УДК 624.15.691.175

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 φ и производными от φ по времени: угловой скоростью ПС $\dot{\varphi}$ и угловым ускорением ПС $\ddot{\varphi}$; φ^* - задающее воздействие угла φ. Объектом управления выбран ГдДк подъёма стрелы, управляющим воздействием расход жидкости $\mathbf{Q}$, возмущающим воздействием - нагрузка на шток $\mathbf{T}$. В качестве

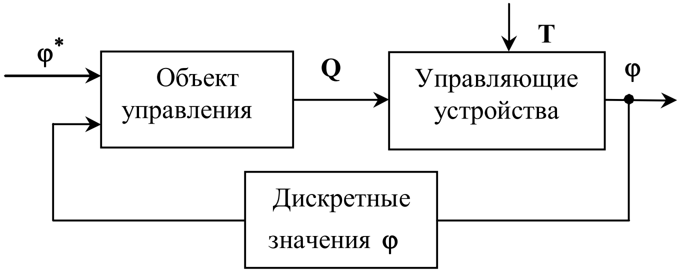

Рис. 1. Схема САУ подъёма ЛА

управляющих устройств используется гидроаппаратура.

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

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

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

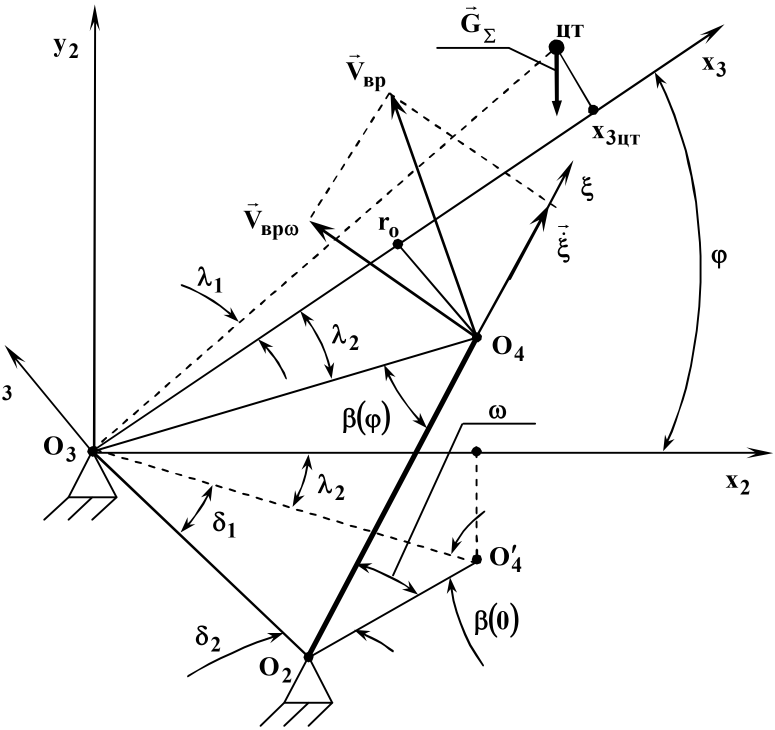

Рис. 2. Схема подъёма ЛА

абсолютно твёрдые и скорость ветра равна нулю.

На рис.2 показаны точки: $\mathbf{O_2}$ - точка крепления ГдДк к ПУ, $\mathbf{O_3}$ - точка крепления стрелы к ПУ , $\mathbf{O_4}$ - точка крепления к стреле ГдДк (при $\varphi = 0$, $\mathbf{O'_4}$). Там же $\mathbf{O_2\xi}$ - координатная ось, проходящая по оси ГдДк; $\vec{\mathbf{V}}_{\mathbf{вр}}$ - абсолютная скорость движения точки $\mathbf{O_4}$; $\vec{\dot{\xi}}$ - относительная скорость движения точки $\mathbf{O_4}$ ГдДк; $\vec{\mathbf{V}}_{\mathbf{вр\omega}}$ - переносная скорость движения точки $\mathbf{O_4}$ ГдДк. Отрезок $\mathbf{O_2O_4}$ равен $\mathbf{r}$, а $\mathbf{O_3O_2}$ – $\mathbf{b}$; δ_1 - угол $\mathbf{O_2O_3O'_4}$; $\beta(0)$ - угол $\mathbf{O_2O'_4O_3}$; $\beta(\varphi)$ - угол $\mathbf{O_2O_4O_3}$; λ_1 - угол между $\mathbf{O_3x_3}$ и линией, соединяющей $\mathbf{O_3}$ с центром тяжести ПС; λ_2 - угол между $\mathbf{O_3x_3}$ и $\mathbf{O_3O_4}$; $\xi(\varphi)$ -

координата точки $\mathbf{O_4}$ на $\mathbf{O_2\xi}$, или расстояние между точками $\mathbf{O_2}$ и $\mathbf{O_4}$; $\mathbf{r_o}$ - координата точки $\mathbf{O_4}$ ГдДк на $\mathbf{O_3x_3}$, причём $\mathbf{O_4r_o \perp O_3x_3}$.

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

$$\mathbf{V_{вр}^2 = \dot{\xi}^2 + V_{вр\omega}^2}\ . \tag{2}$$

Для абсолютной и относительной скоростей имеем:

$$\mathbf{V_{вр} = r\dot{\varphi}}\ ; \tag{3}$$

$$\dot{\xi} = \frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{F_1}}\ , \tag{4}$$

где $\mathbf{F_1}$ - площадь поршня в камере прямого давления, м^2.

Для переносной скорости

$$\mathbf{V_{вр\omega} = \xi(\varphi)\dot{\omega}}\ , \tag{5}$$

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

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

$$\dot{\omega} = \mathbf{f_1}(\varphi)\dot{\varphi}\ , \tag{6}$$

где $\mathbf{f_1}(\varphi)$ - некоторая безразмерная функция, зависящая от угла подъёма φ. Подставляя (3), (4) и (5) в (2), получим

$$\mathbf{r^2\dot{\varphi}^2 = \frac{Q^2}{F_1^2} + \xi^2(\varphi)f_1^2(\varphi)\dot{\varphi}^2}$$

или

$$\dot{\varphi} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{F_1f_2}(\varphi)}\mathbf{Q}\ , \tag{7}$$

где

$$\mathbf{f_2}(\varphi) = \sqrt{\mathbf{r^2 - \xi^2(\varphi)f_1^2(\varphi)}}\ . \tag{8}$$

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

Определим $\mathbf{f_1}(\varphi)$ для условия $\beta(\mathbf{0}) \le \pi/\mathbf{2}$. Для $\mathbf{r}$ запишем $\mathbf{r} = \dfrac{\mathbf{r_o}}{\mathbf{\cos\lambda_2}}$.

По теореме косинусов получим, что $\xi(\varphi) = \sqrt{\mathbf{r^2 + b^2 - 2rb\cos(\delta_1 + \varphi)}}$. По теореме синусов $\beta(\varphi) = \mathbf{arcsin}\left(\dfrac{\mathbf{b\sin(\delta_1 + \varphi)}}{\xi(\varphi)}\right)$. Из треугольника $\mathbf{O_2O_3O_4'}$

$$\delta_2 = \pi - \delta_1 - \beta(\mathbf{0}). \tag{9}$$

Из треугольника $\mathbf{O_2O_3O_4}$ для угла ω с учётом (9)

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

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

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

где

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

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

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

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

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

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 // Системи обробки інформації. – Харків : ХФВ «Транспорт України». – 2000. – Вип. 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.*

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