УДК 637.125.65:681.32

МАТЕМАТИЧНИЙ КАЛІБРАТОР РОБОТИ ПУЛЬСАТОРА ДОЇЛЬНОГО АПАРАТУ

Дмитрів В.Т. к.т.н., Дмитрів І.В. ст.

(Львівський національний аграрний університет)

Розглядаються динамічні характеристики гідропневматичних систем елементів доїльного апарату як складові математичного калібратора. Наведено результати моделювання характеристик зміни тиску в міжстінковій камері доїльного стакану.

Постановка проблеми. Перед сучасним доїльним обладнанням ставляться вимоги динамічного управління технологічним процесом машинного доїння корів, що відображається в узгодженні технологічних параметрів машинного доїння з інтенсивністю молоковіддачі корови. Задача вирішується автоматизованою системою управління технологічним процесом (АСУ ТП) машинного доїння. Тому забезпечення відповідності та оперативна повірка системи можлива при наявності відповідного математичного забезпечення – математичного калібратора.

Аналіз стану останніх досліджень і публікацій. Вимірювання механічних параметрів обладнання і його окремих елементів в статичному і динамічному режимах достатньо описані в літературі [1; 2; 3]. Авторами практично не приводиться взаємозв'язок між динамічними характеристиками досліджуваного обладнання або його елементу, технологічного процесу, в якому приймає участь досліджуваний об'єкт, вимірювальної системи та первинного вимірювача механічних параметрів.

Для порівняння параметрів роботи доїльного апарату та окремих елементів доцільно мати калібратор, який можна було б використовувати в

автоматизованому режимі при настроюванні й сертифікаації доїльного апарату, змінювати параметри калібратора залежно від фізіологічних особливостей тварини і параметрів молоковіддачі.

При розробці такого калібратора необхідно враховувати фізіології лактації корови, які були сформульовані І.А. Баришніковим у вигляді семи принципів, які дають уяву про ефективність машинного доїння: 1) вироблення повного рефлексу молоковіддачі; 2) повне видалення молока з вимені корови; 3) формування доїнням наступного секреторного процесу; 4) висока швидкість доїння; 5) приручення корови швидко і повністю віддавати молоко; 6) усунення причин, що сповільнюють рефлекс молоковіддачі; 7) врахування індивідуальних особливостей корів [4].

Елементи методології тестування доїльного обладнання та вплив режимів роботи пульсатора і параметрів вакуумметриного тиску на взаємодію “дійкова гума–дійка” згідно зі стандартами ISO описані В.М.Победінським [5]. Достатньо обґрунтована фізіологічна сторона машинного доїння Е.П. Кокориною, зокрема розглянуто питання стимуляції молоковіддачі на початку доїння [6].

Значний вклад у розвиток технологічних основ підвищення ефективності роботи доїльних апаратів здійснено Карташовим Л.П. [4; 7; 8].

Ведуться розробки з автоматизації окремих операцій, функціонально закінчених елементів доїльного обладнання як правило на основі механіко-пневматичних систем [9; 10; 11].

Автоматизація виробництва молока через модульний принцип АСУ ТП на основі комплекту АИСУ-400 прогресивна, але запропоновані апаратні і програмні засоби, що входять до його складу є морально застарілі і не можуть реалізувати задачі функціонального узгодження системи “машина-тварина” [12].

На сьогодні у серійних системах доїння реалізовано два варіанти алгоритмів роботи: регулювання вакуумметричного тиску і його відключення; регулювання співвідношення між тактами і частотою пульсації.

Алгоритм роботи доїльного апарата безпосередньо оцінює відносну здатність доїльних апаратів. Дослідження змін вакуумметричного тиску в

піддійковій і міжстінковій камерах доїльних стаканів, які проведені в лабораторних умовах [13], а також у виробничих умовах [14], показує, що практично 0,2 с дійкова гума повністю закрита. Такий стан дійкової гуми негативно впливає на дійку, оскільки постійно стиснута дійка не насаджується, відповідно розвиваються застійні процеси.

Постановка завдання. Завдання дослідження – розробка калібратора у вигляді математичної моделі, що описується програмно і використовується при дослідженні, повірці, стандартизації й сертифікації доїльного апарату.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо реалізації такого математичного калібратора на прикладі розробленого нами електромагнітного пульсатора попарної дії [15; 16].

Алгоритм математичного еталону вибирається на основі оптимального керування пульсатором доїльного апарата в автоматизованому режимі, виходячи з інтенсивності молоковіддачі та умови змикання дійкової гуми. При цьому враховується характер змикання дійкової гуми, який повинен забезпечувати масаж дійки та унеможливити статичний стиск дійки протягом такту стиску. Такі вимоги до такту стиску ставляться в сучасних доїльних апаратах, виходячи з фізіології молоковіддачі [4; 17].

У сучасних автоматизованих доїльних апаратів для кожної корови повинен підбиратися індивідуальний алгоритм за інтенсивністю молоковіддачі, при цьому слід виключити статичний вакуумметричний тиск в режимі стиску, а уможливити збільшення тривалості перехідного процесу у міжстінковій камері доїльного стакана (рис. 1). Це забезпечить масаж дійки протягом періоду зміни вакуумметричного тиску в міжстінковій камері доїльного стакана.

Тривалість сання визначається співвідношенням тактів, тривалістю перехідних процесів у доїльному апараті, вакуумметричним тиском у піддійковій камері доїльного стакана, вакуумметричним тиском змикання дійкової гуми.

Аналіз індикаторної діаграми (рис. 1) показує, що початок розкриття дійкової гуми наступає при $P_{мс}$ = 25 кПа, початок виведення молока з дійки – при $P_{мс}$ = 44...46 кПа, або на 0,2 с такту пульсації. Відповідно на 0,8 с такту

пульсації припиняється молоковіддача, або при вакуумметричному тиску у міжстінковій камері $P_{мс}$ = 46...42 кПа. Змикання дійкової гуми відбувається за вакуумметричного тиску $P_{мс}$ = 25 кПа і нижче. Момент настання змикання залежить від зусилля натягу дійкової гуми, яке для вітчизняних доїльних апаратів становить 60 н. Дослідженнями встановлено, що при зусиллі натягу дійкової гуми в межах 40...60 Н вакуумметричний тиск змикання становить 19...31 Н.

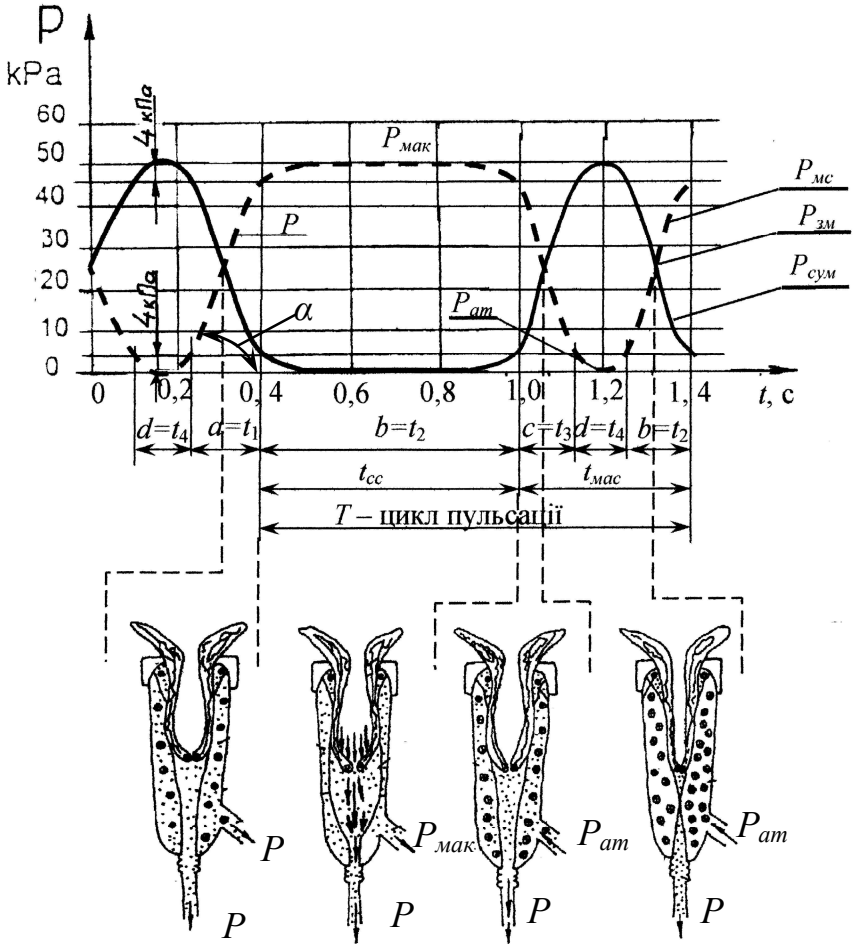

Рис. 1. Індикаторна діаграма зміни вакуумметричного тиску в міжстінковій камері доїльного стакана відповідно алгоритму роботи доїльного апарата:

1 – гільза стакана; 2 – дійкова гума; 3 – міжстінкова камера; 4 – підбійкова камера; 5 – присосок-амортизатор; $P_{мак}$ – максимальний вакуумметричний тиск у міжстінковій камері; P – біжуче значення вакуумметричного тиску; $P_{ат}$ – атмосферний тиск; $P_{мс}$ – діаграма зміни вакуумметричного тиску в міжстінковій камері доїльного стакана; $P_{зм}$ – вакуумметричний тиск початку (закінчення) змикання дійкової гуми; $P_{сум}$ –

діаграма різниці міжстінкового і піддійкового вакуумметричних тисків, $P_{сум} = P_{мс} - P_{пд}$.

Отже, для забезпечення відповідного перехідного режиму при переході від вакуумметричного до атмосферного тиску в міжстінковій камері доїльного стакана необхідно керувати клапаном електромагнітного пульсатора в широтно-імпульсному режимі. Це забезпечить зміну вакуумметричного тиску в міжстінковій камері доїльного стакана згідно з характером піднімання (опускання) лінії індикаторної діаграми за заданим кутом α (див. рис. 1).

При інтенсивності молоковіддачі менше 0,2 л/хв на початку і в кінці доїння вакуумметричний тиск у піддійковому просторі доїльних стаканів встановлюємо 30-37 кПа і співвідношення такту ссання до такту массажу (стиску) 1:2. Такий режим унеможливлює неробоче доїння, але забезпечує активний стан дійки, і при появі молоковіддачі можна продовжувати режим доїння. При інтенсивності молоковіддачі більше 0,4 л/хв номінальний вакуум-метричний тиск і співвідношення тактів 3:2, частота пульсацій 1 Гц; при інтенсивності молоковіддачі від 0,4 л/хв до 0,2 л/хв – номінальний вакуумметричний тиск і співвідношення тактів 2:1, частота пульсацій 1 Гц з вібропульсаціями в такті ссання.

Для математичного калібратора виведемо аналітичні залежності динамічних характеристик пневматичної системи доїльного апарату, використавши рівняння руху (закон збереження імпульсу), рівняння нерозривності потоку (закон збереження маси), рівняння збереження енергії і рівняння стану. [18; 19]

Рівняння одномірного руху для нев'язкого стискуючого газу зв'язує зміну тиску dP, зміну густини $d\rho$, швидкість v і зміну швидкості dv руху повітря:

$$dP + d\rho \cdot V \cdot dV = 0$$

Рівняння нерозривності потоку при одномірному русі повітря характеризує, що маса газу, яка проходить через довільний елементарний переріз елементу є постійною. Рівняння має вигляд $\frac{\partial(\rho \cdot V)}{\partial x} = 0$ або ρV=const.

Запишемо рівняння кількості повітря для такту ссання пульсатора:

$$-k \cdot R_{П} \cdot \Theta \cdot dW = k \cdot p \cdot dV + V \cdot dp\,. \qquad (1)$$

Замінивши в рівнянні (1) dW на Gdt і провівши спрощення одержимо:

$$G \cdot dt = -\frac{p \cdot dV}{R_{П} \cdot \Theta} - \frac{1}{k} \cdot \frac{V \cdot dp}{R_{П} \cdot \Theta}\,. \qquad (2)$$

Перепишемо рівняння (2) з врахуванням значення G рівняння 10 [20].

$$\frac{V \cdot P}{R_{П} \cdot \Theta} \cdot F(t)dt = -\frac{p \cdot dV}{R_{П} \cdot \Theta} \cdot -\frac{1}{k} \cdot \frac{V \cdot dp}{R_{П} \cdot \Theta}\text{, або } F(t)dt = -\frac{dV}{V} - \frac{1}{k} \cdot \frac{dp}{P}\,. \qquad (3)$$

Проінтегрувавши рівняння (3), одержимо:

$$\ddot{F}(t) \cdot t = -\ln V - \frac{1}{k} \ln p + C\,, \qquad (4)$$

де $\ddot{F}(t)$ – коефіцієнт інтегрування, який характеризує режим роботи пульсатора, динамічний режим зміни вакуумметричного тиску [20]:

$$\ddot{F}(t) = 0{,}7223 \cdot t^2 / 2 + \frac{0{,}249}{\pi} \cdot \left(\frac{\sin(4\pi \cdot t)}{32\pi^2} + \frac{\sin(8\pi \cdot t)}{256\pi^2} + \ldots + \frac{\sin((2k2\pi \cdot t)}{32k^3\pi^2} \right) -$$

$$- \frac{0{,}017}{\pi} \cdot \left(\frac{\sin(2\pi \cdot t)}{4\pi^2} + \frac{\sin(6\pi \cdot t)}{108\pi^2} + \ldots + \frac{\sin((2k+1)2\pi \cdot t)}{(2k+1)^2 4\pi^2} \right) -$$

$$- \frac{13{,}0877}{\pi^3} \cdot \left(\frac{\sin(2\pi \cdot t)}{1^3 \cdot 4\pi^2} + \frac{\sin(6\pi \cdot t)}{3^3 \cdot 36\pi^2} + \ldots + \frac{\sin((2k+1)2\pi \cdot t)}{(2k+1)^5 \cdot 4\pi^2} \right) - \frac{6{,}54}{\pi^2} \cdot \left(\frac{\cos(4\pi \cdot t)}{2^2 \cdot 16\pi^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{\cos(8\pi \cdot t)}{4^2 \cdot 64\pi^2} + \ldots + \frac{\cos(2k2\pi \cdot t)}{(2k)^4 \cdot 4\pi^2} \right) + \frac{0{,}4985}{\pi^2} \cdot \left(\frac{\cos(2\pi \cdot t)}{1^2 \cdot 4\pi^2} + \frac{\cos(6\pi \cdot t)}{3^2 \cdot 36\pi^2} + \ldots + \frac{\cos((2k+1)2\pi \cdot t)}{(2k+1)^4 \cdot 2\pi^2} \right)$$

Постійну С визначаємо з початкових умов: при t=0, p=p_0, V=V_0 відповідно:

$$C = \ln V_0 + \frac{1}{K} \ln p_0$$

Рівняння (4) з врахуванням динамічної зміни вакуумметричного тиску при роботі пульсатора набуде вигляду:

$$\ddot{F}(t) \cdot t = -\ln \frac{V}{V_0} - \frac{1}{k} \ln \frac{P}{P_0}\,, \qquad (5)$$

Тоді характер зміни вакуумметричного тиску пульсатором, після перетворення рівняння (5), буде визначатись залежністю

$$p = p_0 \cdot \left(\frac{V_0}{V} \right)^k \cdot e^{-\ddot{F}(t) \cdot t \cdot k}\,, \qquad (6)$$

Аналогічно запишемо рівняння кількості повітря для такт стиску:

$$k \cdot R_{П} \cdot \Theta \cdot dW = k \cdot p \cdot dV + V \cdot dp\,. \qquad (7)$$

Провівши аналогічні перетворення й скорочення та проінтегрувавши одержимо:

$$\ddot{F}(t) \cdot t = \ln V + \frac{1}{k} \ln p + C\,. \qquad (8)$$

Постійну інтегрування C розраховуємо з початкових умов: якщо t=0, p=$p_{\text{вак}}$, V=$V_{вак}$ відповідно: $C = -\ln V_{вак} - \frac{1}{K} \ln p_{вак}$.

Рівняння (8) з врахуванням динамічної зміни вакуумметричного тиску при роботі пульсатора набуде вигляду:

$$\ddot{F}(t) \cdot t = \ln \frac{V}{V_{вак}} + \frac{1}{k} \ln \frac{P}{P_{вак}}\,, \qquad (9)$$

Зміна тиску від вакуумметричного до атмосферного в пульсаторі доїльного апарата, після перетворення, буде визначатись залежністю:

$$p = p_{вак} \cdot \left(\frac{V_{вак}}{V} \right)^{k} \cdot e^{\ddot{F}(t) \cdot t \cdot k}\,, \qquad (10)$$

Моделювання динамічних характеристик (7; 8; 13; 14) провидимо у відносних одиницях: p_0 = “1”; $p_{\text{вак}}$=0,5.

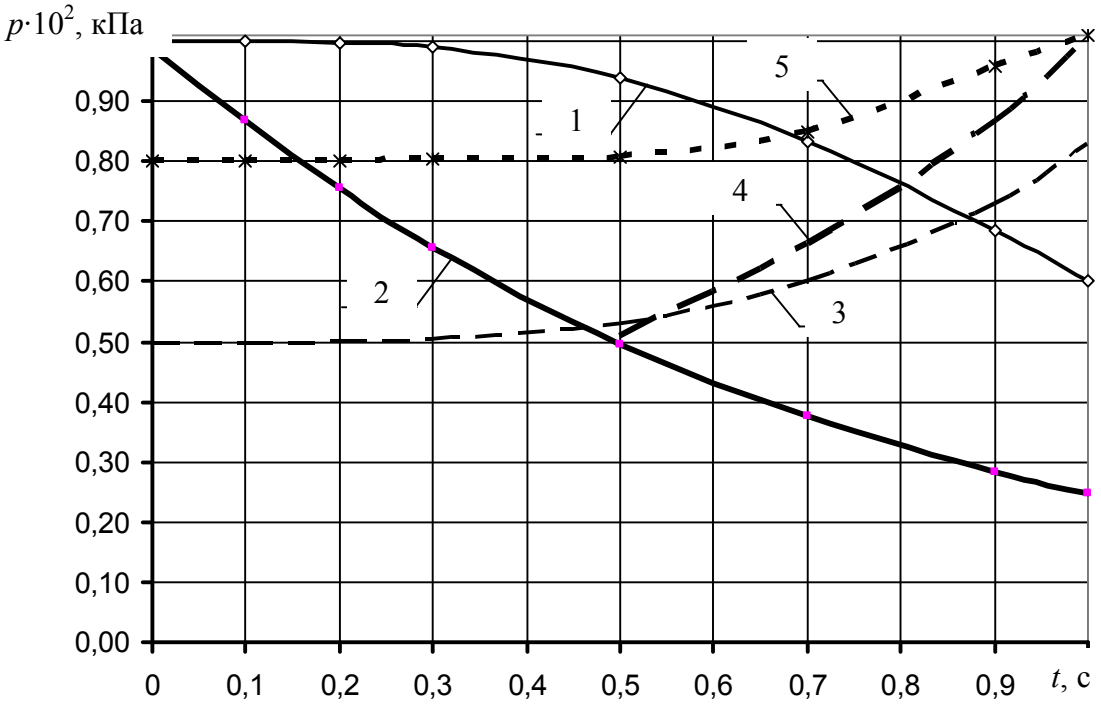

Рис. 2. Динамічні характеристики пневмосистеми доїльного апарату: пневмопровід вакуумметричного тиску – міжстінкова камера доїльного стакана.

Результати моделювання динамічних характеристик гідропневматичної системи: пневмопровід вакуумметричного тиску – міжстінкова камера доїльного стакана для різних варіантів роботи наведено на рис. 2: 1 – зміна вакуумметричного тиску в міжстінковій камері доїльного стакану при роботі пульсатора; 2 – зміна вакуумметричного тиску в міжстінковій камері доїльного стакану при постійному вакуумметричному тиску; 3 – зміна тиску від вакуумметричного до атмосферного в міжстінковій камері доїльного стакана при роботі пульсатора; 4 – зміна тиску від вакуумметричного до атмосферного в міжстінковій камері доїльного стакана при відсутності роботи пульсатора; 5 – зміна тиску від вакуумметричного до атмосферного в міжстінковій камері доїльного стакана при роботі пульсатора попарного типу.

Висновок. Одержані математичні залежності (6; 10) дозволяють моделювати перехідні процеси (індикаторні діаграми) роботи пульсаторів доїльних апаратів і порівнювати теоретичні (еталонні) графіки з експериментальними даними. Дану методику можна використовувати і в інших галузях коли необхідно дослідити розроблений технічний об’єкт і його калібрувати.

Список використаних джерел

1. Турчин А.М., Новицкий П.В., Левшина Е.С. и др. Электрические измерения неэлектрических величин. – Изд. 5-е, перераб. и доп. Л.: Энергия - 1975. С. 251-271; 326-361; 465-514.

2. Фарзане Н.Г., Илясов Л.В., Азим-заде А.Ю. Технологические измерения и приборы. – М.: Высш. шк., 1989. С. 95-120, 205-241.

3. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC:Пер. с англ./Под ред. У.Томпкинса, Дж. Уэбстера.–М.:Мир, 1992.-С.356-462.

4. Карташов Л.П., Соловьев С.А., Асманкин Е.М., Макаровская З.В. Расчет исполнительных механизмов биологической системы.- Екатеринбург: УрО РАН, 2002. - С. 181.

5. Побединский В.М., Дарадуда Н.И., Бадинтер Е.Я. та ін. Элементы методологии тестирования доильного оборудования // Матеріали XII Міжнар. (I укр.) симп. з питань машинного доїння корів, 11-14 травня 2004р. – Глеваха: ННЦ "ІМЕСГ", 2005.- С. 54-63.

6. Кокорина Э.П., Прохоренко П.Н. Высокоэффективное машинное доение // Матеріали XII Між нар. (I укр.) симп. з питань машинного доїння корів, 11-14 травня 2004р. – Глеваха: ННЦ "ІМЕСГ", 2005.- С. 78-82.

7. Соловьёв С.А., Карташов Л.П. Исполнительные механизмы системы " Человек –Машина –Животное ".- Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – С. 179.

8. Методические материалы по расчёту элементов доильных аппаратов/за ред. Л.П. Карташова. – Оренбург: Изд. центр ОГАУ, 2001. – 47 с.

9. Кузьменко І.І. Технологічні і конструктивні підходи до розробки доїльного апарата з автоматичною зміною режиму роботи // Матерали XII Міжнародного (I Українського) симпозіуму з питань машинного доїння корів 11-14 травня 2004 року. – Глеваха: ННЦ "ІМЕСГ". – 2005. – С. 121-126.

10. Башкатов Е.С. Совершенствование захватного устройства для навешивания доильного аппарата на соски // Там же. – С. 192-195.

11. Забродина О.Б., Семенко А.Н. Результат исследований датчика интенсивности молоковыведения с поплавковым чувствительным элементом // IX Международный симпозиум по машинному доению сельскохозяйственных животных (тезисы докладов). – Оренбург: Изд. Центр ОГАУ. – 1997. –С. 137– 138.

12. Краусп В.Р., Ряузов А.А., Гришин В.А. Модульная АСУ ТП молочной фермы типа АИСУ-400 // Там же. – С. 71-72.

13. Дмитрів В.Т. Комплекс для діагностики і дослідження доїльного обладнання // Вісн. Львів. держ. аграр. ун-ту: Агроінженерні дослідження. – 2004. - №8. – С. 388-396.

14. Носов Ю.М. Відносна здатність доїльних апаратів // Вісн. Львів. держ. аграр. ун-ту: Агроінженерні дослідження. –1999. -№3. – С. 38-45.

15. Патент України на корисну модель. Електромагнітний пульсатор попарної дії для доїльного апарата /В.Т. Дмитрів, Р.С. Ткачишин, О.А. Ткачишин, І.В. Дмитрів. - № 34048; Заявл. 25.02.2008; Опубл. 25.07.2008, Бюл. № 14.– 4 с.

16. Патент України на корисну модель. Електромагнітний пульсатор попарної дії / В.Т. Дмитрів, Ю.М. Лаврик, І.В. Дмитрів, В.І. Банга. - № 34481; Заявл. 24.03.2008; Опубл. 11.08.2008, Бюл. № 15. – 4 с.

17. Асманкин Е.М. Обоснование конструктивно-режимных параметров доильного аппарата с регулируемой величиной рабочего вакуума: Автореф. дис... канд. техн. наук.- Оренбург, 1993. – 18 с.

18. Дмитриев В. Н., Граденкин В. Г. Основы пневмоавтоматики. – М.: Машиностроение, 1973, 360 с.

19. Ибрагимов И. А., Фарзоне Н. Г., Илясов Л. В. Элементы и системы пневмоавтоматики. 2-е изд. перуаб. и доп. – М.: Высшая школа, 1985. - 544 с.

20. Дмитрів В. Модель витрати повітря елементами доїльного апарата // Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. - 2006 .- № 10 .- С. 483-488.

Аннотация

Математический калибратор работы пульсатора доильного аппарата

Дмитрив В.Т., Дмитрив І.В.

Рассматриваются динамические характеристики гидропневматических систем элементов доильного аппарата как составные математического калибратора. Приведены результаты моделирования характеристик изменения давления в межстенной камере доильного стакана.

Abstract

Mathematical calibrator of work pulsator milking vehicle

V.Dmytriv, I.Dmytriv

Dynamic descriptions of the hydropneumatic systems of elements milking vehicle as constituents of the mathematical calibrator are examined. The results of design descriptions change of pressure are resulted in a betweenwall chamber milking glass.