

УДК 629.114-592

І.В. Рогозін

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАПОБІЖНОГО ПРИСТРОЮ ПНЕВМАТИЧНОГО ПРИВОДУ РОБОЧОЇ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ НА ПРОЦЕС ГАЛЬМУВАННЯ ЗАСОБУ РУХОМОСТІ НАЗЕМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДІЙ АВІАЦІЇ

Запропонована математична модель робочої гальмівної системи (РГС) засобу рухомості (ЗР) засобу наземного забезпечення дій авіації (ЗНЗДА) з захисним пристроєм. Дослідженій вплив площі прохідного перерізу пошкодження трубопроводу, через яку відбувається витік повітря на ділянці між гальмівним краном і гальмівною камерою, на процес гальмування ЗР. Наданий варіант встановлення запобіжних пристроїв у РГС ЗР.

**Ключові слова:** засіб рухомості, засіб наземного забезпечення дій авіації, математична модель, пневматичний привід, площа прохідного перерізу пошкодження.

### Вступ

**Постановка проблеми.** У ПС ЗС України більшість ЗР ЗНЗДА – це автомобілі ЗИЛ-131, які знаходяться в експлуатації понад 20 років. Тому найближчим часом буде потрібно вирішувати питання їх заміни або проведення ремонту (регламентованого (РР) або капітального (КР)). Також відомо, що вихід з ладу (пошкодження герметичності) пневматичного приводу робочої гальмівної системи (РГС) може привести до втрати управління ЗР ЗНЗДА і, як правило, до ДТП або авіаційної пригоди (інциденту).

В РГС автомобіля ЗИЛ-131 відсутні захисні пристрої на випадок виникнення негерметичності у його пневматичному приводі. Тому під час їх КР або РР можливо провести модернізацію пневматичного приводу РГС з встановленням запобіжного пристрою [1].

**Аналіз останніх публікацій.** Виключенню виходу з ладу пневматичного приводу РГС ЗР та дослідженню процесів, що відбуваються в ньому при виникненні пошкодження, завжди приділялася велика увага [1 – 3].

Широке поширення на вантажних ЗР одержала так звана «камазовська» гальмівна система, яка передбачає поєднання робочої та запасної гальмівних систем. Запасна гальмівна система блокує задні колеса ЗР якщо тиск повітря в пневмоприводі нижче за встановленим порогом. При цьому подальший рух ЗР ЗНЗДА, та відповідно, виконання завдання за призначенням неможливі.

У теперішній час в конструкції пневмопривода контуру середнього моста РГС автомобіля КРАЗ-6322 застосовується комбінація з перепускного двомагістрального та прискорювального клапану. У разі виходу з ладу (пошкодження герметичності) контуру заднього і середнього моста, прискорювальний клапан спрацьовує від тиску, підведеного від

верхньої секції гальмівного крана (приводу переднього контуру).

Проте, проблему витрати (витоку) стислого повітря з ділянки пошкодженого трубопроводу надана конструкція не вирішує [1].

**Мета дослідження.** Дослідження впливу запобіжних пристроїв на гальмівну динаміку ЗР ЗНЗДА.

### Виклад основного матеріалу

У статті розглянутий варіант встановлення запобіжних пристроїв в пневмопривід РГС. Запропонована схема РГС з запобіжними пристроями (рис. 1) захищає ділянки трубопроводів 9 та 13, як найбільш вірогідних щодо порушення герметичності. При використанні наданої схеми у випадку порушення герметичності будь якої з ділянок (I, II, IV, V, VII, VIII) площею прохідного перерізу більш  $2,38 \times 10^{-5} \text{ м}^2$  спрацьовує запобіжний пристрій й тому витік повітря до атмосфери зупиняється. Поведінка ЗР у випадку, коли під час гальмування спрацьовує запобіжний пристрій, невідома.

Для дослідження процесу роботи пневматичного приводу РГС ЗР можливо використовувати математичну модель [2], побудова якої основана на розрахунку наповнення (прирощення маси стислого повітря) об'єму ділянок (з I по VIII) пневмоприводу РГС, витрати повітря через порушення герметичності й, відповідно, витоку (зниження маси стислого повітря) з об'єму ресиверів 2 з урахуванням зв'язку показників маси, тиску та густини цього повітря (рис. 1). Для визначення поведінки ЗР під час виникнення несправності необхідно включити до загальної моделі рівняння роботи гальмівних механізмів та руху саме ЗР.

Як відомо, на ЗИЛ-131 встановлений двоколовий гальмівний механізм з фіксованим кулаком (рис. 2). Тому оцінка гальмівного моменту, який створюється на колесі, може бути проведена за виразом, відомим з роботи [3], як:

$$M_T = 2\mu \cdot r_6 (a + c) \cdot P_1 \cdot \frac{1}{c - \mu \cdot e}, \quad (1)$$

де  $P_1$  і  $P_2$  – сила тиску кулака на ліву та праву колодки, відповідно, Н;

$\mu$  – коефіцієнт тертя колодки об барабан;

$r_6$  – радіус барабана, м;

$a, c, e$  – геометричні розміри, м.

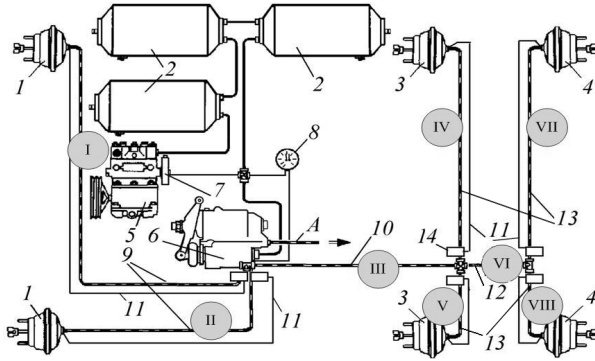


Рис. 1. Схема встановлення запобіжних пристроїв в пневмоприводі РГС ЗР (ЗИЛ-131):

- 1 – гальмівна камера переднього моста; 2 – ресивер;
- 3 – гальмівна камера середнього моста; 4 – гальмівна камера заднього моста; 5 – компресор; 6 – гальмівний кран;
- 7 – регулятор тиску; 8 – манометр двохстрілочний; 9, 10, 12, 13 – трубопроводи підведення повітря до гальмівних камер;
- 11 – трубопровід зворотного зв'язку;
- 14 – запобіжний пристрій; А – підведення повітря до гальмівної системи причепа;
- I – VIII – ділянки повітропроводу

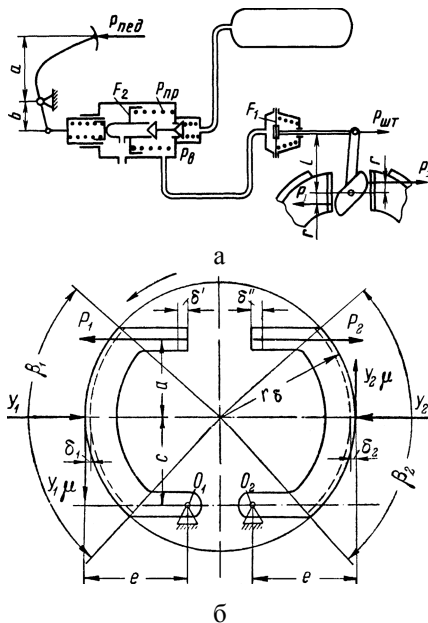


Рис. 2. Схема пневматичного приводу РГС: а – загальної конструкції; б – сил, що діють на колодки гальмівного механізму

Сила тиску кулака на ліву колодку визначається за виразом [3]:

$$P_1 = \frac{M_B}{r} \cdot \left( 1 - \frac{1}{\left( 1 + \frac{c - \mu \cdot e}{c + \mu \cdot e} \right)} \right). \quad (2)$$

де  $M_B$  – момент, що розтикає, на валу розтиського кулака, Н·м;  $r$  – радіус розтиського кулака, м.

Кутове сповільнення коліс і-ої осі ( $1/c^2$ ) визначається за відомою формулою:

$$\dot{\omega}_i = \frac{d\omega_i}{dt} = \frac{-M_T + Z_i \cdot r_k \cdot \varphi}{I_k}, \quad (3)$$

де  $I_k$  – момент інерції колеса, кг·м<sup>2</sup>;  $\varphi$  – коефіцієнт зчеплення;  $r_k$  – радіус колеса (приймаємо, що він дорівнює динамічному  $r_k = r_d$ ), м;  $Z_i$  – вага навантаження на і-ту вісь (Н), яка визначається за формулами (рис. 3):

для передньої осі

$$Z_1 = \frac{G_{зр}}{L_0} \cdot \left( a_2 + \frac{j_{зр}}{g} \cdot h_g \right); \quad (4)$$

для середньої та задньої осі

$$Z_2 = Z_3 = \frac{G_{зр}}{2 \cdot L_0} \cdot \left( a_1 + \frac{j_{зр}}{g} \cdot h_g \right), \quad (5)$$

де  $L_0, a_1, a_2$  – геометричні параметри ЗР, м;  $h_g$  – висота центру мас ЗР, м;  $G_{зр}$  – вага ЗР, Н;  $j_{зр}$  – лінійне сповільнення ( $м/с^2$ ), яке визначається за формулою:

$$j_{зр} = \frac{\sum_{i=1}^6 P_{г,i}}{T_{зр}}, \quad (6)$$

де  $m_{зр}$  – маса ЗР, кг;  $P_{г,i}$  – гальмівна сила колеса і-ої осі (Н), яка визначається за формулою:

$$P_{г,i} = Z_i \cdot \varphi_x(S). \quad (7)$$

де  $\varphi_x(S)$  – коефіцієнт зчеплення колеса з поверхнею дороги [4].

Швидкість руху та пугь ЗР під час гальмування визначається за формулами:

$$V_{зр} = V_0 + \int_0^t j_{зр} dt; \quad (8)$$

$$S_r = \int_0^t V_{зр} dt, \quad (9)$$

де  $V_{зр}$  – швидкість руху ЗР під час гальмування, м/с;

$V_0$  – швидкість руху ЗР до початку гальмування, м/с;

$t_r$  – час гальмування, с;

$S_r$  – гальмівний шлях.

Коефіцієнт відносного повздовжнього ковзання еластичного колеса визначається за виразом:

$$S = \frac{V_{зр} - \omega \cdot r_k}{V_{зр}} \quad (10)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість (1/с), яка визначається за виразом:

$$\omega = \frac{V_0}{r_k} + \int_0^t \dot{\omega} dt \quad (11)$$

Якщо  $S$  дорівнює або більше одинці – колеса ЗР заблоковані ( $\dot{\omega} = 0$ ) і (6) змінюється на вираз:

$$\dot{j}_{г.і} = g \cdot \Phi_{бл.}, \quad (12)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\Phi_{бл.}$  – коефіцієнт тертя колеса по поверхні дороги.

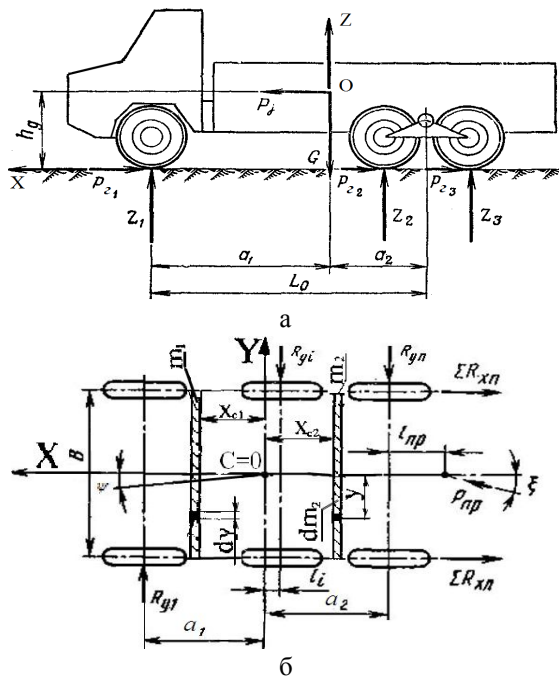


Рис. 3. Схема сил, діючих на трьохвісний ЗР під час гальмування при нерівності гальмівних сил на колесах різних бортів: а – вигляд збоку; б – вигляд зверху

У разі відмови контуру пневматичного приводу гальмівної системи коліс правого (ділянки I, IV, VII) або лівого боку (ділянки II, V, VIII) ЗР виникає нерівномірність гальмівних сил на колесах, яка створює повертаючий момент в площині дороги (рис. 3), що в свою чергу може стати причиною ДТП.

Гальмівна сила на колесах лівого і правого бортів, відповідно, визначається виразами:

$$R_{хл} = \sum_{i=1}^3 \frac{P_{г.л}}{r_k}; \quad (13)$$

$$R_{хпр} = \sum_{i=1}^3 \frac{P_{г.пр}}{r_k}, \quad (14)$$

Повертаючий момент, який створюється за різницею гальмівних сил, визначається за формулою:

$$M_{пм} = \left( \sum R_{хл} - \sum R_{хпр} \right) \cdot \frac{B}{2}, \quad (15)$$

де  $B$  – колія ЗР, м.

Рівняння поворотного руху ЗР за цими умовами має вигляд:

$$I_z \cdot \ddot{\psi} = M_{пм} - \sum R_{yi} \cdot l_i, \quad (16)$$

де  $\psi$  – кут розвороту (курсний кут) машини;  $I_z$  – момент інерції машини відносно осі  $OZ$ , кг·м<sup>2</sup>;  $l_i$  – відстань по горизонталі від центру мас ЗР до  $i$ -тої осі, м.

При значних величинах гальмівних сил ( $R_{xi} = R_{ti}$ ) бічні реакції не можуть бути великими, а при заблокованих колесах вони дорівнюють нулю. В результаті отримуємо вираз:

$$\ddot{\psi} = \frac{M_{пм}}{I_z}, \quad \text{або} \quad M_{пм} = I_z \cdot \ddot{\psi} \quad (17)$$

Момент інерції автомобіля щодо його вертикальної осі  $OZ$  можна визначити [5]:

$$I_z = m_{зр} \left( x_{c2}^2 \cdot \frac{a_1}{a_2} + \frac{B^2}{12} \right), \quad (18)$$

де  $m_{зр}$  – маса ЗР, кг;  $x_{c1}$  і  $x_{c2}$  – відстані від центрів мас  $m_1$  і  $m_2$  до поперечної осі ЗР, м.

Умовні маси  $m_1$  і  $m_2$  представляємо у вигляді лінії (сукупності точкових мас), паралельної осі  $OY$ , і віддаленої від неї на відстані  $x_{c1}$  і  $x_{c2}$ .

Виконавши подвійну інтеграцію (16) і підставивши початкові умови  $t = 0$ ;  $\psi = 0$ , виведемо формулу для визначення кута розвороту машини:

$$\psi = \frac{M_{пм} \cdot t_{уст}^2}{2I_z}. \quad (19)$$

За наданою математичною моделлю та даними, що відповідають конструктивним параметрами РГС ЗР ЗНЗДА (ЗИЛ-131), були побудовані графічні залежності гальмівного шляху та сповільнення (рис. 4 а), кута повороту ЗР при нерівності гальмівних сил (рис. 4, б) від часу. За умовами гальмування ЗР до повної зупинки на рисунку наведені залежності: 1, 4, 7 – спрацювання запобіжного пристрою; 2, 5, 8 – порушення герметичності (площа перерізу пошкодження  $2,38 \times 10^5 \text{ м}^2$ ); 3, 6 – гальмування зі справною гальмівною системою.

### Висновки

Таким чином, запобіжний пристрій у випадку порушення герметичності трубопроводу площею прохідного перерізу  $2,38 \times 10^5 \text{ м}^2$  та більше відсікає

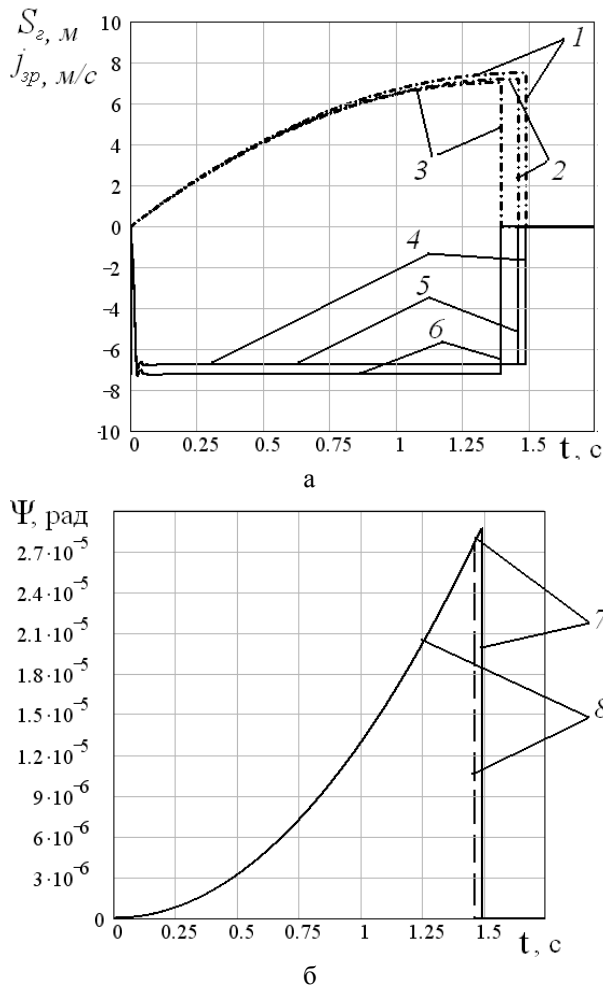


Рис. 4. Графіки залежності від часу: а – гальмівного шляху (1, 2, 3) та сповільнення (4, 5, 6) ; б – кута повороту ЗР при нерівності гальмівних сил (6, 7)

пошкоджену ділянку. При цьому збільшення гальмівного шляху не перевищує 0,4 м, а кут відхилення ЗР  $0,2 \times 10^{-5}$  рад.

### Список літератури

1. Гецович Е.М. Влияние площади проходного сечения повреждения на давление в пневматическом приводе рабочей тормозной системы / Е.М. Гецович, И.В. Рогозин, В.В. Сидоров // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 2(60). – С. 75-79.
2. Гецович Є.М. Математична модель пневматичного приводу робочої гальмівної системи з захисним пристроєм / Є.М. Гецович, І.В. Рогозін // Системи озброєння та військова техніка: наук. журнал. – Х.: ХУПС. – 2009. – Вип. 2(18). – С. 59-64.
3. Рогозин И.В. Математическая модель экстренного одноразового торможения АТС. Механіка та машинобудування / И.В. Рогозин. – Х.: АНВШУ, НТУ «ХПИ», 2004 – С. 188-194.
4. Гецович Е.М. Адаптивные тормозные системы армейских колесных машин. – Х.: ХГПУ, 1999. – Том 1. – 187 с.
5. Подригало М.А., Волков В.П., Кирчатий В.И., Бобошко А.А. Маневренность и тормозные свойства колесных машин. – Х.: ХГАДТУ. – 2002. – 403 с.

Надійшла до редколегії 28.11.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.А. Подригало, Харківський національний автомобільний університет, Харків.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА РАБОЧЕЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ НА ПРОЦЕСС ТОРМОЖЕНИЯ СРЕДСТВА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ НАЗЕМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЙСТВИЙ АВИАЦИИ

І.В. Рогозін

Предложена математическая модель рабочей тормозной системы (РГС) средства подвижной (ЗР) средства наземного обеспечения действий авиации (ЗНЗДА) с защитным устройством. Исследованное влияние площади проходного перерезу повреждения трубопровода, через которую происходит исток воздуха на участке между тормозным краном и тормозной камерой, на процесс торможения ЗР. Предоставлен вариант установления предохранительных устройств в РГС ЗР.

**Ключевые слова:** средство подвижной, средство наземного обеспечения действий авиации, математическая модель, пневматический привод, площадь проходного перерезу повреждения.

### RESEARCH OF INFLUENCING OF PREVENTIVE DEVICE OF PNEUMATIC OCCASION OF WORKING BRAKE SYSTEM ON THE PROCESS OF BRAKING OF MEAN OF MOBILE

I.V. Rogozin

The mathematical model of the working brake system (WBS) of mean of the surface providing actions aviation (MSPAA) is offered with the protective device of mean mobility (MM). To probed influencing of area of the communicating crossing of damage of pipeline, through which a source of air is on an area between a brake faucet and brake chamber, on the process of braking of MM. The variant of establishment of preventive devices is given in WBS MM.

**Keywords:** mean of mobile, mean of the surface providing of actions of aviation, mathematical model, pneumatic occasion, area of the communicating crossing of damage.