

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ ПОДОБИЕ ПРИ ПОВОРОТЕ

Ключевые слова: управление, динамическое подобие, моделирование, летательный аппарат (ЛА), объект управления, поворот.

Приводятся результаты исследования управления ЛА. Из-за различных геометрических размеров базового и моделирующего ЛА условия динамического подобия для разворота вокруг центра масс сформулированы для совокупности координат. В работе предложен метод управления для совокупности параметров, который обеспечивает динамическое подобие ЛА при развороте. Проведено моделирование и анализ управляемого движения базового и моделирующего ЛА в программном комплексе Matlab в системе Simulink.

Keywords: management, dynamic similarity, modelling, the flying device (FD), object of management, turn.

Results of research of management FD are resulted. Because of the various geometrical sizes base and modelling FD conditions of dynamic similarity for a turn around of the center of weights are formulated for set of coordinates. In work the method of management for set of parameters which provides dynamic similarity FD at a turn is offered. Modelling and the analysis of operated movement base and modelling FD in program complex Matlab in system Simulink is lead.

Для обучения пилотированию летательными аппаратами (ЛА) используются тренажёры и специальные учебные ЛА. При помощи таких технических систем происходит отработка и закрепление обучающимися методов пилотирования. С точки зрения экономической целесообразности обучение следует проводить на ЛА, который имеет минимальную стоимость эксплуатации [1]. Возникает задача пилотирования моделирующим летательным аппаратом, на котором реакция на управляющие воздействия была бы похожей на реакцию базового летательного аппарата.

В работе [2] сформулировано условие динамически подобного управления ЛА, получен алгоритм решения и проведено компьютерное моделирование, показавшее эквивалентность динамических характеристик моделирующего и базового ЛА. В работе [3] доказана справедливость **Теоремы инвариантности динамического подобия**, в которой показано, что корректирующая составляющая управления моделирующего ЛА одинаковая для случаев условий динамического подобия по ускорению, по скорости и по координате.

В данной работе решается задача обеспечения динамического подобия на режимах поворота относительно центра масс ЛА. Особенностью рассматриваемого режима является различное расстояние от центра масс (центра разворота) до точки обеспечения динамического подобия (места расположения пилота) для базового и моделирующего летательных аппаратов. На рис.1 это расстояние для базового ЛА обозначено R_1 , для моделирующего ЛА - R_2 . Эти параметры являются радиусами поворота объектов управления.

Рассмотрим поворот базового ЛА вокруг центра масс (цм1). Для точки обеспечения динамического подобия для момента времени i на участке поворота Π_i запишем соотношения для координат:

$$\begin{cases} x_1 = R_1 \cdot \cos \alpha_1, \\ y_1 = R_1 \cdot \sin \alpha_1. \end{cases} \quad (1)$$

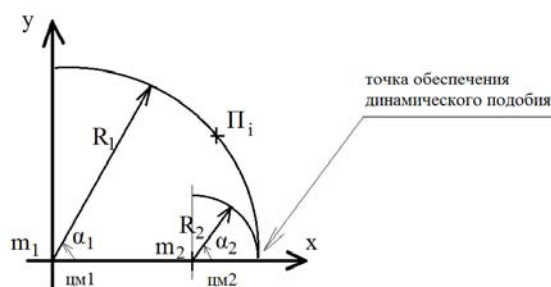


Рис. 1 - Схема разворота по окружности радиуса R_1 для базового и R_2 - для моделирующего ЛА

При малом угле α_1 выражения (1) примут вид:

$$\begin{cases} x_1 \approx R_1, \\ y_1 \approx R_1 \cdot \alpha_1. \end{cases} \quad (2)$$

Если для моделирующего ЛА управление обеспечивает только разворот, то точка обеспечения динамического подобия совершает разворот вокруг центра масс цм2 по окружности радиуса R_2 . Из рис.1 видно, что в этом случае траектории не будут совпадать.

Для обеспечения подобного движения запишем следующие условия:

$$\begin{cases} x_2 = x_1, \\ y_2 = y_1, \\ \alpha_2 = \alpha_1. \end{cases} \quad (3)$$

То есть для ЛА2 точка обеспечения динамического подобия Π_2 должна иметь те же координаты, что и Π_1 для ЛА1 для каждого момента времени.

Математические модели движения ЛА рассматриваются в работах [4,5]. Запишем уравнения движения моделирующего ЛА:

$$\begin{cases} m_2 \ddot{x}_2 = u_{x2} \\ m_2 \ddot{y}_2 = -m_2 g + u_{y2} \\ J_2 \ddot{\alpha}_2 = u_{\alpha 2} \end{cases} \quad (4)$$

Задача состоит в определении управления в (4) по трём каналам u_{x2} , u_{y2} , $u_{\alpha 2}$ такого, чтобы выполнялись (3) при заданном α_1 и рассчитанных из (1) x_1 и y_1 .

Такая задача в теории автоматического управления решается при помощи системы, представленной на рис. 2.

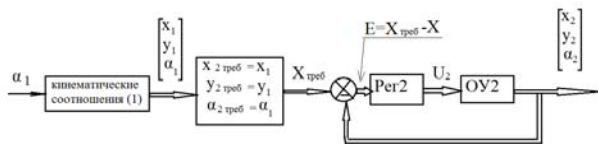


Рис. 2 – Схема реализации метода динамически подобного управления моделирующим ЛА по совокупности координат $\{x_2, y_2, \alpha_2\}$ для обеспечения подобия по координате α_1 базового ЛА

Здесь обозначены

Per2 – регулятор для ЛА2,

OY2 – объект управления – ЛА2 (моделирующий ЛА).

Для обеспечения управления в данной схеме регулятор можно выбрать пропорционально-дифференциальный (ПД) для каждого из трёх каналов.

На рис.3 приведена компьютерная модель системы автоматического управления, обеспечивающей динамическое подобие при развороте по параметру y_2 . В левой части схемы формируется значение угла разворота α_1 базового ЛА. Далее в замкнутом контуре установлен ПД регулятор по рассогласованию параметра регулирования. Правее в замкнутом контуре находится модель объекта управления – моделирующего ЛА (ЛА2).

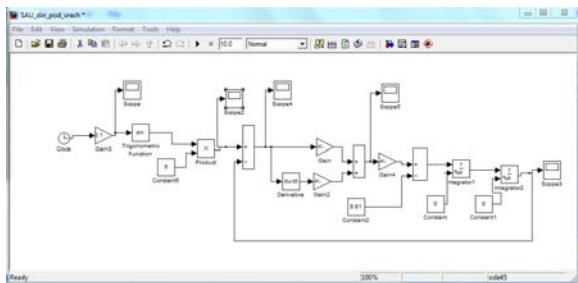


Рис. 3 - Компьютерная модель системы автоматического управления в программном комплексе Matlab в системе Simulink, реализующая метод динамически подобного управления.

Моделирование проводится для интервала времени 0 – 10 сек. Входной сигнал α_1 нарастает по

линейному закону. Далее в схеме по кинематическим соотношениям формируется y_1 . Затем при помощи сумматора вычисляется величина рассогласования

$$e_{y2} = y_{2\text{треб}} - y_2.$$

Анализ компьютерных расчётов показывает, что рассогласование быстро уменьшается и далее имеет малую величину. Затем в схеме формируется управление u_{y2} , которое подаётся на объект управления.

Объектом управления является моделирующий ЛА, на выходе которого под воздействием собственной динамики и управления u_{y2} формируется выходной сигнал y_2 – выходная координата разработанной САУ.

На рис.4 приводится график изменения величины рассогласования e_{y2} .

Так как e_{y2} в результате работы САУ малая величина, то получили достаточно точное выполнение равенства $y_2 = y_1$. То есть, обеспечили динамическое подобие по координате y . Аналогичное компьютерное моделирование можно провести и для координат x и α .

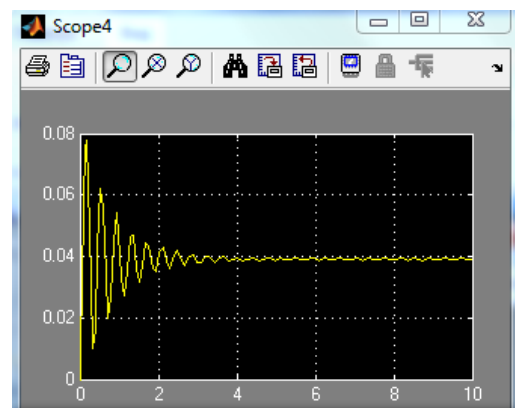


Рис. 4 – Результаты компьютерного моделирования - график изменения величины рассогласования e_{y2}

Сформулируем метод динамически подобного управления при развороте:

1. формируем условия динамического подобия для совокупности параметров;
2. на основе замкнутой системы автоматического управления, обеспечиваем динамическое подобие при развороте по совокупности параметров.

Выводы

В статье приводятся результаты исследования управления ЛА. Для базового и моделирующего ЛА получена математическая модель по каналу разворота вокруг центра масс. Сформулированы условия динамического подобия. Из-за различных геометрических размеров летательных аппаратов задача обеспечения динамического подобия моделирующего ЛА в работе решается управлением движением по трём

каналам. В работе предлагается методика формирования управления для обеспечения динамического подобия ЛА по каналу разворота.

В работе сформулирован **метод динамически подобного управления по совокупности параметров при развороте.**

Проведено моделирование управляемого движения базового и моделирующего ЛА в программном комплексе Matlab в системе Simulink. Анализ результатов компьютерного моделирования для предлагаемых условий динамического подобия и метода расчёта управления показывает:

- 1) схожесть движения ЛА при развороте;
- 2) близость рассогласования динамических характеристик к нулю, то есть, эквивалентность динамических характеристик.

Следовательно, показана работоспособность метода формирования управления для обеспечения

динамического подобия базового ЛА на моделирующем ЛА на режиме разворота.

Литература

1. Сайт Казанского вертолётного завода <http://kazanhelicopters.ru>.
2. *Терентьев С.А.* Алгоритм динамически подобного управления летательным аппаратом. Вестник КГТУ: Т.15, №15, 2012. стр. 252-254.
3. *Терентьев С.А.* Управление летательным аппаратом, обеспечивающее динамическое подобие. Вестник КГТУ: Т.16, №6, 2013. стр. 176-178.
4. *Берестов Л.М.* Моделирование динамики вертолета в полете. М:Машиностроение, 1978
5. *Мхитарян А.М., Лазнюк П.С., Максимов В.С. и др.* Динамика полета. – М.: Издательство Машиностроение, 1978.

© **С. А. Терентьев** – канд. техн. наук., доц. каф. автоматизированных систем сбора и обработки информации КНИТУ, kuvalda220@mail.ru.

© **S. A. Terentev** - Cand. Tech. Sci., the senior lecturer of faculty of the automated systems of gathering and processing of information KNRTU, kuvalda220@mail.ru.