

*As a result of technical and economic calculation established that the application on a dairy farm with 100 head of livestock servo control system developed by the rotary vane vacuum pump as a part of the milking plant has advantages in terms of energy – energy savings in 2.44 times. the payback period will be the introduction of 2.6 years and an annual economic impact is 13264 UAH.*

***Economic effect, milking unit, servo control system, vacuum pump, power, efficiency.***

УДК 637.116

## **ЧАСОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ ПНЕВМОЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПУЛЬСАТОРА ПОПАРНОЇ ДІЇ**

***В.Т. Дмитрів, кандидат технічних наук***

***Ю.М. Лаврик, інженер***

***Львівський національний аграрний університет***

*На прикладі доїльного апарата, обладнаного пневмоелектромагнітним пульсатором попарної дії, визначено деякі часові характеристики роботи при заданих конструкційних розмірах та значенні номінального вакуумметричного тиску. Наведено рекомендації щодо побудови алгоритму роботи блока керування електромагнітним пульсатором з підсилювальною ланкою пневматичного типу.*

***Пневмоелектромагнітний пульсатор, часові характеристики, перехідні процеси, алгоритм роботи.***

**Постановка проблеми.** Впровадження доїння корів з використанням автоматизованих доїльних установок ставить високі вимоги, щодо основних виконавчих елементів доїльного апарату. Використання пневмомембранних пульсаторів ускладнює або перешкоджає розвитку та впровадженню автоматизованого доїння у сільськогосподарських підприємствах, оскільки унеможлиблює проведення адаптивної зміни технологічних параметрів під час проходження процесу. Пневмоелектромагнітні пульсатори можливо використовувати у автоматизованих системах керування зі зворотнім зв'язком за інтенсивністю молоковіддачі. При цьому тривалість затримки сигналу є незначною та більшою мірою залежить від часових затримок, що виникають в пневматичній системі пульсатор-доїльний стакан, і не залежить від зворотного зв'язку, часу зміни технологічних параметрів.

© В.С. Ловейкін, А.П. Ляшко, 2015

Проте необхідно встановити чіткі межі зміни часових характеристик, затримок та перехідних процесів при генерації індикаторної діаграми з метою виконання правильної побудови алгоритму керування, а відповідно і створення можливості швидкої адаптації доїльного апарату до фізіології молоковіддачі корови.

**Аналіз останніх досліджень.** Найбільш поширені конструкції пневмоелектромагнітних пульсаторів, що дозволяють автоматизувати процес доїння можна розділити за способом використання підведеної електроенергії на пульсатори з підсилювальною ланкою та без неї. Пристрої, що не мають підсилювальної ланки, характеризуються збільшеним енергоспоживанням, а відтак в умовах сучасних жорстких вимог щодо впровадження енергозберігаючих технологій не є перспективним напрямком досліджень. Тому використання пульсаторів із наявною підсилювальною ланкою, наприклад [1–3], слід розглядати як основний напрямок вдосконалення доїльних апаратів.

Включення додаткових елементів в конструкцію пульсатора попри зменшення енергоспоживання призводить до появи додаткових динамічних та перехідних процесів [4–6], що проходять протягом певного часу, який іноді може мати критичне значення для забезпечення природнього та ощадливого доїння. Дедалі більше науковців та вчених сходяться на думці, що для створення біологічно обґрунтованого способу виведення молока з вимені корови слід забезпечувати не лише такі основні характеристики технологічного процесу доїння як частота пульсацій, співвідношення тактів та значення вакуумметричного тиску [7–9], а й зсув фаз, тривалість фаз доїння, тривалість фронту та спаду імпульсу вакуумметричного тиску, синхронності чи асинхронності доїння тощо [10, 11].

Так, у праці [10] вказується на збільшення кількості отриманого молока та зменшенні тривалості доїння при зменшенні тривалості спаду імпульсу вакуумметричного тиску. А інші вчені дослідили співвідношення тактів [11] та встановили, що пікове значення молоковіддачі та кількість отриманого молока безпосередньо залежить від співвідношення тактів. Вимогами стандарту щодо технічних характеристик доїльних установок ДСТУ ISO 5707:2012 визначено, що тривалість фази b не повинна перевищувати 30% від тривалості всього циклу пульсації, а фази d – не менше 15% і не менше 150 мс. Значення ефективності машинного доїння залежить від того, наскільки гармонійно поєднано детерміновану механічну систему доїльної установки та стохастичні фізіологічні особливості корів. Тому визначення часових характеристик з метою забезпечення відповідного алгоритму ощадливого та адаптивного доїння [12] для конкретних розроблених та апробованих пульсаторів [1, 4] є однією із першочергових задач.

**Мета досліджень.** Відповідно до запропонованого опису [13] роботи електромагнітного пульсатора в статиці та динаміці, а також рекомендацій щодо тривалості фаз роботи пульсатора згідно вимог стандарту та тривалості перехідних процесів провести моделювання тривалості фронту та спаду імпульсу вакуумметричного тиску, а також часових затримок, що виникають в результаті наявності інерційних ланок в системі пульсатор-доїльний стакан для умов пневмоелектромагнітного пульсатора попарної дії [2].

**Результати досліджень.** При визначенні часових характеристик роботи пульсатора [2] треба врахувати його конструкційні особливості. Основними з яких є об'єми керуючих та робочих камер, діаметри перепускних та каліброваних отворів, параметри рухомих елементів та пружних мембран.

Відповідно до запропонованих рівнянь, які описують рух клапанно-штокової групи пульсатора та наповнення повітрям керуючої камери [13]:

$$\begin{cases} m_k \frac{d^2 x}{dt^2} = (zP_a - P_1)S_1 + G_k - cx - (P_a - P_1)S_2; \\ \frac{dz}{dt} = \frac{K_1 V_0}{(V_0 + xS_1)} z^{\frac{k-1}{k}} \sqrt{1 - z^{\frac{k-1}{k}}} \end{cases},$$

де:  $m_k$  – маса клапанів та штока, кг;  $P_i$  – тиск у відповідних камерах пульсатора, кПа;  $S_i$  – площа відповідних перепускних отворів, м<sup>2</sup>;  $G_k$  – вага клапанів, Н;  $c$  – пружність мембрани, Н/м<sup>2</sup>;  $x$  – переміщення клапанів, м;  $V_0$  – початковий об'єм керуючої камери пульсатора, м<sup>3</sup>;  $K_1$  – коефіцієнт конструкційно-технологічних параметрів пульсатора, с<sup>-1</sup> [13];  $z = P_3 / P_a$  – співвідношення тисків.

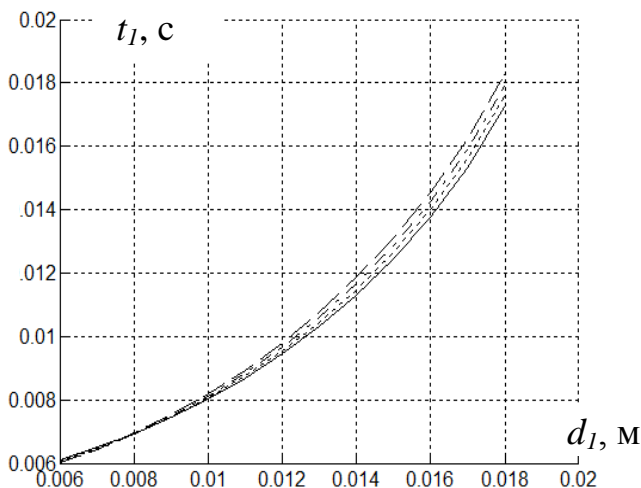
Проведено моделювання тривалості часової затримки завершення руху клапанів при переході пульсатора від такту стиску до такту ссання (рис. 1). Ця затримка є відставанням початку такту ссання від моменту, коли було припинено подачу живлення електромагніту пульсатора.

Оскільки вплив конструкційних розмірів та вакуумметричного тиску на часові характеристики є значним то під час проектування блока керування пульсатором слід врахувати конкретне значення випередження припинення подачі напруги на електромагніти. При використанні діаметра верхнього перепускного отвору діаметром 14 мм слід передбачити часову затримку в інтервалі 0,017-0,02 с.

Перехід пульсатора від такту ссання до такту стиску також має характерний період, під час якого відбувається процес відкачування повітря з керуючої камери та рух клапанно-штокової групи вверх. Цей період визначає часову затримку завершення руху клапанів при переході пульсатора від такту ссання до такту стиску та знаходиться шляхом інтегрування системи рівнянь [13]:

$$\begin{cases} m_k \frac{d^2 x}{dt^2} = c(h_1 - x) - G_k + (P_a - P_1)S_3 - (zP_1 - P_1)S_1; \\ \frac{dz}{dt} = -\frac{K_3 V_1}{(V_1 - xS_1)} z \sqrt{z^{\frac{k-1}{k}} - 1} \end{cases},$$

де:  $h_1$  – хід клапанів, м;  $V_1$  – максимальний об'єм керуючої камери пульсатора, м<sup>3</sup>.



—————  $P_1=40$  кПа;                                      - · - · - ·  $P_1=48$  кПа;  
 .....  $P_1=44$  кПа;                                      - - - - -  $P_1=52$  кПа

Рис. 1. Залежність тривалості часої затримки завершення руху клапанів від діаметра верхнього перепускного отвору при переході пульсатора від такту стиску до ссання.

Встановлено, що найбільше на описану часову затримку впливає діаметр каліброваного отвору (рис. 2) для підведення вакуумметричного тиску в керуючу камеру пульсатора.

Як видно з побудови максимального значення тривалість часої затримки набуде при мінімальних значеннях діаметру каліброваного отвору з'єднання керуючої камери з камерою постійного вакуумметричного тиску  $d_{кв} = 0,3..0,5$  мм. Меншою мірою змінюється при невеликих значеннях діаметра нижнього перепускного отвору та діаметра мембрани. Таким чином найбільша тривалість часої затримки виникатиме при  $d_{кв} = 0,3$  мм і становитиме 0,12-0,13 с при номінальному тиску 48 кПа. Тому необхідно вказані величини компенсувати зміною моменту подачі та зняття живлення з електромагнітів пульсатора доїльного апарату. Якщо розглядати адіабатичний процес наповнення чи відкачування повітря з камер пульсатора, з'єднувальних шлангів та доїльних стаканів, то його тривалість визначатиметься за відомим інтегральними рівняннями [13]:

$$t_{\phi} = \frac{1}{K_1} \int_0^{z_j} \frac{dz}{z \sqrt{z^{\frac{k-z}{k}} - 1}},$$

де:  $z = \frac{P}{P_1}, z_j = \frac{P_a}{P_1};$

$$t_c = \frac{1}{K_2} \int_0^z \frac{dz}{\frac{1}{z_j} z^{\frac{k-1}{k}} \sqrt{1 - z^{\frac{k-z}{k}}}},$$

де:  $z = \frac{P}{P_a}.$

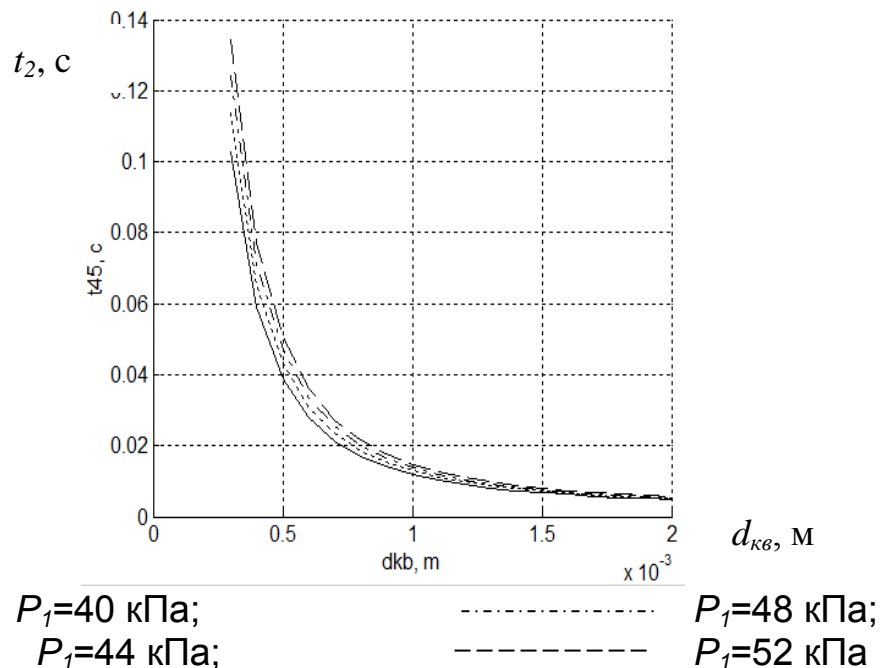


Рис. 2. Залежність тривалості часової затримки завершення руху клапанів від діаметра каліброваного отвору при переході пульсатора від такту ссання до стиску.

Однаковий діапазон зміни тривалості фронту та спаду імпульсів індикаторної діаграми обумовлений однаковими адіабатичними процесами відкачування та наповнення замкнутого об'єму робочих камер доїльного апарату. При цьому зміна вакуумметричного тиску в межах 44–52 кПа має несуттєвий вплив (до 18,5%). Але при мінімальних значеннях діаметрів перепускних отворів 6 мм тривалості фронту та спаду зростає до 0,14–0,18 с. Враховуючи рекомендації згідно стандарту на доїльні установки та досліджень науковців [10, 11], слід забезпечити зменшення тривалості фронту та збільшити тривалість спаду. Це можливо зробити шляхом підбору відповідних значень діаметрів перепускних отворів, що з'єднують камеру змінного вакуумметричного тиску із камерами постійного вакууму і атмос-

ферного тиску або внесення коректив в алгоритм роботи блока керування [14].

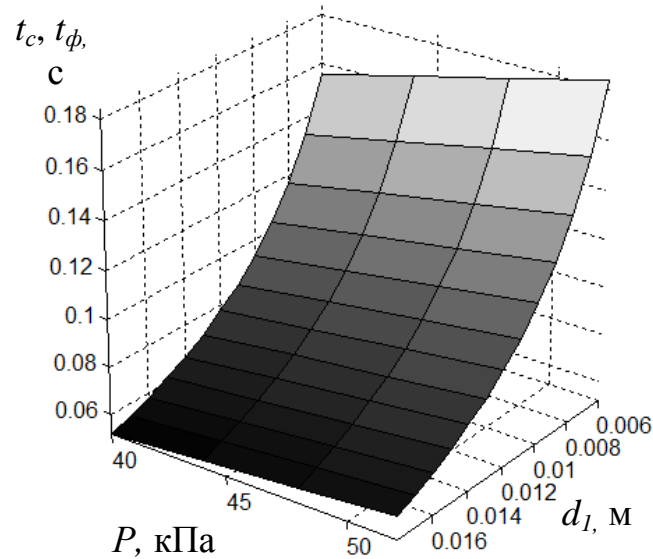


Рис. 3. Залежність тривалості фронту та спаду індикаторної діаграми при діаметрі нижнього і верхнього перепускних отворів діаметрами 6 мм та діаметрі мембрани  $D_m=30$  мм.

### Висновки

Використання пневмоелектромагнітного пульсатора попарної дії з підсилювальною ланкою дозволяє зменшити енергоспоживання але при цьому виникають часові затримки завершення руху клапанів, які треба враховувати при подальшому проектуванні блока керування пульсатора та алгоритму його роботи. Часові характеристики слід забезпечити в межах, що не виходять за рекомендовані інтервали, таким чином створюючи ощадливе доїння та наближуючи його до природнього процесу виведення молока.

Зміна тривалості фронту та спаду індикаторної діаграми можлива за рахунок встановлення відповідного набору діаметрів перепускних і каліброваних отворів.

### Список літератури

1. Патент № 34481 Україна, МПК А01J7/007. Електромагнітний пульсатор попарної дії / Дмитрів В.Т., Лаврик Ю.М., Дмитрів І.В., Банга В.І. Заявл. 24.03.2008, опубл. 11.08.2008. Бюл. № 15.
2. Лаврик Ю.М. Структурна схема моделі пневмоелектромагнітного пульсатора / Ю.М. Лаврик // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Х., 2009. – № 79. – С. 262–267.
3. Дмитрів В.Т. Електропневмодинамічна модель енергоощадного електромагнітного пульсатора / В.Т. Дмитрів, Ю.М. Лаврик // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха: ННЦ ІМЕСГ, 2008. – №92. – С. 363–371.
4. Дмитрів В.Т. Модель витрати повітря елементами доїльного апарата / В.Т. Дмитрів // Вісник Львівського державного аграрного університету : Агроінженерні дослідження. – 2006. – № 10. – С. 483–488.

5. *Дмитриев В.Т.* Модель энергосберегающего электромагнитного пульсатора / *В.Т. Дмитриев* // Новые направления развития технологий и технических средств в молочном животноводстве: материалы 13-го Международного симпозиума по вопросам машинного доения сельскохозяйственных животных. 27–29 июня 2006 г. – Гомель, Республика Беларусь. – С. 157–160.
6. *Naumenko Alexander.* Determination of constructive – regime parameters of a pulsator for a milking machine / *Alexander Naumenko, Vladimir Uzhyk, Aleksey Chygryn* // Motrol, Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin, 2011. – № 13. – P. 244–248.
7. *Фененко А.І.* Порівняльна характеристика та режими роботи генераторів імпульсів доїльних апаратів / *А.І. Фененко, Д.О. Румар* // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2001. – № 84. – С. 167–171.
8. *Effect of vacuum and ratio on the performance of a monoblock silicone milking liner* / *S.B. Spencer, J.W. Shin, G.W. Rogers, J.B. Cooper* // Journal of dairy science. – Madison, 2007. – Vol. 90. – P. 1725–1728.
9. *Kochman A.K.* The effect of the duration of the C-Phase of pulsation on milking performance [Електронний ресурс] / *A.K. Kochman, C. Laney, S. B. Spencer* // LA. – New Orleans, 2008. – [2 с.]. – Режим доступу: <http://www.laurenagrisystems.com/lib/sitefiles/pdf/whitepapers/CPhase.pdf>. – Назва з екрану. – Дата звернення: 05.03.2015.
10. *Interactions of vacuum, b-phase duration, and liner compression on milk flow rates in dairy cows* / *R.D. Bade, D.J. Reinemann, M. Zucali, P.L. Ruegg, P.D. Thompson* // American dairy science association, Journal of dairy science. – Madison, 2009. – Vol. 92 No. 3. – P. 913–921.
11. *Дмитриев В.Т.* Алгоритмізація процесу машинного доїння корів / *В.Т. Дмитриев* // Праці. Таврійська державна агротехнічна академія. – Мелітополь: ТДАТА, 2006. – Вип. 40. – С. 36–41.
12. *Лаврик Ю.М.* Обґрунтування параметрів пневмоелектромагнітного пульсатора попарної дії доїльного апарата : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / *Ю.М. Лаврик*. – Львів, 2015. – 24 с.
13. *Дмитриев В.Т.* Блок управління роботою електромагнітного пульсатора попарного действия / *В.Т. Дмитриев, Ю.М. Лаврик* // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2010. – № 84. – С. 151–152.

*На примере доильного аппарата, оборудованного пневмо-электромагнитным пульсатором попарного действия, определены некоторые временные характеристики работы при заданных конструкционных размерах и значении номинального вакуумметрического давления. Приведены рекомендации по построению алгоритма работы блока управления электромагнитным пульсатором с усилительной звеном пневматического типа.*

***Пневмоэлектромагнитний пульсатор, временные характеристики, переходные процессы, алгоритм работы.***

*The example of the milking machine equipped pnevmoelektromagnetic pairs pulsators actions identified some characteristics of time for a given structural size and the nominal vacuum pressure. The recommendations on the design of the algorithm of the*

*control unit with electromagnetic pulsators amplifying element pneumatic type.*

***Pnevmoelektromagnetic pulsator, time characteristics, transients algorithm.***

УДК 637.116:621.51

## **ОБГРУНТУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТАЦІЙНИХ ВАКУУМНИХ НАСОСІВ З ПОХИЛИМ РОЗМІЩЕННЯМ ПЛАСТИН**

***В.Ю. Дудін, М.М. Науменко, С.І. Павленко,  
кандидати технічних наук***

***Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет***

*Запропоновано точний розв'язок задачі з розрахунку площі поперечного перерізу робочої камери ротаційного вакуумного насоса з похилим розміщенням пластин в залежності від кута повороту ротора. Показано відмінності нового розв'язку в порівнянні з існуючим.*

***Вакуумний насос, фази розподілу повітря, об'єм робочої камери.***

**Постановка проблеми.** Низький об'ємний ККД існуючих ротаційних вакуумних насосів доільних установок в першу чергу обумовлений великими внутрішніми перетіканнями повітря. Як свідчать літературні джерела, на внутрішні перетікання припадає приблизно 60 % втрат об'ємної продуктивності насосу [1]. Основним параметром, що закладається на стадії проектування насосу, який суттєво впливає на внутрішні перетікання повітря, є фази розподілу повітря, тобто положення та розміри всмоктувального та нагнітаючого вікон, які визначаються виходячи з наступних міркувань [1]:

- положення нижньої кромки всмоктувального вікна обирається таким чином, щоб розімкнення робочої камери зі всмоктувальним патрубком відбувалося в момент, коли об'єм робочої камери досягає максимального значення;

- положення верхньої кромки всмоктувального вікна повинно обиратися з умови рівності тиску в робочій камері та патрубка в початковий момент всмоктування;

- положення нижньої кромки нагнітаючого вікна за тієї ж умови, але на початку нагнітання;

© В.Ю. Дудін, М.М. Науменко, С.І. Павленко, 2015