

*Мищенко І.В., канд. техн. наук, доц. НУЦЗУ,
Чернобай Г.О., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ*

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КВАЗІСТАЦІОНАРНОГО МЕТОДУ ПРИ РОЗРАХУНКАХ СКЛАДНИХ ПНЕВМОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

(представлено д-ром техн. наук Абрамовим Ю.О.)

Розглядаються теоретичні передумови побудування математичних моделей пневматичних трактів перспективних зразків пожежного та аварійно-рятувального спорядження, що мають у своєму складі складні пневмомеханічні системи. Розрахунок базується на теорії «наповнення – спорожнення» та квазістаціонарному методі визначення параметрів стану повітря.

Ключові слова: термодинаміка, пневмогідроліка, мультиплікатор, пожежна та аварійно-рятувальна техніка

Постановка проблеми. При проектуванні перспективних зразків пожежної та аварійно-рятувальної техніки інколи доводиться проводити розрахунки термодинамічних процесів, які відбуваються в пневматичних трактах складних пневмомеханічних систем, наприклад, в імпульсному пневмогідролічному мультиплікаторі, який пропонується до застосування в пожежному та аварійно-рятувальному автомобілі (рис.). Мультиплікатор складається із резервуарів постійного (1) та змінного (3) об'ємів, які зв'язані між собою трубопроводом (2) із встановленими в місцях з'єднання дросельними шайбами (4). В окремих випадках система дещо ускладнюється, якщо об'єми сполучених резервуарів значно відрізняються, а зміна об'єму якогось резервуару задається не в вигляді математичних залежностей того або іншого рівня складності, а є наслідком коливання деякої підпружиненої маси (поршень - 5), що з'єднана із ним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Розрахунок термодинамічних процесів в подібних системах базується на теорії „наповнення - спорожнення” та квазістаціонарному методі визначення параметрів стану повітря, що викладені в роботах [1-5].

Постановка завдання та його вирішення. Основою теорії «наповнення – спорожнення» та квазістаціонарного методу розра-

хунку термодинамічних процесів при проектуванні пневматичних трактів є наступні положення:

- миттєве розповсюдження зміни тиску повітря в усьому об'ємі кожного окремо взятого елемента загальної пневмосистеми, внаслідок чого тиск в кожному резервуарі по усьому об'єму однаковий і не змінюється протягом кроку інтегрування;
- передбачається, що кінетична енергія струменю повітря, який проходить через дросель із одного об'єму в іншій, повністю розсіюється;
- термодинамічні процеси аналізуються виходячи з основних законів збереження енергії та маси речовини.

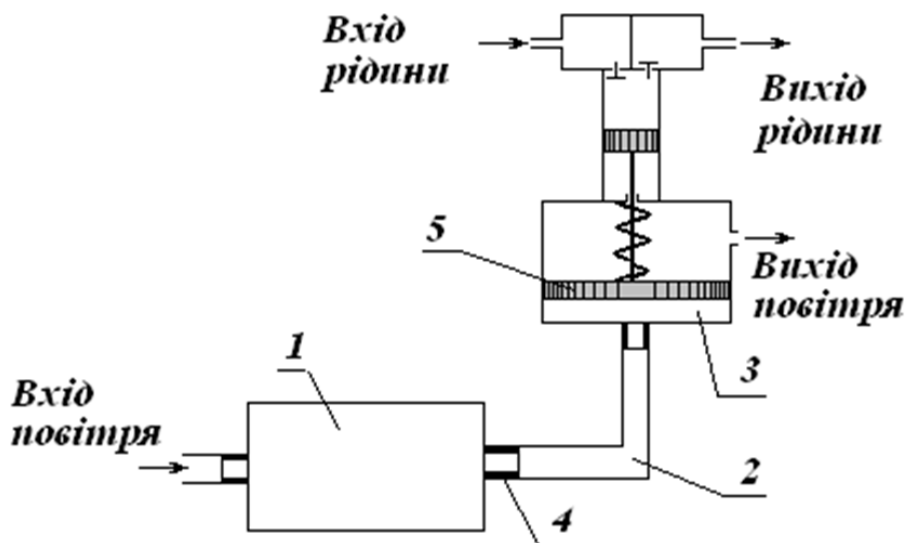


Рис. – Схема пневмоімпульсного мультиплікатора гідравлічного насоса

Термодинамічні процеси в кожному із елементів цієї системи характеризуються наступними параметрами: P – тиск повітря в резервуарі; G – маса повітря в резервуарі; T – температура повітря; V – об'єм резервуара; ρ – щільність повітря в резервуарі; C_p – теплоємність повітря в процесі $P = \text{const}$; C_v – теплоємність повітря в процесі $V = \text{const}$; R – газова стала.

Рівняння термодинаміки з урахуванням тепло- та масообміну, а також дроселювання повітря при його перетіканні із одного резервуару в іншій, складаються на основі закону збереження енергії – першому законі термодинаміки [4]

$$dQ = dU + dL, \quad (1)$$

де Q – кількість зовнішньої теплоти, яка вноситься в систему; U – внутрішня енергія системи; L – робота, яку виконує система.

Для елементів термодинамічної системи диференціали, які входять в рівняння (1), визначаються наступним чином

$$dQ = dQ_1 + dQ_2, \quad (2)$$

де Q_1 – кількість теплоти, яка вноситься (+) в елемент, або відводиться від нього (–) через теплообмін з навколишнім середовищем; Q_2 – кількість теплоти, якою обмінюються між собою елементи термодинамічної системи при перетіканні повітря.

Теплообмін з навколишнім середовищем в загальному випадку має нестаціонарний характер, але для технічних розрахунків відносно повільних процесів при незначному діапазоні зміни температур можна використовувати рівняння теплопередачі

$$dQ_1 = -K_T H_T (T - T_0) dt, \quad (3)$$

$$dQ_2 = i dG, \quad (4)$$

де K_T – стаціонарний усереднений коефіцієнт теплопередачі; H_T – площа поверхні теплопередачі; T_0 – температура навколишнього середовища; i – ентальпія елементарного перетікаючого об'єму повітря dG . Приймаючи теплоємності C_p та C_v постійними, визначимо ентальпію

$$i = C_p T = (C_v + R) T. \quad (5)$$

Враховуючи рівняння (2-5), запишемо перший закон термодинаміки (1) у вигляді

$$C_v G dT + P dV - R T dG + K_T H_T (T - T_0) dt = 0. \quad (6)$$

Зважаючи на невеликий діапазон зміни тиску при якому швидкість повітря не перевищує 0,5 швидкості звуку, кількість повітря, яке перетікає, наприклад, із об'єму «1» в об'єм «2» (при

$P_1 > P_2$) визначається наступним чином (μ – коефіцієнт витікання повітря, S_{1-2} – площа перерізу дроселя між елементами «1» та «2»)

$$dG_1 = \mu S_{1-2} [2\rho(P_1 - P_2)]^{1/2} dt, \quad (7)$$

Рівняння Клапейрона-Менделєєва характеризує стан повітря в елементах термодинамічної системи

$$PV = GRT, \quad (8)$$

або в диференціальній формі після відповідних перетворень

$$PdV + VdP - RTdG - RGdT = 0. \quad (9)$$

Замикає систему термодинамічної частини математичної моделі рівняння масового балансу

$$dG_K + \sum dG_i - dG_M = 0, \quad (10)$$

де dG_K – кількість повітря, яке постачає компресор; dG_M – кількість повітря, яке виходить із мультиплікатору; dG_i – кількість повітря, яким обмінюються між собою окремі елементи пневмосистеми.

Диференціальне рівняння коливань підпружиненої маси запишемо використовуючи загальноприйняті методи механіки

$$M(d^2x/dt^2) - kx + P_B F_B - P_\Gamma F_\Gamma = 0, \quad (11)$$

де M – маса поршня; x – переміщення поршня; k – жорсткість пружини; P_B – тиск повітря в резервуарі під поршнем; F_B – площа повітряного поршня; P_Γ – тиск рідини в резервуарі над гідравлічним поршнем; F_Γ – площа гідравлічного поршня.

Висновки. Важливим етапом при проектуванні новітніх зразків пожежної та аварійно-рятувальної техніки, що складаються з пневматичних трактів складних пневмомеханічних систем, є розробка математичних моделей для дослідження термодинамічних процесів, які відбуваються в системі, вибору її оптимальних параметрів та настроюванню робочих процесів. В роботі розглядається один із методів побудови таких моделей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика / Абрамович Г.Н. – М.: Наука, 1976. – 888 с.
2. Герц Е.В. Пневматические приводы / Герц Е.В. – М.: Машиностроение, 1969. – 359 с.
3. Кирпичников В.Г. Применение квазистационарного метода для исследования термодинамических процессов в системе пневмоподвешивания локомотива / В.Г.Кирпичников, В.М.Адашевский // Вестник ХПИ. –1977. – № 134. – С. 3 – 5.
4. Куценко С.М. Пневматическое рессорное подвешивание тепловозов / Куценко С.М. – Х.: Вища школа, 1978. – 97 с.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Лойцянский Л.Г. – М.: Наука, 1978. – 736 с.

Мищенко И.В., Чернобай Г.А.

Некоторые особенности применения квазистационарного метода при расчетах сложных пневмомеханических систем

Рассматриваются теоретические предпосылки построения математических моделей пневматических трактов перспективных образцов пожарного и аварийно-спасательного снаряжения, имеющие в своем составе сложные пневмомеханические системы. Расчет базируется на теории «наполнения – опорожнения» и квазистационарном методе определения параметров состояния воздуха.

Ключевые слова: термодинамика, пневмогидравлика, мультипликатор, пожарная и аварийно-спасательная техника

Mishchenko I.V., Chernobay G.A.

Some features of quasi stationary method application to calculate the complicated pneumatic mechanical systems

Theoretical pre-conditions to create the mathematical models of the complicated mechanical systems pneumatic sections are considered. These sections are based on the «filling and emptying» theory and a quasi stationary method to determine the air parameters state.

Key words: thermodynamics, pneumatic hydraulics, multiplier, a fire-fighting and repair-rescue equipment.