

В.В. Кабанячий

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ДОВЖИНИ ШТОКІВ ГІДРОЦИЛІНДРІВ ШЕСТИСТЕПЕНЕВИХ ДИНАМІЧНИХ СТЕНДІВ ОПОРНОГО ТИПУ У СКЛАДІ АВІАЦІЙНИХ ТРЕНАЖЕРІВ

Показано актуальність задачі визначення оптимальної довжини штоків гідроциліндрів шестистепеневих динамічних стендів опорного типу.

Одним з найважливіших чинників, який разом з використанням способом імітації акселераційних діянь та керування динамічним стендом (ДС) визначає якість імітації руху літального апарата на авіаційному тренажері, є довжина штоків гідроциліндрів, від якої залежать розміри робочих діапазонів переміщень платформи ДС, тобто довжина штоків гідроциліндрів суттєво впливає на якість імітації маневрового руху літальних апаратів.

Вимоги, з одного боку, щодо підвищення якості імітації акселераційних діянь на авіаційних тренажерах, а з іншого – щодо зниження вартості ДС обумовлюють актуальність проблеми визначення оптимальної довжини штоків гідроциліндрів. Через складність цієї проблеми дотепер немає математичної постановки цієї задачі та науково обґрунтованої методики її розв'язання. Складність же визначення оптимальної довжини штоків полягає у необхідності враховувати при її розв'язанні три головні чинники: кінематичну схему ДС, потребу забезпечення якісної імітації акселераційних діянь, технічні труднощі побудови і високу вартість ДС.

У практиці світового тренажеробудування використовуються ДС трьох типів: опорного, ліфтового та консольного. Через необхідність забезпечення переміщень платформи динамічного стенду (ПДС) по шести степенях вільності у діапазонах ± 1 м по лінійних степенях вільності та $\pm 30^\circ$ по кутових степенях вільності найбільшого розповсюдження набули шестистепеневі ДС опорного типу. Їх переваги обумовлені меншими силами тертя і масою рухомих частин порівняно з іншими типами ДС, завдяки чому забезпечуються кращі динамічні характеристики. Крім цього, конструкція ДС опорного типу виявилася простішою за інші і такою, що не обмежує огляд через ліхтар кабіни.

Кінематична схема шестистепеневого ДС опорного типу показана на рисунку. Такий ДС містить трикутну платформу та шість однакових опорних гідроприводів. З ПДС гідроприводи з'єднані трьома тристепеневими шарнірами, розміщеними у вершинах рівнобічного трикутника K_1, K_2, K_3 . З нерухомою основою гідроприводи з'єднані двостепеневими шарнірами, розміщеними на одному колі. Кожний тристепеневий шарнір з'єднує ПДС з парою гідроприводів. Змінюванням довжин шести гідроприводів (висування та прибирання штоків гідроциліндрів) забезпечується переміщення ПДС по шести степенях вільності.

Для шестистепеневих ДС опорного типу характерною є участь усіх шести гідроприводів під час руху по будь-якій із степенів вільності (за винятком руху крену, в якому беруть участь чотири гідроприводи). Це призводить до сильної взаємозалежності руху ПДС по різних степенях вільності. Необхідність забезпечення руху по декількох степенях вільності одночасно вимагає розв'язання задачі визначення переміщень штоків гідроциліндрів залежно від потрібних переміщень ПДС по степенях вільності

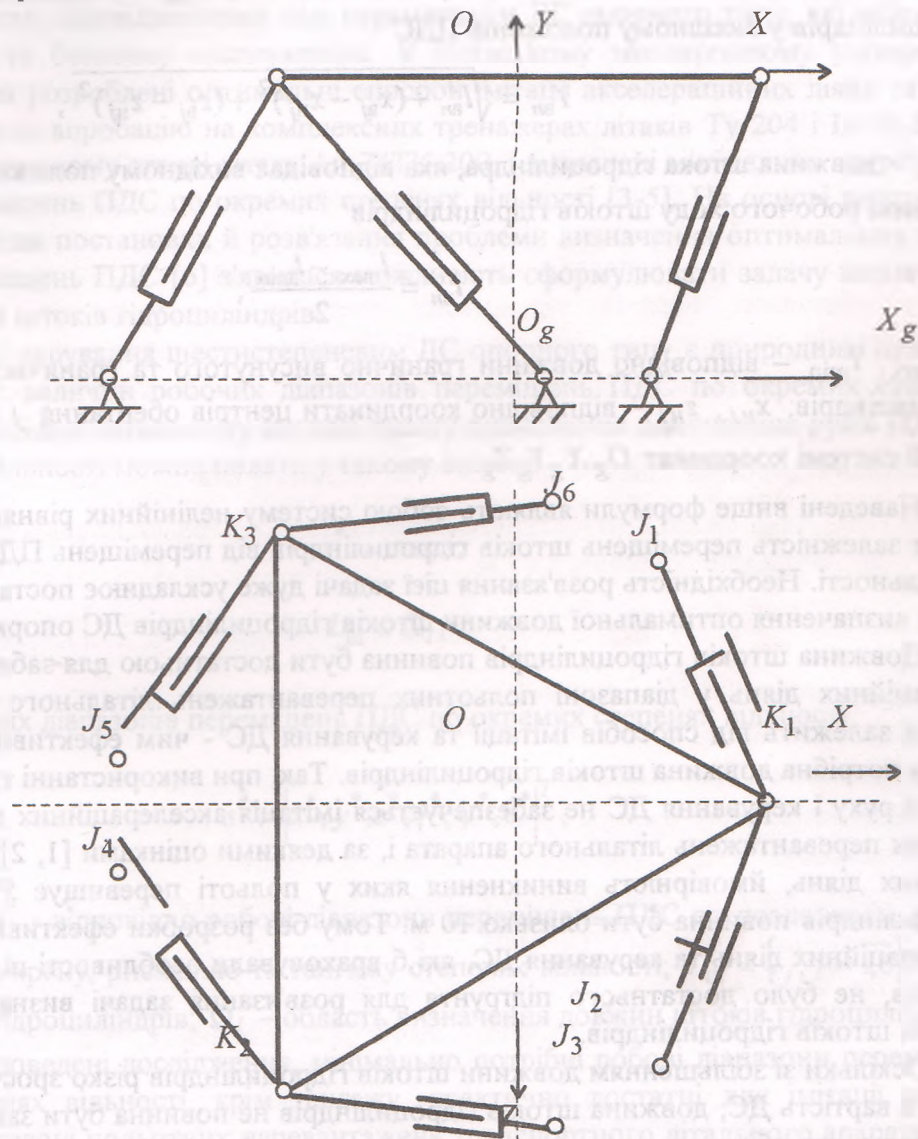
$$l_j = W_u(s), j = \overline{1,6},$$

$$s \in S$$

де l_j – переміщення штоку j -го гідроциліндра; j – номер гідроциліндра; W_u – оператор перетворення переміщень ПДС по окремих степенях вільності у переміщення штоків гідроциліндрів; s – вектор потрібних переміщень ПДС по окремих степенях вільності

$$s = [x, y, z, \gamma, \psi, \theta]^T,$$

де $x, y, z, \gamma, \psi, \theta$ – відповідно переміщення ПДС по поздовжній, вертикальній, поперечній, крену, рисканню та тангажу степенях вільності; S – область допустимих переміщень ПДС, яка являє собою замкнену обмежену множину і залежить від способу керування ДС і довжини штоків гідроциліндрів.



Кінематична схема шестиступеневого динамічного стелу опорного типу

Переміщення штоків гідроциліндрів розраховуються за формулою

$$l_j = \sqrt{(x_{vj} - x_{nj})^2 + y_{vj}^2 + (z_{vj} - z_{nj})^2} - l_{вн}, \quad j = \overline{1,6},$$

де x_{Bj}, y_{Bj}, z_{Bj} – відповідно координати центрів обертання j -х верхніх шарнірів гідроциліндрів у земній системі координат $O_g X_g Y_g Z_g$;

$$x_{Bj} = x + x_{BOj} \times \cos \psi \times \cos \theta + z_{BOj} (\sin \theta \times \cos \psi \times \sin \gamma + \sin \psi \times \cos \gamma);$$

$$y_{Bj} = y + x_{BOj} \times \sin \theta - z_{BOj} \times \cos \theta \times \sin \gamma + Y_{Bn};$$

$$z_{Bj} = z - x_{BOj} \times \cos \theta \times \sin \psi + z_{BOj} (\cos \psi \times \cos \gamma - \sin \theta \times \sin \psi \times \sin \gamma), \quad j = \overline{1,6},$$

де x_{BOj}, z_{BOj} – відповідно координати центрів обертання j -х верхніх шарнірів гідроциліндрів у зв'язаній системі координат $OXYZ$; Y_{Bn} – координата верхніх шарнірів гідроциліндрів у вихідному положенні ПДС

$$Y_{Bn} = \sqrt{l_{Bn}^2 + (x_{Bj} - x_{Hj})^2 + (z_{Bj} - z_{Hj})^2},$$

де l_{Bn} – довжина штока гідроциліндра, яка відповідає вихідному положенню ПДС і дорівнює половині робочого ходу штоків гідроциліндрів

$$l_{Bn} = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{2},$$

де l_{\max}, l_{\min} – відповідно довжини гранично висунутого та гранично прибраного штоків гідроциліндрів; x_{Hj}, z_{Hj} – відповідно координати центрів обертання j -х нижніх шарнірів у земній системі координат $O_g X_g Y_g Z_g$.

Наведені вище формули являють собою систему нелінійних рівнянь, яка повністю визначає залежність переміщень штоків гідроциліндрів від переміщень ПДС по окремих степенях вільності. Необхідність розв'язання цієї задачі дуже ускладнює постановку та розв'язання задачі визначення оптимальної довжини штоків гідроциліндрів ДС опорного типу.

Довжина штоків гідроциліндрів повинна бути достатньою для забезпечення імітації акселераційних діянь у діапазоні польотних перевантажень літального апарата. Якість же імітації залежить від способів імітації та керування ДС - чим ефективніші ці способи, тим менша потрібна довжина штоків гідроциліндрів. Так, при використанні традиційних способів імітації руху і керування ДС не забезпечується імітація акселераційних діянь у діапазоні польотних перевантажень літального апарата і, за деякими оцінками [1, 2], для імітації акселераційних діянь, ймовірність виникнення яких у польоті перевищує 5%, довжина штоків гідроциліндрів повинна бути близько 10 м. Тому без розробки ефективних способів імітації акселераційних діянь та керування ДС, які б враховували особливості пілотування літальних апаратів, не було достатнього підґрунтя для розв'язання задачі визначення оптимальних довжин штоків гідроциліндрів.

Оскільки зі збільшенням довжини штоків гідроциліндрів різко зростають технічні труднощі та вартість ДС, довжина штоків гідроциліндрів не повинна бути занадто великою. Слід зауважити, що збільшення довжини штоків гідроциліндрів не є очевидною й достатньою умовою забезпечення імітації акселераційних діянь у діапазоні польотних перевантажень, бо при цьому знижується жорсткість конструкції ДС і навіть при звуженні допустимої області змін характеристик ДС, не завжди вдається зберегти якість імітації. Тому для комплексних тренажерів літаків не використовують ДС опорного типу зі штоками гідроциліндрів завдовжки понад 2...2,2 м. І тільки для спеціальних дослідницьких пілотажних стендів використовують ДС консольного або ліфтового типу зі значно більшими довжинами штоків гідроциліндрів.

Через відсутність математичної постановки при визначенні довжини штоків гідроциліндрів користуються суб'єктивними оцінками без достатнього наукового обґрунтування. В основу цих оцінок закладаються матеріальні витрати на розробку та виробництво ДС (оскільки в умовах невеликих серій виробництва ДС розробка потрібних комплектуючих, спеціально призначених для ДС, значно збільшує вартість авіаційних тренажерів, то намагаються використовувати існуючі агрегати керування та інші комплектуючі, придатні для виготовлення ДС), на експлуатацію ДС (витрати на сплату електроенергії, гідравлічне мастило та заробітну плату обслуговуючого персоналу), на спорудження будівель для авіаційних тренажерів (у випадках використання існуючих будівель ці витрати відсутні).

Дослідження, проведені в Пензенському конструкторському бюро моделювання, дозволили визначити певні співвідношення між параметрами ДС опорного типу, які забезпечують його стійкість та безпечну експлуатацію. У Київському міжнародному університеті цивільної авіації були розроблені оптимальні способи імітації акселераційних діянь та керування ДС, які пройшли апробацію на комплексних тренажерах літаків Ту-204 і Іл-96-300 та дослідницькому пілотажному стенді літака Ан-74ТК-200, і визначені мінімально потрібні робочі діапазони переміщень ПДС по окремих степенях вільності [3-5]. На основі результатів цих досліджень та після постановки й розв'язання проблеми визначення оптимальних робочих діапазонів переміщень ПДС [6] з'явилася можливість сформулювати задачу визначення оптимальних довжин штоків гідроциліндрів.

При оптимізації керування шестистепеневим ДС опорного типу є природним прагнення до максимальних величин робочих діапазонів переміщень ПДС по окремих степенях вільності. Тому в найбільш загальному вигляді задачу оцінювання одночасних рухів ПДС по декількох степенях вільності можна подати у такому вигляді

$$s^* = \max s,$$

$$L_{\text{ш}} \in \Omega_l,$$

де s^* – вектор робочих діапазонів переміщень ПДС по окремих степенях вільності

$$s^* = \left| x^*, y^*, z^*, \gamma^*, \psi^*, \theta^* \right|^T,$$

де $x^*, y^*, z^*, \gamma^*, \psi^*, \theta^*$ – відповідно робочі діапазони переміщень ПДС по поздовжній, вертикальній, поперечній, крену, рисканню та тангажу степенях вільності; $L_{\text{ш}} = \{l_j, j = \overline{1,6}\}$ – вектор довжин штоків гідроциліндрів; Ω_l – область визначення довжин штоків гідроциліндрів.

Як показали проведені дослідження, мінімально потрібні робочі діапазони переміщень ПДС по всіх степенях вільності, крім тангажу, практично достатні для імітації акселераційних діянь у діапазоні польотних перевантажень транспортного літального апарата. Значення каналу тангажу, обумовлене його особливою інформативністю для пілотування літального апарата, дозволяє для оцінки оптимальної довжини штоків гідроциліндрів використовувати похідну робочого діапазону тангажа ПДС по довжині штоків гідроциліндрів θ^{*l}

$$\theta^{*l} = \frac{\theta^*}{l}.$$

Тоді оптимальною є мінімальна довжина штоків гідроциліндрів, при якій робочі діапазони переміщень ПДС по окремих степенях вільності є не менші від мінімально

потрібних та похідна робочого діапазону тангажа ПДС по довжині штоків гідроциліндрів не менша заданого значення, а задача визначення оптимальної довжини штоків гідроциліндрів формулюється у вигляді

$$l^* = \min l \left(\begin{array}{l} L_{\text{ш}} \in \Omega_l, x^* \geq x_{\min}, y^* \geq y_{\min}, z^* \geq z_{\min}, \\ \gamma^* = \gamma_{\min}, \gamma_{\Sigma}^* = \gamma_{\Sigma \min}, \Psi^* = \Psi_{\min}, \theta^{*l} \geq \bar{\theta}^{*l} \end{array} \right),$$

де l^* – оптимальна довжина штоків гідроциліндрів; $x_{\min}, y_{\min}, z_{\min}, \gamma_{\min}, \Psi_{\min}$ – відповідно модулі мінімально потрібних переміщень ПДС по поздовжній, вертикальній, поперечній, крену, рисканню та тангажу степенях вільності; $\gamma_{\Sigma \min}$ – модуль мінімально потрібного переміщення ПДС по крену для імітації повільно змінюваної поперечної складової руху ЛА; $\bar{\theta}^{*l}$ – задане значення похідної робочого діапазону тангажу ПДС по довжині штоків гідроциліндрів.

Крім оптимальної довжини штоків гідроциліндрів шуканими величинами є координати осей тангажа та рискання, які відповідають межовим від'ємному та додатному кутам тангажа ПДС, та похідна робочого діапазону тангажу ПДС по довжині штоків гідроциліндрів. Пошук виконувався модифікованим методом деформівного багатогранника. Координати центрів обертання верхніх та нижніх шарнірів гідроциліндрів і довжина штоків гідроциліндрів у вихідному положенні ПДС обчислювалися з використанням лінійної інтерполяції та екстраполяції сторін трикутника ПДС $K_2 K_3$, відстаней між нижніми опорами ДС $J_4 J_5$ і довжин штоків гідроциліндрів $l_{\text{вн}}$ шестиступеневих ДС опорного типу з довжинами штоків гідроциліндрів 1 м та 1,5 м. При заданому значенні похідної робочого діапазону тангажу ПДС по довжині штоків гідроциліндрів $\bar{\theta}^{*l} = 7,5$ град/м шукана оптимальна довжина штоків гідроциліндрів дорівнює 2,07 м.

Список літератури

1. *Базилевский А.Н., Гузий А.Н.* Моделирование поля информации в авиационных тренажерах. - К.: "Знание". - 1975. - 55 с.
2. *Гомзяков Л.И.* Некоторые вопросы построения системы формирования сигнала управления движением кабины тренажера при имитации вертикальных перегрузок// Имитаторы и тренажеры. - К.: КИИГА. - 1975. - Вып. 2. - С. 67-73.
3. *Сотников Д.А., Кабанячий В.В.* Имитация акселерационных воздействий на авиационных тренажерах. - К.: КМУЦА, 1995. - 15 с. - Деп. в ГНТБ Украины 20.12.95, №364.
4. Пат. 20060А Україна G09 B9/08/ Спосіб управління приводними ланками шестиступеневого динамічного стенда опорного типу/ Д.О. Сотников, В.В. Кабанячий (Україна) - №95041711; Заяв. 14.04.95; Опубл. 25.12.97, Бюл. № 6. - 7 с.
5. Пат. 23144А Україна G09 B9/08/ Спосіб управління приводними ланками шестиступеневого динамічного стенда опорного типу при формуванні кутових переміщень платформи/ Д.О. Сотников, В.В. Кабанячий (Україна) - №97031459; Заяв. 28.03.97; Опубл. 30.06.98, Бюл. № 3. - 9 с.
6. *Кабанячий В.В.* Оптимизация управления шестиступенным динамическим стендом опорного типа. - К.: КМУЦА, 1996. - 35 с. - Деп. в ГНТБ Украины 22.04.96, №982.

Стаття надійшла до редакції 30 грудня 1999 року.