

## УРАВНЕНИЕ ПЛОСКОГО ПОДЪЕМА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В СТАРТОВОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Ю.А. Олейник, В.Ф. Слободянюк  
(представил проф. В.А. Прокопов)

*Выводится уравнение плоского подъёма летательного аппарата в стартовое положение при помощи гидродомкрата с учётом переносной угловой скорости его вращения.*

При подъёме летательного аппарата (ЛА) в стартовое положение, гидродомкрат (ГдДк) подъёма стрелы с ЛА имеет переносную угловую скорость вследствие своего вращения. Подъём ЛА в стартовое положение осуществляет система автоматического управления (САУ). В существующих системах подъёма ЛА измерительные устройства обратной связи определяют дискретные значения угла подъёма [1]. Обычно это конечный угол подъёма и угол перехода от разгона к торможению. Такая схема САУ показана на рис. 1.

Состояние поднимаемой системы (ПС), т. е. её положение в пространстве, характеризуется одной фазовой координатой - углом подъёма  $\varphi$  и производными от  $\varphi$  по времени: угловой скоростью ПС  $\dot{\varphi}$  и угловым ускорением ПС  $\ddot{\varphi}$ ;  $\varphi^*$  - задающее воздействие угла  $\varphi$ . Объектом управления выбран ГдДк подъёма стрелы, управляющим воздействием расход жидкости  $Q$ , возмущающим воздействием - нагрузка на шток  $T$ . В качестве



Рис. 1. Схема САУ подъёма ЛА

управляющих устройств используется гидроаппаратура.

В общем неявном случае уравнение, описывающее поведение объекта, имеет вид

$$\dot{\varphi} = f(\varphi, Q). \quad (1)$$

Для получения уравнения (1) в явном виде, рассмотрим движение точки  $O_4$  (рис. 2) в плоскости подъёма с допущением, что все элементы

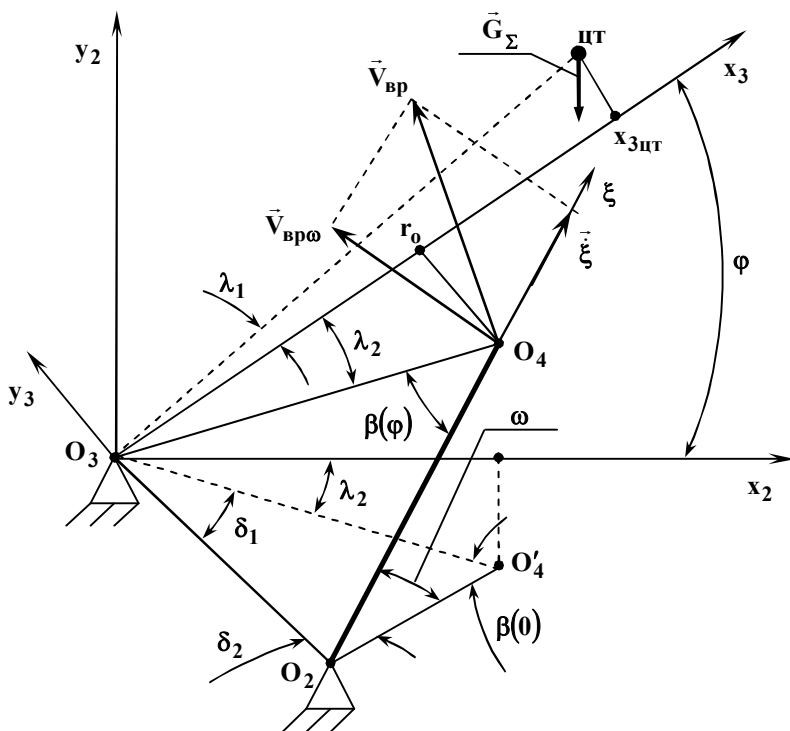


Рис. 2. Схема подъёма ЛА

абсолютно твёрдые и скорость ветра равна нулю.

На рис.2 показаны точки:  $O_2$  - точка крепления ГдДк к ПУ,  $O_3$  - точка крепления стрелы к ПУ,  $O_4$  - точка крепления к стреле ГдДк (при  $\varphi = 0$ ,  $O'_4$ ). Там же  $O_2\xi$  - координатная ось, проходящая по оси ГдДк;  $\vec{V}_{вр}$  - абсолютная скорость движения точки  $O_4$ ;  $\vec{\xi}$  - относительная скорость движения точки  $O_4$  ГдДк;  $\vec{V}_{вр\omega}$  - переносная скорость движения точки  $O_4$  ГдДк. Отрезок  $O_2O_4$  равен  $r$ , а  $O_3O_2$  -  $b$ ;  $\delta_1$  - угол  $O_2O_3O'_4$ ;  $\beta(0)$  - угол  $O_2O'_4O_3$ ;  $\beta(\varphi)$  - угол  $O_2O_4O_3$ ;  $\lambda_1$  - угол между  $O_3x_3$  и линией, соединяющей  $O_3$  с центром тяжести ПС;  $\lambda_2$  - угол между  $O_3x_3$  и  $O_3O_4$ ;  $\xi(\varphi)$  -

координата точки  $O_4$  на  $O_2\xi$ , или расстояние между точками  $O_2$  и  $O_4$ ;  $r_0$  - координата точки  $O_4$  ГдДк на  $O_3x_3$ , причём  $O_4r_0 \perp O_3x_3$ .

Так как  $\dot{\xi} \perp \bar{V}_{вр\omega}$ , то в скалярной форме для векторов скоростей запишем

$$V_{вр}^2 = \dot{\xi}^2 + V_{вр\omega}^2. \quad (2)$$

Для абсолютной и относительной скоростей имеем:

$$V_{вр} = r\dot{\phi}; \quad (3)$$

$$\dot{\xi} = \frac{Q}{F_1}, \quad (4)$$

где  $F_1$  - площадь поршня в камере прямого давления,  $m^2$ .

Для переносной скорости

$$V_{вр\omega} = \xi(\dot{\omega}), \quad (5)$$

где  $\dot{\omega}$  - угловая скорость ГдДк,  $1/c$ .

Угловую скорость  $\dot{\omega}$  будем искать в виде

$$\dot{\omega} = f_1(\phi)\dot{\phi}, \quad (6)$$

где  $f_1(\phi)$  - некоторая безразмерная функция, зависящая от угла подъёма  $\phi$ .

Подставляя (3), (4) и (5) в (2), получим

$$r^2\dot{\phi}^2 = \frac{Q^2}{F_1^2} + \xi^2(\phi)r_1^2(\phi)\dot{\phi}^2$$

или

$$\dot{\phi} = \frac{1}{F_1 f_2(\phi)} Q, \quad (7)$$

где

$$f_2(\phi) = \sqrt{r^2 - \xi^2(\phi)r_1^2(\phi)}. \quad (8)$$

При изменении  $\phi$  в процессе подъёма ( $\dot{\phi} > 0$ )  $\dot{\omega}$  может быть положительным или отрицательным, в зависимости от положения ГдДк. В зависимости от значения угла  $\beta(0)$  (или положения точки  $O_2$ ) выражение для функции  $f_1(\phi)$  может иметь несколько видов.

Определим  $f_1(\phi)$  для условия  $\beta(0) \leq \pi/2$ . Для  $r$  запишем  $r = \frac{r_0}{\cos\lambda_2}$ .

По теореме косинусов получим, что  $\xi(\phi) = \sqrt{r^2 + b^2 - 2rb \cos(\delta_1 + \phi)}$ . По теореме синусов  $\beta(\phi) = \arcsin\left(\frac{b \sin(\delta_1 + \phi)}{\xi(\phi)}\right)$ . Из треугольника  $O_2O_3O'_4$

$$\delta_2 = \pi - \delta_1 - \beta(0). \quad (9)$$

Из треугольника  $O_2O_3O_4$  для угла  $\omega$  с учётом (9)

$$\omega = \delta_2 - (\pi - \delta_1 - \varphi - \beta(\varphi)) = \beta(\varphi) + \varphi - \beta(0). \quad (10)$$

Из (10), учитывая, что  $\beta(0) = \text{const}$  получим выражение для  $\dot{\omega}$ :

$$\dot{\omega} = \frac{\partial \beta(\varphi)}{\partial \tau} + \dot{\varphi}; \quad \dot{\omega} = \frac{\frac{b \cos(\delta_1 + \varphi) \dot{\varphi}}{\xi(\varphi)} - \frac{r b_s^2 \dot{\varphi}}{\xi^3(\varphi)}}{\sqrt{1 - \frac{b_s^2}{\xi^2(\varphi)}}} + \dot{\varphi}, \quad (11)$$

где

$$b_s = b \sin(\delta_1 + \varphi).$$

Из (11) получим выражение для  $f_1(\varphi)$ :

$$f_1(\varphi) = 1 + \frac{\frac{b \cos(\delta_1 + \varphi)}{\xi(\varphi)} - \frac{r b_s^2}{\xi^3(\varphi)}}{\sqrt{1 - \frac{r b_s^2}{\xi^2(\varphi)}}}. \quad (12)$$

Итак, уравнение плоского подъёма ЛА в стартовое положение в явном виде, согласно формулам (7), (8) и (12), можно записать как

$$\dot{\varphi} = \frac{1}{F_1 \sqrt{r^2 - \xi^2(\varphi) \left( 1 + \frac{\left( \frac{b \cos(\delta_1 + \varphi)}{\xi(\varphi)} - \frac{r b_s^2}{\xi^3(\varphi)} \right)^2}{\sqrt{1 - \frac{r b_s^2}{\xi^2(\varphi)}}} \right)}} Q.$$

В данной работе получены функции  $f_1(\varphi)$  и  $f_2(\varphi)$ , позволяющие установить зависимость между угловой скоростью подъёма и расходом жидкости в ГдДк с учётом его вращения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Конофеев Н.Т. *Транспортировка ракет.* – М.: Воениздат, 1978. – 150 с.
2. Олейник Ю.А., Прокопов В.А. *К оценке параметров подъёма летательного аппарата в стартовое положение // Системы обработки информации.* – Харьков : ХФВ «Транспорт України». – 2000. – Вып. 4(10). – С. 76 - 79.

Поступила 05.01.2002

**ОЛЕЙНИК Юрий Анатольевич,** адъюнкт Харьковского военного университета. В 1997 году закончил ХВУ. Область научных интересов - моделирование подъёма летательных аппаратов.

**СЛОБОДЯНИЮК Вячеслав Федорович,** адъюнкт Харьковского военного университета. В 1998 году закончил ХВУ. Область научных интересов - колебания элементов летательных аппаратов.