

Панкратова Н.Д. Технологическое предвидение - К.: ИВЦ «Видавництво «Політехніка», 2005. -156 с. 5. Райко Г.О., Ігнатенко Г.А. Прогнозування основних показників стійкості територіальних систем // Вестник ХНТУ. – 2010. №38. – С. 63-69.

Поступила в редколлегию 01.12.2010

УДК 629.3.015.5

Б.М. ШИФРИН, канд. техн. наук, доцент, Государственная летная академия Украины, г. Кировоград

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДВЕСКИ ШАССИ САМОЛЕТА ПРИ МАЛОМ ВЕРЧЕНИИ ПНЕВМОКОЛЕС

Для определенного круга сложных движений корпуса самолета и конструкций подвески шасси изучается устойчивость стационарных режимов движения подвески шасси.

Ключевые слова: устойчивость, подвеска шасси, самолет.

Для певного кола складних рухів корпусу літака і конструкцій підвіски шасі вивчається стійкість стаціонарних режимів руху підвіски шасі.

Ключові слова: стійкість, підвіска шасі, літак.

For the certain circle of difficult motions of corps of airplane and constructions of pendant of undercarriage stability of the stationary modes of motion of pendant an undercarriage is studied.

Keywords: stability, pendant of undercarriage, airplane.

1. Введение

Режимы движения самолетов, граничащие с предельно допустимыми, должны быть тщательно изучены методом математического моделирования. В части изучения разбега/пробега здесь возникают затруднения, связанные с моделированием взаимодействия пневмоколес с полотном взлетно-посадочной полосы (ВПП). В настоящее время усилился интерес к изучению шиммиггенных систем – в Англии группа исследователей планомерно и углубленно изучает нелинейное классическое шимми [1-4], в России предложена новая (твердотельная) версия механизма шимми [5,6]. В данной статье задача классического нелинейного шимми осложнена характером движений корпуса самолета.

2. Постановка задачи и исходные зависимости

Будем полагать, что необходимо рассмотреть режимы движения самолета, при которых мгновенные центры скоростей оси пневмоколеса удалены от его центра масс. Уравнения движения будем интегрировать численным методом и на каждом шаге вычислений контролировать взаимную удаленность упомянутых центров. Такие движения назовем движениями при малом верчении пневмоколес. Если ограничиться рассмотрением таких движений, то в исходных уравнениях движения можно опустить восстанавливающий момент сил трения на шинах пневмоколес, моделирование которого представляет особо сложную задачу. В настоящей работе, предваряя изучение режимов малого верчения численным методом, изучим устойчивость по первому приближению стационарных режимов движения подвески основной

опоры шасси самолета относительно корпуса, пренебрегая восстанавливающим моментом сил трения. Расчетную схему зададим в соответствии с традиционными схемами, используемыми при изучении колебаний шимми. Как правило, при таких изучениях полагают, что точка крепления подвески движется прямолинейно и равномерно по линии заданного пути в плоскости продольной симметрии самолета $C_\Sigma X_{C_\Sigma} Y_{C_\Sigma}$. В отличие от известных работ по шимми рассмотрим случай малого верчения пневмоколес шасси. Покажем возможность учета более сложного характера движения корпуса самолета (в рассматриваемом случае учтем динамику его поперечного движения), а также получим условие устойчивости, если подвеска шасси лишена выноса.

На рис. 1 показан вид сверху на подвеску шасси самолета. Корпус самолета и пневмоколесо движутся плоскопараллельно полотну ВПП.

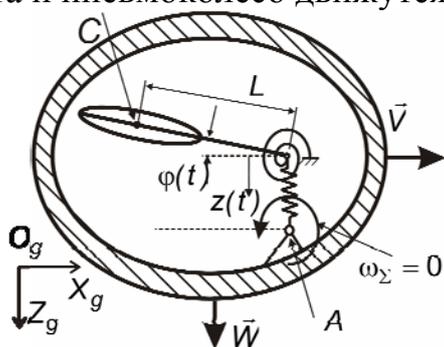


Рис. 1. Шиммигенная система

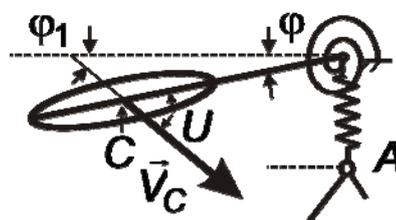


Рис. 2. К определению угла увода

Пневмоколесо установлено с выносом L . Движение корпуса определено скоростями V, W, ω_Σ . Первые две функции есть линейные скорости, определяющие характер движения вдоль неподвижных осей $O_g X_g, O_g Z_g$; а третья функция является угловой скоростью и описывает вращение корпуса вокруг оси $O_g Y_g$. Требуется изучить устойчивость стационарных режимов движения пневмоколеса относительно корпуса. Относительное движение определяется функциями поперечного смещения $z(t)$ и угла рыскания $\varphi(t)$.

Массу пневмоколеса обозначим m_Π , а его момент инерции относительно вертикальной оси, проходящей через точку A , - $J_A = m_\Pi \rho^2$. Уравнения движения пневмоколеса относительно корпуса получим методом Лагранжа. Выполнив процедуру Лагранжа, получим следующие исходные уравнения движения:

$$\left. \begin{aligned} m_\Pi \left(\frac{d^2 z}{dt^2} + L \frac{d^2 \varphi}{dt^2} \right) + c_z z + k_z \frac{dz}{dt} + F &= -F_*, \\ J_A \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + m_\Pi L \frac{d^2 z}{dt^2} + c_\varphi \varphi + k_\varphi \frac{d\varphi}{dt} + F(L + e) &= -M_* \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где

$$F_* = m_\Pi \left(\frac{dW}{dt} + L \frac{d\omega_\Sigma}{dt} \right), M_* = \left(J_A \frac{d\omega_\Sigma}{dt} + m_\Pi L \frac{dW}{dt} \right),$$

где c_z, c_φ – линейная и крутильная жесткости подвески шасси;
 k_z, k_φ – коэффициенты демпфирования; e – вынос силы трения относительно центра масс пневмоколеса, $M = Fe$.

Если опустить правые части уравнений (1), то придем к уравнениям шимми [7]. Поскольку изучаем режимы малого верчения величину, e положим равной нулю:

$$e = 0. \quad (2)$$

Для упрощения задачи положим

$$\omega_z(t) = \text{const} = 0; V(t) = \text{const} = V. \quad (3)$$

Поперечную скорость корпуса будем рассматривать как известную функцию вида

$$W = W(t, u). \quad (4)$$

Силу трения примем в виде [8,9]:

$$F = F(u) = \mu_* N f_f(u), \quad (5)$$

где μ_*, N – постоянные величины; $f_f(u)$ – безразмерная функция. Угол увода U (рис. 2) равен:

$$U = \varphi_1 + \varphi, \quad \varphi_1 = (W + dz/dt + Ld\varphi/dt) / V. \quad (6)$$

Перезапишем уравнения движения (1) и выражение (6) в безразмерном виде. Для этого введем ряд обозначений: $\tau = \omega_z t$ – безразмерное время; $\omega_z = \sqrt{c_z / m_{\text{п}}}$ – парциальная частота собственных поперечных колебаний; $\omega_\varphi = \sqrt{c_\varphi / J_A}$ – парциальная частота собственных колебаний по рысканию; $k_\omega = \omega_\varphi / \omega_z$ – частотное отношение; $\phi = \varphi / U_{\text{cr}}$ – относительный угол рыскания; $\bar{z} = z / (\rho U_{\text{cr}})$ – безразмерное поперечное смещение пневмоколеса; $\bar{L} = L / \rho$ – безразмерный вынос. Вместо (1) придем к уравнениям:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\bar{z}}(\tau) + \bar{L}\ddot{\phi}(\tau) + \bar{z}(\tau) + \bar{k}_z \dot{\bar{z}}(\tau) + \bar{F}_0 f_f(u) &= -\dot{\bar{W}}(\tau, u), \\ \ddot{\phi}(\tau) + \bar{L}\ddot{\bar{z}}(\tau) + k_\omega^2 \phi(\tau) + \bar{k}_\varphi \dot{\phi}(\tau) + \bar{F}_0 f_f(u) \bar{L} &= -\dot{\bar{W}}(\tau, u) \bar{L}, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где точками обозначено дифференцирование по безразмерному времени τ ;

$$\bar{k}_z = \frac{k_z}{\omega_z m_{\text{п}}}; \bar{k}_\varphi = \frac{k_\varphi}{\omega_z J_A}; \bar{F}_0 = \frac{\mu_* N}{m_{\text{п}} \rho U_{\text{cr}} \omega_z^2}; \dot{\bar{W}}(\tau, u) = \frac{W(\tau, u)}{\rho U_{\text{cr}} \omega_z},$$

а вместо (6) – к соотношению:

$$u(\tau) = \beta(u, \tau) + (\rho \omega_z / V) [\dot{\bar{z}}(\tau) + \bar{L}\dot{\phi}(\tau)] + \phi(\tau),$$

где $\beta(u, \tau) = W(u, \tau) / (V U_{\text{cr}})$ – относительный угол скольжения. Из этого соотношения найдем:

$$\dot{\bar{z}} = \bar{V}(u - \beta - \phi) - \bar{L}\dot{\phi}, \quad (8)$$

где $\bar{V} = V / (\rho \omega_z)$. Заметим, $\beta = \bar{W} / \bar{V}$.

Приняв во внимание (8), в уравнениях системы (7) можно выполнить замену переменной \bar{z} на переменную u : после дифференцирования первого из уравнений системы и последующих элементарных преобразований придем к

системе уравнений, содержащих в качестве фазовых переменных относительные углы $\phi(\tau), u(\tau)$.

Уравнения (7), дополненные функциями $f_f(u), W(\tau, u)$ и условием (8), образуют модель колебаний подвески шасси самолета относительно его корпуса при малом верчении пневмоколес шасси и с учетом динамики поперечного движения самолета.

3. Редуцированная задача

Положим:

$$L = k_z = k_\phi = 0; W = \text{const} = W_0, \beta = \text{const} = W_0 / (VU_{cr}) = \beta_0.$$

Вместо (7) получим:

$$\ddot{z}(\tau) + \bar{z}(\tau) + \bar{F}_0 f_f(u) = 0; \ddot{\phi}(\tau) + k_\omega^2 \phi(\tau) = 0, \quad (9)$$

а вместо (8) –

$$\dot{z}(\tau) = \bar{V}[u(\tau) - \beta_0 - \phi(\tau)]. \quad (10)$$

Для рассматриваемой задачи запишем систему "ф ÷ u":

$$\left. \begin{aligned} \ddot{u}(\tau) + (\bar{F}_0 / \bar{V}) f'_f(u) \dot{u}(\tau) + u(\tau) &= \beta_0 + (1 - k_\omega^2) \phi(\tau), \\ \ddot{\phi}(\tau) + k_\omega^2 \phi(\tau) &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (11)$$

где штрих указывает на дифференцирование по u .

Обратим внимание, при равенстве частот $\omega_z = \omega_\phi$ «каналы» "u" и "ф"

перестают взаимодействовать и система (11) распадается на два независимых дифференциальных уравнения второго порядка.

Введем обозначения: $\dot{u} = x, \dot{\phi} = y$ и перезапишем систему (11) в нормальной форме:

$$\left. \begin{aligned} \dot{u} = x, \dot{x} &= -u - (\bar{F}_0 / \bar{V}) f'_f(u) x + \beta_0 + (1 - k_\omega^2) \phi; \\ \dot{\phi} = y, \dot{y} &= -k_\omega^2 \phi \end{aligned} \right\}. \quad (12)$$

В системе (12) возможен стационарный режим движения:

$$u(\tau) = \text{const} = u^\circ = \beta_0; \phi(\tau) = \text{const} = \phi^\circ = 0.$$

Рассмотрим малые вариации переменных u, x, ϕ, y вблизи состояния равновесия, обозначив их $\xi_u, \xi_x, \xi_\phi, \xi_y$. Уравнения в вариациях будут следующими:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\xi}_u = \xi_x, \dot{\xi}_x &= -\xi_u - A^\circ \xi_x + (1 - k_\omega^2) \xi_\phi; \\ \dot{\xi}_\phi = \xi_y, \dot{\xi}_y &= -k_\omega^2 \xi_\phi, \end{aligned} \right\}$$

где $A^\circ = (\bar{F}_0 / \bar{V}) f'_f(u^\circ)$, а характеристическое уравнение системы –

$$\lambda^4 + A^\circ \lambda^3 + (1 + k_\omega^2) \lambda^2 + k_\omega^2 A^\circ \lambda + k_\omega^2 = 0.$$

Его можно записать так:

$$(\lambda^2 + k_\omega^2)(\lambda^2 + A^\circ \lambda + 1) = 0.$$

Отсюда ясно, что при $f'_f(\beta_0) < 0$ состояние равновесия неустойчиво.

4. Выводы

1. Раздельное рассмотрение режимов малого и немалого верчения пневмоколес шасси ТПКМ позволяет, решая задачи устойчивости при малом верчении, более полно учесть конкретный характер движения машины и снизить степень сложности математической стороны задачи.

2. В ходе движения при малом верчении основным механизмом потери устойчивости стационарных режимов движения подвески шасси является фрикционный, реализующийся при больших углах увода пневмоколес.

3. В целом работа направлена на повышение безопасности движения и ресурса самолетов и может быть использована при решении подобных задач движения автомобилей, мотоциклов, автопоездов.

Список литературы: 1. *Thota P.* Bifurcation analysis of nose landing gear shimmy with lateral and longitudinal bending [Текст]/P. Thota, B. Krauskopf, M. Lowenberg// Journal of Aircraft. – 2010. – Vol. 47, №1. – P. 87-95. 2. *Thota P.* Interaction of torsion and lateral bending in aircraft nose landing gear shimmy [Текст]/P. Thota, B. Krauskopf, M. Lowenberg //Nonlinear Dynamics. – 2009. – Vol. 57, №3. – P. 455-467. 3. *Thota P.* Nonlinear analysis of the influence of tyre inflation pressure on nose landing gear shimmy [Текст]/P. Thota, B. Krauskopf, M. Lowenberg// AIAA Modeling and simulation technologies conference, 10-13 august 2009, Chicago. – 12 p. 4. *Thota P.* Shimmy in a nonlinear model of an aircraft nose landing gear with non-zero rake angle [Текст]/ P. Thota, B. Krauskopf, M. Lowenberg//Proceedings of European Nonlinear Oscillations Conference (ENOC-2008), Saint Petersburg, Russia, 30 June-4 July 2008. – 5 p. 5. *Журавлев, В.Ф.* О механизме явления шимми [Текст]// В.Ф. Журавлев, Д.М. Климов/ Доклады РАН. – 2009.- Т.428, №6. – С.761-764. 6. *Журавлев, В.Ф.* Теория явления шимми [Текст]/ В.Ф. Журавлев, Д.М. Климов// Изв. РАН. МТТ. – 2010.- №3. – С.22-29. 7. *Sura N.K.* Lateral response of nonlinear nose-wheel landing gear models with torsional free play [Текст]/ N.K. Sura, S. Suryanarayan// Journal of aircraft. - 2007. - Vol.44, No. 6. - P. 1991-1997. 8. *Pacejka H.B.* Shear force development by pneumatic tires in steady-state conditions. A review of modeling aspects [Текст]/ H.B. Pacejka, R.S. Sharp// Vehicle system dynamics. -1991.-Vol.20, № 3-4. - P. 121-176. 9. *Плахтиенко, Н.П.* Одноступенная модель колебаний опоры шасси самолета [Текст]/Н.П. Плахтиенко, Б.М. Шифрин//Техн. механика.-2006.-№1. С.16-25.

Поступила в редколлегию 01.12.2010

УДК 005.8

П.А.ТЕСЛЕНКО, канд. техн. наук, **доцент**,

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

ПРОЕКТ КАК УПРАВЛЯЕМАЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Проект представлен как организационно-техническая система. Рассмотрены ее составляющие. Показана необходимость уточнения термина техническая система и организационно-техническая система в предметной области управления проектами.

Ключевые слова: проект, управление проектами, организационно-техническая система, техническая система, как подсистема ОТС

Проект представлений як організаційно-технічна система. Розглянуті її складові. Показана необхідність уточнення терміна технічна система й організаційно-технічна система в предметній області управління проектами.