



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 110562

(13) C2

(51) МПК

B64G 1/24 (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2014 08713

(22) Дата подання заявки: 01.08.2014

(24) Дата, з якої є чинними  
права на винахід: 12.01.2016

(41) Публікація відомостей  
про заявку: 10.02.2015, Бюл.№ 3

(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: 12.01.2016, Бюл.№ 1

(72) Винахідник(и):

Кулік Анатолій Степанович (UA),  
Бандура Іван Миколайович (UA),  
Бортник Христина Романівна (UA)

(73) Власник(и):

НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМ. М.Є. ЖУКОВСЬКОГО  
"ХАРКІВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ",  
вул. Чкалова, 17, м. Харків, 61070 (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги  
експертизою:

UA 11855 U, 16.01.2006  
UA 35086 U, 26.08.2008  
UA 87087 U, 27.01.2014  
UA 36544 U, 27.10.2008  
US 5020744 A, 04.06.1991  
US 4599697 A, 08.07.1986

## (54) СИСТЕМА ДЕМПФІРУВАННЯ КУТОВИХ ШВИДКОСТЕЙ ВІСЕСИМЕТРИЧНОГО КОСМІЧНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

### (57) Реферат:

Система демпфірування кутових швидкостей вісесиметричного космічного літального апарата належить до систем орієнтації і кутової стабілізації космічного літального апарата. Винахід містить датчик подовжньої кутової швидкості, датчики першої та другої поперечних кутових швидкостей, блок керування виконавчими органами першого і другого поперечних каналів, виконавчі органи подовжнього, першого та другого поперечних каналів, між кожним датчиком і блоком керування виконавчими органами введено блок підключення відповідного датчика, введено блок визначення початку демпфірування подовжньої швидкості, блок діагностики датчика подовжньої кутової швидкості, блок визначення подовжньої кутової швидкості, блок діагностики датчика першої поперечної кутової швидкості, блок максимуму першої поперечної кутової швидкості, блок діагностики датчика другої поперечної кутової швидкості, блок максимуму другої поперечної кутової швидкості. Винахід дозволяє підвищити надійність та мінімальні витрати робочого тіла.

UA 110562 C2

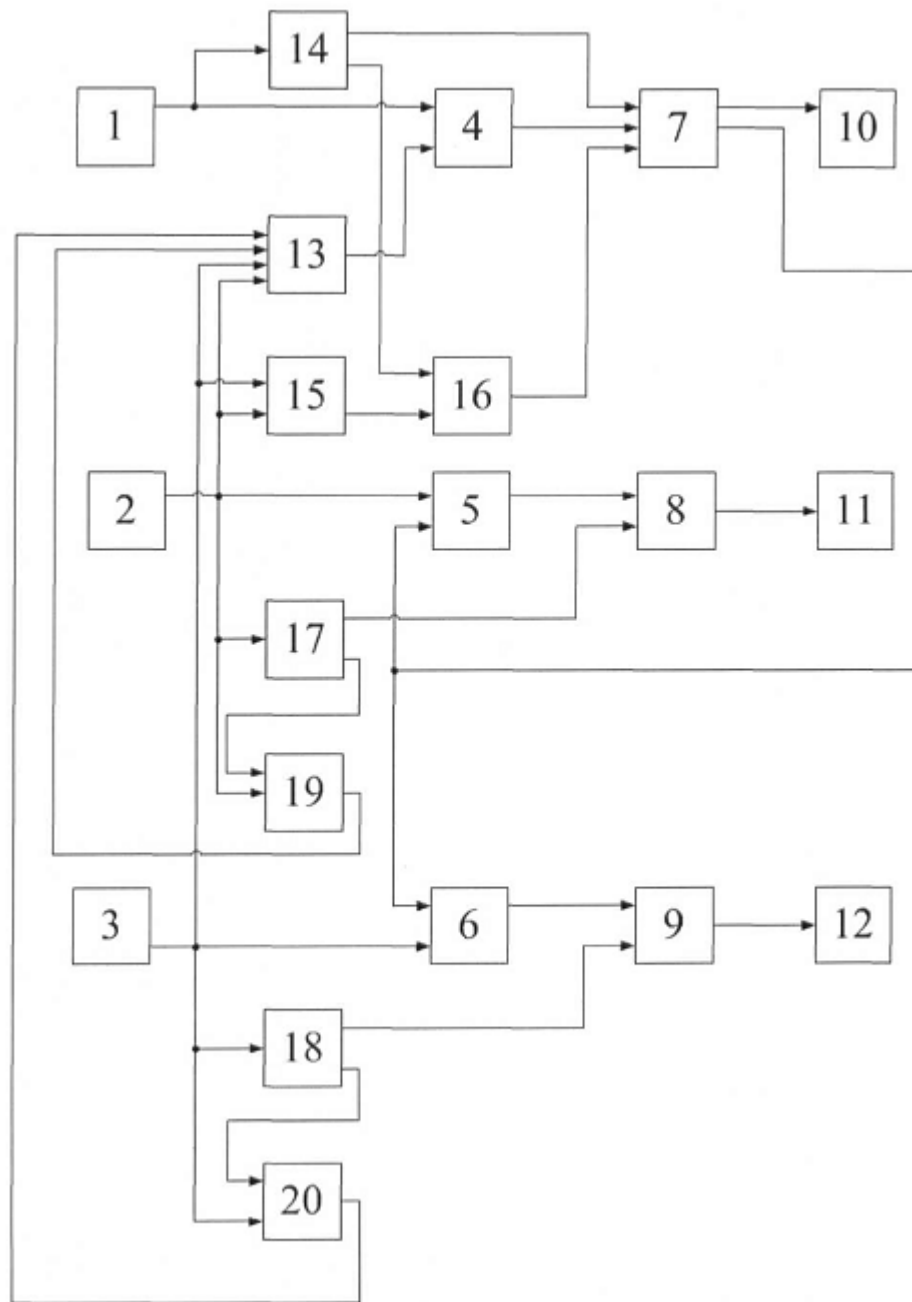


Fig.

Система демпфірування кутових швидкостей вісесиметричного космічного апарата з реактивними виконавчими органами по трьох осях належить до систем орієнтації і кутової стабілізації космічного літального апарата.

Існує система демпфірування кутових швидкостей вісесиметричного космічного апарата [див. Разыграев А. П. Основы управления полетом космических аппаратов и кораблей. М., "Машиностроение", 1977, с. 120-127], яка містить датчик подовжньої кутової швидкості, датчики першої та другої поперечних кутових швидкостей, блок керування виконавчими органами подовжнього каналу, блоки керування виконавчими органами першого і другого поперечних каналів, виконавчі органи подовжнього, першого та другого поперечних каналів, входи яких з'єднані з виходами відповідних блоків керування.

Недоліком цієї системи є низька надійність та велика витрата робочого тіла для гасіння кутових швидкостей.

Відома система демпфірування кутових швидкостей вісесиметричного космічного літального апарата, взята за прототип, (Патент України на корисну модель №11855, B64G1/24, 2006 р., опубл. бюл. № 1), що містить датчик подовжньої кутової швидкості, датчики першої та другої поперечних кутових швидкостей, блок керування виконавчими органами подовжнього каналу, блоки керування виконавчими органами першого і другого поперечних каналів, виконавчі органи подовжнього, першого та другого поперечних каналів, входи яких з'єднані з виходами відповідних блоків керування, між кожним датчиком і блоком керування виконавчими органами введено блок підключення відповідного датчика, введено блок визначення початку демпфірування подовжньої швидкості, перший вхід якого з'єднаний з виходом датчика першої поперечної кутової швидкості, другий вхід - з виходом датчика другої поперечної кутової швидкості, а вихід - з другим входом блока підключення датчика подовжньої кутової швидкості, другий вихід блока керування виконавчими органами подовжнього каналу з'єднаний з другими входами блоків підключення датчиків першої і другої поперечних кутових швидкостей.

Недоліком цієї системи є її низька надійність через непрацездатність системи демпфірування кутових швидкостей при наявності відмови датчика подовжньої кутової швидкості і одного із датчиків поперечної кутової швидкості.

Задачею винаходу є підвищення надійності за рахунок забезпечення працездатності системи демпфірування кутових швидкостей шляхом побічного визначення подовжньої кутової швидкості при відмові датчика подовжньої кутової швидкості і визначення максимального значення модуля однієї з поперечних кутових швидкостей при відмові датчика другої поперечної кутової швидкості.

Поставлена задача вирішується тим, що в систему демпфірування кутових швидкостей вісесиметричного космічного літального апарата, що містить датчик подовжньої кутової швидкості, датчики першої та другої поперечних кутових швидкостей, блок керування виконавчими органами подовжнього каналу, блоки керування виконавчими органами першого і другого поперечних каналів, виконавчі органи подовжнього, першого та другого поперечних каналів, входи яких з'єднані з виходами відповідних блоків керування, між кожним датчиком і блоком керування виконавчими органами розміщений блок підключення відповідного датчика, розміщений блок визначення початку демпфірування подовжньої швидкості, перший вхід якого з'єднаний з виходом датчика першої поперечної кутової швидкості, другий вхід - з виходом датчика другої поперечної кутової швидкості, а вихід - з другим входом блока підключення датчика подовжньої кутової швидкості, другий вихід блока керування виконавчими органами подовжнього каналу з'єднаний з другими входами блоків підключення датчиків першої і другої поперечних кутових швидкостей, відповідно до корисної моделі в неї введені блок діагностики датчика подовжньої кутової швидкості, вхід якого з'єднаний з виходом датчика подовжньої кутової швидкості, а перший його вихід з'єднаний з другим входом блока керування виконавчими органами подовжнього каналу, блок визначення подовжньої кутової швидкості, перший і другий входи якого з'єднані з виходами датчиків першої і другої поперечних кутових швидкостей, відповідно, а його вихід через блок визначення часу гасіння подовжньої кутової швидкості підключений до третього входу блока керування виконавчими органами подовжнього каналу, другий вихід блока діагностики датчика подовжньої кутової швидкості підключений до другого входу блока визначення часу гасіння подовжньої кутової швидкості, блок діагностики датчика першої поперечної кутової швидкості, вхід якого з'єднаний з виходом датчика першої поперечної кутової швидкості, а перший його вихід з'єднаний з другим входом блока керування виконавчими органами першого поперечного каналу, другий його вихід через блок максимуму першої поперечної кутової швидкості з'єднаний з третім входом блока визначення початку демпфірування повздовжньої швидкості, другий вхід блока максимуму першої поперечної кутової швидкості підключений до виходу датчика першої поперечної кутової швидкості, блок

діагностики датчика другої поперечної кутової швидкості, вхід якого з'єднаний з виходом датчика другої поперечної кутової швидкості, а перший його вихід з'єднаний з другим входом блока керування виконавчими органами другого поперечного каналу, другий його вихід через блок максимуму другої поперечної кутової швидкості з'єднаний з четвертим входом блоку визначення початку демпфірування подовжньої швидкості, другий вхід блока максимуму другої поперечної кутової швидкості підключений до виходу датчика другої поперечної кутової швидкості.

Суть винаходу пояснюється кресленням, де на кресленні представлена структурна схема системи демпфірування кутових швидкостей космічного літального апарата з реактивними виконавчими органами.

Система містить датчик подовжньої кутової швидкості 1, датчик першої поперечної кутової швидкості 2, датчик другої поперечної кутової швидкості 3, блок 4 підключення датчика 1, блок 5 підключення датчика 2, блок 6 підключення датчика 3, блок 7 керування виконавчими органами подовжнього каналу, блок 8 керування виконавчими органами першого поперечного каналу, блок 9 керування виконавчими органами другого поперечного каналу, виконавчі органи подовжнього каналу 10, виконавчі органи першого поперечного каналу 11, виконавчі органи другого поперечного каналу 12, блок 13 визначення початку демпфірування подовжньої швидкості, блок 14 діагностики датчика подовжньої кутової швидкості, блок 15 визначення подовжньої кутової швидкості, блок 16 визначення часу гасіння подовжньої кутової швидкості, блок 17 діагностики датчика першої поперечної кутової швидкості, блок 18 діагностики датчика другої поперечної кутової швидкості, блок 19 максимуму першої поперечної кутової швидкості, блок 20 максимуму другої поперечної кутової швидкості, виконавчі органи подовжнього, першого та другого поперечних каналів, входи яких з'єднані з виходами відповідних блоків керування, між кожним датчиком і блоком керування виконавчими органами розміщений блок підключення відповідного датчика, блок визначення початку демпфірування подовжньої швидкості, перший вхід якого з'єднаний з виходом датчика першої поперечної кутової швидкості, другий вхід - з виходом датчика другої поперечної кутової швидкості, а вихід - з другим входом блока підключення датчика подовжньої кутової швидкості, другий вихід блока керування виконавчими органами подовжнього каналу з'єднаний з другими входами блоків підключення датчиків першої і другої поперечних кутових швидкостей, яка відрізняється тим, що в неї введені блок діагностики датчика подовжньої кутової швидкості, вхід якого з'єднаний з виходом датчика подовжньої кутової швидкості, а перший його вихід з'єднаний з другим входом блоку керування виконавчими органами подовжнього каналу, блок визначення подовжньої кутової швидкості, перший і другий входи якого з'єднані з виходами датчиків першої і другої поперечних кутових швидкостей, відповідно, а його вихід через блок визначення часу гасіння подовжньої кутової швидкості підключений до третього входу блока керування виконавчими органами подовжнього каналу, другий вихід блока діагностики датчика подовжньої кутової швидкості підключений до другого входу блока визначення часу гасіння подовжньої кутової швидкості, блок діагностики датчика першої поперечної кутової швидкості, вхід якого з'єднаний з виходом датчика першої поперечної кутової швидкості, а перший його вихід з'єднаний з другим входом блока керування виконавчими органами першого поперечного каналу, другий його вихід через блок максимуму першої поперечної кутової швидкості з'єднаний з третім входом блока визначення початку демпфірування подовжньої швидкості, другий вхід блоку максимуму першої поперечної кутової швидкості підключений до виходу датчика першої поперечної кутової швидкості, блок діагностики датчика другої поперечної кутової швидкості, вхід якого з'єднаний з виходом датчика другої поперечної кутової швидкості, а перший його вихід з'єднаний з другим входом блоку керування виконавчими органами другого поперечного каналу, другий його вихід через блок максимуму другої поперечної кутової швидкості з'єднаний з четвертим входом блоку визначення початку демпфірування подовжньої швидкості, другий вхід блока максимуму другої поперечної кутової швидкості підключений до виходу датчика другої поперечної кутової швидкості.

Після відділення космічного апарата від носія виникають кутові швидкості, які необхідно демпфірувати. Запропонована система дозволяє вирішити цю задачу, забезпечуючи високу надійність і мінімізацію витрат робочого тіла.

Рівняння руху для вісесиметричного космічного апарата в зв'язаній системі координат OXYZ (прийmemo, що віссю симетрії є вісь X) записуються в наступному вигляді (збурюючі моменти передбачаються малими і не враховуються) [див. Алексеев К. Б., Бебенін Г. Г. Управление космическими летательными аппаратами. М., "Машиностроение", 1974, 340с.]:

$$\omega_x = m_x;$$

$$\omega_y - a \cdot \omega_z \cdot \omega_x = m_y; \quad (1)$$

$$\omega_z + a \cdot \omega_y \cdot \omega_x = m_z,$$

де  $\omega_x$ ,  $\omega_y$ ,  $\omega_z$  - проекції кутової швидкості космічного апарата на осі зв'язаної системи координат:

$\omega_x$  - подовжня кутова швидкість;

5  $\omega_y$  - перша поперечна кутова швидкість;

$\omega_z$  - друга поперечна кутова швидкість;

$m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_z$  - проекції приведенного керуючого моменту;

$a$  0 - константа.

10 Вважаємо, що в початковий момент часу складові кутової швидкості задовольняють співвідношенню  $\omega = \omega_{i0}$ ,  $i = XYZ$ . Знайдемо вільний рух апарата шляхом інтегрування системи

(1) при  $m_0 = 0$ :

$$\omega_x = \omega_{x0};$$

$$\omega_y = r_0 \cdot \sin \alpha; \quad (2)$$

$$\omega_z = r_0 \cdot \cos \alpha,$$

15 де  $r_0 = \sqrt{\omega_{y0}^2 + \omega_{z0}^2}$  - модуль поперечної кутової швидкості;

$$\alpha = a \cdot \omega_{x0} \cdot t + \arctg \frac{\omega_{y0}}{\omega_{z0}} - \text{кут між напрямком поперечної кутової швидкості і віссю } Z.$$

Швидкість зміни кута  $\alpha$  визначається як

$$\alpha' = a \omega_{x0}.$$

20 Звідки знаходимо співвідношення для визначення початкової подовжньої кутової швидкості  $\omega_{x0}$  без використання інформації з датчика кутової швидкості:

$$\omega_{x0} = \frac{\alpha'}{a}. \quad (3)$$

При вільному русі апарата  $\alpha'$  знаходимо за рахунок визначення кута  $\alpha$  на початку і в кінці заданого інтервалу:

$$\alpha' = \frac{(\alpha_k - \alpha_n)}{T_{\text{зад}}},$$

25 де:  $\alpha_n$  і  $\alpha_k$  - значення кута  $\alpha$  на початку і в кінці заданого інтервалу, відповідно;  $T_{\text{зад}}$  - подовженість заданого інтервалу.

Для гасіння  $\omega_{x0}$  необхідно забезпечити керуючий момент  $m_x$  навколо осі  $x$  на час:

$$t_x = \frac{\omega_{x0}}{m_x}. \quad (4)$$

30 При відмові датчика кутової швидкості навколо осі  $y(z)$  вільний кутовий рух (без управління) здійснюється до моменту набуття максимального значення швидкості  $|\omega_z| (|\omega_y|)$ , після чого забезпечується демпфірування швидкості  $\omega_{x0}$ .

35 Згідно з формулою (2) поперечна кутова швидкість перерозподіляється між проекціями на осі  $Y$  і  $Z$ , при цьому перша і друга поперечні кутові швидкості змінюються в часі від 0 до  $r_0$ . Коли напрямок поперечної кутової швидкості збігається з віссю  $Y$ , тоді  $\omega_y = r_0$ ,  $\omega_z = 0$ , а якщо з віссю  $Z$  -  $\omega_y = 0$ ,  $\omega_z = r_0$ . В цей час необхідно демпфірувати подовжню кутову швидкість, тоді поперечна кутова швидкість не змінюється і збігається з віссю  $Y$  чи віссю  $Z$ . При цьому при демпфіруванні поперечної кутової швидкості мінімізується витрата робочого тіла через колінеарність векторів поперечної кутової швидкості і керуючого моменту.

40 Система функціонує в такий спосіб: за допомогою датчиків 1, 2, 3 вимірюються три складові кутової швидкості, що через блоки підключення 4, 5, 6 з'єднані з блоками керування 7, 8, 9. Блоки керування 7, 8, 9 виробляють керуючі сигнали на виконавчі органи 10, 11, 12. Одночасно складові поперечної кутової швидкості з датчиків 2, 3 надходять на входи блоку визначення початку демпфірування кутових швидкостей 13, вихід якого підключений до другого входу блока 4. Другий вихід блока керування виконавчими органами подовжнього каналу з'єднаний з 45 другими виходами блоків підключення датчиків першої та другої поперечних кутових швидкостей.

Для виявлення відмови датчика 1 блок діагностики 14 на початку режиму демпфірування протягом тестового інтервалу часу  $\Delta t_T$  через другий вхід блоку 7 забезпечує включення виконавчих органів подовжнього каналу 10, для зміни кутової швидкості на тестову величину  $\Delta \omega_{TX} = m_X \Delta t_T$ . За допомогою датчика 1 вимірюється поточні значення кутової швидкості на початку і в кінці тестового інтервалу часу і визначається зміна кутової швидкості на вимірювану величину  $\omega_{BX}$ . По величині різниці  $\Delta \omega_{TX} - \dot{\Delta \omega_{BX}} = \omega_{PX}$  фіксується відмова датчика 1, коли ця різниця більша допустимої величини, і з блока 14 сигнал про відмову датчика 1 надходить на другий вхід блоку 16. При цьому блок 15 забезпечує визначення подовжньої кутової швидкості відповідно до співвідношення (3), яка надходить на перший вхід блоку 16. Блок 16 забезпечує визначення часу гасіння подовжньої кутової швидкості згідно з співвідношенням (4) і цей час надходить до третього входу блока 7.

Відмова датчика 2 (3) за допомогою блока діагностики 17(18) виявляється аналогічно відмові датчика 1. При відмові датчика 2(3) в момент набуття максимального значення швидкості  $|\omega_z| (|\omega_y|)$  блок максимуму 20 (19) видає сигнал на четвертий (третій) вхід блоку 13.

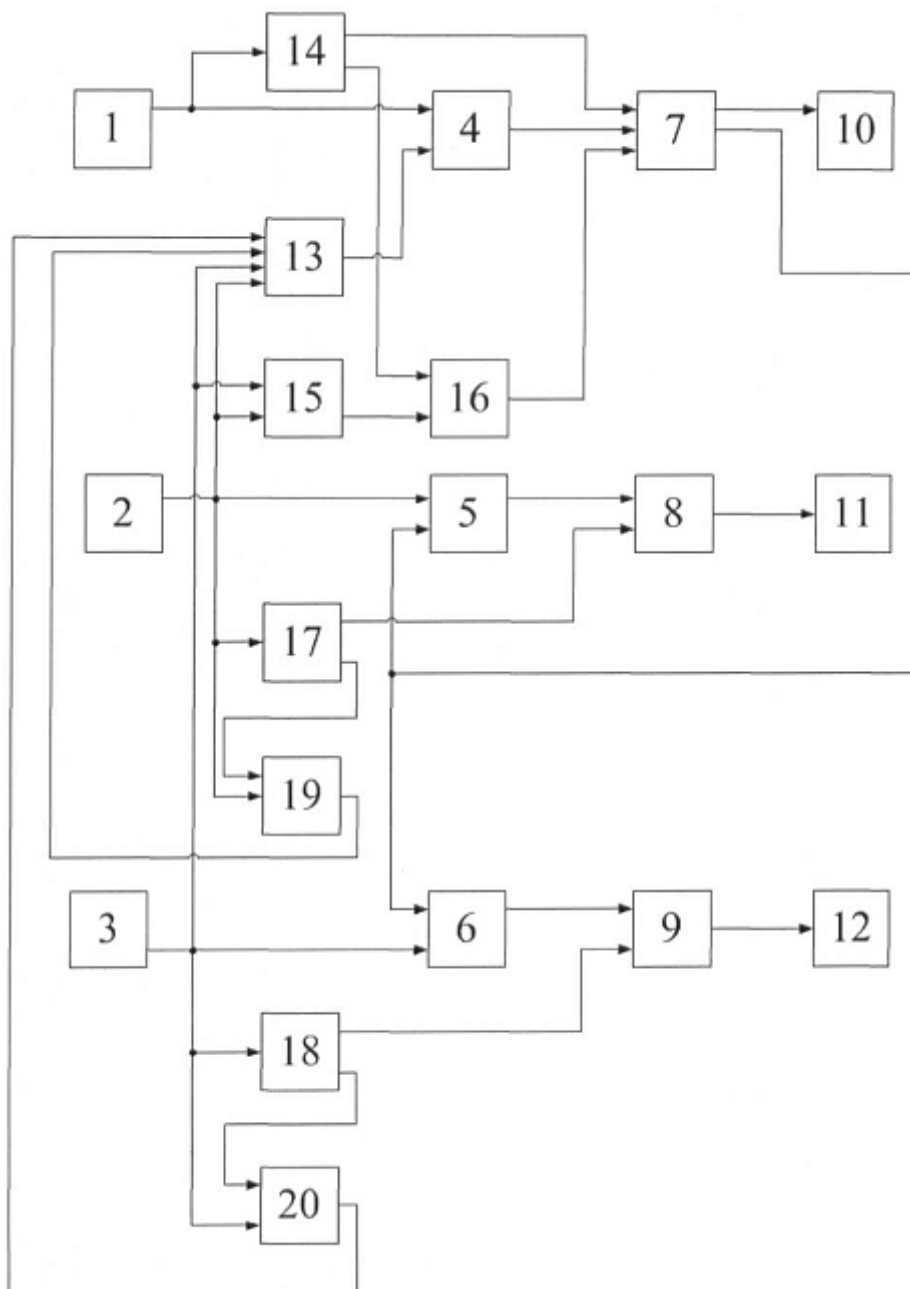
Розглянемо процеси управління при демпфіруванні подовжньої  $\omega_x$  і поперечних  $\omega_y$  та  $\omega_z$  кутових швидкостей. У блоках 13 визначаються необхідні значення поперечних кутових швидкостей, при яких необхідно починати демпфірування подовжньої кутової швидкості, щоб забезпечити після демпфірування подовжньої кутової швидкості збіг напрямку вектора поперечної кутової швидкості з напрямком однієї з поперечних  $Z$  чи  $Y$ . З врахуванням цього витримують паузу без керування до моменту, поки поперечні кутові швидкості з датчиків 2, 3 не збігатимуться з необхідними, після чого блок 13 через блоки 4 і 7 включає виконавчі органи подовжнього каналу 10, що потім виключаються блоком 7 після демпфірування подовжньої кутової швидкості ( $\omega_x = 0$ ). У результаті подовжня й одна з поперечних кутових швидкостей будуть дорівнювати нулю, а друга поперечна швидкість буде дорівнювати  $g_0$ . Потім по інформації з другого виходу блока 7 через блоки 5 і 8 включаються виконавчі органи 11, якщо напрямок вектора поперечної кутової швидкості збігається з віссю  $Y$ , і через блоки 6, 9 включає виконавчі органи 12, якщо напрямок вектора поперечної кутової швидкості збігається з віссю  $Z$ . Виконавчі органи 11 виключаються блоком 8 після демпфірування поперечної кутової швидкості ( $\omega_y = 0$ ), а виконавчі органи 12 виключаються блоком 9 після гасіння поперечної кутової швидкості ( $\omega_z = 0$ ). У результаті поперечні кутові швидкості будуть дорівнюватися нулю.

Таким чином, запропонована система дозволяє забезпечити демпфірування початкових кутових швидкостей космічного літального апарата навколо трьох осей за допомогою реактивних виконавчих органів з високою надійністю і мінімальною витратою робочого тіла.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Система демпфірування кутових швидкостей вісесиметричного космічного літального апарата, що містить датчик подовжньої кутової швидкості, датчики першої та другої поперечних кутових швидкостей, блок керування виконавчими органами першого і другого поперечних каналів, виконавчі органи подовжнього, першого та другого поперечних каналів, входи яких з'єднані з виходами відповідних блоків керування, між кожним датчиком і блоком керування виконавчими органами розміщений блок підключення відповідного датчика, блок визначення початку демпфірування подовжньої швидкості, перший вхід якого з'єднаний з виходом датчика першої поперечної кутової швидкості, другий вхід - з виходом датчика другої поперечної кутової швидкості, а вихід - з другим входом блока підключення датчика подовжньої кутової швидкості, другий вихід блока керування виконавчими органами подовжнього каналу з'єднаний з другими входами блоків підключення датчиків першої і другої поперечних кутових швидкостей, яка **відрізняється** тим, що в неї введені блок діагностики датчика подовжньої кутової швидкості, вхід якого з'єднаний з виходом датчика подовжньої кутової швидкості, а перший його вихід з'єднаний з другим входом блока керування виконавчими органами подовжнього каналу, блок визначення подовжньої кутової швидкості, перший і другий входи якого з'єднані з виходами датчиків першої і другої поперечних кутових швидкостей, відповідно, а його вихід через блок визначення часу гасіння подовжньої кутової швидкості підключений до третього входу блока керування виконавчими органами подовжнього каналу, другий вихід блока діагностики датчика подовжньої кутової швидкості підключений до другого входу блока визначення часу гасіння подовжньої кутової швидкості, блок діагностики датчика першої поперечної кутової швидкості, вхід якого з'єднаний з виходом датчика першої поперечної кутової швидкості, а перший його

вихід з'єднаний з другим входом блока керування виконавчими органами першого поперечного каналу, другий його вихід через блок максимуму першої поперечної кутової швидкості з'єднаний з третім входом блока визначення початку демпфірування позадвжньої швидкості, другий вхід блока максимуму першої поперечної кутової швидкості підключений до виходу датчика першої поперечної кутової швидкості, блок діагностики датчика другої поперечної кутової швидкості, вхід якого з'єднаний з виходом датчика другої поперечної кутової швидкості, а перший його вихід з'єднаний з другим входом блока керування виконавчими органами другого поперечного каналу, другий його вихід через блок максимуму другої поперечної кутової швидкості з'єднаний з четвертим входом блока визначення початку демпфірування позадвжньої швидкості, другий вхід блока максимуму другої поперечної кутової швидкості підключений до виходу датчика другої поперечної кутової швидкості.



---

Комп'ютерна верстка Д. Шеверун

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601