

УДК 629.4-592

**В. В. ШЕЛУДЧЕНКО**, канд. техн. наук, доцент, Сумський національний аграрний університет

### УНІВЕРСАЛЬНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПНЕВМАТИЧНОГО ГАЛЬМІВНОГО ПРИВОДУ САМОХІДНИХ МАШИН

В роботі наведена універсальна математична модель пневматичного гальмівного приводу, використання якої за рахунок автоматизації процесу дослідження, дозволяє суттєво знизити витрати часу та коштів на проектування гальмівних систем як для двохвісних, так і трьохвісних самохідних машин (колісні трактори, вантажні автомобілі і т.д.). Наведена математична модель складена за методом Метлюка М.Ф. та складається з двох блоків рівнянь. Перший блок рівнянь описує наповнення та спорожнення ємкостей пневматичного гальмівного приводу при наявності у контурі лише однієї вісі. Другий блок рівнянь складено з урахуванням наявності у контурі двох осей.

**Ключові слова:** самохідна машина, гальмівна система, метод Метлюка М.Ф., пневматичний гальмівний привод.

**Вступ.** При проектуванні гальмівних систем особливого значення набуває автоматизація процесу дослідження, яка дозволяє істотно скоротити його терміни і вартість. Експериментальне дослідження, як правило, є тривалим і достатньо дорогим процесом. Коректно складені математичні моделі і відповідні програмні продукти дозволяють одержати і проаналізувати результати на стадії проектування та внести необхідні корективи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питаннями дослідження робочих процесів в пневматичних гальмівних приводах (ПГП) самохідних машин (СМ) займалися такі вчені, як Бартош П.Р., Біленький Ю.Б., Богомолів В.О., Вітков Г.А., Герц О.В., Гликман Б.Ф., Дольберг В.І., Жестков В.В., Ідельчик І.С., Казаринов В.М., Кравець Ф.К., Крамський О.В., Клименко В.І., Метлюк М.Ф., Нагорняк С.Г., Погорелов В.І., Рижих Л.О., Туренко А.М., Шипилін А.В. та ін. [1 – 14].

Із літератури відомо ряд публікацій [12, 13], в яких наводяться математичні моделі, що описують роботу ПГП, проте кожна з них адаптована під конкретний транспортний засіб. Що ж стосується універсальної математичної моделі ПГП, яка б підходила для усіх як двохвісних, так і трьохвісних СМ, то така в жодній із робіт не наводиться.

**Мета дослідження, постановка задачі.** Метою даної роботи є складання універсальної математичної моделі ПГП СМ. Для досягнення поставленої мети необхідно визначитися з прийнятими допущеннями, скласти розрахункову схему та математичну модель кожного з контурів (для охоплення всіх комбінацій можливих схем ПГП як для двохвісних, так і трьохвісних СМ, один із контурів повинен поєднувати пневматичний гальмівний кран з гальмівними камерами однієї вісі, другий – пневматичний гальмівний кран з гальмівними камерами двох осей).

**Універсальна математична модель ПГП СМ.** На автомобілях повною масою більше 9 тонн, деяких тракторах застосовують ПГП, який може створювати практично необмежене приводне зусилля з боку гальмівних механізмів. Основними елементами ПГП є компресор, ресивери (повітряні балони), що зберігають запас стислого повітря, кран, магістралі і виконавчі апарати, що впливають на розтискні пристрої гальмівних механізмів. При гальмуванні СМ кран сполучає ресивери з магістралями, встановлюючи в них тиск повітря, пропорційний силі, прикладеній водієм до гальмівної педалі. При знятті зусилля з гальмівної педалі кран від'єднує магістралі від

© В. В. Шелудченко, 2015

ресиверів і сполучає їх з навколишнім середовищем. Пневматичний привід розділяється на контури.

Для охоплення всіх комбінацій можливих схем ППП як для двохвісних, так і трьохвісних СМ один з контурів повинен поєднувати пневматичний гальмівний кран з гальмівними камерами однієї вісі (математична модель буде описуватися блоком рівнянь № 1), другий – пневматичний гальмівний кран з гальмівними камерами двох осей (математична модель буде описуватися блоком рівнянь № 2). В цьому випадку комбіноване використання наведених моделей дозволяє моделювати роботу: одноконтурного привода двохвісної СМ при використанні блоку рівнянь № 2; двохконтурного привода двохвісної СМ при використанні для кожного контуру блоку рівнянь № 1; двохконтурного привода трьохвісної СМ при використанні для одного контуру блоку рівнянь № 1, а для іншого – блок рівнянь № 2.

Для складання вище наведених блоків рівнянь використаємо метод М.Ф. Метлюка [14]. Такий вибір обумовлений найбільшою його достовірністю, поширеністю та популярністю серед інженерів, що займаються динамікою ППП.

У математичних моделях контурів ППП були прийняті наступні допущення [12]:

- тиск повітря на вході в гальмівний кран не змінюється за час перехідного процесу і дорівнює  $P_{\max}$ ;
- відсутні витоки повітря з системи;
- температура повітря в порожнинах апаратів гальмівного приводу не змінюється;
- в процесі наповнення та спорожнення теплообмін з навколишнім середовищем відсутній;
- пневмоопори клапанів і трубопроводів приймаємо зосередженими;
- коефіцієнт витрати через дросель приймаємо постійним для всього перехідного процесу [12, 13];
- об'єм виконавчих апаратів приймаємо постійним.

З метою спрощення рішення і уніфікації описів процесів в робочій гальмівній системі, математична модель за методом Метлюка М.Ф. складена на основі балансу миттєвих масових витрат у вузлах пневмоланцюгів з використанням гіперболічної функції миттєвої масової витрати через дросель [14].

Для складання диференціальних рівнянь за методом Метлюка М.Ф. використовується закон вузлів для пневматичного ланцюга, який формулюється так: сума миттєвих масових витрат повітря у вузлі рівна 0 [14], тобто:

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{dm}{dt} \right)_i = 0. \quad (1)$$

Масову витрату  $dm/dt$  вважатимемо позитивною по відношенню до даного вузла, якщо рух потоку направлений до вузла, і негативним, якщо він направлений від вузла.

Рівняння для визначення миттєвої масової витрати повітря через місцевий опір (дросель) в загальному виді записується наступним чином:

$$\left( \frac{dm}{dt} \right)_{Di} = \mu \cdot f \cdot V_{kp} \cdot P_0 \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_0 - P_1}{B \cdot P_0 - P_1}, \quad (2)$$

- де  $\mu$  – коефіцієнт витрати через дросель [12 – 14];  
 $f$  – площа прохідного перетину дроселя, м<sup>2</sup>;  
 $V_{kp}$  – критична швидкість руху повітря, м/с;  
 $P_0$  – тиск повітря перед дроселем, Па;  
 $A$  – постійний коефіцієнт [14];  
 $R$  – газова постійна для повітря, рівна 287,14 м<sup>2</sup>/(с<sup>2</sup> · К) [14];  
 $T$  – температура повітря перед дроселем, К;  
 $P_1$  – тиск повітря за дроселем, Па;  
 $B$  – постійний коефіцієнт [14].

$$V_{kp} = \sqrt{k \cdot R \cdot T}, \quad (3)$$

- де  $k$  – показник адиабати, рівний 1,4 [14].  
 Рівняння стану повітря в місткості в загальному виді має наступний вид:

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{Ei} = \frac{P_E}{R \cdot T} \cdot \frac{dV_E}{dt} + \frac{V_E}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_E}{dt}, \quad (4)$$

- де  $P_E$  – тиск в місткості, Па;  
 $V_E$  – об'єм місткості, м<sup>3</sup>.

Розрахункова схема першого (поєднує пневматичний гальмівний кран з гальмівними камерами однієї осі) та другого (поєднує пневматичний гальмівний кран з гальмівними камерами двох осей) контурів досліджуваного ПГП наведена на рис. 1.

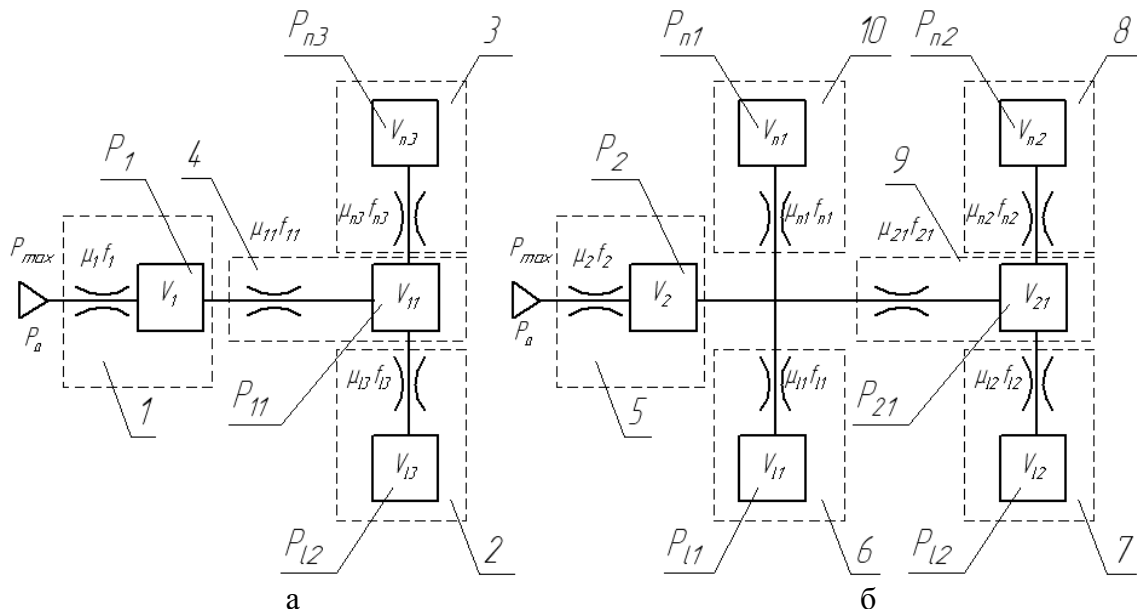


Рисунок 1 – Розрахункова схема досліджуваного ПГП:  
 а – перший контур; б – другий контур; 1, 5 – гальмівний кран; 2, 3, 6, 7, 8, 10 – гальмівна камера; 4, 9 – з'єднувальні трубопроводи.

Математична модель першого контуру ПГП записується в наступному вигляді (блок рівнянь № 1):

– наповнення:

$$\left\{ \begin{aligned} \left( \frac{dm}{dt} \right)_{D1} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{D11} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{E1} &= 0; \\ \left( \frac{dm}{dt} \right)_{D11} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{Dn3} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{D13} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{E11} &= 0; \\ \left( \frac{dm}{dt} \right)_{Dn3} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{En3} &= 0; \\ \left( \frac{dm}{dt} \right)_{D13} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{E13} &= 0. \end{aligned} \right. \quad (5)$$

– спорожнення:

$$\left\{ \begin{aligned} -\left( \frac{dm}{dt} \right)_{D1} + \left( \frac{dm}{dt} \right)_{D11} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{E1} &= 0; \\ -\left( \frac{dm}{dt} \right)_{D11} + \left( \frac{dm}{dt} \right)_{Dn3} + \left( \frac{dm}{dt} \right)_{D13} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{E11} &= 0; \\ -\left( \frac{dm}{dt} \right)_{Dn3} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{En3} &= 0; \\ -\left( \frac{dm}{dt} \right)_{D13} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{E13} &= 0. \end{aligned} \right. \quad (6)$$

Математична модель другого контуру ПГП записується в наступному вигляді (блок рівнянь № 2):

– наповнення:

$$\left\{ \begin{aligned} \left( \frac{dm}{dt} \right)_{D2} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{Dn1} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{D11} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{D21} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{E2} &= 0; \\ \left( \frac{dm}{dt} \right)_{D21} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{Dn2} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{D12} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{E21} &= 0; \\ \left( \frac{dm}{dt} \right)_{Dn1} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{En1} &= 0; \\ \left( \frac{dm}{dt} \right)_{D11} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{E11} &= 0; \\ \left( \frac{dm}{dt} \right)_{Dn2} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{En2} &= 0; \\ \left( \frac{dm}{dt} \right)_{D12} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{E12} &= 0. \end{aligned} \right. \quad (7)$$

– спорожнення:

$$\left\{ \begin{aligned} -\left( \frac{dm}{dt} \right)_{D2} + \left( \frac{dm}{dt} \right)_{Dn1} + \left( \frac{dm}{dt} \right)_{D11} + \left( \frac{dm}{dt} \right)_{D21} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{E2} &= 0; \\ -\left( \frac{dm}{dt} \right)_{D21} + \left( \frac{dm}{dt} \right)_{Dn2} + \left( \frac{dm}{dt} \right)_{D12} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{E21} &= 0; \\ -\left( \frac{dm}{dt} \right)_{Dn1} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{En1} &= 0; \\ -\left( \frac{dm}{dt} \right)_{D11} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{E11} &= 0; \\ -\left( \frac{dm}{dt} \right)_{Dn2} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{En2} &= 0; \\ -\left( \frac{dm}{dt} \right)_{D12} - \left( \frac{dm}{dt} \right)_{E12} &= 0. \end{aligned} \right. \quad (8)$$

Підставимо вирази (2), (4) в вище наведені системи рівнянь з урахуванням позначень рис. 1, отримаємо математичну модель першого контуру ПГП в розгорнутому вигляді (блок рівнянь № 1):

– наповнення:

$$\left\{ \begin{aligned} \mu_1 \cdot f_1 \cdot V_{kp} \cdot P_{\max} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{\max} - P_1}{B \cdot P_{\max} - P_1} - \mu_{11} \cdot f_{11} \cdot V_{kp} \cdot P_1 \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_1 - P_{11}}{B \cdot P_1 - P_{11}} - \frac{V_1}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_1}{dt} &= 0; \\ \mu_{11} \cdot f_{11} \cdot V_{kp} \cdot P_1 \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_1 - P_{11}}{B \cdot P_1 - P_{11}} - \mu_{n3} \cdot f_{n3} \cdot V_{kp} \cdot P_{11} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{11} - P_{n3}}{B \cdot P_{11} - P_{n3}} - \mu_{13} \cdot f_{13} \cdot V_{kp} \cdot P_{11} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{11} - P_{13}}{B \cdot P_{11} - P_{13}} - \frac{V_{11}}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_{11}}{dt} &= 0; \\ \mu_{n3} \cdot f_{n3} \cdot V_{kp} \cdot P_{11} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{11} - P_{n3}}{B \cdot P_{11} - P_{n3}} - \frac{V_{n3}}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_{n3}}{dt} &= 0; \\ \mu_{13} \cdot f_{13} \cdot V_{kp} \cdot P_{11} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{11} - P_{13}}{B \cdot P_{11} - P_{13}} - \frac{V_{13}}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_{13}}{dt} &= 0. \end{aligned} \right. \quad (9)$$

– спорожнення:

$$\left\{ \begin{array}{l} -\mu_1 \cdot f_1 \cdot V_{kp} \cdot P_1 \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_1 - P_a}{B \cdot P_1 - P_a} + \mu_{11} \cdot f_{11} \cdot V_{kp} \cdot P_{11} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{11} - P_1}{B \cdot P_{11} - P_1} - \frac{V_1}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_1}{dt} = 0; \\ -\mu_{11} \cdot f_{11} \cdot V_{kp} \cdot P_{11} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{11} - P_1}{B \cdot P_{11} - P_1} + \mu_{n3} \cdot f_{n3} \cdot V_{kp} \cdot P_{n3} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{n3} - P_{11}}{B \cdot P_{n3} - P_{11}} + \\ + \mu_{13} \cdot f_{13} \cdot V_{kp} \cdot P_{13} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{13} - P_{11}}{B \cdot P_{13} - P_{11}} - \frac{V_{11}}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_{11}}{dt} = 0; \\ -\mu_{n3} \cdot f_{n3} \cdot V_{kp} \cdot P_{n3} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{n3} - P_{11}}{B \cdot P_{n3} - P_{11}} - \frac{V_{n3}}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_{n3}}{dt} = 0; \\ -\mu_{13} \cdot f_{13} \cdot V_{kp} \cdot P_{13} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{13} - P_{11}}{B \cdot P_{13} - P_{11}} - \frac{V_{13}}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_{13}}{dt} = 0. \end{array} \right. \quad (10)$$

Підставимо вирази (2), (4) в вище наведені системи рівнянь з урахуванням позначень рис. 1, отримаємо математичну модель другого контуру ПГП в розгорнутому вигляді (блок рівнянь № 2):

– наповнення:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_2 \cdot f_2 \cdot V_{kp} \cdot P_{\max} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{\max} - P_2}{B \cdot P_{\max} - P_2} - \mu_{n1} \cdot f_{n1} \cdot V_{kp} \cdot P_2 \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_2 - P_{n1}}{B \cdot P_2 - P_{n1}} - \\ - \mu_{11} \cdot f_{11} \cdot V_{kp} \cdot P_2 \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_2 - P_{11}}{B \cdot P_2 - P_{11}} - \mu_{21} \cdot f_{21} \cdot V_{kp} \cdot P_2 \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_2 - P_{21}}{B \cdot P_2 - P_{21}} - \frac{V_2}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_2}{dt} = 0; \\ \mu_{21} \cdot f_{21} \cdot V_{kp} \cdot P_2 \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_2 - P_{21}}{B \cdot P_2 - P_{21}} - \mu_{n2} \cdot f_{n2} \cdot V_{kp} \cdot P_{21} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{21} - P_{n2}}{B \cdot P_{21} - P_{n2}} - \\ - \mu_{12} \cdot f_{12} \cdot V_{kp} \cdot P_{21} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{21} - P_{12}}{B \cdot P_{21} - P_{12}} - \frac{V_{21}}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_{21}}{dt} = 0; \quad \mu_{n1} \cdot f_{n1} \cdot V_{kp} \cdot P_2 \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_2 - P_{n1}}{B \cdot P_2 - P_{n1}} - \frac{V_{n1}}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_{n1}}{dt} = 0; \\ \mu_{11} \cdot f_{11} \cdot V_{kp} \cdot P_2 \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_2 - P_{11}}{B \cdot P_2 - P_{11}} - \frac{V_{11}}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_{11}}{dt} = 0; \quad \mu_{n2} \cdot f_{n2} \cdot V_{kp} \cdot P_{21} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{21} - P_{n2}}{B \cdot P_{21} - P_{n2}} - \frac{V_{n2}}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_{n2}}{dt} = 0; \\ \mu_{12} \cdot f_{12} \cdot V_{kp} \cdot P_{21} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{21} - P_{12}}{B \cdot P_{21} - P_{12}} - \frac{V_{12}}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_{12}}{dt} = 0. \end{array} \right. \quad (11)$$

– спорожнення:

$$\left\{ \begin{array}{l} -\mu_2 \cdot f_2 \cdot V_{kp} \cdot P_2 \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_2 - P_a}{B \cdot P_2 - P_a} + \mu_{n1} \cdot f_{n1} \cdot V_{kp} \cdot P_{n1} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{n1} - P_2}{B \cdot P_{n1} - P_2} + \\ + \mu_{11} \cdot f_{11} \cdot V_{kp} \cdot P_{11} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{11} - P_2}{B \cdot P_{11} - P_2} + \mu_{21} \cdot f_{21} \cdot V_{kp} \cdot P_{21} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{21} - P_2}{B \cdot P_{21} - P_2} - \frac{V_2}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_2}{dt} = 0; \\ -\mu_{21} \cdot f_{21} \cdot V_{kp} \cdot P_{21} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{21} - P_2}{B \cdot P_{21} - P_2} + \mu_{n2} \cdot f_{n2} \cdot V_{kp} \cdot P_{n2} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{n2} - P_{21}}{B \cdot P_{n2} - P_{21}} + \\ + \mu_{12} \cdot f_{12} \cdot V_{kp} \cdot P_{12} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{12} - P_{21}}{B \cdot P_{12} - P_{21}} - \frac{V_{21}}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_{21}}{dt} = 0; \quad -\mu_{n1} \cdot f_{n1} \cdot V_{kp} \cdot P_{n1} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{n1} - P_2}{B \cdot P_{n1} - P_2} - \frac{V_{n1}}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_{n1}}{dt} = 0; \\ -\mu_{11} \cdot f_{11} \cdot V_{kp} \cdot P_{11} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{11} - P_2}{B \cdot P_{11} - P_2} - \frac{V_{11}}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_{11}}{dt} = 0; \quad -\mu_{n2} \cdot f_{n2} \cdot V_{kp} \cdot P_{n2} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{n2} - P_{21}}{B \cdot P_{n2} - P_{21}} - \frac{V_{n2}}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_{n2}}{dt} = 0; \\ -\mu_{12} \cdot f_{12} \cdot V_{kp} \cdot P_{12} \cdot \frac{A}{R \cdot T} \cdot \frac{P_{12} - P_{21}}{B \cdot P_{12} - P_{21}} - \frac{V_{12}}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dP_{12}}{dt} = 0. \end{array} \right. \quad (12)$$

**Висновок.** Використання наведеної універсальної математичної моделі ППІ СМ дозволяє моделювати роботу як одноконтурного так і двохконтурного гальмівного привода двохвісних, а також двохконтурного гальмівного привода трьохвісних СМ.

**Список літератури:** 1. *Бартош П.Р.* Исследование динамики и повышение быстродействия пневматического тормозного привода большегрузных прицепов: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.03 “Автомобили и тракторы” / *П.Р. Бартош*. – Минск, 1977. – 21 с. 2. *Рамирес Рехала Маркос Деметрио.* Оценка влияния динамической стадии на процесс торможения грузовых автомобилей с пневматическим приводом тормозов: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.03 “Автомобили и тракторы” / *Рамирес Рехала Маркос Деметрио.* – Харьков, 1982. – 22 с. 3. *Кравець Ф.К.* Обоснование параметров питающей части при работе пневматического тормозного привода большегрузных автомобилей и автопоездов в циклическом режиме: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.03 “Автомобили и тракторы” / *Ф.К. Кравець.* – Харьков, 1985. – 23 с. 4. *Нагорняк С.Г.* Обоснование структуры и параметров пневматических тормозных приводов перспективных городских автобусов: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.03 “Автомобили и тракторы” / *С.Г. Нагорняк.* – Харьков, 1985. – 23 с. 5. *Попов А.И.* Разработка и исследование электропневматического тормозного привода автопоезда: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.03 “Автомобили и тракторы” / *А.И. Попов.* – М., 1989. – 20 с. 6. Повышение эффективности торможения автотранспортных средств с пневматическим тормозным приводом / *Туренко А.Н., Богомолов В.А., Клименко В.И., Кирчатый В.И.* – Харьков: ХГАДТУ, 2000. – 472 с. 7. *Туренко А.Н.* Повышение эффективности торможения грузовых и пассажирских автотранспортных средств с пневматическим тормозным приводом. Монография. / *Анатолий Николаевич Туренко.* – Харьков: ХГАДТУ, 1997. – 353 с. 8. *Герц Е.В.* Пневматические приводы. Теория и расчет / *Елена Васильевна Герц.* – М.: Машиностроение, 1969.– 359 с. 9. *Герц Е.В.* Пневматика и гидравлика / *Елена Васильевна Герц.* – М.: Машиностроение, 1973.– 320 с. 10. *Герц Е.В.* Расчет пневмоприводов. Справочное пособие/ *Е.В. Герц, Г.В. Крейнин* – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с. – (Библиотека конструктора). 11. *Герц Е.В.* Динамика пневматических систем машин / *Елена Васильевна Герц.* – М.: Машиностроение, 1985.– 256 с. 12. *Бондаренко А.І.* Удосконалення процесів модуляції тиску в пневматичному гальмівному приводі автомобілів: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.02 «Автомобілі та трактори» / *Бондаренко Анатолій Ігорович.* – Харьков, 2010. – 203с. 13. *Крамской А.В.* Совершенствование методов расчета динамики пневмоаппаратов и пневматического тормозного привода автотранспортных средств: дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.02 «Автомобили и тракторы» / *Крамской Александр Владимирович.* – Харьков, 2006. – 270 с. 14. *Метлюк Н.Ф.* Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобиля / *Н.Ф. Метлюк, В.П. Автушко.* – М.: Машиностроение, 1980. – 231 с. – (Библиотека конструктора).

**Bibliography (transliterated):** 1. *Bartosh P.R.* Issledovanie dinamiki i povyshenie bystrodejstvija pnevmaticeskogo tormoznogo privoda bolshegruznyh pricepov: avtoref. dis. na soiskanie uch. stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.05.03 “Avtomobili i traktory” / *P.R. Bartosh.* – Minsk, 1977. – 21 p. 2. *Ramires Rehala Markos Demetrio.* Ocenka vlijanija dinamicheskoj stadii na process tormozhenija gruzovyh avtomobilej s pnevmaticeskim

privodom tormozov: avtoref. dis. na soiskanie uch. stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.05.03 “Avtomobili i traktory” / *Ramires Rehala Markos Demetrio*. – Kharkov, 1982. – 22 p.

**3.** *Kravec F.K.* Obosnovanie parametrov pitajushhej chasti pri rabote pnevmaticheskogo tormoznogo privoda bolshegruznyh avtomobilej i avtopoezdov v ciklicheskom rezhime: avtoref. dis. na soiskanie uch. stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.05.03 “Avtomobili i traktory” / *F.K. Kravec*. – Kharkov, 1985. – 23 p.

**4.** *Nagornjak S.G.* Obosnovanie struktury i parametrov pnevmaticheskix tormoznyh privodov perspektivnyh gorodskih avtobusov: avtoref. dis. na soiskanie uch. stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.05.03 “Avtomobili i traktory” / *S.G. Nagornjak*. – Kharkov, 1985. – 23 p.

**5.** *Popov A.I.* Razrabotka i issledovanie jelektropnevmaticheskogo tormoznogo privoda avtopoezda: avtoref. dis. na soiskanie uch. stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.05.03 “Avtomobili i traktory” / *A.I. Popov*. – M Moscow, 1989. – 20 p.

**6.** Povyszenie jeffektivnosti tormozhenija avtotransportnyh sredstv s pnevmaticheskim tormoznym privodom / *Turenko A.N., Bogomolov V.A., Klimenko V.I., Kirchatyj V.I.* – Kharkov: HGADTU, 2000. – 472 p.

**7.** *Turenko A.N.* Povyszenie jeffektivnosti tormozhenija gruzovyh i passazhirskih avtotransportnyh sredstv s pnevmaticheskim tormoznym privodom. Monografija. / *Anatolij Nikolaevich Turenko*. – Kharkov: HGADTU, 1997. – 353 p.

**8.** *Gerc E.V.* Pnevmaticheskie privody. Teorija i raschet / *Elena Vasilevna Gerc*. – Moscow: Mashinostroenie, 1969.– 359 p.

**9.** *Gerc E.V.* Pnevmatika i gidravlika / *Elena Vasilevna Gerc*. – Moscow: Mashinostroenie, 1973.– 320 p.

**10.** *Gerc E.V.* Raschet pnevmoprivodov. Spravochnoe posobie/ *E. V. Gerc, G.V. Krejnin* – Moscow: Mashinostroenie, 1975. – 272 p. – (Biblioteka konstruktora).

**11.** *Gerc E.V.* Dinamika pnevmaticheskix sistem mashin / *Elena Vasilevna Gerc*. – Moscow: Mashinostroenie, 1985.– 256 p.

**12.** *Bondarenko A.I.* Udoskonalennja procesiv moduljaciï tisku v pnevmatichnomu galmivnomu privodi avtomobiliv: dis. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk: spec. 05.22.02 «Avtomobili ta traktori» / *Bondarenko Anatolij Igorovich*. – Kharkov, 2010. – 203 p.

**13.** *Kramskoj A.V.* Sovershenstvovanie metodov rascheta dinamiki pnevmoapparatov i pnevmaticheskogo tormoznogo privoda avtotransportnyh sredstv: dis. na soiskanie uch. stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.22.02 «Avtomobili i traktory» / *Kramskoj Aleksandr Vladimirovich*. – Kharkov, 2006. – 270 p.

**14.** *Metljuk N.F.* Dinamika pnevmaticheskix i gidravlicheskih privodov avtomobilja / *N.F. Metljuk, V.P. Avtushko*. – Moscow: Mashinostroenie, 1980. – 231 p. – (Biblioteka konstruktora).

*Надійшла (received) 26.01.2015*