

УДК 381.51:621.3.078.3

С. Б. КОЧУК, Е. В. ОГИЙ

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Проектирование систем автоматического управления (САУ) неразрывно связано с особенностями динамики движения и пилотирования летательных аппаратов (ЛА). Изучение и исследование системы «самолет-САУ» может осуществляться различными способами, одним из которых является полунатурное моделирование в виде: реальная САУ + математическая модель динамики движения ЛА, на котором она установлена. На базе автопилота АП-155 предлагается проект комплекса полунатурного моделирования бокового канала САУ, который будет использоваться для проведения занятий и исследований контуров автоматического управления при решении задач улучшения устойчивости и управляемости, стабилизации углового положения самолета по крену и курсу с учетом динамических особенностей бокового движения гипотетического ЛА.

Ключевые слова: система автоматического управления, автопилот, стабилизация, канал управления, крен, моделирование.

Схема комплекса полунатурного моделирования бокового канала автопилота (АП) является стандартной [1] и содержит (рис.1): комплект блоков АП – объект исследования [2], плату сопряжения – контроллер, источники питания и преобразования напряжений, пульт управления, поворотные установки гиросагрегата (ГА) и датчика угловой скорости крена (ДУС-к) – источники воздействия на рис. 1.



Рис. 1. Общая схема установки

Основной частью лабораторной установки являются блоки бокового канала автопилота АП-155 [3] с реальным электромеханическим приводом РАУ-107, в усилительных блоках АП реализован алгоритм или закон управления, обеспечивающий улучшение пилотажных свойств [4] объекта управления (самолет) в режиме «Демпфер», стабилизацию заданных углов крена и курса в режиме «Стабилизация».

Автопилот АП-155 является составной частью системы автоматического управления (САУ) самолетом [4]. Принцип его действия основан на измерении величин, характеризующих положение самолета в пространстве (угловых скоростей крена и тангажа, углов крена, тангажа, курса и атаки, нормальной перегрузки, отклонений от заданной высоты полета) и преобразовании их в отклонение органов управления самолетом посредством исполнительных механизмов или рулевых агрегатов [1,5]. АП предназначен для повышения безопасности полетов на всех режимах полета от взлета до посадки, как в простых, так и сложных метеоусловиях за счет автоматизации приведения самолета к горизонтальному полету из любого пространственного положения, а также стабилизации углов крена, тангажа и курса, задаваемых летчиком в процессе управления ЛА [4, 5, 7]. АП также повышает эффективность действия летчика и снижает его утомляемость за счет демпфирования короткопериодических колебаний по крену и тангажу [8]. Функциональная схема бокового канала управления АП [3] и его взаимодействие с элементами механической проводки управления – рукоятка управления, автомат регулирования управления АРУ-3В, загрузочный механизм (ЗМ) – представлены на рис. 2, здесь: ДУС - датчик угловой скорости; АГД-1 – авиагоризонт дистанционный; КС – курсовая система; ФЧВ – фазочувствительный выпрямитель, который преобразует переменный сигнал в постоянный в зависимости от значений фазы и частоты первого; КПЧ-2- корректор передаточных

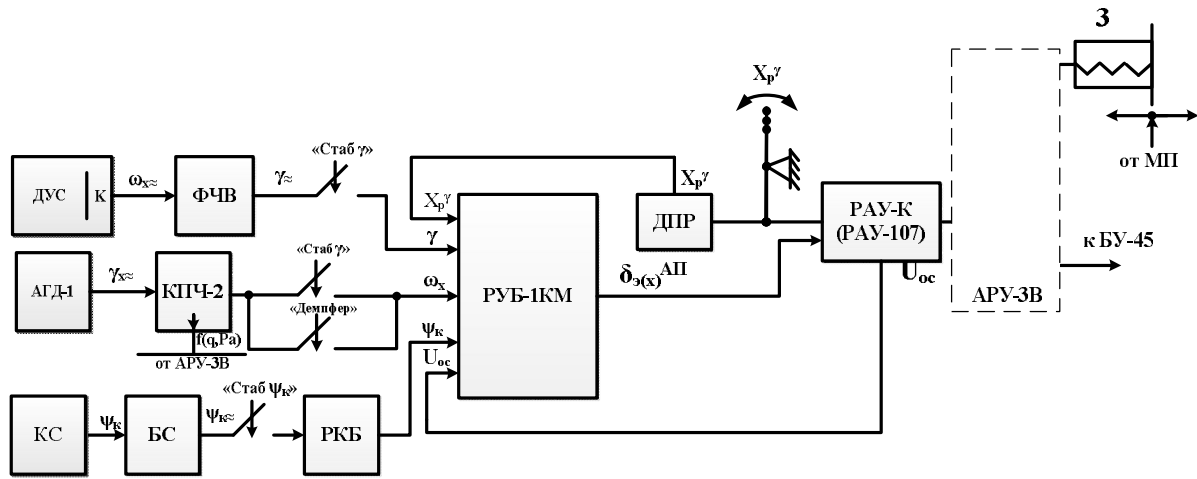


Рис. 2. Функциональная схема бокового канала АП

чисел, изменяет величину передаточного числа в зависимости от высоты или скорости полета; БС – блок согласования, который принимает и фильтрует сигналы от курсовой системы; ДПР – датчик положения ручки – потенциометрический датчик, который преобразовывает перемещение рукоятки управления в электрический сигнал; АРУ – автомат регулирования управления, меняет передаточное отношение в проводке управления в зависимости от режима полета; ЗМ – загрузочный механизм (пружина); МП – механизм триммерного эффекта; РКБ – релейно-коммутационный блок; РУБ-1КМ – релейно-усилительный блок; РАУ – рулевой агрегат управления.

Схема лабораторной установки (рис. 3) состоит из объекта автоматического управления (ОАУ), представляющего собой пульт управления, РУБ (усилитель БА2548), сервопривод (СП) РАУ-107 и объекта управления (ОУ) - персонального компьютера (ноутбука), в котором находится требуемая для исследования машинная модель ЛА.

Математическое описание системы «САУ+ самолет», реализуемое в виде дифференциальных

уравнений или структурных схем с известными передаточными функциями элементов, позволяет на этапе проектирования [6] воссоздать динамические особенности составных частей стенда, синтезировать величины передаточных чисел законов управления, соответствующих получению желаемого качества переходных процессов в замкнутом контуре управления. Математическая модель динамик полета самолета строилась на базе изолированных движений типа координированного разворота, что с достаточной достоверностью отражает реальную картину изменения таких параметров, как угловая скорость крена, углы крена и рыскания при стабилизации углового положения или приведении самолета к горизонту.

На первом этапе проектирования лабораторного моделирующего комплекса РАУ-107 заменялся нелинейной моделью, проверялась адекватность модели и влияние нелинейностей на динамику контура управления.

Нелинейная математическая модель СП представляется в виде структурной схемы (рис. 4), в прямой цепи которой последовательно соединены усилительные и исполнительные устройства.

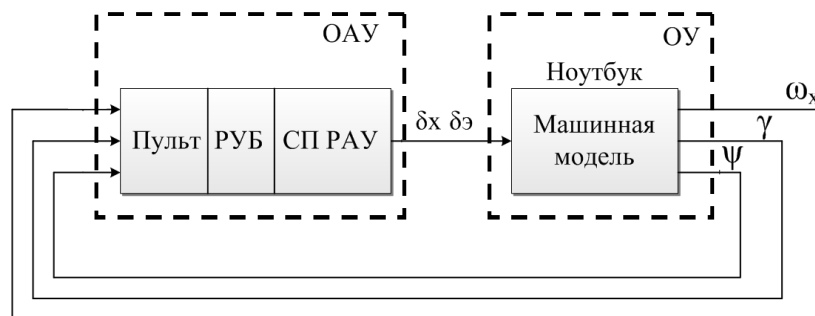


Рис. 3. Схема комплекса полунатурного моделирования

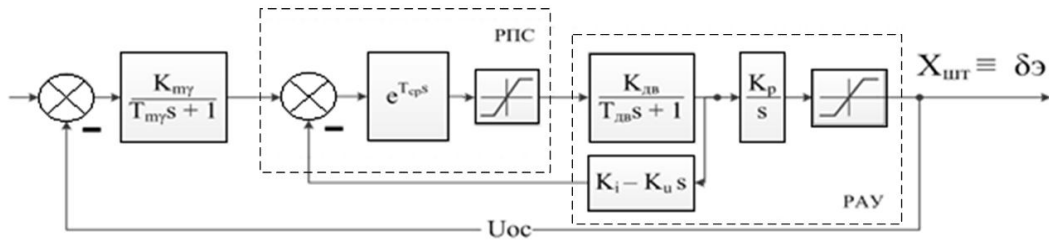


Рис. 4. Структурная схема нелинейного СП

В состав СП входят: элементы сравнения, выполненные на базе магнитного усилителя, и усиленные каскады РУБ [5] в виде магнитного и релейного усилителей; реле – поляризованное силовое (РПС), представляет собой электрическое трехпозиционное силовое реле, изменение состояния которого зависит от полярности входного сигнала, осуществляет двухкаскадное усиление сигнала рассогласования и организацию обратных связей исполнительного двигателя РАУ по току и напряжению в целях устойчивой работы в режимах многократных переключений; рулевой агрегат, состоящий из двигателя, элемента кинематической передачи и муфты сцепления. Основными нелинейностями РАУ являются элементы задержки и насыщения РПС (рис. 4) и насыщения рулевого агрегата [4, 5]. Полная структурная схема бокового канала АП с учетом нелинейного СП представлена на рис. 5.

Создание полной модели, соответствующей функциональной схеме рис. 2, требует описания входных воздействий на систему управления и формирования ее законов управления.

ДПР реализован в виде потенциометрического датчика и легко описывается звеном с насыщением (рис. 5) и изменяемым коэффициентом передачи $K_3^{X_p}$. ДУС динамически эквивалентен колебательному звену [4, 5] с фиксированной полосой пропускания и регулируемым коэффициентом передачи.

Сигнал крена с АГД проходит через фазочувствительный выпрямитель для получения постоянного сигнала, понятного на входе магнитному усилителю. КС в случае моделирования угловых движений обладает значительной инерционностью и эквивалентна звену с единичным коэффициентом усиления (на рис. 5 не показана).

Основными законами управления АП в трех режимах работы являются:

1.Режим демпфирования «Д»:

$$\delta_3 = k \omega_x ; \tag{1}$$

2.Режим стабилизации по крену «Ст. γ»:

$$\delta_3 = k_3^{\omega_x} \omega_x + k_3^{\gamma} \gamma ; \tag{2}$$

3.Режим приведения к горизонту «ПГ»:

$$\delta_3 = k_3^{\omega_x} \omega_x + k_3^{\gamma} (\gamma - \gamma_{зад}) + k_3^{\psi} (\psi - \psi_{зад}). \tag{3}$$

Более детальному анализу подвергалась модель СП, методом структурного моделирования проверялась адекватность модели реальному РАУ-107. По представленным структурным схемам контура была разработана s-модель сервопривода (рис. 6), моделирование которой в среде MatLab/Simulink с применением двух блоков (Saturation), формирующих ограничение величины сигнала или зону насыщения, с параметрами upper limit= 1, lower limit = -1, позволило в полной мере учесть свойственные РАУ-107 нелинейности.

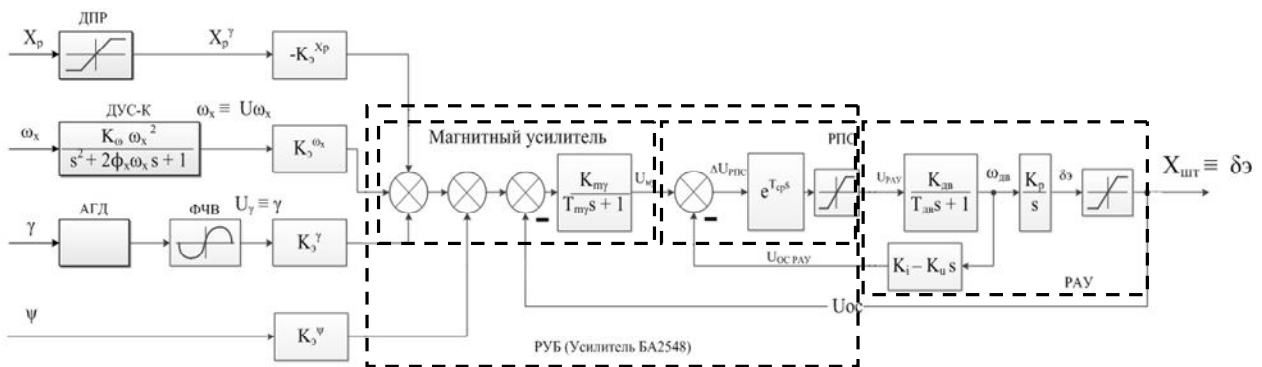


Рис. 5. Полная структурная схема системы управления

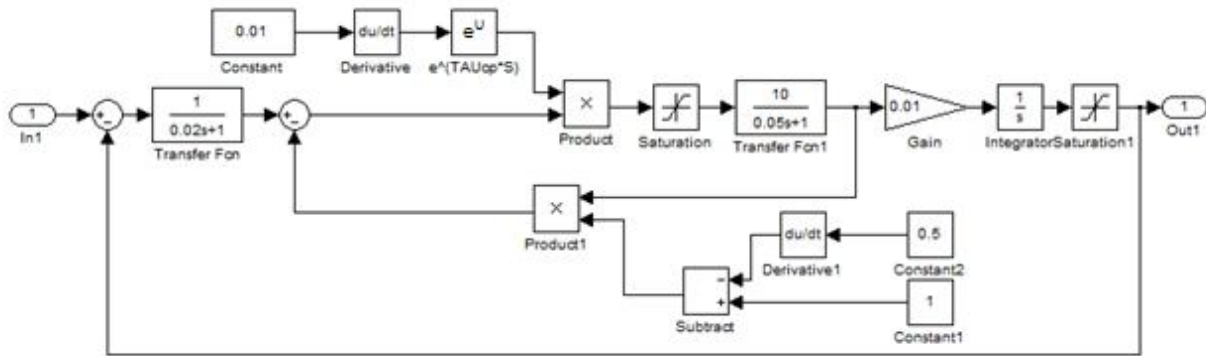
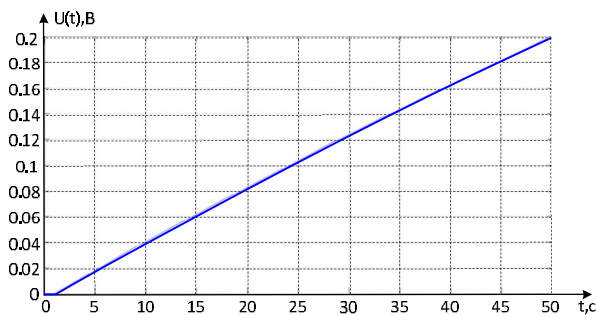
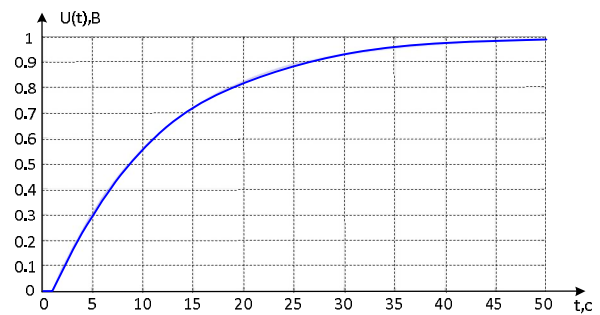


Рис. 6. Машинная модель РУБ + РАУ

Рис. 7. Переходная характеристика СП с $k_{\mu} = 1$ Рис. 8. Переходная характеристика СП с $k_{\mu} = 10$

Временные характеристики привода (рис. 7, 8), снятые при разных коэффициентах усиления k_{μ} , свидетельствуют о проявлении нелинейных свойств СП при значительных (рис. 8) величинах коэффициента передачи.

Исследования показывают, что расчет параметров нелинейного СП, синтез структуры и коэффициентов, характеризующих его работу, позволяют добиться совпадения динамических свойств модели и реального РАУ-107 при работе бокового канала автопилота.

Литература

1. Дорф, Р. *Современные системы управления [Текст] : пер. с англ. / Р. Дорф, Р. Бишоп. – М. : Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.*
2. *Словарь терминов по системам управления летательных аппаратов [Текст] / А. С. Кулик, А. Г. Гордин, В. И. Кортунов, В. Ф. Симонов, Ю. Н. Соколов. – Х. : Национальный аэрокосмиче-*

ский университет «ХАИ», 2000. – 224 с.

3. *Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию АП-155. – М. : Машиностроение, 1974. – 80 с.*

4. *Красовский, А. А. Системы автоматического управления летательных аппаратов [Текст] / А. А. Красовский, Ю. А. Вавилов, А. И. Сучков. – М. : ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1986. – 478 с.*

5. *Кулик, А. С. Расчет и проектирование элементов и систем управления [Текст] : учебное пособие / А. С. Кулик. – Х. : ХАИ, 1986. – 108 с.*

6. *Гулятьев, А. К. Имитационное моделирование в среде Windows [Текст] : практическое пособие / А. К. Гулятьев. – СПб. : Корона-Принт, 1999. – 288 с.*

7. *Raymond, E. Aircraft Flight Control System Actuation System Design [Text] / E. Raymond, C. Chenoweth. – Warrendale : Society of Automotive Engineers, 1993. – 270 p.*

8. *Moir, I. Aircraft systems: mechanical, electrical and avionics subsystems integration [Text] / I. Moir, A. Seabridge. – Chichester : Wiley, 2008. – 546 p.*

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

С. Б. Кочук, К. В. Огий

Проектування систем автоматичного управління (САУ) нерозривно пов'язане з особливостями динаміки руху і пілотування літальних апаратів (ЛА). Вивчення і дослідження системи «літак-САУ» може здійснюватися різними способами, одним з яких є напівнатурне моделювання у вигляді: реальна САУ + математична модель динаміки руху ЛА, на якому вона встановлена. На базі автопілота АП-155 пропонується проект комплексу полунатурного моделювання бічного каналу САУ, котрий буде використовуватися для проведення занять та досліджень контурів автоматичного управління при виконанні завдань поліпшення стійкості і керованості, стабілізації куткового положення літака по крену і курсу з урахуванням динамічних особливостей бічного руху гіпотетичного ЛА.

Ключові слова: система автоматичного управління, автопілот, стабілізація, канал керування, крен, моделювання.

THE DEVELOPMENT OF A SET OF SCALED-DOWN SIMULATION THE CONTROL SYSTEM OF THE AIRCRAFT

S. B. Kochuk, E. V. Ogi

Design of automatic control systems (ACS) is inextricably linked with the features of an aircraft motion and piloting dynamic. The study and research of the system “aircraft-ACS” can be done in different ways, one of which is a semi-natural simulation in the form: real ACS + mathematical model of the dynamic motion of the aircraft on which this ACS is installed. Based on the autopilot AP-155 the project of ACS lateral channel semi-natural simulation complex, that will be used for trainings and researches of automatic control loops when improving stability and controllability, stabilization of an aircraft roll and course angular position with dynamic features of a hypothetical aircraft lateral motion, is proposed.

Key word: automatic control system, autopilot, stabilization, control channel, roll, simulation.

Кочук Сергей Борисович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры систем управления летательными аппаратами, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: sedoi_ksb@mail.ru.

Огий Екатерина Владимировна – студент кафедры систем управления летательными аппаратами, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: meateatingshroomswillfindyou@yandex.ua.