

МОДЕЛЬ ВІДКАЧУВАННЯ ПОВІТРЯ З КАМЕР ЗМІННОГО ВАКУУММЕТРИЧНОГО ТИСКУ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА

І.В. Дмитрів, асистент, В.Т. Дмитрів, к.т.н., доцент
(Львівський національний аграрний університет)

Наведено аналітичні залежності для моделювання процесу відкачування повітря з камер змінного вакуумметричного тиску системи пульсатор-доїльний стакан з врахуванням закону збереження маси для газу в контрольованому об'ємі через рівняння механічної енергії руху повітря.

Постановка проблеми. Проектування нових конструкцій пульсаторів доїльних апаратів вимагає теоретичного визначення технологічних характеристик їх роботи. Конструювання пульсаторів вимагає враховувати витрату повітря при заданих конструктивних розмірах геометричних їх об'ємів, що дозволило б визначати режими роботи та енергетичні затрати. Тому для моделювання конструктивних і технологічних параметрів пульсатора доїльного апарату необхідна математична модель витрати повітря цими елементами й доїльного апарата в цілому.

Аналіз стану останніх досліджень і публікацій. Витрату повітря доїльним апаратом розраховують як приведену до нормального атмосферного тиску, враховуючи об'єм камер змінного вакуумметричного тиску, вакуумметричний тиск, частоту пульсацій [1; 2].

За даною методикою розрахунку результати є усереднені і не враховують особливостей конструкції елементів пульсатора, режим руху задано за експоненціальним характером зміни тиску.

Експериментальні дані витрати повітря доїльними апаратами та методика проведення досліджень наведені в роботах [3; 4], що є прийнятним для визначення витрати повітря вже існуючих конструкцій пульсаторів.

Усереднене значення витрати повітря можна розрахувати за швидкістю його руху в вакуумпроводі доїльного апарата, знаючи перепад вакуумметричного тиску і конструктивні розміри вакуумпроводу, а також коефіцієнт пневматичного опору тертя [5].

Найбільш наближеною до розв'язання поставленої проблеми є модель розрахунку витрати повітря, розроблена на основі рівняння стану газу [6].

Для моделювання витрати повітря в процесі витікання стиснутого повітря із обмеженого простору через сопло використовують рівняння Сен-Венана Ванцеля, яке описує процес наповнення обмеженого простору через коротку насадку із простору необмеженого [7].

Ці моделі мають ряд зауважень: не враховано режим роботи доїльного апарата, а отже характер зміни вакуумметричного тиску, у рівнянні відсутній параметр втрат вакуумметричного тиску, а тому не можна розрахувати кількість повітря за задану тривалість.

Постановка завдання. Основним завданням дослідження – розробити математичну модель швидкості відкачування повітря з камер змінного вакуумметричного тиску, витрати повітря й тривалості процесу відкачування повітря в залежності від об’єму камер змінного вакуумметричного тиску.

Виклад основного матеріалу.

Розглянемо процес зміни тиску в системі: міжстінна камера доїльного стакана – електромагнітний пульсатор, що становлять об’єм простору змінного вакуумметричного тиску як одну систему, з якої відкачують повітря. Надалі будемо використовувати термін „система”.

Нехай об’єм системи V . Вакуумметричний тиск в ній P_B , а тиск атмосферний P_{am} . Зрозуміло, що при надходженні повітря в систему, тиск буде становити P_{am} . Різниця тиску буде як $P_{am}-P_B=\Delta P$. Для заданої різниці тиску в систему ввійде певна кількість повітря масою M_n за відповідний час t .

При відкачування повітря процес буде аналогічний попередньому.

В процесі роботи пульсатора доїльного апарата буде відсутній теплообмін, так як відсутній процес нагрівання повітря. А повітря буде рухатись тільки через поперечний переріз отвору пульсатора S .

Розпишемо вище сказане через витрату, врахувавши закон збереження маси для газу в контрольованому об’ємі через рівняння механічної енергії руху повітря [8, 9]:

$$dQ - d(PW) - dL - dL_{TP} = dU + d\left(\frac{v^2}{2g}\right) + g dz, \quad (1)$$

де Q – кількість тепла, що підведена до системи (при роботі пульсатора доїльного апарата $T = const$, $Q = 0$, $dQ = 0$); z – різниця висот положення двох різних перерізів потоку повітря, що характеризує потенціальну енергію (в нашому випадку $z = 0$, $dz = 0$); L – технічна робота, яка характеризує зміну фізичного положення в просторі механічних елементів системи.

Переміщення механічних елементів не відбувається, тому механічна робота від переміщення повітря витрачається на зміну внутрішньої енергії повітря в системі, $dL = dU + PdW$.

Враховуючи вище наведені твердження залежність (1) набуде вигляду:

$$-d(PW) + dU + PdW - dL_{TP} = dU + d\left(\frac{v^2}{2g}\right),$$

або

$$-d(PW) + PdW = d\left(\frac{v^2}{2g}\right) + dL_{TP}, \quad (2)$$

де L_{TP} – робота, яка витрачається на подолання сил тертя повітря об елементи системи.

Роботу на подолання сил тертя повітря можна записати у наступному вигляді [10, 11]:

$$dL_{TP} = \lambda \frac{l_{TP}}{D_{TP}} d\left(\frac{v^2}{2g}\right) \quad (3)$$

Перетворимо залежність (2) з врахуванням рівняння (3):

$$-PdW - WdP + PdW = d\left(\frac{v^2}{2g}\right) + \lambda \frac{l_{TP}}{D_{TP}} d\left(\frac{v^2}{2g}\right), \quad (4)$$

де $\lambda \frac{l_{TP}}{D_{TP}} = \xi$ - коефіцієнт опору тертя; $W = l/\rho$ - питомий об'єм повітря.

Тоді залежність (4) набуде вигляду:

$$-\frac{1}{\rho} dP = d\left(\frac{v^2}{2g}\right)(1+\xi), \text{ або } d\left(\frac{v^2}{2g}\right) = -\frac{1}{(1+\xi)} \frac{dP}{\rho} \quad (5)$$

Проінтегруємо рівняння (5) задавшись межами $P \rightarrow$ від P_1 до P_2 і $v \rightarrow$ від v_1 до v_2 :

$$\int_{v_1}^{v_2} d\left(\frac{v^2}{2g}\right) = -\frac{1}{1+\xi} \int_{\frac{P_1}{\rho_1}}^{\frac{P_2}{\rho_2}} \frac{dP}{\rho}$$

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = \frac{1}{1+\xi} \left(\frac{P_1}{\rho_1} - \frac{P_2}{\rho_2} \right). \quad (6)$$

Врахуємо рівняння стану ідеального газу, яке підпорядковується політропній залежності з показником політропи n [9]:

$$\frac{P_1}{\rho_1^n} = \frac{P_2}{\rho_2^n}, \quad \rho_2 = \rho_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (7)$$

Тоді вираз $\frac{P_1}{\rho_1} - \frac{P_2}{\rho_2}$ в рівнянні (6) з врахуванням рівняння (7) набуде вигляд:

$$\frac{P_1}{\rho_1} - \frac{P_2}{\rho_2} = \frac{P_1}{\rho_1} - \frac{P_2}{\rho_1} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{-\frac{1}{n}} = \frac{P_1}{\rho_1} \left(1 - \frac{P_2 P_2^{\frac{1}{n}}}{P_1 P_1^{\frac{1}{n}}} \right) = \frac{P_1}{\rho_1} \left(1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right). \quad (8)$$

Проведемо заміну, підставивши вираз (8) в рівняння (6):

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = \frac{1}{1+\xi} \frac{P_1}{\rho_1} \left(1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right). \quad (9)$$

Прийmemo, що $P_2/P_1 = x$ і врахуємо, що в момент відкачування повітря із системи $v_1 = 0$. Тоді рівняння (9) набуде вигляду:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g}{1+\xi} \frac{P_1}{\rho_1} \left(1 - x^{\frac{n-1}{n}} \right)}, \text{ м/с.} \quad (10)$$

Масова витрата повітря становить:

$$m = v_2 S_{ncp} \rho_2, \text{ кг/с.} \quad (11)$$

Запишемо рівняння витрати повітря з врахування залежностей (10, 11):

$$m = S_{nep} \rho_2 \sqrt{\frac{2g}{1+\xi} \frac{P_1}{\rho_1} \left(1 - x^{\frac{n-1}{n}}\right)}. \quad (12)$$

Враховуючи, що $\rho_2 = \rho_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}}$, рівняння (12) для моделювання витрати секундної подачі повітря при відсмоктуванні набуде вигляду:

$$m = S_{nep} \sqrt{\frac{2g}{1+\xi} P_1 \rho_1 \left(x^{\frac{2}{n}} - x^{\frac{n+1}{n}}\right)}, \text{ кг/с,} \quad (13)$$

де S_{nep} – площа поперечного перерізу отвору відсмоктування повітря з системи, м²; g – прискорення вільно падіння, м/с²; ξ – коефіцієнт опору тертя, $\xi = \lambda \frac{l_{TP}}{D_{TP}}$; l_{TP} – довжина отвору відкачування повітря; D_{TP} – діаметр отвору відкачування повітря; λ – коефіцієнта опору руху повітря [10]; P_1 – початковий тиск в системі, кг/м²; ρ_1 – густина повітря при тиску P_1 , кг/м³; x – відношення тисків в системі, $x = P_2/P_1$; P_2 – тиск в системі після відкачування повітря.

Висновок. Наведені математичні залежності (10) і (13) дозволяє моделювати швидкість і витрату повітря залежно від об'ємів камер змінного вакуумметричного тиску доїльного апарата, конструктивних розмірів повітропроводів, режиму зміни вакуумметричного тиску, що уможливило теоретичне уточнення конструктивних і динамічних характеристик системи (пульсатор-доїльний стакан).

Список літератури

1. Дмитрів В.Т. Модель витрати повітря елементами доїльного апарата / В.Т. Дмитрів // Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. - 2006. - № 10. - С. 483-488.
2. Dmytriv V. Dynamic characteristics of hydropneumatic milking systems / Dmytriv V. // Zbornik radova: proceedings. Opatija, Croatia. - February 13-16, 2007. - P. 332-335.
3. Рыбников А.П. Расчет вакуумных систем доильных установок / А.П. Рыбников // Мех. и электр. соц. с. х. – 1976. - № 5. – С.19-20.
4. Фісяченко О.І. Функціональні схеми доїльних установок та взаємодія елементів їх основного уніфікованого обладнання / О.І. Фісяченко, О.В. Нанка, А.І. Дзюба, Є.О. Фісяченко // Вісн. Харк. нац. техн. ун-ту с. г. ім. П. Василенка. Вип. 42: Вдосконалення технологій і обладнання виробництва продукції тваринництва і птахівництва. –Харків, 2005.–С.40-44.

5. Дмитрів В.Т. Основи теорії руху повітря в доїльному апараті / В.Т. Дмитрів, С.М. Кондур // Вісн. Львів. держ. аграр. ун-ту: Агроінженерні дослідження. – 1998. – № 2. – С. 83-86.
6. Каримов Н.Б. Расход воздуха в доильном аппарате / Н.Б. Каримов // Мех. и электр. соц. с. х. – 1973. - № 5. – С.25-27.
7. Поливцев В.П. Исследование процесса истечения сжатого воздуха через сопло в атмосферу / В.В. Поливцев, В.В. Поливцев // Вісник Севастопольського НТУ: зб. наук. пр. Вип. 119/2011. Серія: Механіка, енергетика, екологія. – Севастополь, 2011. – С. 71-76.
8. Черный Г.Г. Газовая динамика / Г.Г. Черный. – М.: Наука, 1988. – 424 с.
9. Герц Е.В. Расчет пневмопроводов. Справочное пособие / Е.В. Герц, Г.В. Крейнин. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с.
10. Дмитрів В.Т. Моделювання коефіцієнта опору руху повітря у вакуумпровідних системах / В.Т. Дмитрів // Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження.- 2002 .- № 6.- С. 201-206.
11. Дмитрів В.Т. Дослідження енергетичних параметрів вакуумпровідної системи доїльної установки / В.Т. Дмитрів // Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. - 2003 .- № 7. - С. 281-287.

Аннотация

Модель откачивания воздуха с камер переменного вакуумметрического давления доильного аппарата

И.В. Дмитрив, ассистент, В.Т. Дмитрив, к.т.н., доцент

Приведены аналитические зависимости для моделирования процесса откачивания воздуха с камер переменного вакуумметрического давления системы пульсатор-доильный стакан с учетом закона сохранения массы для газа в контролируемом объеме через уравнение механической энергии транспортирования воздуха.

Abstract

Model of pumping out of air from chambers of variable vacuum gauge pressure of milking vehicle

V. Dmytriv, I. Dmytriv

Analytical dependences are resulted for the design of process of pumping out of air from the chambers of variable vacuum gauge pressure of the system pul'sator-milking glass taking into account the law of economy of mass for gas in a kontrolirovannom volume through equalization of mechanical energy of portage of air.