}_{ci})^2}{N-d}, \quad (3.20)$$

де \hat{y}_{pi} – середнє значення змінної, отримане розрахункованим чином;

\bar{y}_{ci} – середнє значення змінної, отримане розрахунковим чином;

d – кількість значущих коефіцієнтів у рівнянні регресії.

Адекватність моделі оцінюємо за умовою:

$$F_p \leq F_T \text{ – модель адекватна;}$$

$$F_p \geq F_T \text{ – модель не адекватна,} \quad (3.21)$$

де F_T – табличне значення F-критерію, визначене для заданого значення значимості і ступеня вільності головної дисперсії $f_2 = N - d$ та дисперсії адекватності $f_2 = N(m - 1)$.

Розрахункове значення критерію Фішера $F_{роз}$ визначаємо зі співвідношення [82 - 83]:

$$F_{роз} = \frac{S_{ad}^2}{S_2^2}. \quad (3.22)$$

3.4 Методика експериментальних досліджень інтенсивності молоковіддачі

Для визначення впливу частоти пульсації і співвідношення між тактами на інтенсивність молоковіддачі проведено планований експеримент [64, 89].

Основні фактори, які впливають на інтенсивність молоковіддачі є частота пульсації x_1 , співвідношення між тактами x_2 та вакууметричний тиск в піддійковій камері доїльного стакана x_3 .

Маючи фактори які впливають на інтенсивність молоковіддачі проводимо трифакторний планований експеримент на трьох рівнях з трикратною повторюваністю дослідів. Відповідно до формули (3.1) визначаємо кількість дослідів:

$$N = 3^3 = 27.$$

Загальна їх кількість відповідно становитиме:

$$\sum N = 27 \cdot 3 = 81.$$

Як і у випадку з дослідженням потужності пневмоелектромагнітного пульсоколектора, прийнятий некомпозиційний план другого порядку Бокса-Бенкена [65], матриця якого приведена в табл. 3.3.

Межі значень факторів вибираємо для реальних режимів роботи доїльного апарата. Прийнято два рівні, нижній і верхній, в межах яких фактор змінює своє значення впродовж експерименту. Щоб симетрично розмістити експериментальні точки було визначено основний – нульовий рівень, та визначено варіювання факторів.

Від натуральних до кодованих значень факторів переходимо за формулою (3.2). Інтервал варіювання визначаємо за формулою (3.3).

Інтенсивність молоковіддачі q залежить від частоти пульсації n , співвідношення такту ссання до такту стиску t/T та вакуумметричного тиску P_n в піддійковій камері доїльного стакану.

Рівні факторів приведено в табл. 3.4.

Метою експерименту є визначення кореляційної залежності між факторами і критерієм відгуку – інтенсивності молоковіддачі. За математичну модель приймаємо функції :

$$y = f(n, t/T, P_n). \quad (3.23)$$

Поліном даної кореляційної залежності відповідає залежності (3.5).

Для апроксимації процесу використана лінійна частина кореляційної залежності, яка відповідає (3.6), а за її неадекватності – квадратична залежність (3.7).

Величини b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} (коефіцієнти регресії) приведені у рівняннях (3.6) – (3.7) і визначаються з використанням відомої методики [67 - 68] за формулами (3.8) – (3.11).

Таблиця 3.3

Матриця планованого трифакторного експерименту

№ дослід	Рівні факторів			Інтенсивність молоковіддачі
	x_1	x_2	x_3	y
1	+1	+1	+1	y_1
2	0	+1	+1	y_2
3	-1	+1	+1	y_3
4	+1	+1	-1	y_4
5	0	+1	-1	y_5
6	-1	+1	-1	y_6
7	+1	+1	0	y_7
8	0	+1	0	y_8
9	-1	+1	0	y_9
10	+1	-1	+1	y_{10}
11	0	-1	+1	y_{11}
12	-1	-1	+1	y_{12}
13	+1	-1	-1	y_{13}
14	0	-1	-1	y_{14}
15	-1	-1	-1	y_{15}
16	+1	-1	0	y_{16}
17	0	-1	0	y_{17}
18	-1	-1	0	y_{18}
19	+1	0	+1	y_{19}
20	0	0	+1	y_{20}
21	-1	0	+1	y_{21}
22	+1	0	-1	y_{22}
23	0	0	-1	y_{23}
24	-1	0	-1	y_{24}
25	+1	0	0	y_{25}
26	0	0	0	y_{26}
27	-1	0	0	y_{27}

Коефіцієнти регресії як і в першому випадку визначали з використанням програмного забезпечення Statistica 12.1 від StatSoft inc та Microsoft Excel 2016.

Статистичне опрацювання результатів отриманих в результаті експерименту провели за відомою методикою [63 - 64, 68, 82, 89]. Всі досліди мають однакову повторюваність. Відтворюваність оцінюємо за критерієм Кохрена (G-критерій). За умови (3.12) проведені досліди є відтворюваними. Якщо ж не виконується умова (3.12) досліди є невідтворюваними. Розрахункове значення критерію визначали за залежністю (3.13).

За умови різного впливу факторів на критерій оптимізації, потрібно оцінюємо на значимість коефіцієнтів. За критерієм Стьюдента (t- критерій) перевірили статистичну значимість коефіцієнтів. Для оцінки значимості коефіцієнтів спочатку визначали розрахункове значення t-критерію за формулою (3.17) [63]. Значимість коефіцієнтів регресії перевірили з умови (3.16).

Таблиця 3.4

Рівні варіювання факторів та їх кодові значення

Фактор	Позначення	Розмірність	Рівні факторів			Інтервал варіювання ϵ
			верхній	нульовий	нижній	
			Кодові значення			
			+1	0	-1	
частота пульсації	x_1	Гц	1,33	1	0,67	0,3333
співвідношення тактів	x_2		2,33	1,5	0,67	0,83
вакуумметричного тиску в піддійковій камері	x_3	кПа	37	32	26	5,5

Дисперсію коефіцієнтів регресії визначаємо за формулою (3.18) [87]. Головна дисперсія визначається за формулою (3.19).

Придатність рівняння регресії визначали відомим методом [63 - 89] та адекватність кореляційної моделі оцінюємо за критерієм Фішера (F - критерію). Дисперсію адекватності визначаємо за залежністю (3.20). Адекватність даної моделі оцінюємо за умовою (3.21).

Розрахункове значення критерію Фішера $F_{роз}$ визначаємо зі співвідношення (3.22) [87, 88].

3.5 Методика експериментальних досліджень вакуумметричного тиску доїльного стакану

3.5.1 Методика експериментальних досліджень вакуумметричного тиску в міжстінковій камері доїльного стакану

При проведенні експерименту варіювання здійснювалось трьома факторами: частотою пульсації x_1 , інтенсивністю молоковіддачі x_2 та співвідношення між тактами x_3 .

Експеримент з визначення вакуумметричного тиску в міжстінковій камері доїльного стакану проводимо з трикратною повторюваністю дослідів трифакторного планованого експерименту на трьох рівнях (+, 0, -).

Враховуючи режими роботи доїльного апарата прийняли рівні варіювання факторів. Спочатку для кожного з факторів вибрано нижній та верхній рівні, в межах яких фактор змінюватиме своє значення впродовж експерименту. Після цього визначено нульовий – основний. Потім кроком розраховували інтервал варіювання факторів за формулою (3.3).

Перехід від натуральних до кодованих значень обчислювався за формулою (3.2). Рівні варіювання, дійсні та кодовані значення наведено в табл. 3.5.

Відповідно формулі (3.1) визначимо кількість дослідів:

$$N = 3^3 = 27.$$

Загальна кількість дослідів:

$$\sum N = 27 \cdot 3 = 81.$$

Метою дослідження є отримання кореляційної залежності між факторами і критерієм відгуку – вакууметричний тиск в міжстінковій камері доїльного стакана. За математичну модель приймаємо функцію :

$$y=f(n,q,t/T). \quad (3.24)$$

Таблиця 3.5

Рівні варіювання, дійсні та кодові значення факторів

Фактор	Позначення	Розмірність	Рівні факторів			Інтервал варіювання ϵ
			верхній	нульовий	нижній	
			Кодові значення			
			+1	0	-1	
частота пульсації	x_1	Гц	1,33	1	0,67	0,3333
інтенсивність молоковіддачі	x_2	г/с	45	39	33	6
співвідношення тактів	x_3	кПа	2,33	1,5	0,67	0,83

Дана кореляційна залежність описується поліномом, який наведений формулою (3.5).

Прийнятий некомпозиційний план другого порядку Бокса-Бенкена [66], матрицю якого наведено в табл. 3.6.

Для апроксимації процесу спочатку використовуємо лінійну частину кореляційної залежності (3.6), а за її неадекватності – квадратичну (3.7).

Коефіцієнти регресії b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} які приведені у рівняннях (3.6) – (3.7) і визначаються згідно відомої методики [87 - 89] за формулами (3.8) – (3.11).

Коефіцієнти регресії b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} які приведені у рівняннях (3.6) – (3.7) і визначаються згідно відомої методики [63 - 64] за формулами (3.8) – (3.11).

Коефіцієнти регресії як і в попередніх випадках визначали за допомогою програмного забезпечення Statistica 12.1 від StatSoft inc та Microsoft Excel 2016.

Матриця планованого трифакторного експерименту

№ дослід	Рівні факторів			Вакууметричний тиск в міжстінковій камері доїльного стакана
	x_1	x_2	x_3	y
1	+1	+1	+1	y_1
2	0	+1	+1	y_2
3	-1	+1	+1	y_3
4	+1	+1	-1	y_4
5	0	+1	-1	y_5
6	-1	+1	-1	y_6
7	+1	+1	0	y_7
8	0	+1	0	y_8
9	-1	+1	0	y_9
10	+1	-1	+1	y_{10}
11	0	-1	+1	y_{11}
12	-1	-1	+1	y_{12}
13	+1	-1	-1	y_{13}
14	0	-1	-1	y_{14}
15	-1	-1	-1	y_{15}
16	+1	-1	0	y_{16}
17	0	-1	0	y_{17}
18	-1	-1	0	y_{18}
19	+1	0	+1	y_{19}
20	0	0	+1	y_{20}
21	-1	0	+1	y_{21}
22	+1	0	-1	y_{22}
23	0	0	-1	y_{23}
24	-1	0	-1	y_{24}
25	+1	0	0	y_{25}
26	0	0	0	y_{26}
27	-1	0	0	y_{27}

За відомою методикою [82 - 83] провели статистичне опрацювання результатів отриманих в результаті експерименту. Також, враховуючи що усі

досліди мають однакову кількість повторюваності, оцінюємо їх за критерієм Кохрена (G-критерій).

Якщо критерій відповідатиме умові (3.12) проведені досліди є відтворюваними. Якщо не виконується дана умова (3.12), досліди є невідтворюваними. Розрахункове значення G-критерію визначали за формулою (3.13).

3.5.2 Методика експериментальних досліджень вакуумметричного тиску в піддійковій камері доїльного стакана

В піддійковій камері, основними факторами які впливають на вакуумметричний тиск є частота пульсації x_1 , інтенсивністю молоковіддачі x_2 та співвідношення між тактами x_3 .

Оскільки кількість та ідентичність факторів відповідають факторам, як і при експериментальних дослідженнях вакуумметричного тиску в міжстінковій камері доїльного стакана, то відповідно алгоритм і методика є ідентичною попередній (кількість дослідів, рівні варіювання, дійсні та кодовані значення факторів) буде відповідати попередній.

Мета даного дослідження: отримання кореляційної залежності між факторами і критерієм відгуку – вакуумметричного тиску в піддійковій камері доїльного стакана. За математичну модель приймаємо:

$$y = f(n, q, t/T). \quad (3.25)$$

Дана кореляційна залежність описується поліномом (3.5).

Некомпозиційний план другого порядку Бокса-Бенкена [62], показаний як матриця в табл. 3.7.

Апроксимація процесу спочатку проводиться з використанням лінійної частини (3.6), а за її неадекватності – квадратичної (3.7).

Таблиця 3.7

Матриця планованого трифакторного експерименту для нелінійної регресійної залежності

№ дослід	Рівні факторів			Вакууметричний тиск в піддійковій камері доїльного стакана
	x_1	x_2	x_3	y
1	+1	+1	+1	y_1
2	0	+1	+1	y_2
3	-1	+1	+1	y_3
4	+1	+1	-1	y_4
5	0	+1	-1	y_5
6	-1	+1	-1	y_6
7	+1	+1	0	y_7
8	0	+1	0	y_8
9	-1	+1	0	y_9
10	+1	-1	+1	y_{10}
11	0	-1	+1	y_{11}
12	-1	-1	+1	y_{12}
13	+1	-1	-1	y_{13}
14	0	-1	-1	y_{14}
15	-1	-1	-1	y_{15}
16	+1	-1	0	y_{16}
17	0	-1	0	y_{17}
18	-1	-1	0	y_{18}
19	+1	0	+1	y_{19}
20	0	0	+1	y_{20}
21	-1	0	+1	y_{21}
22	+1	0	-1	y_{22}
23	0	0	-1	y_{23}
24	-1	0	-1	y_{24}
25	+1	0	0	y_{25}
26	0	0	0	y_{26}
27	-1	0	0	y_{27}

Коефіцієнти регресії b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} приведені у рівняннях (3.6) – (3.7) визначаються згідно методики [62, 82, 89] за формулами (3.8) – (3.11). Для їх визначення використовувалось програмне забезпечення Statistica 12.1 та Microsoft Excel 2016.

Статистичне опрацювання результатів експерименту і їх оцінку проводимо за критерієм Кохрена (G-критерій). Відтворюваність оцінюємо за умовою (3.12). Якщо ж дана умова (3.12)

3.6 Висновки до третього розділу

1. Удосконалений стенд для експериментальних досліджень пневмоелектромагнітного пульсоколектора забезпечує вимірювання в часі динаміки зміни вакуумметричного тиску в процесі роботи доїльного апарата з використанням імітатора інтенсивності молоковіддачі.

2. Удосконалено методику експериментальних досліджень часових характеристик режимів роботи пневмоелектромагнітного пульсоколектора на основі диференціального вивчення перехідних процесів шляхом високочастотного сканування зміни вакуумметричного тиску при відкачуванні і наповненні повітрям системи “доїльний стакан-пульсоколектор”.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПНЕВМОЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПУЛЬСОКОЛЕКТОРА ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА

4.1 Результати експериментальних досліджень споживаної потужності пневмоелектромагнітного пульсоколектора

Результати планованого експерименту дослідження споживаної потужності пневмоелектромагнітного пульсоколектора наведено в дод. В. Апроксимацію експериментальних даних виконано у вигляді рівняння регресії другого порядку (3.7), де x_1 – частота пульсації n , а x_2 – співвідношення між тактами t/T . Критерієм відгуку є споживана потужність пневмоелектромагнітного пульсоколектора N_p .

Згідно формул (3.8-3.11) розраховано коефіцієнти регресії b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} , їх дійсні значення представлені в табл. 4.1.

Перевірку відтворюваності дослідів на виконання умов здійснили за умовою (3.12) [62].

Розраховуємо ступені вільності для вибору табличного значення критерію Кохрена G_T :

$$f_1 = C - 1, \quad (4.1)$$

$$f_2 = N, \quad (4.2)$$

де C – кількість повторностей дослідів;

N – кількість дослідів.

Тоді $f_1 = 3 - 1 = 2,$

$$f_2 = 9.$$

Розрахункове значення критерію Кохрена визначається зі співвідношення (3.13):

$$G_p = \frac{0,1248}{0,39} = 0,32.$$

Оскільки розрахункове значення критерію Кохрена є менше від табличного значення, яке становить $G_T=0,4775$ [65], можна стверджувати, що умова (3.12) виконується та екперимент відтворюватиметься.

Натуральні значення коефіцієнтів рівняння регресії, розрахованих за залежністю (3.9 – 3.11) наведені в табл.4.1.

Таблиця 4.1

Значення розрахунку коефіцієнтів рівняння регресії

Коефіцієнти рівняння регресії	Кодовані коефіцієнти	Дійсні коефіцієнти
b_0	7,794815	6,2047
b_1	-0,83926	-9,12
b_2	0,705926	4,434
b_{12}	-1,25889	-1,4695
b_{11}	0,408888893	3,7547
b_{22}	12,10111111	-0,5629

Рівняння регресії, яке характеризує залежність споживаної потужності пневмоелектромагнітного пульсоколектора доїльного апарата від частоти пульсації та співвідношення між тактами має вигляд:

$$N = 6,2047 - 9,12 \cdot n + 4,434 \cdot \left(\frac{t}{T}\right) - 1,4695 \cdot n \cdot \left(\frac{t}{T}\right) + 3,7547 \cdot n^2 - 0,5629 \left(\frac{t}{T}\right)^2. \quad (4.3)$$

Оцінка значимості коефіцієнтів регресії проводимо, попередньо визначивши середню дисперсію S^2 з виразу (3.19) [63, 82]:

$$S^2 = \frac{0,53954}{9} = 0,059949.$$

Визначаємо дисперсію для визначення коефіцієнтів регресії [62-65]:

$$S_A^2 = \frac{S^2}{N \cdot m}; \quad (4.4)$$

$$S_A^2 = \frac{0,059949}{9 \cdot 3} = 0,00222.$$

Для перевірки порівнянням кожного коефіцієнта регресії з виразом S_{At} , визначаємо t -критерій Стьюдента для рівня значимості 0,95, а ступінь вільності знаходимо з виразу:

$$fn = N \cdot (c - 1), \quad (4.6)$$

$$fn = 9 \cdot (3 - 1) = 18.$$

Табличне значення t -критерію становить $t=2,10$ [88].

Звідси

$$S_{At} = S_A^2 \cdot t. \quad (4.7)$$

Враховуючи умову $|b_i| > S_{At}$ – перевіряємо значимість коефіцієнтів регресії. Якщо умова виконується, то коефіцієнт значимий і фактор з даним коефіцієнтом залишається в рівнянні регресії, в іншому разі ним можна знехтувати [88].

Отримавши значення $S_{At}=4,663 \cdot 10^{-3}$ та провівши перевірку значимості кожного коефіцієнту (табл. 4.1), можна зробити висновки, що всі коефіцієнти значимі.

Для перевірки адекватності моделі заданої рівнянням регресії (4.3) визначаємо критерій Фішера (F -критерію). Дисперсію адекватності та розрахункове значення F -критерію визначали за формулами (3.20) і (3.22):

$$S_{ад}^2 = \frac{0,53954}{9 - 6} = 0,1798,$$

$$F_{роз} = \frac{0,1798}{5,995 \cdot 10^{-2}} = 3.$$

Для визначення табличного значення F -критерію, розраховуємо ступінь вільності головної дисперсії $f_1=N-d$ та дисперсії адекватності $f_2=N \cdot (m - 1)$:

$$f_1=9-6=3,$$

$$f_2=9 \cdot (3-1)=18.$$

Виходячи з цього, табличне значення F – критерію становить 4,58 [64, 87 - 88].

Оцінюємо адекватність моделі, підставивши розрахункове і табличне значення F -критерію в умову (3.21):

$$3 \leq 4,58.$$

Оскільки виконана умова $F_p \leq F_T$ – модель адекватна.

Графічне зображення тривимірної моделі залежності споживаної потужності пневмоелектромагнітного пульсоколектора приведено на рис. 4.1.

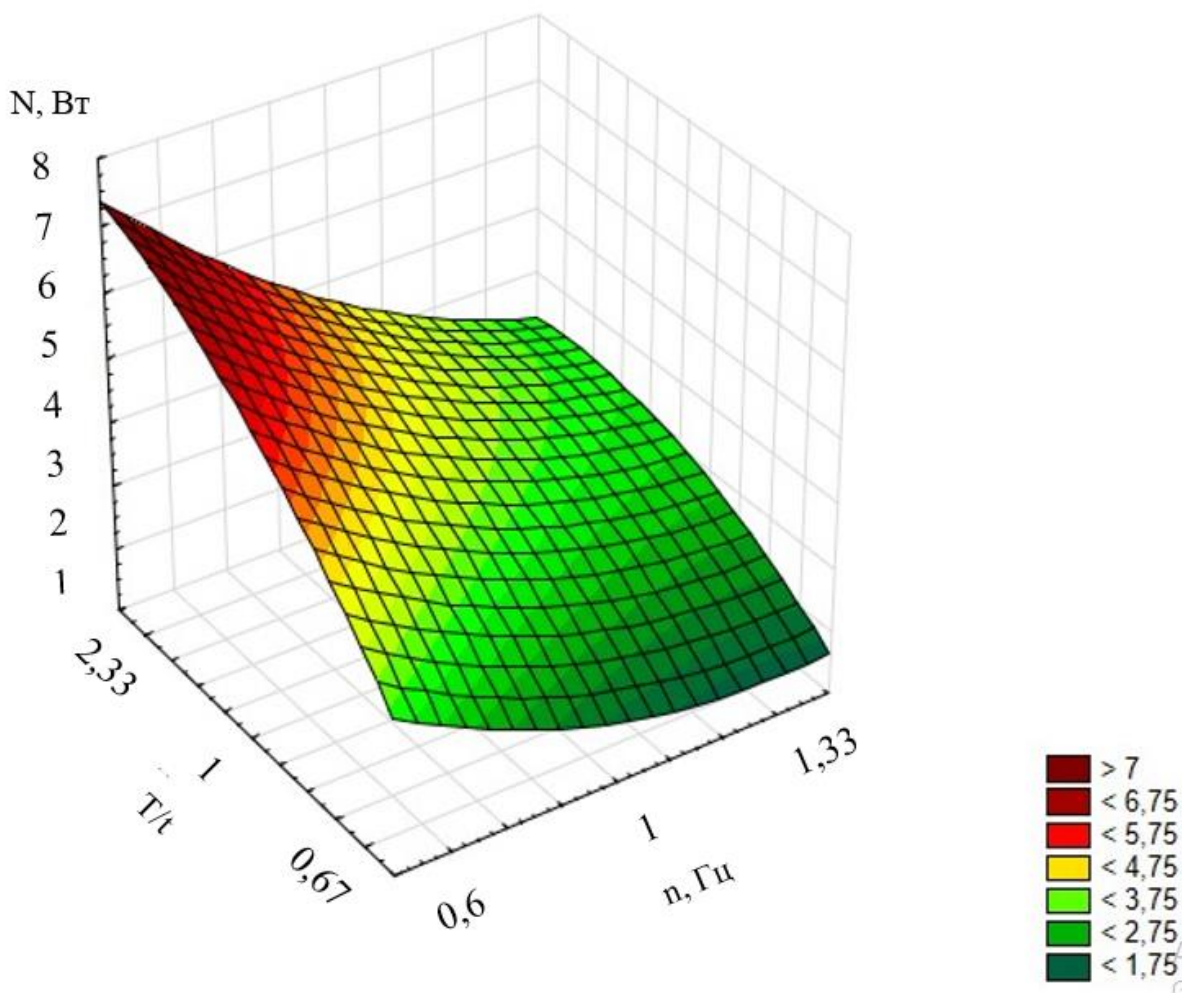


Рис. 4.1 – Графік залежності споживаної потужності пневмоелектромагнітного пульсоколектора доїльного апарата від частоти пульсації n та співвідношень між тактами t/T

Аналізуючи результати досліджень (рис. 4.1) бачимо, що при мінімальній частоті пульсації та співвідношення між тактами 70:30, споживана потужність електромагніта буде максимальною $N=7,4$ Вт. Із збільшенням частоти пульсації до 1,3 Гц та співвідношенні між тактами 30:70 зменшується потужність споживання електромагніту, і відповідно становить $N=1,75$ Вт.

4.2 Результати експериментальних досліджень інтенсивності молоковіддачі

Відповідно методиці, наведеної в третьому розділі, проведено планований експеримент дослідження інтенсивності молоковіддачі на лабораторному стенді, загальний вигляд та структурна схема якого представлена в третьому розділі (рис. 3.4 і 3.5).

Для апроксимації експерименту використали квадратичну залежність у вигляді рівняння регресії другого порядку (3.7), в якому x_1 – частота пульсації ν , Гц; x_2 – співвідношення між тактами t/T та x_3 – вакууметричний тиск в піддійковій камері доїльного стакана $P_{п.}$, (кПа) . Критерієм відгуку відповідно є інтенсивність молоковіддачі q , г/с.

Перевірку відтворюваності дослідів проводимо за рівняннями 3.12 [63-66, 84, 89]

Для вибору табличного значення критерію Кохрена G_T використовуючи співвідношення 4.1 та 4.2 розраховуємо ступені вільності:

$$f_1 = 3 - 1 = 2,$$

$$f_2 = 27.$$

З рівняння (3.13) визначаємо розрахункове значення критерію Кохрена:

$$G_p = \frac{124,0926}{1092,86} = 0,1136.$$

Табличне значення критерію Кохрена, яке становить $G_T=0,1980$ [64, 87 - 89], є більшим від розрахункового значення, це відповідає умові (3.12) і підтвержує, що експеримент відтворюватиметься.

Згідно попередньо описаної методики, переходимо від кодованих до дійсних значень коефіцієнтів рівняння регресії і заносимо їх у табл. 4.2. Рівняння регресії, яке характеризує залежність інтенсивності молоковіддачі корови від частоти пульсації, співвідношення між тактами та вакууметричного тиску в піддійковій камері доїльного стакана має вигляд [90]:

$$q = -78,2309 - 30,7261 \cdot n - 3,7715 \cdot \left(\frac{t}{T}\right) + 6,36005 \cdot P_{\Pi} + 26,66993 \cdot n \cdot \left(\frac{t}{T}\right) + 1,507801 \cdot n \cdot P_{\Pi} + 0,289338 \cdot \left(\frac{t}{T}\right) \cdot P_{\Pi} - 8,83677 \cdot n^2 + 0,53628 \left(\frac{t}{T}\right)^2 - 0,09671 \cdot P_{\Pi}^2 - 0,90398 \cdot n \cdot \left(\frac{t}{T}\right) \cdot P_{\Pi}. \quad (4.7)$$

Таблиця 4.2

Результати розрахунку коефіцієнтів рівняння регресійної моделі

Коефіцієнти рівняння регресії	Кодовані коефіцієнти	Дійсні коефіцієнти
b_0	40,59296	-78,2309
b_1	-1,20388889	-30,7261
b_2	4,271296296	-3,77146
b_3	4,691481481	6,360048
b_{12}	-0,49944	26,66993
b_{13}	0,278333	1,507801
b_{23}	-2,80583	0,289338
b_{11}	-0,98167	-8,83677
b_{22}	0,369444	0,536282
b_{33}	-2,92556	-0,09671
b_{123}	1,37542	-0,90398

Для перевірки значимості коефіцієнтів регресії скористаємось залежностями (3.19) і (4.4), та визначаємо ступені вільності (4.6) [82 - 83]:

$$S^2 = \frac{1653,0139}{27} = 61,223;$$

$$S_A^2 = \frac{61,223}{27 \cdot 3} = 0,7558,$$

$$fn = 27 \cdot (3 - 1) = 54.$$

Використавши ступінь вільності та спираючись на рівень значимості 0,95 з таблиці значень t-критерій буде дорівнювати $t=2,004$ [64]. Дане значення критерію підставляємо в вираз (4.7) :

$$S_{at} = 0,239 \cdot 2,004 = 0,479.$$

Після перевірки значення S_{At} з дійсними значеннями коефіцієнтів рівняння регресії (табл. 4.2) - виконується умова $|b_i| > S_{At}$, відповідно всі коефіцієнти рівняння значимі окрім коефіцієнтів b_{23} та b_{33} .

Результати планованого експерименту дослідження інтенсивності молоковіддачі пневмоелектромагнітного пульсоколектора наведено в дод. Г.

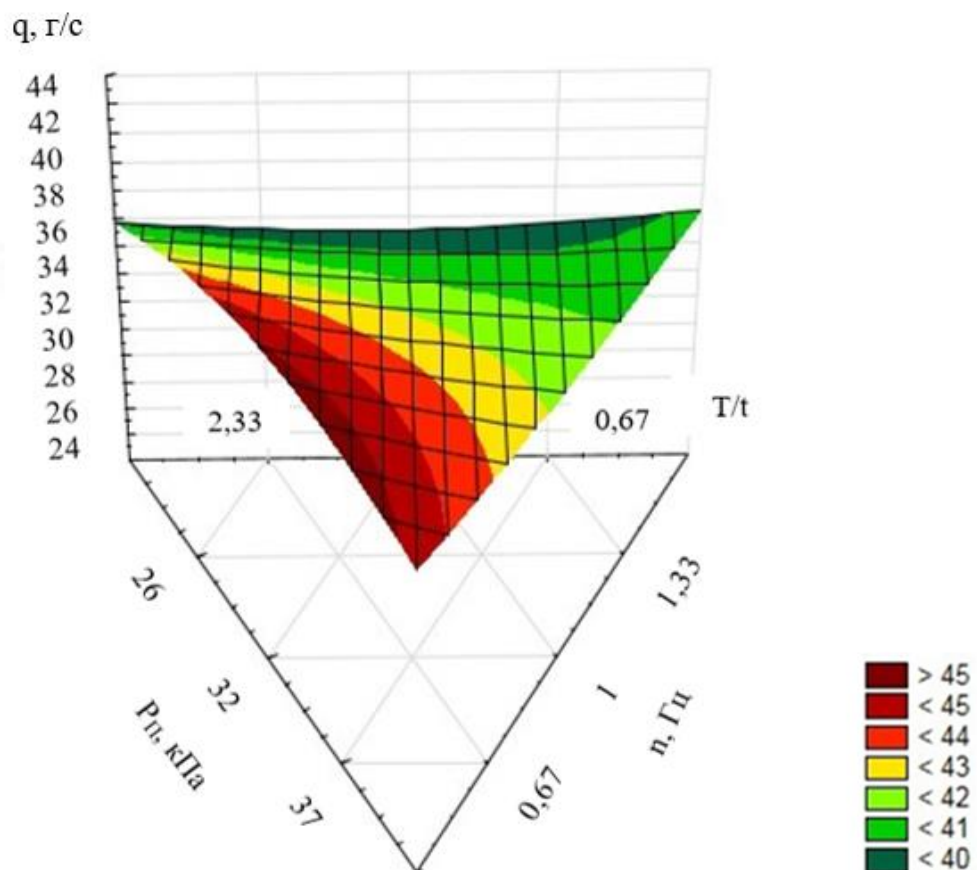


Рис. 4.2 – Залежність інтенсивності молоковіддачі від частоти пульсації n , співвідношення між тактами t/T та вакууметричного тиску в піддійковій камері доїльних стаканів P_n [90]

Розраховуємо дисперсію адекватності та розрахункове значення F -критерію за формулами (3.20) і (3.22):

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{1653,0139}{27 - 9} = 91,834;$$

$$F_{\text{роз}} = \frac{91,834}{1092,8} = 0,084.$$

Розраховуємо ступінь вільності головної дисперсії та дисперсії адекватності, та знаходимо табличне значення F -критерію:

$$f_1 = 27 - 11 = 16,$$

$$f_2 = 27 \cdot (3 - 1) = 54.$$

Табличне значення F -критерію становить 1,95 [64, 89].

Оцінюємо адекватність моделі за умовою $F_p \leq F_T$, відповідно $0,084 \leq 1,95$, модель описана рівнянням (4.7) адекватна.

Графічне зображення тривимірної моделі залежності інтенсивності молоковіддачі корови від частоти пульсації, співвідношення між тактами та вакуумметричного тиску в піддійковій камері доїльного стакану приведено на рис. 4.2

За частоти пульсації $n=0,67$ Гц, співвідношення між тактами $t/T=2,33$ та вакуумметричного тиску в піддійковій камері доїльних стаканів $P_{\text{п}}=26$ кПа, інтенсивність молоковіддачі $q=39$ г/с.

4.3 Результати експериментальних досліджень вакуумметричного тиску в міжстінковій та піддійковій камері доїльного стакану

4.3.1 Результати експериментальних досліджень вакуумметричного тиску в міжстінковій камерах доїльного стакану

Згідно методики, детально описаної в розділі 3, проводимо дослідження вакуумметричного тиску в міжстінковій камері доїльного стакану методом планованого експерименту. Дане дослідження проводилось на

лабораторному стенді, конструкція якого представлена в третьому розділі, а структурна схема та загальний вигляд зображені на рис. 3.4 і 3.5.

Нами використана квадратична залежність для апроксимації експерименту у вигляді рівняння регресії другого порядку (3.7), факторами є x_1 – частота пульсації n , Гц; x_2 – інтенсивність молоковіддачі q , г/с та x_3 – співвідношення між тактами t/T . Критерієм відгуку - вакууметричний тиск в міжстінковій камері доїльного стакана P_m , кПа.

Проводимо перевірку відтворюваності дослідів - рівняння 3.12 [82 - 84].

Для відбору табличних значень критерію Кохрена G_T розраховуємо ступені свободи, для цього скористаємось співвідношеннями (4.1) та (4.2) :

$$f_1 = 3 - 1 = 2,$$

$$f_2 = 27.$$

Розрахункового значення критерію Кохрена, рівняння (3.13):

$$G_p = \frac{8,544}{38,828} = 0,220.$$

Розрахункове значення критерію Кохрена, що становить $G_p=0,220$, є меншим від табличного, яке становить $G_T=0,2354$ [64, 87]. Експеримент відтворюватиметься, оскільки виконується умова (3.12).

Переходимо від кодованих до дійсних значень коефіцієнтів та заносимо їх у табл. 4.3.

Рівняння регресії, яке характеризуватиме залежність вакууметричного тиску від частоти пульсації, інтенсивності молоковіддачі та співвідношення між тактами в натуральних значеннях має вигляд [92]:

$$\begin{aligned} P_m = & 55,193217 - 3,113375 \cdot n - 1,054413 \cdot q + 14,355110 \cdot \left(\frac{t}{T}\right) - \\ & - 0,287718 \cdot n \cdot q - 9,738675 \cdot n \cdot \left(\frac{t}{T}\right) - 0,358321 \cdot q \cdot \left(\frac{t}{T}\right) + 2,242115 \cdot n^2 + \\ & + 0,014974q^2 - 1,718252 \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^2 + 0,265338 \cdot n \cdot \left(\frac{t}{T}\right) \cdot q. \end{aligned} \quad (4.8)$$

Результати планованого експерименту дослідження вакууметричного тиску в міжстінковій камері доїльного стакана наведено в дод. Д.

Таблиця 4.3

Результати розрахунку коефіцієнтів рівняння регресійної моделі

Коефіцієнти рівняння регресії	Кодовані коефіцієнти	Дійсні коефіцієнти
b_0	22,37383	55,193213
b_1	-2,97833333	-3,113375
b_2	-1,88166667	-1,054413
b_3	-3,45666667	14,355110
b_{12}	0,220556	-0,287718
b_{13}	0,168611	-9,738675
b_{23}	-0,46306	-0,358321
b_{11}	0,249074	2,242115
b_{22}	0,539074	0,014974
b_{33}	-1,1837	-1,718252
b_{123}	0,440417	0,265338

Проводимо перевірку на значимість коефіцієнтів рівняння регресії за залежностями (3.19) та (4.4):

$$S^2 = \frac{93,08218}{27} = 3,447,$$

$$S_A^2 = \frac{3,447}{27 \cdot 3} = 0,043.$$

Визначаємо ступінь вільності (4.6) для вибору t-критерію Стюдента [87]:

$$fn = 27 \cdot (3 - 1) = 54.$$

Відповідно рівню значимості 0,95 та розрахованому ступені вільності, t-критерій Стюдента буде рівним $t = 2,004$ [88].

Значення критерію Стюдента підставляємо в вираз (4.7) :

$$S_a t = 0,043 \cdot 2,004 = 0,085.$$

Якщо виконується умова $|b_i| > S_{At}$, то коефіцієнт значимий і повинен залишитись у рівнянні регресії, якщо дана умова не виконується, коефіцієнт рівняння регресії опускаємо [65].

При перевірці кожного коефіцієнта (табл. 4.3), бачимо, що кожен із коефіцієнт значимий, окрім одного $b_{22} = 0,014974$ [63, 68].

Використавши методику [82], визначаємо придатність даного рівняння регресії для опису можливої залежності критерію оптимізації від впливових факторів.

Визначаємо дисперсію адекватності (3.20) та критерій Фішера (F - критерій) (3.22):

$$S_{ад}^2 = \frac{93,08218}{27 - 10} = 5,475,$$

$$F_{роз} = \frac{5,475}{3,447} = 1,588.$$

Табличне значення критерію Фішера вибираємо на основі розрахунку ступенів вільності головної дисперсії $f_1 = 27 - 11 = 16$, та дисперсії адекватності $f_2 = 27 \cdot (3 - 1) = 54$.

Відповідно значень ступенів вільності даних двох дисперсій табличне значення F-критерію становить 1,95 [68].

Якщо умова $F_p \leq F_T$ виконується – модель адекватна. Проводячи дану оцінку на адекватність моделі, при порівнянні розрахункового і табличного значення F-критерію: $1,588 \leq 1,95$, впливає висновок, що умова виконується, а отже модель описана рівнянням (4.8) адекватна.

Дане рівняння (4.8) описано графічно тривимірною моделлю залежності вакуумметричного тиску в міжстінковій камері доїльного стакана від частоти пульсації, інтенсивності молококвіддачі корови та співвідношенням між тактами та показано на рис. 4.3.

Для більш детального огляду побудовано контурний графік даної залежності (рис. 4.4).

Мінімальне значення вакуумметричного тиску в міжстінковій камері доїльних стаканів P_m є за частоти пульсації $n=1$ Гц, інтенсивності молоковіддачі $q=39$ г/с та співвідношення між тактами T/t рівне 1,5.

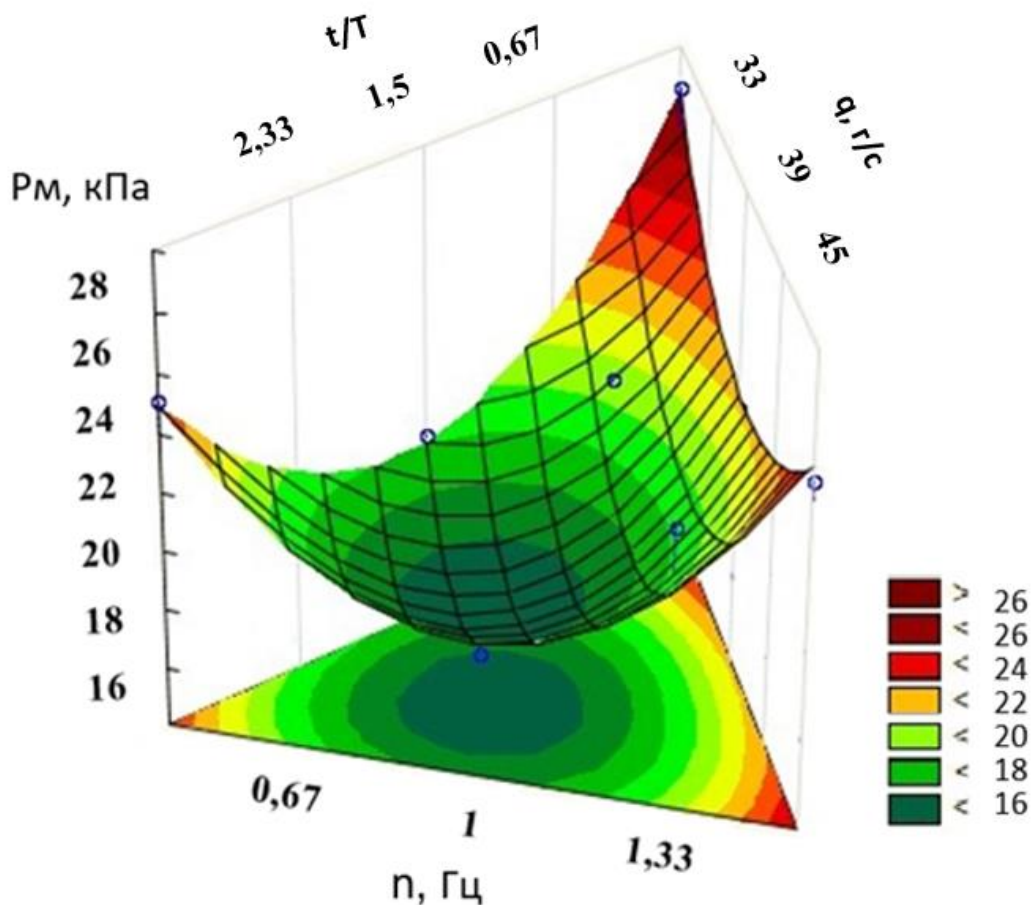


Рис. 4.3 - Залежність вакуумметричного тиску у міжстінковій камері доїльного стакану від параметрів технологічного процесу [92]

n – частоти пульсацій; q – інтенсивності молоковіддачі; t/T – співвідношення між тактами

Результати планованого експерименту дослідження вакуумметричного тиску в міжстінковій камері доїльного стакану наведено в додатку Д.

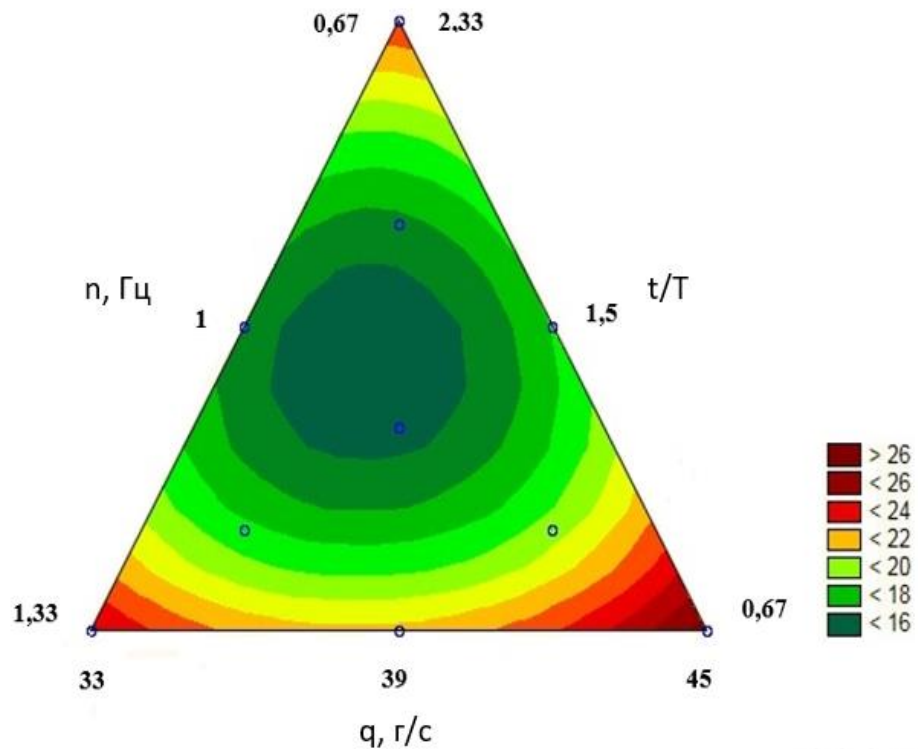


Рис. 4.4 - Контурний графік залежності вакуумметричного тиску у міжстінковій камері доїльного стакана від параметрів технологічного процесу [92]

n – частоти пульсацій; q – інтенсивності молоковіддачі; t/T – співвідношення між тактами

Збільшення величини вакуумметричного тиску в міжстінковій камері відбувається при трьох можливих комбінаціях факторів: за частоти пульсації $n=0,67$ Гц та співвідношення між тактами $t/T=2,33$; за частоти пульсації $n=1,33$ Гц та інтенсивності молоковіддачі $q=33$ г/с; та найвищого росту вакуумметричного тиску в міжстінковій камері досягається при інтенсивності молоковіддачі $q=45$ г/с та значення співвідношень між тактами є $t/T=2,33$.

4.3.2 Результати експериментальних досліджень вакуумметричного тиску в піддійковій камері доїльного стакана

Дослідження вакуумметричного тиску пневмоелектромагнітного пульсоколектора в міжстінковій камері доїльного апарата проводили методом

багатофакторного планованого експерименту. Впливові фактори вибирали згідно теоретичних досліджень.

Нами використано поліном другого порядку, який уможливило систематизацію та дослідження на екстремум, а для лінійної моделі дає можливість добитись точних оцінювань результатів взаємодії факторів на критерій відгуку [65 - 67].

Відтворюваність дослідів оцінюємо критерієм Кохрена (G - критерій) - рівняння (3.12) [87 - 88].

Факторами в рівнянні регресії другого порядку (3.7), відповідає x_1 – частота пульсації n , Гц; x_2 – інтенсивність молоковіддачі q , г/с та x_3 – співвідношення між тактами t/T . Критерієм відгуку - вакууметричний тиск в піддійковій камері доїльного стакана $P_{м.}$, (кПа).

Із співвідношенням (4.1) та (4.2) розраховуємо ступені вільності для вибору табличного значення критерію Кохрена G_T , рівень значимості q приймаємо 5% - ний рівень значимості $q=0,05$, що відповідає визначеним ступенем вільності:

$$f_1 = 3 - 1 = 2,$$

$$f_2 = 27.$$

Розрахункове значення критерію Кохрена згідно формули (3.13) буде становити:

$$G_p = \frac{4,581}{36,1435} = 0,127.$$

При проведення порівнянні розрахункового значення критерію Кохрена $G_p=0,127$ із табличним, яке становить $G_T=0,2354$ [64], можемо стверджувати, що експеримент відтворюватиметься, оскільки виконується умова (3.12).

Результати розрахунку переходу від кодованих до натуральних значень коефіцієнтів рівняння регресії наведено в табл. 4.4.

Результати планованого експерименту дослідження вакууметричного тиску в піддійковій камері доїльного стакана наведено в дод. Е.

Таблиця 4.4.

Результати розрахунку коефіцієнтів рівняння регресійної моделі другого порядку

Коефіцієнти рівняння регресії	Кодовані коефіцієнти	Дійсні коефіцієнти
b_0	16,53296296	20,47540968
b_1	0,486604938	14,10551173
b_2	-1,165493827	-0,555494176
b_3	0,101358025	10,14037511
b_{12}	0,18462963	-0,153935518
b_{13}	0,248888889	-5,503060346
b_{23}	0,203796296	-0,123250093
b_{11}	-0,443888889	-3,99579912
b_{22}	0,209444444	0,005817901
b_{33}	-1,403333333	-2,037063918
b_{123}	0,2725	0,164173044

Рівняння регресії в натуральних факторах (частота пульсації, інтенсивність молоковіддачі та співвідношення між тактами), що характеризуватиме залежність вакуумметричного тиску в піддійковій камері доїльного стакана матиме вигляд [93]:

$$\begin{aligned}
 p_n = & 20,47540968 + 14,10551173 \cdot n - 0,55549 \cdot q + 10,14037511 \cdot \left(\frac{t}{T}\right) - \\
 & - 0,153935518 \cdot n \cdot q - 5,503060346 \cdot n \cdot \left(\frac{t}{T}\right) - 0,123250093 \cdot q \cdot \left(\frac{t}{T}\right) - \\
 & - 3,99579912 \cdot n^2 + 0,005817901 \cdot q^2 - 2,037063918 \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^2 + \\
 & + 0,164173044 \cdot n \cdot q \cdot \left(\frac{t}{T}\right). \quad (4.9)
 \end{aligned}$$

Графічне представлення моделі (4.9) приводимо на рис. 4.5.

Проводимо перевірку значимості коефіцієнтів регресії. Визначаємо головну дисперсію (3.19) :

$$S^2 = \frac{71,73702}{27} = 2,657.$$

і дисперсію коефіцієнтів рівняння регресії:

$$S_A^2 = \frac{2,657}{27 \cdot 3} = 3,28 \cdot 10^{-2}.$$

Для порівняння коефіцієнтів необхідно визначити t – критерій Стьюдента при величині значимості 0,95 та ступені свободи (4.6) [63]:

$$fn = 27 \cdot (3 - 1) = 54 .$$

Табличне значення критерію Стьюдента становить $t = 2,0040$ [68].

Даний коефіцієнт t , підставляємо в вираз (4.7) :

$$S_a t = 3,28 \cdot 10^{-2} \cdot 2,004 = 0,0657.$$

Якщо виконується умова $|b_i| > S_{At}$ – коефіцієнт значимий і залишається у рівнянні регресії, при іншому випадку він опускається [67].

Отже, порівнявши кожен дійсний коефіцієнт (таблиця 4.4), можна зробити висновок, що кожен коефіцієнт значимий, крім одного $b_{22} = 0,005817901$ [66-68].

Придатність рівняння регресії для опису реальної залежності критерію оптимізації від факторів визначається досить відомим методом [89]. Для цього визначаємо дисперсії адекватності (3.20) та критерій Фішера (F - критерій) (3.22):

$$S_{ад}^2 = \frac{71,73702}{27 - 11} = 4,484,$$

$$F_{роз} = \frac{4,484}{2,657} = 1,688.$$

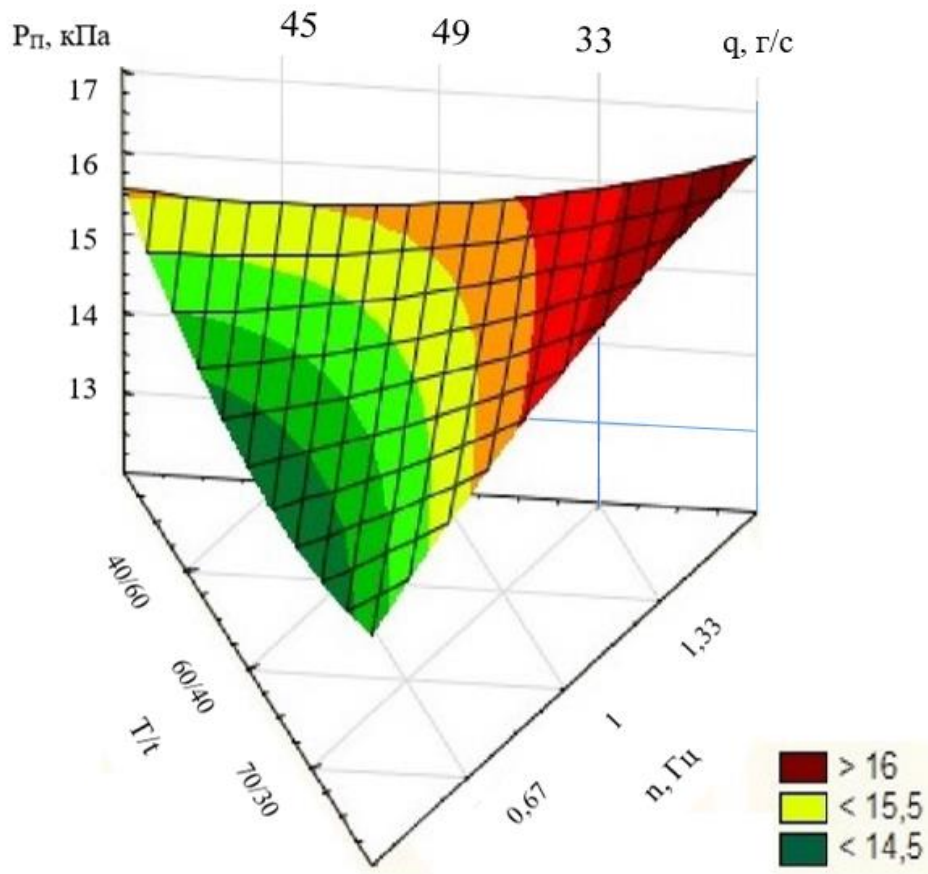


Рис. 4.5 - Залежність вакуумметричного тиску у піддійковій камері доїльного стакана від параметрів технологічного процесу [93]

n – частоти пульсацій; q – інтенсивності молоковіддачі; t/T – співвідношення між тактами

Табличне значення F - критерію вибирають на основі розрахунку ступенів вільності головної дисперсії та дисперсії адекватності:

$$f_1 = 27 - 11 = 16,$$

$$f_2 = 27 \cdot (3 - 1) = 54.$$

Для ступеня вільності головної та дисперсії адекватності табличне значення F -критерію становить 1,95 [64, 89].

Проводячи оцінку на адекватність моделі, порівнявши розрахункове і табличне значення F - критерію: $1,688 \leq 1,95$, можна зробити висновок, що умова $F_p \leq F_T$ виконується - модель описана рівнянням (4.9) адекватна.

Графічне зображення тривимірної моделі залежності вакуумметричного тиску в піддійковій камері доїльного стакана від частоти пульсації, інтенсивності молоковіддачі корови та співвідношенням між тактами показано на рис. 4.5.

Аналіз результатів досліджень (рис. 4.4) показує, що максимальне значення вакуумметричного тиску в піддійковій камері доїльних стаканів пневмоелектромагнітного пульсоколектора можливе за частоти пульсації 1,33 Гц, інтенсивності молоковіддачі 33 г/с та співвідношенні між тактами 70:30. Із збільшенням частоти пульсації та зменшенням інтенсивності молоковіддачі вакуумметричний тиск в піддійковій камері доїльних стаканів зростатиме.

4.4 Висновки до четвертого розділу

1. Аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень споживаної потужності пневмоелектромагнітним пульсоколектором свідчить, що потужність споживання зростає із зменшенням частоти пульсації та збільшенням співвідношення тактів.

2. За частоти пульсації 1 Гц і співвідношення такту ссання до такту стиску 70:30, споживана потужність пневмоелектромагнітного пульсоколектора не перевищує 5 Вт.

3. Інтенсивність молоковіддачі із зменшенням частоти пульсації та збільшенням вакуумметричного тиску в піддійковій камері доїльних стаканів – зростає. Співвідношення між тактами пульсоколектора на інтенсивність молоковіддачі впливає незначно.

Раціонально обґрунтованими режимами роботи пневмоелектромагнітного пульсоколектора є частота пульсації від 0,67 Гц до 1,33 Гц за вакуумметричного тиску в піддійковій камері доїльних стаканів від 37 кПа.

4. З фізіології молоковіддачі найбільш оптимальним є відсутність силового навантаження дійкової гуми на дійку. Це уможлиблюється за урівноваження тисків в міжстінковій і піддійковій камерах доїльних стаканів. За частоти пульсації 1 Гц, співвідношення між тактами від 0,67 до 2,33 вакуумметричний тиск в міжстінковій і піддійковій камерах буде коливатись від 14 до 16 кПа. Підвищення інтенсивності молоковіддачі веде до збільшення втрат вакуумметричного тиску.

Раціональними режимами роботи пневмоелектромагнітного пульсоколектора є частота пульсації 1 Гц і співвідношення такту ссання до такту стиску в межах від 2,33 1,5.

V РОЗДІЛ

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПНЕВМОЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПУЛЬСОКОЛЕКТОРА

5.1 Мета і завдання виробничої перевірки пневмоелектромагнітного пульсоколектора

Успіх розробки будь якого приладу залежить у великій мірі від результативності і економічності роботи. Тому, проводилась виробнича перевірка пневмоелектромагнітного пульсоколектора. Було проведено перевірку пульсоколектора на роботоздатність у виробничих умовах та його вплив на фізіологічний стан тварин. Економічні показники доїльного апарата, в склад якої входив пневмоелектромагнітний пульсоколектор, порівняні із показниками пульсоколектора ДА-Ф-50, який взято за прототип.

Для виконання поставленої мети, ставилась задача виконати ряд завдань, а саме перевірити:

- роботоздатність пневмоелектромагнітного пульсоколектора в складі доїльного апарата на тваринницькій фермі;
- якість доїння;
- вплив роботи на надої молока;
- тривалість доїння;
- енергоефективність роботи доїльного апарата;
- залишок молока, після використання пневмоелектромагнітного пульсоколектора;
- вплив доїльного апарата на стан та здоров'я вимені корови.

5.2 Методика виробничої перевірки

Ефективність машинного доїння доїльним апаратом обладнаним розробленим пневмоелектромагнітним пульсоколектором проведено у

виробничих умовах та порівнянням його з доїльним апаратом в склад якого входив пульсоколектор ДА-Ф-50. Проводилась дана перевірка в навчально-демонстраційній фермі Золочівського фахового коледжу Львівського національного університету природокористування (Додаток Є), а також проведено апробацію результатів експериментальних досліджень на молочній фермі в м. Сіндал (Данія) (Додаток З). Технологічні параметри доїльних апаратів були однаковими для обох варіантів, що відповідав теоретичним дослідженням: вакуумметричний тиск – 48 - 50 кПа; співвідношення тактів – 60:40 30:70 і 70:30; частота пульсацій – 1 Гц.

Проводилась перевірка на двох групах корів чисельністю 10 голів кожна. Дані групи було сформовано за продуктивністю корів щоб забезпечити ідентичність перевірки. Було підібрано 20 корів ВРХ на навчально-демонстраційній фермі Золочівського фахового коледжу Львівського національного університету природокористування із середньодобовим надоєм 13,7 - 14,5 кг молока та на фермі в м. Сінділ (Данія) червоної датської породи за середньою продуктивністю 8500 кг/рік разовими надоями 25-30 кг. На тваринницькій фермі Золочівського фахового коледжу одна з груп доїлась за допомогою доїльного апарата із ДА-Ф-50, а друга з апаратом в складі якого є пневмоелектромагнітний пульсоколектор доїльного апарата.

5.2.1 Результати перевірки

Після проведення перевірки на навчально-демонстраційній фермі Золочівського фахового коледжу Львівського національного університету природокористування нами встановлено, що в першій контрольній групі, яка доїлась доїльним апаратом з використанням ДА-Ф-50 середньодобовий надій молока становив 26,37 кг, а в другій групі, що доїлась запропонованим доїльним апаратом в склад якого входив пневмоелектромагнітний пульсоколектор, середньодобовий надій молока становить 28,15 кг (табл. 5.1).

Встановлено, що впродовж доїння в 2 корів у декількох випадках першої контрольної групи виявлено незначне подразнення та місцеве почервоніння діжок вимені тварин, а також були випадки неспокійної агресивної поведінки тварин. Під час перевірки над дослідною другою групою таких випадків не спостерігалось.

З табл. 5.1 видно, що надої молока збільшились на 6,32 %. Це пов'язано із більш ошадливим та комфортним для тварини доїнням, що призвело до більш ефективного виведення молока із вимені.

Таблиця 5.1

Показники надою для корів двох груп

Доїльний апарат	Характеристики процесу		
	Середньодобовий надій	Тривалість дослідження (днів)	К-сть контрольних доїнь
ДА-Ф-50 (група-1)	26,37	7	140
ДА – ПЕМПК (група-2)	28,15	7	140
Абсолютне відхилення групи-1 від групи-2	1,78	0	0
Відносне відхилення групи-1 від групи-2	6,32	100	100

Як бачимо (табл. 5.2), тварини першої групи зазнавали негативного впливу під час доїння значно частіше, ніж тварини групи, які доїлись доїльним апаратом з використанням пневмоелектромагнітного пульсоколектора.

Результати перевірки кількісних характеристик процесу машинного доїння (табл. 5.3) уможливають визначення обґрунтованості використання доїльного апарату, обладнаного пневмоелектромагнітним пульсоколектором в порівнянні із з використанням доїльного апарату обладнаним ДА-Ф-50. Ці дані в подальшому будуть використані для визначення економічної ефективності доїння.

Таблиця 5.2

Дані стану тварин, вимені та дійок при машинному доїнні

Показник	Група-1	Група-2	Кількість контрольних доїнь
Неспокійна поведінка тварини	22(15,7%)	7(5,0%)	140
Спостерігалось на дійках:			
почервоніння	16(11,4%)	3(2,1%)	140
збільшення	8(5,7%)	-	
синюватість	12(8,6%)	1(0,7%)	
Деформовані основи та кінці дійок	19(13,6%)	2(1,4%)	140

Таблиця 5.3

Показники значень молоковіддачі за результатами виробничої перевірки

Показник	Група-1	Група-2
Кількість корів, гол	10	10
Кількість спостережень	139	137
Загальний надій молока, кг	7,23	7,46
Надій молока за ДА-Ф-50, кг	6,60±1,34	7,23±1,19
Машинне додоювання, кг	0,22±0,04	0,10±0,03
Ручне додоювання, кг	0,10±0,03	0,03±0,02
Тривалість доїння апаратом, хв	4,27±1,40	3,58±1,08
Тривалість машинного додоювання, хв	8,4±5,2	6,5±4,6
Інтенсивність молоковіддачі, кг/хв	1,63±0,25	2,33±0,41

З результатів наведених у табл. 5.3, надії молока при доїнні запропонованим пневмоелектромагнітним пульсоколектором збільшилися на 0,63 кг для разового доїння в порівнянні із серійним доїльним апаратом. Також на 0,69 хв зменшилась тривалість машинного доїння та збільшилась

інтенсивність молоковіддачі – на 0,7 кг/хв. Аналізуючи дані можна стверджувати про зростання швидкості виведення молока з вимені корови, а тому є збільшення кількості виведеного молока, відповідно зменшується кількість залишкового молока у вимені корови із 4,6 % до 1,8 % з використанням доїльного апарата, обладнаного пневмоелектромагнітним пульсоколектором.

5.3 Економічна ефективність використання доїльного апарата з пневмоелектромагнітним пульсоколектором

Беручи до уваги теоретичні та експериментальні дослідження пневмоелектромагнітного пульсоколектора можна зробити висновок: з використання пневмоелектромагнітного пульсоколектора у складі доїльного апарата уможливить виконання технологічного процесу машинного доїння з стабільною частотою пульсацій, забезпечує керування співвідношенням між тактами у процесі доїння. Також уможливорює виключення виникнення різниці тисків в міжстінковій і піддійковій камерах доїльних стаканів при переходах між тактами ссання і стиску. Дані переваги дозволяють підвищити ефективність технологічного процесу машинного доїння доїльним апаратом, обладнаного пневмоелектромагнітним пульсоколектором.

Оцінюємо ефективність використання запропонованого обладнання за допомогою грошових витрат на виробництво молока. Собівартість молока, як основний економічний показник, включає в собі вартість витрат сировини, матеріалів, палива, електроенергії; перенесену вартість машин, будівель, споруд (амортизаційні відрахування); витрати на оплату праці; витрати на реалізації продукції; відрахування до фонду соціального страхування і соціального забезпечення [125]. В загальному річний економічний ефект включає в себе три основні складові частини:

- ефект від зменшення експлуатаційно-виробничих витрат;
- ефект від зниження втрат молока через неякісне доїння;
- ефект від підвищення якості молока.

Конкретних даних як таких, щодо покращення якості молока недосліджено, тому економічний ефект будемо розраховувати по двох складових. За основу для порівняння було обрано доїльний апарат із використанням пульсоколектора ДА-Ф-50 та доїльну установку УДМ-100, що укомплектована даними апаратами. Вона була використана при виробничій перевірці. Пульсоколектор ДА-Ф-50 вибраний для порівняння тому, що він був взятий за прототип при розробці пневмоелектромагнітного пульсоколектора. Визначення економічної ефективності виконувалось із врахуванням всіх відомих загальноприйнятих формул та методик [71, 125 - 126]. Так загальний річний економічний ефект визначається згідно виразу:

$$E_p = P_6 Q_6 - P_n Q_n - E_n (B_n - B_6) + E_d, \quad (5.1)$$

де P_6, P_n – прямі експлуатаційні затрати на виробництво продукції для базового та пропонованого варіанту відповідно, грн/ц;

Q_6, Q_n - річний надій молока від корів, що доїться базовим та пропонованим доїльним апаратом, ц;

E_n – нормативний галузевий коефіцієнт ефективності капіталовкладень
 $E_n = 0,15$;

B_n, B_6 - балансова вартість пропонованого та базового обладнання, грн;

E_d - економія за рахунок додаткового надходження молока, грн.

Прямі експлуатаційні затрати визначаються за формулою:

$$P = k \cdot \frac{Z + A + T_p + E_{ел}}{Q}, \quad (5.2)$$

де k - коефіцієнт врахування інших затрат, $k = 1,05$;

Z - затрати на оплату праці, грн;

A - амортизаційні відрахування, грн;

T_p - відрахування на ремонт та технічне обслуговування, грн;

$E_{ел}$ - вартість використаної електроенергії, грн;

Q - річний надій молока від корів, ц.

Затрати на оплату праці визначатимуться так:

$$Z = 12 \cdot m \cdot n \cdot T, \quad (5.3)$$

де m – кількість доїльних установок, що обслуговують все поголів'я, $m=1$ шт;

n – кількість операторів машинного доїння, що обслуговують доїльну установку, $n=2$ чол;

T – розмір оплати праці одного оператора за рік (станом на 09.2021 середня заробітна плата становила 13095 грн), грн.

$$З_{\Pi} = З_{\zeta} = 12 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 13095 = 314280 \frac{\text{грн}}{\text{ц}}$$

Амортизаційні відрахування обчислюються за формулою:

$$A = 0,142 \cdot B, \quad (5.4)$$

де B – вартість обладнання, грн.

Вартість обладнання розраховується так:

$$B = C_p \cdot k_m, \quad (5.5)$$

де C_p – ринкова вартість обладнання (доїльної установки), грн;

k_m – коефіцієнт, що враховує вартість доставки та монтажу обладнання, $k_m=1,1$.

$$B_{\Pi} = 24556 \cdot 1,1 = 27011,6 \text{ грн,}$$

$$B_p = 320440 \cdot 1,1 = 352484 \text{ грн.}$$

Вираз (5.4) набуде вигляду:

$$A_{\Pi} = 0,142 \cdot 27011,6 = 3835,6 \text{ грн,}$$

$$A_{\zeta} = 0,142 \cdot 352484 = 50052,728 \text{ грн.}$$

Відрахування на ремонт та технічне обслуговування визначаються як певна частка від вартості обладнання:

$$T_p = 0,18 \cdot B, \quad (5.6)$$

$$T_{p \Pi} = 0,18 \cdot 27011,6 = 46620,88 \text{ грн,}$$

$$T_{p \zeta} = 0,18 \cdot 352484 = 63447,12 \text{ грн.}$$

Вартість електроенергії, що споживається базовим та пропонованим обладнанням визначається за формулою:

$$E_{\text{ел}} = W \cdot t \cdot \text{Ц} \cdot \text{Д}, \quad (5.7)$$

де W – потужність електродвигунів чи інших споживачів, кВт;

t – тривалість роботи електрообладнання протягом доби, год;

Ц – вартість 1 кВт електроенергії, грн/кВт·год (відповідно до постанови Національної комісії регулювання електроенергетики від 13 квітня 2017 р. № 512 зі змінами, для сільськогосподарських споживачів вартість електроенергії становить 223,825 коп/кВт·год);

Д – кількість робочих днів у році, діб.

$$E_{\text{ел}} = 0,039 \cdot 2,67 \cdot 2,24 \cdot 365 = 85,14 \text{ грн.}$$

Тривалість роботи доїльної установки t визначається відповідно до кількості доїнь, продуктивності установки та параметрів обладнання [71]:

$$t = \frac{N \cdot k_{\text{д}} \cdot t_{\text{м}}}{60 \cdot n_{\text{да}}}, \quad (5.8)$$

де N – поголів'я корів, гол;

$k_{\text{д}}$ – кратність доїння, $k_{\text{д}} = 2$;

$t_{\text{м}}$ – середня тривалість доїння однієї корови, хв;

$n_{\text{да}}$ – кількість доїльних апаратів, $n_{\text{да}} = 6$.

$$t = \frac{100 \cdot 2 \cdot 4,8}{60 \cdot 6} = 2,67 \text{ год.}$$

Економічний ефект у результаті надходження додаткового молока визначається як добуток додаткового молока на його вартість:

$$E_{\text{д}} = k_{\text{з}} \cdot (Q_{\text{п}} - Q_{\text{б}}) \cdot \text{Ц}_{\text{м}}, \quad (5.9)$$

де $k_{\text{з}}$ – постійний коефіцієнт зменшення результату при додаткових затратах на прибавочну продукцію, $k_{\text{з}} = 0,75$,

$\text{Ц}_{\text{м}}$ – закупівельна ціна молока, грн/ц (середню ціну для реалізації молока сільськогосподарськими підприємствами взято із досліджень, так станом на 09.2021 р. середнє значення становить 980 грн/ц).

$$E_{\text{д}} = 0,75 \cdot (4750,5 - 3980) \cdot 980 = 566317,5 \text{ грн.}$$

Строк окупності капітальних вкладень визначається згідно відношення:

$$T = \frac{B_{\text{п}} - B_{\text{б}}}{E_{\text{р}}}, \quad (5.11)$$

$$T = \frac{352484 - 27011,6}{470293} = 0,69 \text{ р.}$$

Згідно формул (5.2) визначаємо прями експлуатаційні:

$$P_6 = 1,05 \cdot \frac{314280 + 3835,6 + 832,7}{3980} = 80,13 \text{ грн/ц,}$$

$$P_{\Pi} = k \cdot \frac{314280 + 50052,728 + 1633,5 + 85,14}{4750,5} = 77,07 \text{ грн/ц.}$$

Так загальний річний економічний ефект згідно виразу (5.1) розраховуємо:

$$E_p = 80,13 \cdot 3980 - 77,07 \cdot 4750,5 - 0,15(352484 - 27011,6) + 566317,5 \\ = 470293 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.4

Основні економічні показники машинного доїння (в цінах станом на 1.09.2021)

ПОКАЗНИК	ОДИНИЦЯ ВИМІРУ	ВАРІАНТ	
		ДА-Ф-50	ПЕМПК
Річний надій молока, 100 голів	ц	3980	8750,05
Оплата праці	грн	314280	314280
Амортизаційні відрахування	грн	3835,6	50052,728
Відрахування на ремонт і ТО	грн	832,68	1633,5
Вартість електроенергії	грн	0,00	85,14
Прямі експлуатаційні витрати	грн/ц	83,3	39,07
Балансована вартість	грн	27011,6	352484
Додаткове надходження молока	ц		181
Економічний ефект від додаткового надходження молока	грн		566317,5
Прямі експлуатаційні затрати на 1 гол	грн/гол	83,3	38,07
Капітальні вкладення	грн/гол	40,26	224,40
Річний економічний ефект на 1 гол	грн/гол		5703
Річний економічний ефект на 1 ц	грн/ц		4,7
Річний економічний ефект на 100	грн		470293

Результати проведених розрахунків для базового технологічного процесу машинного доїння корів із використанням доїльної установки УДМ-100, обладнаної доїльними апаратами з пульсоколектором ДА-Ф-50 та

пропонованого варіанту доїльної установки із використанням пневмоелектромагнітного пульсатора [96] для дійного стада поголів'ям 100 корів систематизовано та наведено в табл. 5.4

Також слід враховувати, що при розрахунку економічного ефекту не було враховано додаткові надходження від зменшення кількості хворих тварин, оскільки використання пневмоелектромагнітного пульсоеолектора є ощадливим. Збільшення ефективності від впровадження пневмоелектромагнітного пульсоеолектора можливе при використанні його в складі автоматизованого доїльного апарату [71, 94]. Використання пневмоелектромагнітного пульсоколектора дозволить отримати річний економічний ефект у розмірі 470293 грн, що дає змогу вивести процес доїння на якісно новий рівень.

5.4 Висновки до п'ятого розділу

1. Доїльний апарат з пневмоелектромагнітним пульсоколектором порівняно зі серійним ДА-Ф-50 в процесі виробничої перевірки забезпечує кращу молоковіддачу, приріст середньодобового надою за рахунок повноти видоювання 8,7 %.

Використання розробленого пневмоелектромагнітного пульсоколектора унеможлиблює силове навантаження дійкової гуми на дійку внаслідок урівноваження тисків в міжстінковій і піддійковій камерах доїльних стаканів.

2. Використання доїльного апарата з пневмоелектромагнітним пульсоколектором дозволяє незалежно від персональної кваліфікації оператора машинного доїння, за рахунок уникнення наповзання доїльних стаканів на дійки наприкінці доїння скоротити затрати праці на виконання завершальних операцій на 0,69 хв.

Робота дослідного зразка доїльного апарата з пневмоелектромагнітним пульсоколектором забезпечує високу інтенсивність і повноту видоювання, в середньому 2,33 кг/хв і 98,2 % відповідно.

Використання доїльного апарату з пневмоелектромагнітним пульсоколектором на фермі з поголів'ям 100 корів забезпечить економічний ефект у розрахунку на одну корову 5703 грн, на 1 ц молока – 4,7 грн., сумарний річний економічний ефект на 100 корів становитиме 470293 грн (у цінах на 1.09.2021 р.).

ВИСНОВКИ

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволяють зробити такі висновки.

1. Встановлено, що для підвищення ефективності машинного доїння корів, забезпечення повнішого виведення молока й унеможливлення силового навантаження дійкової гуми на дійки корів доцільно застосовувати розроблений пневмоелектромагнітний пульсоколектор.

2. Встановлено закономірності швидкості потоку повітря в міжстінному просторі “якір-клапан – внутрішня поверхня корпусу пульсоколектора” та дотичних напружень в результаті чого отримані теоретичні залежності, які описують взаємозв'язок між швидкістю потоку повітря та характеристикою середовища, вакуумметричним тиском і конструкційними параметрами якоря-клапана, що уможлиблює моделювання кінематичних характеристик руху повітря й дії динамічного зусилля на якір-клапан.

3. Отримано аналітичну залежність (2.39) для визначення ампер-витків електромагніту в режимі утримання якоря-клапана в положення для такту ссання та в момент підняття якоря-клапана в такті стиску в залежності від технологічних характеристик і конструкційних параметрів пульсоколектора. Встановлено, що із збільшенням зазору між верньою площиною якір-клапана і магнітопроводом та із зростанням вакуумметричного тиску значення ампер-витків електромагніту зростає. Так, за зазору $\delta=0,1$ мм кількість ампер-витків електромагніту для утримання якір-клапана у такті «ссання» перевищує $IW=9$ А·Вит і вакуумметричного тиску $P_B=50$ кПа. Якщо зазор $\delta=1$ мм і вакуумметричний тиск $P_B=50$ кПа, для утримання якір-клапана у верхньому положенні необхідно $IW=90$ А·Вит електромагніту. Із збільшенням зазору δ ампер-витки електромагніту повинні зростати.

Для підняття якір-клапана з нижнього положення (перехід від такту «стиску» до такту «ссання») та зміни вакуумметричного тиску від 5 кПа до

50 кПа ампер-витки електромагніту необхідно забезпечити від $IW=106 \text{ А}\cdot\text{Вит}$ до $IW=335 \text{ А}\cdot\text{Вит}$. Раціональним обґрунтованим параметром.

4. Отримано теоретичну залежність (2.67) тривалості піднімання якоря-клапана за переходу пневмоелектромагнітного пульсоколектора від такту «стиску» до такту «ссання», яка дає змогу розрахувати час переходу від такту ссання до такту стиску в залежності від вакуумметричного тиску, конструкційних параметрів пульсоколектора й електромагніту та потужності електромагніту. У результаті теоретичних досліджень встановлено, що за $IW=400 \text{ А}\cdot\text{Вит}$ і вакуумметричного тиску $P_B=50 \text{ кПа}$, час піднімання якоря-клапана на віддалі $y=4 \text{ мм}$ становить $t=0,102 \text{ с}$. За $IW=100 \text{ А}\cdot\text{Вит}$ час піднімання якоря-клапана становить $t=0,23 \text{ с}$. і із збільшенням потужності електромагніту тривалість піднімання якоря-клапана зменшується.

5. Отримані рівняння регресії (4.3) і (4.7), які описують взаємозв'язок між споживаною потужністю пневмоелектромагнітного пульсоколектора й інтенсивністю молоковіддачі та частотою пульсації, співвідношенням такту ссання до такту стиску й вакуумметричним тиском.

Потужність споживання зростає із зменшенням частоти пульсації й збільшенням співвідношення тактів.

Інтенсивність молоковіддачі із зменшенням частоти пульсації та збільшенням вакуумметричного тиску в піддійковій камері доїльних стаканів – зростає. Співвідношення між тактами пульсоколектора на інтенсивність молоковіддачі впливає незначно.

6. Отримані рівняння регресії (4.8) і (4.9), які описують взаємозв'язок між вакуумметричним тиском в міжстінковій і піддійковій камерах доїльних стаканів та частотою пульсації, співвідношенням такту ссання до такту стиску й вакуумметричним тиском.

Унеможливлення силового навантаження дійкової гуми на дійку відбувається за урівноваження тисків в міжстінковій і піддійковій камерах доїльних стаканів.

За частоти пульсації 1 Гц, співвідношення між тактами від 0,67 до 2,33 вакуумметричний тиск в міжстінковій і піддійковій камерах буде коливатись від 14 до 16 кПа.

Раціональними режимами роботи пневмоелектромагнітного пульсоколектора є частота пульсації 1 Гц і співвідношення між тактами $0,67 \div 1,5$. Споживана потужність пневмоелектромагнітного пульсоколектора буде в межах 5...7,5 Вт.

7. Розрахунковий річний економічний ефект від впровадження доїльного апарата з пневмоелектромагнітним пульсоколектором на тваринницькій фермі з поголів'ям 100 корів, завдяки росту середньодобового надою на 8,7 %, становить 470293 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адмін Є. І. Доїння корів при різному утриманні. – К. : Урожай, 1974. – 167 с.
2. Правила машинного доїння корів: норм. документ – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2004. – 37 с.
3. Науково – виробничий журнал «Техніка і технології в АПК» №8(11)/серпень/2010. Москаленко С., Ліщинський С.
4. Енергоощадний пневмоелектромагнітний пульсатор автоматизованого доїльного апарата. Теорія та експеримент [Текст] : монографія / В.Т. Дмитрів, В.В. Адамчук, Ю.М. Лаврик, І.В. Дмитрів; Львів. нац. аграрн. ун-т. – Львів : СПОЛОМ, 2016. – 180 с.
5. Біологія продуктивності сільськогосподарських тварин. Конспект лекцій з дисципліни для здобувачів вищої освіти ступеня «магістр» спеціальності 204 «ТВППТ» денної та заочної форми навчання / Галушко І.А – Миколаїв МНАУ 2018. – 163 с.
6. Scientific messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies / INNOVATIONS IN THE ESTABLISHMENT PHYSIOLOGY TECHNOLOGIES MILKING HIGH-PRODUCTIVE COWS / A.P. Paliy - Vol 19, No 74 (2017).
7. Адаптивний мікропульсатор автоматизованого доїльного апарата. Теорія та експеримент [Текст] : монографія / В. В. Адамчук, В. Т. Дмитрів, І. В. Дмитрів, Ю. М. Лаврик ; Львів. нац. аграрн. ун-т. – Львів : СПОЛОМ, 2016. – 152 с.
8. Винников И.К. Технологии, системы и установки для комплексной механизации и автоматизации доения коров / И.К. Винников, О.Б. Забродина, Л.П. Кормановский, под ред. Л.П. Кормановского.– Гос. науч. учреждение "Всерос. науч.-исслед. и проект.-технол. ин-т механизации и электрификации сел. хоз-ва"(ВНИПТИМЭСХ).– зерноград, 2001.– 354 с.

9. Палій А.П. Інноваційні основи одержання високоякісного молока. Монографія.– Харків: “Міськдрук”, 2016. – 270 с.
10. Науково – практичний журнал «Тваринництво України» №7/8 . Дослідження впливу доїльних систем на соски вимені корів – А.Палій – 2016. 6-9 с.
11. Automatic Milking, a better understanding. A. Meijering, H. Hogeveen and C.J.A.M. de Koning – 2004. – 544с.
12. Hamann J, Mein GA, Wetzel S: Teat tissue reactions to milking: Effects of vacuum level. *Journal of Dairy Science*. 1993. - 76 p.
13. Brandsman S: The influence of vacuum level, pulsation ratio and type on milk flowrate (machine time) and completeness of milking. *Proceedings of Symposium on Machine Milking, University of Reading, Reading, England*. Edited by: Dodd FH . 1968. 1-59 pp.
14. Craig TV, Force DK, Bremel DH, Stessen S: Effect of pulsation ratio, pulsation rate and teatcup liner design on milking rate and milk production. *Journal of Dairy Science – Madison*, 1991. – Volume 74. – Issue 4. 10.3168/jds.S0022-0302(91)78280-5. 1243-1251. pp.
15. O'Callaghan EJ: Measurement of vacuum in the cluster using a milkflow simulator. *Irish Journal of Agricultural Research*. 1998.
16. David E. Gleeson, Edmond J. O'Callaghan and Myles V. Rath: Effect of liner design, pulsator setting, and vacuum level on bovine teat tissue changes and milking characteristics as measured by ultrasonography. *Irish Veterinary Journal*. 2004.
17. Gleeson DE, O'Callaghan E: Effect of system vacuum level on bovine teat-tissue reaction and milking characteristics. *Proceedings, Annual Meeting of National Mastitis Council*. 1999. 209-210 pp.
18. Sabine Ferneborg and Kerstin Svennersten-Sjaunja. The effect of pulsation ratio on teat condition, milk somatic cell count and productivity in dairy cows in automatic milking. *Volume 82, Issue 4 November 2015*. 453-459 pp.

19. ДСТУ ISO 5707:2012. Установки доїльні. Конструкція і технічні характеристики (ISO 5707:2007, IDT). На заміну ГОСТ 28545-90; введ. 01-05-2013. – К. : Вид-о стандартів. – 2012 . – 55 с.
20. Вальдман Э. К. Физиология машинного доения коров /Э. К. Вальдман – М. : Колос, 1987. – 192 с.
21. Gleeson David E. Effect of liner design, pulsator setting, and vacuum level on bovine teat tissue changes and milking characteristics as measured by ultrasonography / David E. Gleeson, J. O'Callaghan Edmond, V. Rath Myles // Irish veterinary journal. – Dublin, 2004. 57:289
<https://doi.org/10.1186/2046-0481-57-5-289>
22. Mahle D. E. Galton D. M., Adkinson R. W. Effects of vacuum and pulsation ratio on udder health // Dairy science department Louisiana, Agricultural experiment station, Journal of dairy science. – Madison, 1982. – Vol. 65. – Issue 7. – P. 1252–1257 .
23. Rasmussen M. D., Madsen N. P. Effects of milkline vacuum, pulsator airline vacuum, and cluster weight on milk yield, teat condition, and udder health // Journal of Dairy Science . – Madison, 2000. –№ 83 (1) . P. 77–84.
24. Симошенко А. А., Буробкин И. Н. Книга мастера машинного доения /М.: Моск. рабочий, 1976. – 176 с.
25. Галат Б. Ф. Машкин Н. И., Козача Л. Г. Справочник по технологии молока – К. : Урожай, 1980. – 216 с.
26. Grinchenko V.A., Nikitenko G.V., Lysakov A.A., Konoplev E.V. Milking machine with electropulsator. Engineering for Rural Development, Latvia University of Agriculture. 2016. 230-235 pp.
27. Patent RF № 126563, МПК8 А 01 J 5/14. Электропульсатор доильного аппарата двойного действия (Electropulsator of doble-action milking machine), Nikitenko G.V., Kapustin I.V., Grinchenko V. A., owner – Stavrop. university – № 2012123542/13; date. 06.06.12; accepted. 10.04.13.

28. Grinchenko V.A., Nikitenko G.V., Lysakov A.A., Konoplev E.V., Duration of change of pressure in interwall camera of milking cup. Engineering for Rural Development, Latvia University of Agriculture, 2016. 819-823 pp.
29. Яцунський П.П. Методика експериментальних досліджень доїльного апарата з адаптацією режимів роботи до молоковіддачі // матеріали XI всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців – Кам'янець Подільський. 2017. - 174 с.
30. Дмитрів В.Т., Яцунський П.П. «Пневмоелектромагнітний пульсоколектор, як елемент системи автоматики» - Четверта міжнародна наукова конференція «вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (вкдтс-2017)» - 2017. С. 193-194.
31. Яцунський П.П. Конструкційний аналіз пульсоколекторів – VI науково-технічна конференція «технічний прогрес у тваринництві та агропромисловості» - грудень 2017.
32. Католицкий Н.А. Особенности промышленного производства молока // Nauka-rastudent.ru. – 2014. – No. 11 (11-2014) / [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://nauka-rastudent.ru/11/2180/>
33. А.С. 1358855 СССР. Патент Украины 10166. Пульсоколектор доильного аппарата / Фененко А.И., Бутич Н.И., Лищинский С.П., Москаленко С.П., Миропольский А.М., Пичкур А.В. // 1987. – Бюл. инф. №46.
34. [Электронный ресурс] <https://bobwhitesystems.com/collections/cow-milk-machines/products/nupulse-fulflo-claw-standard-and-mlx - 01.12.2017>
35. J. Besier, O. Lind & R.M. Bruckmaier Dynamics of teat-end vacuum during machine milking: types, causes and impacts on teat condition and udder health – a literature review, Journal of Applied Animal Research, 44:1, DOI: 10.1080/09712119.2015.1031780, 2016. 263-272 pp.
36. Moore C.L. Effects of pulsation rates of 44, 55, and 66 pulsation ratios of 50:50 and 60:40 on milking rate and milking time // Journal of dairy science. – Madison, 1955. – Vol. 48. – P. 1612–1614.

37. Зайцева Г. А. Правила машинного доения коров /– М. : Агропромиздат, 1989. – 35 с.
38. Дмитрів В.Т., Лаврик Ю.М. Сравнительная оценка конструктивно-технологических параметров пульсаторов доильных аппаратов - Механізація та електрифікація сільського господарства // Між-відомчий тематичний науковий збірник.- Випуск № 84.–Глеваха, 2010.- С. 147-150
39. Дмитрів В.Т., Ткачишин Р.С. Дослідження інтенсивності молоковіддачі при різних режимах роботи доїльних апаратів. Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроін-женерні дослідження. - 2006 .- № 10.- С. 226-230.
40. Дмитрів І. В. Аналіз режимних характеристик доїльних апаратів при машинному доїнні корів // Механізація та електрифікація сільського господарства // Міжвід. темат. наук. зб. – 2013. – Вип. 97. – Глеваха, 2013. – С. 576-581.
41. Королев В. Ф. Доильные машины – М. : Машиностроение, 1969. – 277 с.
42. Карташов Л. П. Элементы расчета основных показателей доильных аппаратов – Оренбург, 1969. – 13 с.
43. Велиток И. Г. Машинное доения и раздой коров – Киев : Урожай, 1967. – 166 с.
44. Жилов И. В. Механизация доения коров на фермах и комплексах – Горький : Волго-Вятское кн. изд-во, 1979 – 104 с.
45. Беляевский Ю. И. Индустриализация в молочном животноводстве – М. : Колос, 1976. – 352 с.
46. Деклараційний патент на винахід UA № 58948. Спосіб машинного доїння корів / С. М. Кондур, В. М. Сиротюк, В. Т. Дмитрів.-№2002119496 ; Заявл. 28.11.2002 ; опубл.15.08.2003, Бюл. № 8.
47. Пульсоколектор. Пат. №44461 А Україна, МПК А 01 J 7/00. / ХодаревВ.Я., Піскун В.І.; Савран В.П., Грицаєнко Л.В Інститут тваринництва УААН. - №2001042130; заявл. 02.04.2001; опубл. 15.02.2002, Бюл.№2.

48. Луценко М.М. Розробка зоотехнічних основ функціонування біотехнічних систем доїння і напрямків їх удосконалення // Автореф. дис. . д-ра с.-х. наук. –К.: УДАУ, 1993. –44 с.
49. Погорелый Л.В., Луценко М.М. Биотехнические системы в животноводстве. –К.: Урожай. –1992.–344 с.
50. Einrohr-Flaco-Matik PLS. Spitzenleistung Moderner Melrtechnik / F. Landwehr GmbH Maschinenfabrikation. –10 p.
51. Kreilis M. U.C. Piena Razosanas tehn0logijas rokasgramata / -Riga: Avots.- 1981.-262 pp..
52. Бригас О.В. Обґрунтування конструкційних параметрів і режимних характеристик молоко провідної лінії доїльної установки // Дисертація к.т.н. – Глеваха – 2016. – 169 с.
53. Nikitenko G.V., Grinchenko V.A., Avdeeva V. N. and others. 2015. The milking machine with an electropulsator of a new design, Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal) / nauki inzynieryjne i techniczne # III, 2015. – 114-118 pp.
54. Westfalia Surge / Пульсатор Stimopuls Apex M - P – инструкция по эксплуатации, 2018.
55. Фененко А.І., Бутич Н.І., Лищинський С.П. та ін. – Патент А.С. 1358855 АS.. Пульсоколектор доїльного апарата. 1987. – Блок. №046.
56. Дмитрів В.Т., Ванько В.М., Лаврик Ю.М., Дмитрів І.В., та ін. Звіт НДР. ЛНАУ. Львів, 2017. 179 с. (інв. № 0718U000729) Розроблення адаптивної кібер-фізичної системи процесу виробництва молока (заклучний).
57. Патент України 100076. Адаптивний пневмоелектромагнітний пульсатор/ В.В. Адамчук, І.В. Дмитрів заявл. 29.12.2014., опубл. 10.07.2015. // 2015. – Бюл. 13.
58. Патент України 89416. Електромагнітний пульсатор попарної дії / В.Т. Дмитрів, Ю.М. Лаврик, І.В. Дмитрів, В.І. Банга, заявл. 12.02.2008., опубл. 25.01.2010. // 2010. – Бюл. 2.

59. Фененко А.І. Москаленко С.П., Слободяник К.Ф., Роговий В.Д. Машинне доїння корів і первинна обробка молока – К. : Урожай, 1990. – 213 с.
60. Сиротюк В.М. Машини та обладнання для тваринництва :навч. посіб. – Львів : Магнолія плюс. – 2004. – 200 с.
61. Ревенко І.І. Кукта Г.М. та ін. Механізація виробництва продукції тваринництва: за ред І.І. Ревенко. – К. : Урожай. 1994 – 264 с.
62. Дмитрів І.В. Теорія та технологія наукових досліджень: механічна інженерія: навч. посіб; Львівський національний аграрний університет. – Львів: СПОЛОМ, 2017. – 212 с. : рис., таб. – Бібліогр.: с.209-212 (40 назв). – ISBN 978-966-919-275-2.
63. Стоцько З.А. Моделювання технологічних систем: навч. посібник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 188 с. ISBN 978-617-607-459-5
64. Горонескуль М.М. Таблиці функцій та критичних точок розподілів. Розділи: теорія ймовірностей. Математична статистика. Математичні методи в психології. / Укладач М.М. Горонескуль. Х: УЦЗУ, 2009. – 90с.
65. Федоров В. В. Теория оптимального эксперимента - М.: Наука, 1971.
66. Гусейнов Ф. Г. Мамедяров О.С. Планирование эксперимента в задачах электроэнергетики - М.: Энергоатомиздат, 1988.
67. Адлер Ю. П. Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий - М.: Наука, 1976.
68. Мельников С.В. В.Р., Алешкин, Рощин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов – Л.: Колос, 1980.
69. Tancin, V., Iřema, B., Högewerf, P. and Macuhova, J. Sources of variation in milk flow characteristics at udder and quarter levels. *Journal of Dairy Science*, 89(3), 2006 - 978-988 pp.
70. Ходарев В. Я. Теоретическое обоснование конструктивно-режимных параметров пульсоколлектора ПВД-2-3 / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені

- Петра Василенка. - 2014. - Вип. 144. - С. 183-189. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2014_144_35
71. Лаврик Ю.В. Обґрунтування параметрів пневмоелектромагнітного пульсатора попарної дії доїльного апарата // Дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. - Львів – 2015.
 72. Пат. № 79236U1 РФ МПК А01J 5/14. Электромагнитный пульсатор доильного аппарата / Г. В. Никитенко, В. А. Гринченко; патентообладатель. Федеральное гос. образование Ставропольский гос. аграр. университет. – № 2008132309/22 ; заявл. 05.08.2008 ; опубл. 27.12.2008, Бюл. № 36. – 2 с.
 73. J. Besier and R. M. Bruckmaier. 2016. Vacuum levels and milk-flow-dependent vacuum drops affect machine milking performance and teat condition in dairy cows. Journal of Dairy Science Vol. 99 No. 4, 2016. J. Dairy Sci. 99:3096–3102
<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-10340>.
 74. Патент України 28966. Колектор доїльного апарата/ Ревенко І.І., Заболотько О.О., Ліщинський С.П., заявл. 10.09.2007., опубл. 25.12.2007. // 2007. – Бюл. 2.
 75. Лаврик Ю. М. Структурна схема моделі пневмоелектромагнітного пульсатора // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка : Вдосконалення технологій та обладнання виробництва продукції тваринництва. – Х. : 2009. – № 79. – С. 262 –267.
 76. Пульсоколектор [Текст] : А. С. 1435214 СССР : МКИ А 01 J 5/12/ Г.Р. Вінтеле (СССР). - №4157612/30-15 ; заяв 08.12.86; опубл. 07.11.88, Бюл.№41.
 77. Гордієвських М.Л. Підвищення ефективності машинного доїння корів шляхом удосконалення технологічного процесу і технічних засобів підрахунку поточних фізіологічних потребностей тварин. [Текст] : дис. .д-ра. техн. наук – Челябінськ, 2006. – 434 с.

78. Гордієвських М.Л. Технологічне обґрунтування ефективності використання пристрою початку та закінчення доїння корів [Текст] // Комплексна механізація процесів в тваринництві Східного Казахстану : сб. Наук. Тр. – Алма-Ата, 1985. – С. 9-15.
79. Свірідов А. Г. Розробка і обґрунтування конструктивно-режимних параметрів гідравлічного контура доїльного апарата автоматизованої доїльної установки. [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Вороніж, 2007. – 147 с.
80. Чехунов О.А. Розробка і обґрунтування конструктивно-режимних параметрів доїльного апарата з однокамерними доїльними стаканами. [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Вороніж, 2006. – 135 с.
81. Логачева О.В. Підвищення ефективності доїння корів переносними доїльними апаратами з регулятором вакуума. . [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Вороніж, 2007. – 171 с.
82. Дмитрів І. В. Теорія і практика наукових досліджень: Автомобільний транспорт. Лабораторний практикум. Національний університет „Львівська політехніка”. – Львів : СПОЛОМ, 2022. 112 с.
83. Дмитрів І.В. Автомобільний транспорт. Теорія і практика наукових досліджень. Навчальний посібник. Національний університет „Львівська політехніка”. – Львів : СПОЛОМ, 2019. 316 с.
84. Дмитрів В.Т. Механіко-технологічні основи систем доїльних установок. Теорія та експеримент : монографія. Львів : СПОЛОМ, 2017. 350 с.
85. Яцунський П.П. Стенд для експериментальних досліджень генераторів імпульсів доїльних апаратів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Експлуатаційна та сервісна інженерія": присвячена 90-річчю ХНТУСГ та 120 річниці з дня народження академіка П. М. Василенка, 15-16 жовтня 2020 р. Харків: ХНТУСГ, 2020. С. 46-47.
<http://dSPACE.khntusg.com.ua/handle/123456789/14893>

86. Дмитрів В.Т., Ланець О.С., Дмитрів І.В. Мікропроцесорна техніка. Лабораторний практикум. Національний університет „Львівська політехніка”. Львів: СПОЛОМ, 2019. 112 с.
87. Дорожовець М. Опрацювання результатів вимірювань: Навч. Посібник. Львів : Вид-во Національного університету „Львівська політехніка”, 2007. 624 с.
88. Дрогомирецька Х.Т., Рибицька О.М., Слюсарчук О.З., Пабіривська Н.В., Гошко Л.В., Веселовська О.В., Білонова Д.В. Теорія ймовірності та математична статистика: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 396 с.
89. Білуха М. Т. Основи наукових досліджень. К.: Вища школа, 1997. 271 с.
90. Dmytriv V.T., Dmytriv I.V., Yatsunskyi P.P. Experimental pulse generator combined with the milking machine collector / Експериментальний генератор імпульсів суміщений із колектором доїльного апарату. DOI: 10.35633/INMATEH-59-24. INMATEH - Agricultural Engineering. National institute of research-development for machines and installations designed to agriculture and food industry - INMA Bucharest, vol. 59, no.3/ 2019. P. 219-226. eISSN: 2068-2239.
91. Dmytriv V.T., Dmytriv I.V., Horodetskyu I.M., Yatsunskyi P.P. Adaptive cyber-physical system of the milk production process / Адаптивна кіберфізична система процесу виробництва молока. DOI: <https://doi.org/10.35633/inmateh-61-22>. INMATEH - Agricultural Engineering. National institute of research-development for machines and installations designed to agriculture and food industry - INMA Bucharest, vol. 61, no.2/ 2020. P. 199-208. eISSN: 2068-2239.
92. Yatsunskyi P.P. The results of research pneumatic electromagnetic pulsator combined with collector. Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania ISSN 2029-2341 / eISSN 2029-22522022 Volume 14, 2021.
<https://doi.org/10.3846/mla.2022.15162>

93. Дмитрів В.Т., Дмитрів І.В., Яцунський П.П.. Дослідження пневмо-електромагнітного пульсоколектора доїльного апарата методом планованого експерименту. Інженерія природ око-ристування [Науковий журнал]. Харків : ХНТУСГ, 2019. №2 (12). С. 66-72.
94. Дмитрів В.Т., Яцунський П.П. Автоматизована система вимірювання параметрів тиску та керування Пневмоелектромагнітним пульсоколектором. V Всеукраїнська науково-практична конференція “Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин та знарядь” 2019. С 180-182.
95. Petro Yatsunskyi ”The pressure oscillation in the inter-wall chamber of the treat cup”. Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science., Вип.7 #3-4, 2021. 11-19 с.
96. Дмитрів В.Т., Яцунський П.П. (2019). Генератор імпульсів для доїльної установки / pulse generator for milking installation. 14-й міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: КІНПАТРИ ЛТД, 2019. С. 152-154.
97. Dmytriv V.T., Dmytriv I.V., Horodetskyu I.M., Yatsunskyi P.P. Adaptive cyber-physical system of the milk production process / Адаптивна кібер-фізична система процесу виробництва молока. ISB-INMA ТЕН 2019, 31.10–11.11.2019/ Agricultural and mechanical engineering. – Bucharest, 2019. С. 154-163.
98. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретична фізика: Навчальне видання. В 10 т. Т. VI. Гідродинаміка. – 4-е вид., стер. – М: Наука Гл. Ред. фіз.-мат. лит., 1988. – 736 с. – ISBN 5-02-013850-9 (т. VI)
99. Кондур С. М. Адаптування режиму роботи доїльного апарата до умов доїння // Механізовані процеси сільськогосподарського виробництва : зб. наук. пр. – Львів : Львів. держ. с.-г. ін-т, 1996. – С. 82–85.
100. Дмытрев В. Т. Модель энергоэкономного электромагнитного пульсатора // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межведомственный тематический сборник РУНИП “ИМСХ НАН

- Беларуси” ; под общ. ред. В. Н. Дашкова. – Мн., 2006. – № 40. – С. 280–283.
101. Сиротюк В. М., Кондур С. М. Методика розрахунку основних параметрів електромагнітного пульсатора і регулятора вакуумметричного тиску // Вісник Львівського державного аграрного університету : Агроінженерні дослідження. – 2001. – №5. – С. 203-207.
102. Сиротюк В. М. Дмитрів В. Т., Кондур С. М. Обґрунтування геометричних параметрів елементів електромагнітного вакуумного регулятора // Вісник Львівського державного аграрного університету : Агроінженерні дослідження. – 2005. – № 9. – С. 299–303.
103. Лаврик Ю. М. Моделювання моменту відривання клапана електромагнітного пульсатора // Вісник Харківського національного технічного університету с. г. ім. Петра Василенка : Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві. – 2011. – № 108. – С. 51–55.
104. Rasmussen, M.D.; Wiking, L.; Bjerring, M.; Larsen, H.C. Influence of air intake on the concentration of free fatty acids and vacuum fluctuations during automatic milking. *J. Dairy Sci.* 2006, 89, 4596–4605 pp.
105. Hoefelmayr, T.; Maier, J. Vom klassischen zweiraumbeker und seinen Funktionsmängeln (The conventional dual-chamber teat-cup and its operational faults). *Milchpraxis* 1979, 17, 62–64 pp.
106. Bade, R.D., D.J. Reinemann, M. Zucali, P.L Ruegg and P.D. Thompson. Interaction of vacuum, b-phase duration, and liner compression on milk flow rates in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92:913, 2009.
107. Besier J, Lind O and Bruckmaier R M . Dynamics of teat-end vacuum during machine milking: types, causes and impacts on teat condition and udder health – a literature review. *Journal of Applied Animal Research* 44(1): 2016. P.263–272.

<https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1031780>

108. DIN ISO (2010a). International Organization for Standardization. DIN ISO 5707. Milking machine installations, construction and performance.
109. Hamann, J.; Mein, G.A.; Wetzel, S. Teat tissue reactions to milking: Effects of vacuum level. *J Dairy Sci.* 1993, 76, 1040–1046 pp.
110. Odořcić, M.; Rasmussen, M.D.; Paulrud, C.O.; Bruckmaier, R.M. Review: Milking machine settings, teat condition and milking efficiency in dairy cows. *Animals* 2019, 13, 94–99 pp.
111. Penry, J.F.; Upton, J.; Mein, G.A.; Rasmussen, M.D.; Ohnstad, I.; Thompson, P.D.; Reinemann, D.J. Estimating teat canal crosssectional area to determine the effects of teat-end and mouthpiece chamber vacuum on teat congestion. *J. Dairy Sci.* 2017, 100, 821–827 pp.
112. Wieland, M.; Nydam, D.V.; Virkler, P.D. A longitudinal field study investigating the association between teat-end shape and two minute milk yield, milking unit-on time, and time in low flow rate. *Livest. Sci.* 2017, 205, 88–97 pp.
113. Rasmussen, M.D.; Madsen, N.P. Effects of milking line vacuum, pulsator airline vacuum, and cluster weight on milk yield, teat condition, and udder health. *J. Dairy Sci.* 2000, 83, 77–84 pp.
114. Öz, H., S. Rose-Meierhöfer, and A. Degirmencioglu. 2010b. Prediction and Comparison of Vacuum Related Variables in Conventional and Quarter Individual Milking Systems. *Journal of Agricultural Machinery Science* 6 (3): 197-202 pp.
115. Öz, H., S. Rose-Meierhöfer, U. Strobel, and C. Ammon. 2010c. Comparison of the Vacuum Dynamics of Conventional and Quarter Individual Milking Systems. *J Agri Sci* 16 (3): 162-168 pp.
116. Wiercioch, M.; Luberański, A.; Szlachta, J.; Skalska, D. Wpływ zakłóceń w instalacji próżniowej dojarki na parametry pracy wybranych pulsatorów. (Influence of disturbances in the milking machine vacuum system on the operating parameters of selected pulsators). *Inżynieria Rol.* 2011, 8, 285–292 pp.

117. O'Shea, J. Machine milking and mastitis - Section 2: Machine milking factors affecting mastitis - A literature review. *Bull. Int. Dairy Fed.* 1987, 215, 5–32 pp.
118. Ebendorf, W.; Ziesack, J. Studies into reduction of milking vacuum (45 kPa) and its impact on teat stress, udder health as well as on parameters of milk yield and milking. *Mh. Vet. Med.* 1991, 46, 827–831 pp.
119. Maria Caria, Giuseppe Todde and Antonio Pazzona. Influence of the Milking Units on the Pulsation Curve in Dairy Sheep Milking . Italy. *Animals* 2020, 10, 1213 p. doi:10.3390/ani10071213
120. R. Roşca, I. Țenu, P. Cârlescu, E. Rakoşi. Development of a Computer Controlled System for the Evaluation of the Milking Machine Pulsator and Liner. Efficient and safe production processes in sustainable agriculture and forestry XXXIV CIOSTA CIGR V Conference 2011. 29 June -1 July 2011 Vienna – Austria
121. Ulrich Ströbel, Sandra Rose-Meierhöfer, Hülya Öz and Reiner Brunsch. Development of a Control System for the Teat-End Vacuum in Individual Quarter Milking Systems. *Sensors* 2013, 13 P. 7633-765. doi:10.3390/s130607633
122. Golisz, E.; Kupczyk, A.; Majkowska, M.; Trajer, J. Simulation Tests of a Cow Milking Machine - Analysis of Design Parameters. *Processes* 2021, 9, P. 1358. <https://doi.org/10.3390/pr9081358>
123. Hülya Öz1 , Sandra Rose-Meierhöfer, Adnan Degirmencioglu, Ulrich Ströbel, Hamdi Bilgen, Reiner Brunsch. Mathematical Modeling of Vacuum Related Variables in Conventional Milking Systems Using Response Surface Methodology. The First North American Conference on Precision Dairy Management 2010. April 2011, p 3. <https://www.researchgate.net/publication/265804307>
124. Hülya ÖZΨ , Adnan Degirmencioglu, Hamdi bilgen, Mathematical Modelling of Vacuum Drops in Conventional and Quarter Individual Milking Systems Using Response Surface Methodology. Written for presentation at the 2011

ASABE Annual International Meeting Sponsored by ASABE The Galt House
Louisville, Kentucky August 7 – 10, 2011: Paper Number: 1110585

125. Панасюк Б. Я., Приймак Г. М. Экономика производства молока – К. : Урожай, 1976. – 88 с.
126. Данильченко М. Г., Гладич Б. Б., Гевко Р. Б., Ткаченко І. Г.. Експертно-аналітична оцінка технологічних та економічних показників сільськогосподарської техніки : навч.-метод. посібник – Тернопіль : Економічна думка, 2001. – 61 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТКИ

Додаток А

Розв'язок для x :

$$x^2(k + bx) - a = 0.$$

Розкриваємо дужки лівої частини:

$$-a + kx^2 + bx^3 = 0.$$

Виключаємо квадратичний член, замінюємо $y = \frac{k}{3b} + x$.

$$-a + k\left(y - \frac{k}{3b}\right)^2 + b\left(y - \frac{k}{3b}\right)^3 = 0.$$

Розкриваємо дужки лівої частини:

$$-a + \frac{2k^3}{27b^2} - \frac{k^2y}{3b} + by^3 = 0.$$

Приводимо до спільного знаменника:

$$-\frac{27ab^2 - 2k^3 + 9bk^2y - 27b^3y^3}{27b^2} = 0.$$

Приводимо рівняння до спільного знаменника $27b^2$:

$$\frac{27ab^2 - 2k^3 + 9bk^2y - 27b^3y^3}{27b^2} = 0.$$

Множимо обидві сторони на $27b^2$:

$$27ab^2 - 2k^3 + 9bk^2y - 27b^3y^3 = 0.$$

Проводимо ділення двох частин на $27b^3$:

$$\frac{27ab^2 - 2k^3}{27b^3} - \frac{k^2y}{3b^2} + y^3 = 0.$$

Проводимо заміну $y = z + \frac{\lambda}{z}$, де $\lambda = const$

$$\frac{27ab^2 - 2k^3}{27b^3} - \frac{k^2\left(z + \frac{\lambda}{z}\right)}{3b^2} + \left(z + \frac{\lambda}{z}\right)^3 = 0.$$

Множимо обидві частини на z^3 :

$$z^6 + z^4\left(3\lambda - \frac{k^2}{3b^2}\right) + z^3\left(\frac{2k^3}{27b^3} - \frac{a}{b}\right) + z^2\left(3\lambda^2 - \frac{k^2\lambda}{3b^2}\right) + \lambda^3 = 0.$$

Замінюємо $\lambda = \frac{k^6}{729b^6}$ і $u = z^3$:

$$\frac{k^6}{729b^6} - \frac{u(27ab^2 - 2k^3)}{27b^3} + u^2 = 0;$$

$$u = \frac{27ab^2 - 2k^3 + 3\sqrt{3}b^3 \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}}{54b^3}.$$

Підставляємо назад $u = z^3$:

$$z^3 = \frac{27ab^2 - 2k^3 + 3\sqrt{3}b^3 \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}}{54b^3};$$

Беремо кубічний корінь з виразу:

$$\sqrt[3]{\frac{27ab^2 - 2k^3 + 3\sqrt{3}b^3 \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}}{b^3}};$$

$$z = \frac{\sqrt[3]{27ab^2 - 2k^3 + 3\sqrt{3}b^3 \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}}}{3\sqrt[3]{2}}$$

$$z = -\frac{1}{3} \sqrt[3]{-\frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{27ab^2 - 2k^3 + 3\sqrt{3}b^3 \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}}{b^3}}}$$

$$z = (-1)^{\frac{2}{3}} \sqrt[3]{\frac{27ab^2 - 2k^3 + 3\sqrt{3}b^3 \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}}{b^3}}.$$

Підставляємо кожне значення z в :

$$y = \frac{k^2}{9b^2z} + z;$$

$$y = \frac{\sqrt[3]{2k^2}}{3b^2 \sqrt{\frac{27ab^2 - 2k^3 + 3\sqrt{3}b^3 \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}}{b^3}}} + \frac{\sqrt[3]{27ab^2 - 2k^3 + 3\sqrt{3}b^3 \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}}}{3^3 \sqrt{2}}$$

$$y = \frac{(-1)^{2/3} \sqrt[3]{2k^2}}{3b^2 \sqrt{\frac{27ab^2 - 2k^3 + 3\sqrt{3}b^3 \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}}{b^3}}} - \frac{1}{3} \sqrt[3]{-\frac{1}{2}} \sqrt{\frac{27ab^2 - 2k^3 + 3\sqrt{3}b^3 \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}}{b^3}};$$

$$y = \frac{(-1)_3^2 \sqrt[3]{27ab^2 - 2k^3 + 3\sqrt{3}b^3 \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}}}{3^3 \sqrt{2}} - 3b^2 \sqrt{\frac{27ab^2 - 2k^3 + 3\sqrt{3}b^3 \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}}{b^3}}$$

Приводимо кожне рівняння до спільного знаменника і спрощуємо його:

$$y = \frac{2^3 \sqrt{2} k^2 + b^2 \left(\frac{54a}{b} - \frac{4k^3}{b^3} + \right) 6\sqrt{3} \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}^{\frac{2}{3}}}{6b^2 \sqrt[3]{\frac{27a}{b} - \frac{2k^3}{b^3}} + 3\sqrt{3} \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}};$$

$$y = \frac{2(-1)^{2/3}k^2 - \sqrt[3]{-2}b^2 \left(\frac{27a}{b} - \frac{2k^3}{b^3} + 3\sqrt{3} \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}} \right)^{\frac{2}{3}}}{3 \cdot 2 \frac{2}{3} b^2 \sqrt[3]{\frac{27a}{b} - \frac{2k^3}{b^3} + 3\sqrt{3} \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}}};$$

$$y = \frac{\left(-2 \right)^{\frac{2}{3}} b^2 \left(\frac{27a}{b} - \frac{2k^3}{b^3} + 3\sqrt{3} \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}} \right) - 2\sqrt[3]{-2}k^2}{6b^2 \sqrt[3]{\frac{27a}{b} - \frac{2k^3}{b^3} + 3\sqrt{3} \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}}.$$

Підставляємо назад $x = y - \frac{k}{3b}$:

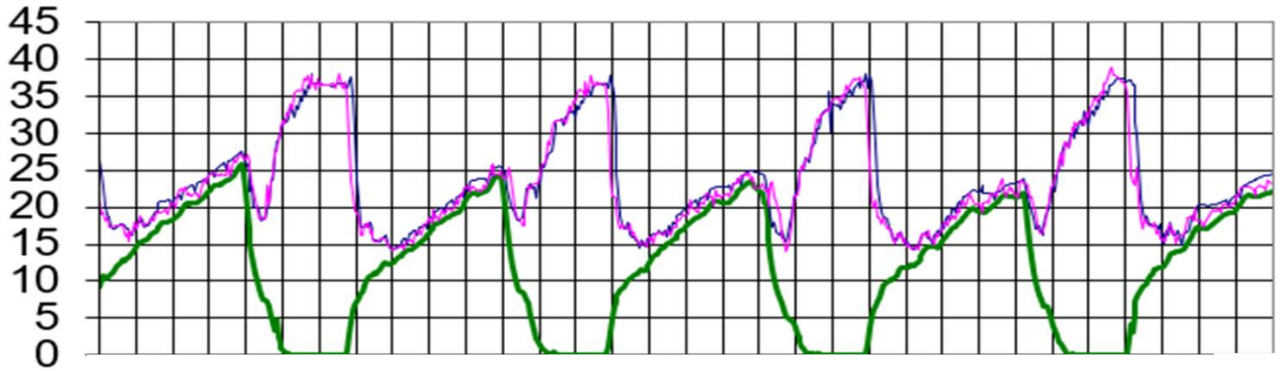
$$x_1 = \frac{2\sqrt[3]{2}k^2 + b^2 \left(\frac{54a}{b} - \frac{4k^3}{b^3} + 6\sqrt{3} \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}} \right)^{\frac{2}{3}}}{6b^2 \sqrt[3]{\frac{27a}{b} - \frac{2k^3}{b^3} + 3\sqrt{3} \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}}} - \frac{k}{3b};$$

$$x_2 = \frac{2(-1)^{2/3}k^2 - \sqrt[3]{-2}b^2 \left(\frac{27a}{b} - \frac{2k^3}{b^3} + 3\sqrt{3} \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}} \right)^{\frac{2}{3}}}{3 \cdot 2 \frac{2}{3} b^2 \sqrt[3]{\frac{27a}{b} - \frac{2k^3}{b^3} + 3\sqrt{3} \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}}} - \frac{k}{3b};$$

$$x_3 = \frac{\left(-2 \right)^{2/3} b^2 \left(\frac{27a}{b} - \frac{2k^3}{b^3} + 3\sqrt{3} \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}} \right)^{\frac{2}{3}} - 2\sqrt[3]{2}k^2}{6b^2 \sqrt[3]{\frac{27a}{b} - \frac{2k^3}{b^3} + 3\sqrt{3} \sqrt{\frac{a(27ab^2 - 4k^3)}{b^4}}}} - \frac{k}{3b}.$$

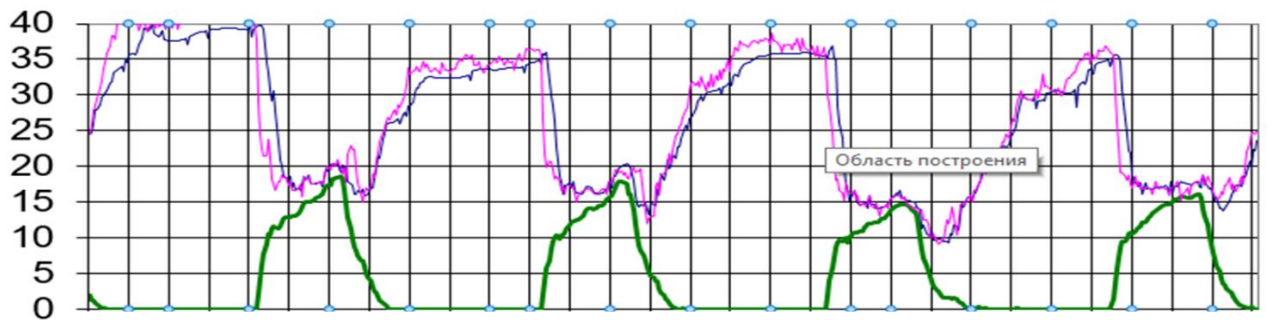
ГРАФІКИ ДАНИХ ВАКУУММЕТРИЧНОГО ТИСКУ ЗНЯТИХ З СЕНСОРІВ
НА КОЛЕКТОРІ,
ПІДДІЙКОВІЙ ТА МІЖСТІНКОВІЙ КАМЕРІ ДОЇЛЬНИХ СТАКАНІВ

Р, кПа



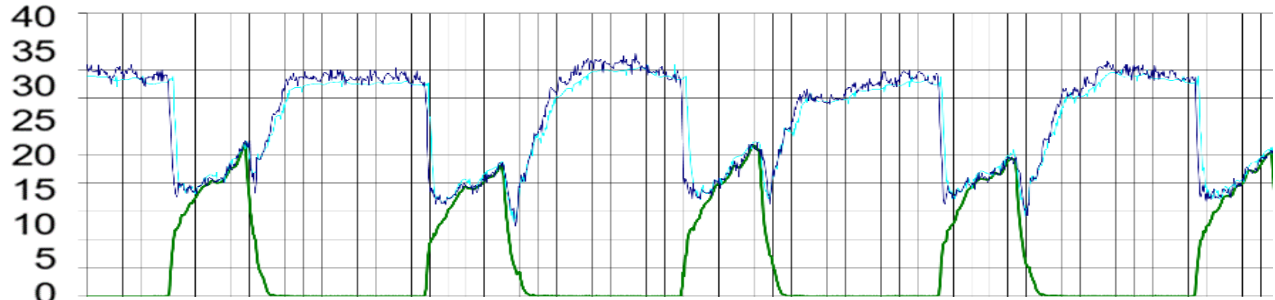
t, c

Р, кПа



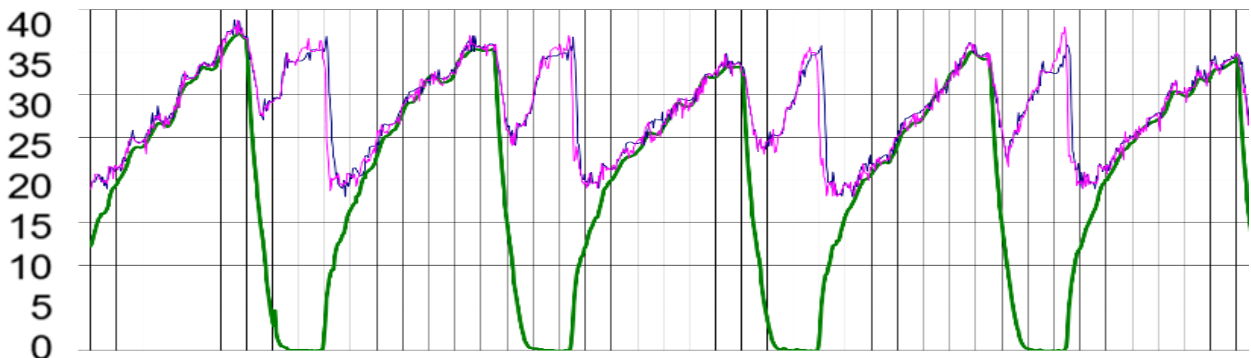
t, c

Р, кПа



t, c

Р, кПа



t, c

Результати дослідження споживаної потужності пневмоелектромагнітного пульсоколектора від частоти пульсації n та співвідношення між тактами t/T

№ П/П	y_1	y_2	y_3	$y_{\text{сер}}$	$(y_1 - y_{\text{сер}})^2$	$(y_2 - y_{\text{сер}})^2$	$(y_3 - y_{\text{сер}})^2$	$\sum S^2$	y_p	$(y_p - y_{\text{сер}})^2$	$\sum (y_i - y_{\text{сер}})^2$	
1	3,51	3,55	3,48	3,513333	1,11E-05	0,001344	0,001111	0,002467	3,43824747	0,005638	0,01938	
2	4,7	4,45	4,66	4,603333	0,009344	0,023511	0,003211	0,036067	4,69075719	0,007643	0,058995	
3	6,96	6,51	6,85	6,773333	0,034844	0,069344	0,005878	0,110067	6,76104057	0,000151	0,11052	
4	2,05	2,13	2,1	2,093333	0,001878	0,001344	4,44E-05	0,003267	2,12541157	0,001029	0,006354	
5	2,66	2,64	2,8	2,7	0,0016	0,0036	0,01	0,0152	2,57292919	0,016147	0,063641	
6	3,98	3,57	3,68	3,743333	0,056011	0,030044	0,004011	0,090067	3,83822047	0,009004	0,117077	
7	3,07	3,19	3,12	3,126667	0,003211	0,004011	4,44E-05	0,007267	3,16961133	0,001844	0,012799	
8	3,960	4,000	3,980	3,980	0,0004	0,0004	1,78E-16	0,0008	4,019625	0,00157	0,00551	
9	5,97	5,85	5,49	5,77	0,04	0,0064	0,0784	0,1248	5,68741233	0,006821	0,145262	
								\sum	0,3899998		0,04984661	0,539539833
Кількість вагомих коеф. рег. d				$d=6$	Дисперсія похибки d .		$S_e^2=0,05995$					
					Дисперсія неадекватності		$S_{ад}^2=0,1798$					

y_i – i -ий замір залежного фактору (критерію оптимізації); y_c – середнє значення критерію оптимізації;

y_p – розрахункове значення критерію оптимізації; $\sum (y_i - y_c)^2$ – сума квадратів відхилень середнього значення від розрахункового значення функції відгуку

Результати дисперсійного аналізу експерименту

Коефіцієнти регресії			вагомість
Познач.	Кодов. коеф.	Дійсні коеф.	
b ₀	7,794815	6,2047	1
b ₁	-0,83926	-9,12	1
b ₂	0,705926	4,434	1
b ₂₂	-1,25889	-1,4695	1
b ₁₁	0,40888893	3,7547	1
b ₁₂	12,10111111	-0,5629	1

Табличні та розрахункові значення критеріїв

розрах. табличні

G _p	G _T	-критерій Кохрена	Фактори	
0,32	0,4775	-досліди відтворювані	x ₁	частота пульсації n, Гц
	t _T	-критерій Стьюдента	x ₂	співвідношення t/T
	2,101			
F _p	F _T	-критерій Фішера		
3	4,58	-модель адекватна		

Таблиця результатів визначення похибки математичної моделі

№ п/п	x ₁	x ₂	y _t	y _p	Δy	Відн., %
1	+1	+1	3,51	3,42	0,09	2,54
2	0	+1	4,60	4,68	-0,07	-1,59
3	-1	+1	6,77	6,75	0,03	0,39
4	+1	-1	2,09	2,11	-0,02	-0,86
5	0	-1	2,70	2,56	0,14	5,23
6	-1	-1	3,74	3,82	-0,08	-2,16
7	+1	0	3,13	3,16	-0,03	-0,92
8	0	0	3,98	4,01	-0,03	-0,64
9	-1	0	5,77	5,67	0,10	1,68

Результати проведення планованого факторного експерименту визначення залежності інтенсивності молоковіддачі від частоти пульсації n , співвідношення між тактами t/T та вакууметричного тиску в піддійковій камері доїльного стакану P_{II}

№ п/п	y_1	y_2	y_3	$y_{сep}$	$(y_1 - y_{сep})^2$	$(y_2 - y_{сep})^2$	$(y_3 - y_{сep})^2$	$\sum S^2$	y_p	$(y_p - y_{сep})^2$	$\sum (y_i - y_{сep})^2$	
1	46,67	40	33,33	40	-6,67	0	6,67	88,9778	40,460	-0,46	89,61261	
2	55	43,33	40	46,11	-8,89	2,78	6,11	124,0926	44,2025	1,9075	135,00825	
3	43,67	49	49,33	47,33333	3,66333	-1,66667	-1,99667	20,18447	46,02035	1,31298	25,35622	
4	45,33	43,33	38,67	42,44333	-2,88667	-0,88667	3,77333	23,35707	38,89470	3,54863	61,13547	
5	50	39,33	40,67	43,33333	-6,66667	4,00333	2,66333	67,56447	40,45381	2,87953	92,4395	
6	47,33	36,67	46	43,33333	-3,99667	6,66333	-2,66667	67,48447	40,08826	3,24507	99,0759	
7	48,67	34	37,33	40	-8,67	6	2,67	118,2978	42,64988	-2,64988	139,36338	
8	42	39,33	37,33	39,55333	-2,44667	0,22333	2,22333	10,97927	45,39993	-5,84659	113,52724	
9	48	39,33	37,33	41,55333	-6,44667	2,22333	4,22333	64,33927	46,22533	-4,67199	129,82183	
10	38	38	38	38	0	0	0	0	41,24493	-3,24493	31,58872	
11	37,33	38,67	40	38,66667	1,33667	-0,00333	-1,33333	3,56447	39,35022	-0,68355	4,96619	
12	33,33	37,67	38,67	36,556667	3,22667	-1,11333	-2,11333	16,11707	39,35022	-2,79355	39,52885	
13	21,33	23,33	25,33	23,33	2	0,00000	-2	8	22,94211	0,38789	8,45137	
14	25,33	23,67	27,33	25,44333	0,11333	1,77333	-1,88667	6,71707	26,24277	-0,79943	8,63434	
15	26	26,67	26,67	26,44667	0,44667	-0,22333	-0,22333	0,29927	27,61877	-1,1721	4,42075	
16	44	36,67	39,33	40	-4	3,33	0,67	27,5378	38,86594	1,13406	31,39605	
								\sum	1092,80567		100,02107	1653,01393
Кількість вагомих коеф. рег. d				$d=9$	Дисперсія похибки d .			$S_e^2=0,7558$				
					Дисперсія неадекватності			$S_{ад}^2=0,515$				

y_i – i -ий замір залежного фактору (критерію оптимізації); $y_{сep}$ – середнє значення критерію оптимізації;

y_p – розрахункове значення критерію оптимізації; $\sum (y_i - y_{сep})^2$ – сума квадратів відхилень середнього значення від розрахункового значення функції відгуку

Результати дисперсійного аналізу експерименту

Коефіцієнти регресії			вагомість
Познач.	Кодов. коеф.	Дійсні коеф.	
b ₀	40,59296	-78,2309	1
b ₁	-1,20388889	-30,7261	1
b ₂	4,271296296	-3,77146	1
b ₃	4,691481481	6,360048	1
b ₁₂	-0,49944	26,66993	1
b ₁₃	0,278333	1,507801	1
b ₂₃	-2,80583	0,289338	0
b ₁₁	-0,98167	-8,83677	1
b ₂₂	0,369444	0,536282	1
b ₃₃	-2,92556	-0,09671	0
b ₁₂₃	1,37542	-0,90398	1

Табличні та розрахункові значення критеріїв

розрах. табличні

G _p	G _T	-критерій Кохрена	Фактори	
0,1136	0,1980	-досліди відтворювані	x ₁	частота пульсації n, Гц
	t _T	-критерій Стьюдента	x ₂	співвідношення між тактами t/T
	2,004		x ₃	вакуумметричний тиск P _п
F _p	F _T	-критерій Фішера		
0,084	1,95	-модель адекватна		

Таблиця результатів визначення похибки математичної моделі

№ п/п	x ₁	x ₂	x ₃	y _t	y _p	Δy	Відн., %
1	+1	+1	+1	40,00	42,77	-2,77	-6,93
2	0	+1	+1	46,11	46,55	-0,44	-0,96
3	-1	+1	+1	47,33	48,37	-1,04	-2,19
4	+1	+1	-1	42,44	41,19	1,25	2,95
5	0	+1	-1	43,33	42,78	0,55	1,27
6	-1	+1	-1	43,33	42,41	0,93	2,14
7	+1	+1	0	40,00	44,91	-4,91	-12,27
8	0	+1	0	39,55	47,59	-8,04	-20,32
9	-1	+1	0	41,55	48,31	-6,76	-16,27
10	+1	-1	+1	38,00	43,59	-5,59	-14,71
11	0	-1	+1	38,67	43,62	-4,95	-12,81
12	-1	-1	+1	36,56	41,69	-5,13	-14,04
13	+1	-1	-1	23,33	25,29	-1,96	-8,39

Результати досліджень залежності вакууметричного тиску в міжстінковій камері доїльного стакана P_M від частоти пульсації n , співвідношення між тактами t/T та інтенсивності молоковіддачі q

№ П/П	y_1	y_2	y_3	$y_{\text{сеп}}$	$(y_1 - y_{\text{сеп}})^2$	$(y_2 - y_{\text{сеп}})^2$	$(y_3 - y_{\text{сеп}})^2$	$\sum S^2$	y_p	$(y_p - y_{\text{сеп}})^2$	$\sum (y_i - y_{\text{сеп}})^2$	
1	14,69	14,82	14,75	14,75	0,00401	0,00444	0,00001	0,00847	14,04391	0,50328	1,5183	
2	16,22	15,57	15,41	15,73	0,23684	0,02668	0,10454	0,36807	15,92722	0,03759	0,48084	
3	17,38	19,22	18,11	18,24	0,73388	0,96694	0,01604	1,71687	18,29885	0,00387	1,72847	
4	20,08	21,38	21,14	20,87	0,61884	0,26351	0,07471	0,95707	20,67735	0,03584	1,06458	
5	25,3	24,26	24,11	24,56	0,55254	0,08801	0,19951	0,84007	23,76666	0,62411	2,7124	
6	26,76	26,18	26,88	26,61	0,02351	0,18204	0,07471	0,28027	27,3443	0,5441	1,91256	
7	17,7	17,88	17,61	17,73	0,00090	0,0225	0,0144	0,0378	18,54434	0,66314	2,02723	
8	19,65	19,7	19,27	19,54	0,01210	0,0256	0,0729	0,1106	21,03064	2,22201	6,77663	
9	26,03	25,43	25,49	25,65	0,14440	0,0484	0,0256	0,2184	24,00528	2,70511	8,33373	
10	17,52	17,59	16,13	17,08	0,19360	0,2601	0,9025	1,3562	17,42477	7,33905	1,71279	
11	24,16	23,75	24,31	22,41	3,06250	1,7956	3,61	8,4681	24,29742	14,17482	0,31871	
12	23,85	22,82	22,69	23,12	0,53290	0,09	0,1849	0,8078	24,29742	28,31206	4,96677	
13	22,26	24,34	24,75	23,78	2,32054	0,30988	0,93444	3,56487	23,95021	56,62025	3,64841	
14	27,56	28,2	28,29	28,02	0,20854	0,03361	0,07471	0,31687	26,60415	113,20466	6,30248	
15	28,88	29,44	27,35	28,56	0,10454	0,78028	1,45604	2,34087	29,74642	225,7852	6,5874	
16	20,19	20,41	20,45	20,35	0,02560	0,0036	0,01	0,0392	21,87119	451,02631	6,9813	
								\sum	38,829		32,3593	93,0822
Кількість вагомих коеф. рег. d				$d=10$	Дисперсія похибки d .			$S_e^2=3,447$				
					Дисперсія неадекватності			$S_{ад}^2=0,043$				

y_i – i -ий замір залежного фактору (критерію оптимізації); $y_{\text{с}}$ – середнє значення критерію оптимізації;

y_p – розрахункове значення критерію оптимізації; $\sum(y_i - y_{\text{с}})^2$ – сума квадратів відхилень середнього значення від розрахункового значення функції відгуку

Результати дисперсійного аналізу експерименту

Коефіцієнти регресії			вагомість
Познач.	Кодов. коеф.	Дійсні коеф.	
b ₀	22,37383	55,193213	1
b ₁	-2,97833333	-3,113375	1
b ₂	-1,88166667	-1,054413	1
b ₃	-3,45666667	14,355110	1
b ₁₂	0,220556	-0,287718	1
b ₁₃	0,168611	-9,738675	1
b ₂₃	-0,46306	-0,358321	1
b ₁₁	0,249074	2,242115	1
b ₂₂	0,539074	0,014974	0
b ₃₃	-1,1837	-1,718252	1
b ₁₂₃	0,440417	0,265338	1

Табличні та розрахункові значення критеріїв

розрах. табличні

G _p	G _T	-критерій Кохрена	Фактори	
0,220	0,4775	-досліди відтворювані	x ₁	частота пульсації n, Гц
	t _T	-критерій Стьюдента	x ₂	інтенсивність молоковіддачі q, г/с
	2,004		x ₃	співвідношення між тактами t/T
F _p	F _T	-критерій Фішера		
1,588	2,29	-модель адекватна		

Таблиця результатів визначення похибки математичної моделі

№ п/п	x ₁	x ₂	x ₃	y _t	y _p	Δy	Відн., %
1	+1	+1	+1	14,75	14,29	0,46	3,13
2	0	+1	+1	15,73	16,19	-0,46	-2,91
3	-1	+1	+1	18,24	18,59	-0,35	-1,93
4	+1	+1	-1	20,87	20,91	-0,05	-0,22
5	0	+1	-1	24,56	24,03	0,53	2,14
6	-1	+1	-1	26,61	27,65	-1,04	-3,91
7	+1	+1	0	17,73	18,79	-1,06	-5,96
8	0	+1	0	19,54	21,29	-1,75	-8,98
9	-1	+1	0	25,65	24,30	1,35	5,26
10	+1	-1	+1	17,08	17,66	-0,58	-3,39
11	0	-1	+1	22,41	20,88	1,53	6,81
12	-1	-1	+1	23,12	24,60	-1,48	-6,40
13	+1	-1	-1	23,78	24,19	-0,41	-1,71

Результати досліджень залежності вакууметричного тиску в піддійковій камері доїльного стакана Р_П від частоти пульсації n, співвідношення між тактами t/T та інтенсивності молоковіддачі q

№ П/П	у ₁	у ₂	у ₃	у _{сеп}	(у ₁ - у _{сеп}) ²	(у ₂ - у _{сеп}) ²	(у ₃ - у _{сеп}) ²	$\sum S^2$	у _р	(у _р - у _{сеп}) ²	$\sum (y_i - y_{сеп})^2$	
1	15,13	15,4	15,54	15,16	0,00077	0,05867	0,14609	0,20554	15,22456	0,00446	0,13922	
2	15,37	14,7	14,54	14,60	0,59461	0,01022	0,00347	0,6083	14,47896	0,01438	0,84654	
3	12,42	13,36	12,43	12,35	0,00522	1,02459	0,00676	1,03657	12,86307	0,26552	0,6308	
4	14,23	13,5	13,32	13,90	0,10599	0,16358	0,34158	0,61114	13,58177	0,10412	0,49541	
5	14,2	14,36	14,35	14,06	0,02054	0,09201	0,08604	0,19860	13,86862	0,03536	0,583	
6	13,11	14,21	13,4	13,90	0,6171	0,09888	0,24558	0,96155	13,28518	0,37256	0,89916	
7	14,66	15,36	14,8	15,68	1,04267	0,10311	0,77636	1,92214	15,8065	0,01572	2,52684	
8	14,85	14,83	17,26	15,55	0,48689	0,51520	2,93170	3,93380	15,57712	0,00086	3,91898	
9	13,28	14,69	13,61	13,92	0,40818	0,59461	0,09541	1,09820	14,47745	0,31200	2,23155	
10	16,52	16,33	15,91	16,34	0,03240	0,0001	0,1849	0,21740	16,24268	0,00947	0,19521	
11	15,69	17,17	16,79	16,08	0,15037	1,19295	0,50726	1,85058	15,69156	0,14916	3,39235	
12	15,18	15,67	15,4	15,05	0,01808	0,38993	0,12563	0,53364	15,69156	0,41732	0,34717	
13	16,25	14,53	17,15	16,11	0,02086	2,48238	1,09086	3,5941	16,49428	0,1511	4,34803	
14	19,17	19,12	18,05	18,12	1,09551	0,99334	0,00538	2,09423	16,60711	2,29894	14,96498	
15	15,16	16,74	13,76	15,43	0,0741	1,71028	2,79633	4,58071	15,84965	0,17425	5,63499	
16	18,43	18,4	16,67	17,73	0,48689	0,44593	1,12832	2,06114	17,77181	0,00157	2,04182	
								\sum	36,1435		8,814	71,737
Кількість вагомих коеф. рег. d				d=10	Дисперсія похибки д.			S _e ² =2,657				
					Дисперсія неадекватності			S _{ад} ² =0,033				

у_і – і-ий замір залежного фактору (критерію оптимізації); у_с – середнє значення критерію оптимізації;

у_р – розрахункове значення критерію оптимізації; $\sum (y_i - u_c)^2$ – сума квадратів відхилень середнього значення від розрахункового значення функції відгуку

Результати дисперсійного аналізу експерименту

Коефіцієнти регресії			вагомість
Познач.	Кодов. коеф.	Дійсні коеф.	
b ₀	16,53296296	20,47540968	1
b ₁	0,486604938	14,10551173	1
b ₂	-1,165493827	0,555494176	1
b ₃	0,101358025	10,14037511	1
b ₁₂	0,18462963	0,153935518	1
b ₁₃	0,248888889	5,503060346	1
b ₂₃	0,203796296	0,123250093	1
b ₁₁	-0,443888889	-3,99579912	1
b ₂₂	0,209444444	0,005817901	0
b ₃₃	-1,403333333	2,037063918	1
b ₁₂₃	0,2725	0,164173044	1

Табличні та розрахункові значення критеріїв

розрах. табличні

G _p	G _T	-критерій Кохрена	Фактори	
0,127	0,2354	-досліди відтворювані	x ₁	частота пульсації n, Гц
	t _T	-критерій Стьюдента	x ₂	інтенсивність молоковіддачі q, г/с
	2,004		x ₃	співвідношення між тактами t/T
F _p	F _T	-критерій Фішера		
1,688	2,29	-модель адекватна		

Таблиця результатів визначення похибки математичної моделі

№ п/п	x ₁	x ₂	x ₃	y _t	y _p	Δy	Відн., %
1	+1	+1	+1	15,16	16,32	-1,16	-7,66
2	0	+1	+1	14,60	15,57	-0,97	-6,66
3	-1	+1	+1	12,35	13,93	-1,59	-12,85
4	+1	+1	-1	13,90	14,67	-0,76	-5,48
5	0	+1	-1	14,06	14,96	-0,90	-6,43
6	-1	+1	-1	13,90	14,37	-0,47	-3,39
7	+1	+1	0	15,68	16,90	-1,22	-7,75
8	0	+1	0	15,55	16,67	-1,12	-7,21
9	-1	+1	0	13,92	15,55	-1,63	-11,74
10	+1	-1	+1	16,34	17,33	-0,99	-6,05
11	0	-1	+1	16,08	17,49	-1,42	-8,81
12	-1	-1	+1	15,05	16,77	-1,73	-11,47
13	+1	-1	-1	16,11	17,58	-1,48	-9,16

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

В. о. директора Золочівського фахового коледжу Львівського національного університету природокористування,
к. с.-г. н.,
М.В. Павлюк
2021 р.



АКТ

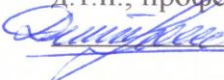
виробничої перевірки
пневмоелектромагнітного пульсоколектора доїльного апарата

Ми, що нижче підписалися, представники Національного університету "Львівська політехніка" (НУЛП), завідувач кафедри проектування та експлуатації машин, д.т.н., професор Дмитрів В.Т., асистент кафедри проектування та експлуатації машин, аспірант НУЛП Яцунський П.П., представник Золочівського коледжу Львівського національного університету природокористування (ЗФК ЛНУП), завідувач навчально-виробничою практикою О. Р. Твардовська, склали даний акт про те, що в червні-липні 2021 р. в навчально-демонстраційній фермі ЗФК ЛНУП проводились порівняльні виробничі випробування дослідного зразка доїльного апарата з пневмоелектромагнітним пульсоколектором.

В результаті випробувань встановлено, що в процесі доїння корів доїльним апаратом з пневмоелектромагнітним пульсоколектором є реальні можливості зростання середньодобового надою на 5,3 %, що вказує на перевагу дослідного апарата над серійним апаратом АДУ-1. Зміна режимів роботи пульсоколектора в процесі доїння корови забезпечується плавними переходами від такту ссання до стиснення, що застерігає дірку вим'я від подразнень, почервонінь внаслідок удару дійкової гуми по дійці при переході від такту ссання до стиснення. Робота дослідного доїльного апарата з пневмоелектромагнітним пульсоколектором забезпечує високу інтенсивність і повноту видоювання, в середньому 3,09 кг/хв. і 98,5 % відповідно.

Доїльний апарат з пневмоелектромагнітним пульсоколектором ефективно використовується для доїння корів з річним удоєм 3000-6000 кг молока, уможливорює при цьому зміну режимів роботи пульсоколектора та параметри доїння в реальному часі.

Представники НУЛП
завідувач кафедри проектування
та експлуатації,
д.т.н., професор

 В.Т. Дмитрів

асистент кафедри проектування
та експлуатації машин,
аспірант НУЛП

 П.П. Яцунський

Представник ЗФК ЛНУП:
Завідувач навчально-виробничою
практикою
О. Р. Твардовська



В. о. директора Золочівського фахового
коледжу ЛНУП, к.с.-г.н.,
М.В. Павлюк



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ТЗОВ "Металворкшоп"

Андрущишин М. А

14 » грудня 2021 р.

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи
на здобуття освітньо-наукового ступеня доктора філософії (PhD)

Яцунського Петра Петровича

«Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів
пневмоелектромагнітного пульсоколектора доїльного апарата»
у вигляді впровадженної інженерної методології зі створення
пневмоелектромагнітного пульсоколектора доїльного апарата

Директор ТЗОВ "Металворкшоп" Андрущишин Максим Андрійович підтверджує впровадження для виробництва дослідної партії пневмоелектромагнітного пульсоколектора для доїльного апарата, як результатів науково-прикладного дослідження здобувача освітньо-наукового рівня доктора філософії (PhD) Яцунського П. П. і констатує наступне:

1. В результаті ознайомлення з лабораторним зразком пневмоелектромагнітного пульсоколектора доїльного апарата, прототипом якого є пневматичний пульсоколектор ДА-Ф-50 встановлено, що дана конструкція може бути використана в якості промислового зразка в доїльному обладнанні.

2. Конструкція пневмоелектромагнітного пульсоколектора, в склад якої входить генератор імпульсів, прийнята для розроблення технологічної документації на виготовлення дослідної партії пневмоелектромагнітного пульсоколектора.

Директор

ТЗОВ "Металворкшоп"

Андрущишин М. А

Skaarupgaard

September 2020

Petro Yatsunskyi has during his practice, conducted scientific experiments on a dairy farm of 370 cows. Scientific research was conducted on Rotary milking parlor (Carousel).

The experiment was successful, the vacuum pressure was stable, and the milking machine worked in a given mode.



Henrik Hougaard,
owner of Skaarupgaard



SKAARUPGAARD
v/ Henrik Hougaard
Skaarupgaard 59
9870 Sindal
Tel. 9893 0309 Fax 9893 0265

Janne & Henrik Hougaard • Skaarupgaard 59, 9870 Sindal • privat: +45 98 93 06 66

Janne: +45 22 40 01 05 • Henrik: +45 40 53 62 18 • hh@thoraso.dk

Administration:

Godskontor: +45 98 93 03 09 • driftsleder: +45 40 63 50 21 • fax: +45 98 93 02 65 • cvr. nr.: 31 21 63 51 • thoraso@thoraso.dk



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор

науково-педагогічної роботи
 Національного університету
 «Львівська політехніка»



 доцент Давидчак О.Р.

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи
 на здобуття освітньо-наукового ступеня доктора філософії (PhD)

Яцунського Петра Петровича

«Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів
 пневмоелектромагнітного пульсоколектора доїльного апарата»

у навчальному процесі кафедри «Проектування та експлуатації машин» (ПЕМ)
 Національного університету «Львівська політехніка»

Комісія в складі: голови – директора Інституту механічної інженерії та транспорту Національного університету «Львівська політехніка», д.т.н., професора Ланця О.С. та членів – завідувача кафедрою ПЕМ, д.т.н, професора Дмитріва В.Т., та д.т.н., професора кафедри ПЕМ Стоцька З.А. підтверджує впровадження науково-прикладних результатів за дисертаційною роботою на здобуття освітньо-наукового ступеня доктора філософії (PhD) аспіранта Яцунського Петра Петровича «Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів пневмоелектромагнітного пульсоколектора доїльного апарата» у навчальний процес кафедри ПЕМ і констатує:

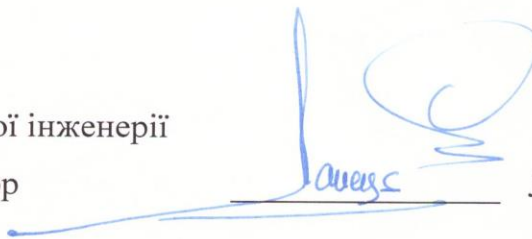
- аспірантом Яцунським П.П. впроваджено в курс дисципліни «Розрахунок та проектування машин» для студентів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 133 - Галузеве машинобудування наступне: лабораторну

установку генератора імпульсів в складі пульсоколектора та методичні вказівки до неї на тему: «Дослідження роботи пневмоелетромагнітного генератора імпульсів»;

- студенти на лабораторних заняттях ознайомлюються принципом роботи, особливостями побудови генератора імпульсів у складі пневмоелетромагнітного генератора імпульсів та освоюють його структурні особливості. Експериментально проводять досліди з визначення залежностей між основними параметрами роботи генератора імпульсів. Запропоновані для засвоєння методи розрахунку даного обладнання уможливають студентам як майбутнім інженерам та науковцям проектувати та вдосконалювати високоефективне автоматизовано-механізоване обладнання в різних галузях виробництва.

Голова комісії:

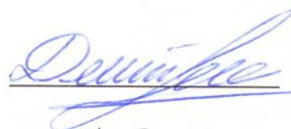
директор Інституту механічної інженерії
та транспорту, д.т.н., професор



Ланець О.С.

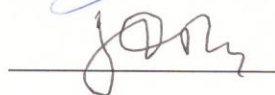
Члени комісії:

завідувач кафедрою ПЕМ,
д.т.н., професор



Дмитрів В.Т.

д.т.н., професор кафедри ПЕМ



Стоцько З.А.