

УДК 621.382

12, декабрь 2015

Моделирование в Simulink продольного движения вертолета одновинтовой схемы

*Колесникова К.М., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Приборы и системы ориентации, навигации и стабилизации»*

*Научный руководитель: Бронников А.М., д.т.н.
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
кафедра «Приборы и системы ориентации, навигации и стабилизации»
bronnikov@bmstu.ru*

С помощью модели в виде дифференциальных уравнений можно описать практически все процессы в динамических системах [1]. Математическая модель вертолета одновинтовой схемы представляет собой следующую группу уравнений [2]:

$$\begin{cases} m(\dot{V}_x - \omega_z V_y) = T_x + R_x - mg \sin \vartheta \cos \gamma; \\ m(\dot{V}_y + \omega_z V_x) = T_y + R_y - mg \cos \vartheta \cos \gamma; \\ I_z \dot{\omega}_z = M_{TZ} + M_{RZ}; \\ \dot{\vartheta} = \Delta \omega_z, \end{cases} \quad (1)$$

где - T_x, T_y составляющие вектора тяги несущего винта;

V_x, V_y - составляющие земной скорости вертолета;

R_x, R_y — проекции аэродинамических сил на связанные оси;

ω_z — угловая скорость фюзеляжа;

M_{TZ} — момент относительно оси z тяги несущего винта;

M_{RZ} — момент аэродинамических сил относительно оси z;

ϑ - угол тангажа.

Линеаризованная математическая модель (1) в Simulink имеет вид [3]:

$$\begin{cases} \Delta \dot{V}_x = a_x^{V_x} \Delta V_x + a_x^{V_y} \Delta V_y + (a_x^{\omega_z} + V_{y0}) \Delta \omega_z + a_x^{\vartheta} \Delta \vartheta + a_x^{\kappa} \Delta \kappa + a_x^{\varphi} \Delta \varphi_0; \\ \Delta \dot{V}_y = a_y^{V_x} \Delta V_x + a_y^{V_y} \Delta V_y + (a_y^{\omega_z} - V_{x0}) \Delta \omega_z + a_y^{\vartheta} \Delta \vartheta + a_y^{\chi} \Delta \chi + a_y^{\varphi} \Delta \varphi_0; \\ \Delta \dot{\omega}_z = a_{m_z}^{V_x} \Delta V_x + a_{m_z}^{V_y} \Delta V_y + a_{m_z}^{\omega_z} \Delta \omega_z + a_{m_z}^{\chi} \Delta \chi + a_{m_z}^{\varphi} \Delta \varphi_0; \\ \Delta \dot{\vartheta} = \Delta \omega_z, \end{cases} \quad (2)$$

где Δ - символом обозначено приращение относительно опорного движения,

φ_0 - общий шаг несущего винта;

κ - продольный наклон тарелки автомата перекоса;

a_j^i - коэффициенты линеаризованной модели, изменяющиеся по режимам полета.

При моделировании данные коэффициенты представляли собой функции воздушной скорости полета (рис.1). Они соответствуют модели вертолета Ансат. При их задании в Simulink была использована функция аппроксимации Lookup-Table (n-D) (рис. 2)

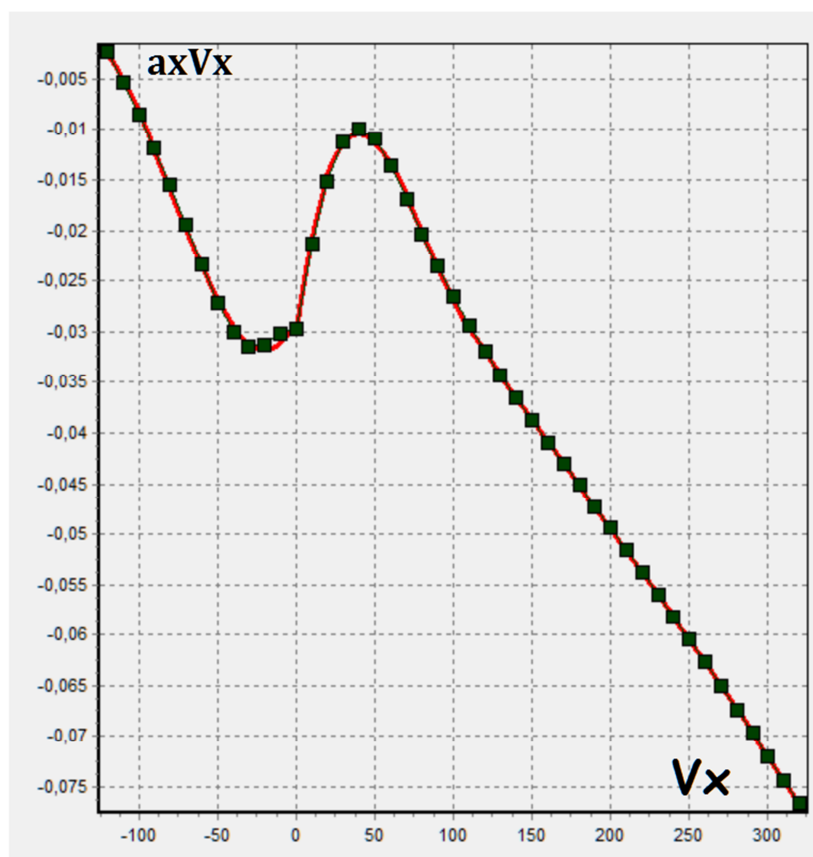


Рис. 1. График $a_x^{V_x}(V_x)$

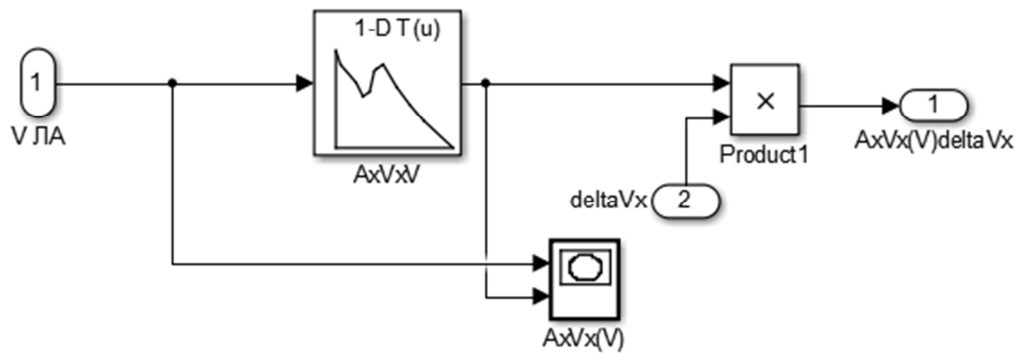


Рис. 2. Аппроксимация графика $a_x^{V_x}(V_x)$

На основе системы линеаризованных уравнений (2) составим структурную схему и реализуем с помощью Simulink:

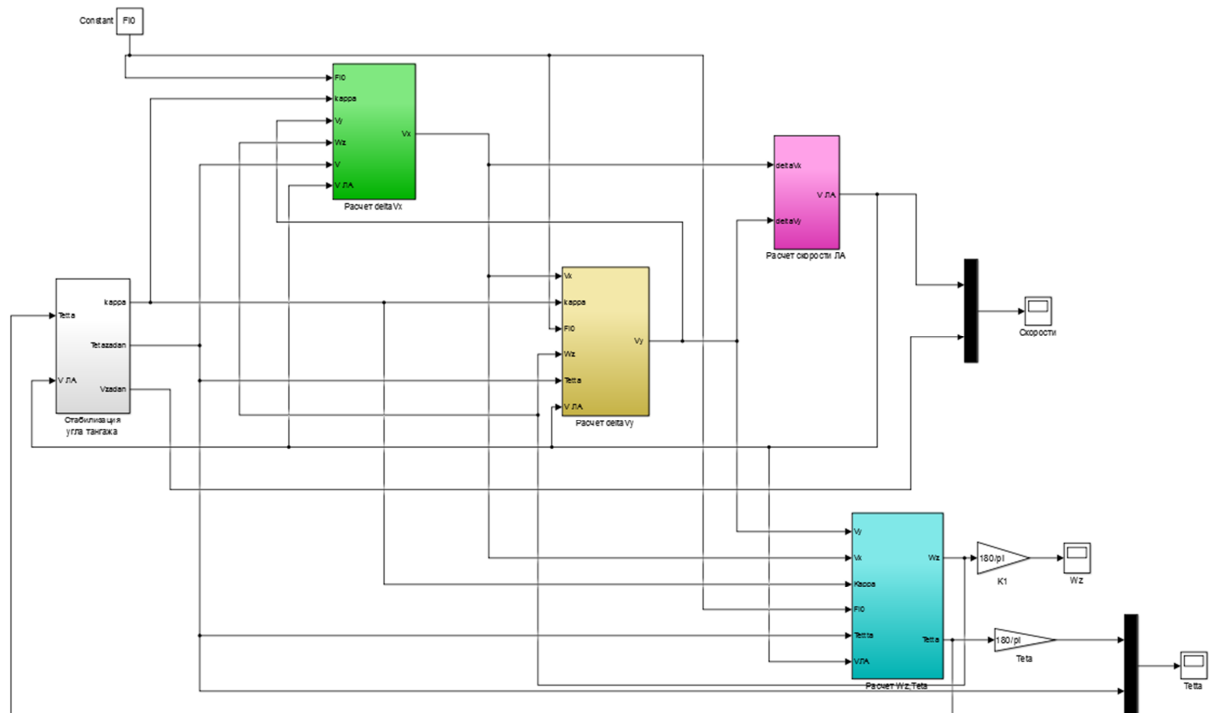


Рис. 3. Структурная схема продольного движения вертолета одновинтовой схемы в Simulink

Описание блоков:

1. Блоки «расчет ΔV_x , расчет ΔV_y , расчет $\Delta \omega_z$, $\Delta \vartheta$ ». В данных блоках реализуется моделирование системы уравнений (2), а также получение коэффициентов с помощью функции аппроксимации Lookup-Table (n-D).

2. Блок «расчет скорости ЛА». В данном блоке реализуется моделирование уравнения

$$V = \sqrt{(V_{x0} + \Delta V_x)^2 + (V_{y0} + \Delta V_y)^2}$$

3. Блок «Стабилизация угла тангажа». В данном блоке реализуется моделирование закона управления углом тангажа.

Закон управления углом тангажа имеет вид:

$$\kappa = K_{\vartheta}(\vartheta_3 - \vartheta) + K_{\omega_z}\omega_z, \quad (3)$$

где ϑ_3 – заданный угол тангажа; K_{ϑ} , K_{ω_z} , K_i – коэффициенты закона управления;

Существует проблема выбора значений коэффициентов закона управления (3). Данную проблему предлагается решать методом Циглера-Никольса. В этом методе используется реакция объекта на ступенчатое изменение управляющего воздействия. Эту характеристику объекта обычно называют кривой разгона. Суть метода заключается в следующем [2]:

1) выбрать наиболее простой, т.е. П-регулятор и путем постепенного увеличения его коэффициента передачи выводят систему регулирования на границу областей устойчивости (т.е. когда в системе устанавливаются устойчивые автоколебания с определенной амплитудой и периодом);

2) зафиксировать значение коэффициента передачи П-регулятора как критическое, при котором получены автоколебания: по графику переходного процесса определить период автоколебаний (Т):

3) по эмпирическим формулам рассчитать параметры настройки регуляторов, обеспечивающие повышение устойчивости системы и получение достаточно высокого качества регулирования.

$$K_p = K * 0.6;$$

$$K_d = (K_p * T)/8,$$

где K_p – пропорциональный коэффициент регулятора; K_d – дифференциальный коэффициент регулятора.

При значениях $V_{y0}=0$; $V_{x0}=0$; $\omega_{z0}=0$; $\vartheta_0=0$, $\vartheta_{\text{заданное}}=5^\circ$ метод дает значения коэффициентов $K_{\vartheta}=0.08$, $K_{\omega_z}=0.04$.

На рис. 4 приведены результаты моделирования. Угол тангажа выходит на заданный значение за 4 секунды.

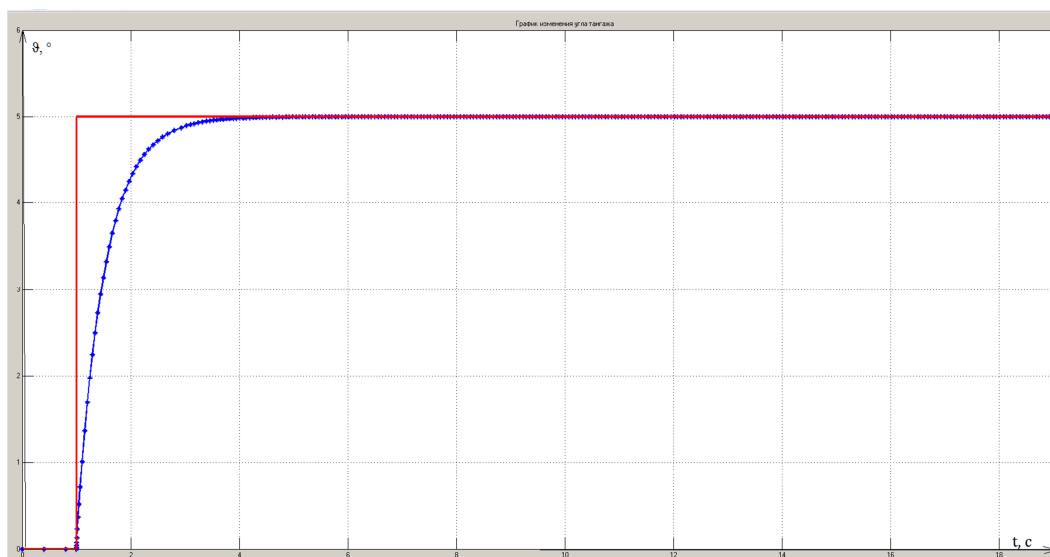


Рис. 4. Графики изменения угла тангажа

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (14-08-01173а).

Список литературы

1. Пупков К.А. Моделирование и испытание систем автоматического управления // Учебное пособие. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. Режим доступа: <http://iu1.bmstu.ru/Public/Books-bkp/vved.pdf> (дата обращения 10.06.2015).
2. Красовский А.А., Вавилов Ю.А., Сучков А.И. Системы автоматического управления летательных аппаратов / под ред. А.А. Красовского. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1986. 361 с.
3. Настройка коэффициентов ПИД-регулятора. Режим доступа: <http://www.microtechnics.ru/nastrojka-koefficientov-pid-regulyatora/> (дата обращения 20.05.2015).