

Е. В. Панфилов – магистрант кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Р. Н. Малаханов (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

СРАВНЕНИЕ СТЕПЕННОГО НЕЛИНЕЙНОГО И НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ПД-РЕГУЛЯТОРОВ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОТОЙ ПОЛЕТА САМОЛЕТА

Перед автором была поставлена задача произвести синтез нелинейного степенного и нечеткого регуляторов для управления высотой полета самолета и сравнить их. Критерием сравнения является время переходного процесса; перерегулирование должно быть не более 2%, статическая ошибка должна отсутствовать.

В задаче управления высотой ЛА на вход регулятора будут поступать действительное и желательное значения высоты ($H_{\text{зад}}$), а на выходе регулятора будем получать угол отклонения рулей высоты ЛА.

В качестве режима полета выбран подъем с высоты $H_{\text{нач}} = 4000$ м до $H_{\text{зад}} = 4100$ м с числом $M = 0.65$. Коэффициенты для данного режима для легкого самолета приведены в таблице 1.

Таблица 1

n_B	n_{22}	n_{32}	n_{33}	n_0	C_1	C_2
24,5	2,66	10,63	1,69	0,59	4,94	15,13

Модель самолета представлена в виде передаточных функций углов тангажа и атаки по углу отклонения руля высоты (Равенства (1), (2) соответственно).

$$\frac{u}{\delta_B} = \frac{-n_B(p + n_{22})}{p(p^2 + C_1 p + C_2)} \quad (1)$$

$$\frac{\alpha}{\delta_B} = \frac{-n_B}{p^2 + C_1 p + C_2} \quad (2)$$

Зная (1) и (2), на основании формулы (3) можно получить выражение для передаточной функции угла наклона траектории по углу отклонения руля высоты.

$$\vartheta = u + \alpha \quad (3)$$

Принимая скорость ЛА во время переходного режима постоянной, окончательно составим модель ЛА для данной задачи.

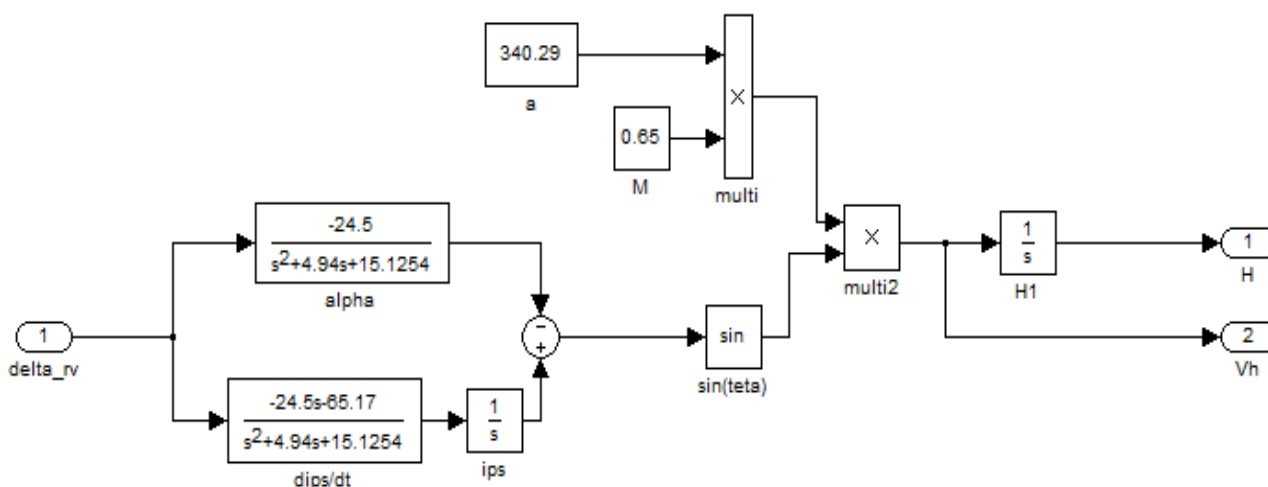


Рис. 1. Модель объекта регулирования в Simulink

Прежде всего, для модели с помощью диаграммы Боде был синтезирован классический линейный ПД-регулятор. Его коэффициенты в дальнейшем были использованы при инициализации исследуемых регуляторов.

Настройка регуляторов производилась методом численной оптимизации параметров с использованием генетических алгоритмов. Данный метод успешно проявил себя в задачах глобальной оптимизации.

Критерием оптимизации выбран взвешенный интегральный критерий в виде:

$$ITE = \int_0^{\infty} t^N e(t)^M dt, \quad (4)$$

где N, M – целочисленные коэффициенты, отличные от 1 (N = M = 2).

Степенной нелинейный ПД-регулятор описывается формулой:

$$U(s) = E(s) \left\{ K_p + (e(t))^{K_x} K_D \text{sign}(e(t)) s \right\} \quad (5)$$

Для улучшения параметров переходного процесса дифференциальная составляющая возводится в степень. Был настроен ряд данных нелинейных регуляторов с различными значениями Kx.

Таблица 2

Kx	0.8	0.9	1 (линейный)	1.1	1.2
t _{nn}	2.5с	2.42с	2.7с	2.31с	2.42с

Изменение Kx достаточно сложно влияет на динамику системы. Тем не менее, наилучший переходный процесс проявляется при Kx = 1.1, что, отчасти, совпадает с результатами в [4].

Следующим шагом, были синтезированы нечеткие регуляторы с количеством термов для входных и выходной переменных 3-3-5 и 5-5-7. Функции принадлежности гауссовские. Правила представлены в таблицах 3 и 4:

Таблица 3.

Правила для регулятора 3-3-5

		error		
		om	n	pm
d error	om	os	om	n
	n	om	n	pm
	pm	n	pm	ps

Таблица 4.

Правила для регулятора 3-3-5

		error				
		ob	om	n	pm	pb
d error	ob	ob	ob	os	om	n
	om	ob	os	om	n	pm
	n	os	om	n	pm	os
	pm	om	n	pm	os	pb
	pb	n	pm	os	pb	pb

Таблица 5

Время переходного процесса для систем с указанными регуляторами

p-p	3-3-5	5-5-7
t _{nn}	2.24с	2.03с

и 3. Графики переходных процессов системы с синтезированными регуляторами приведены на рис. 2

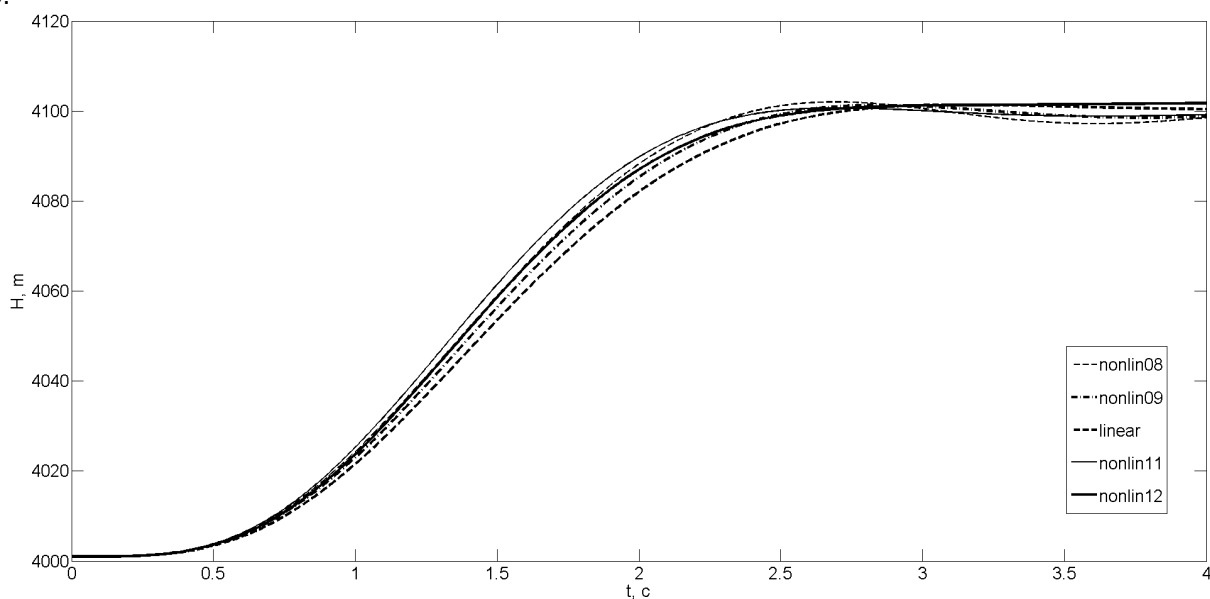


Рис. 2. Переходные характеристики для степенных регуляторов

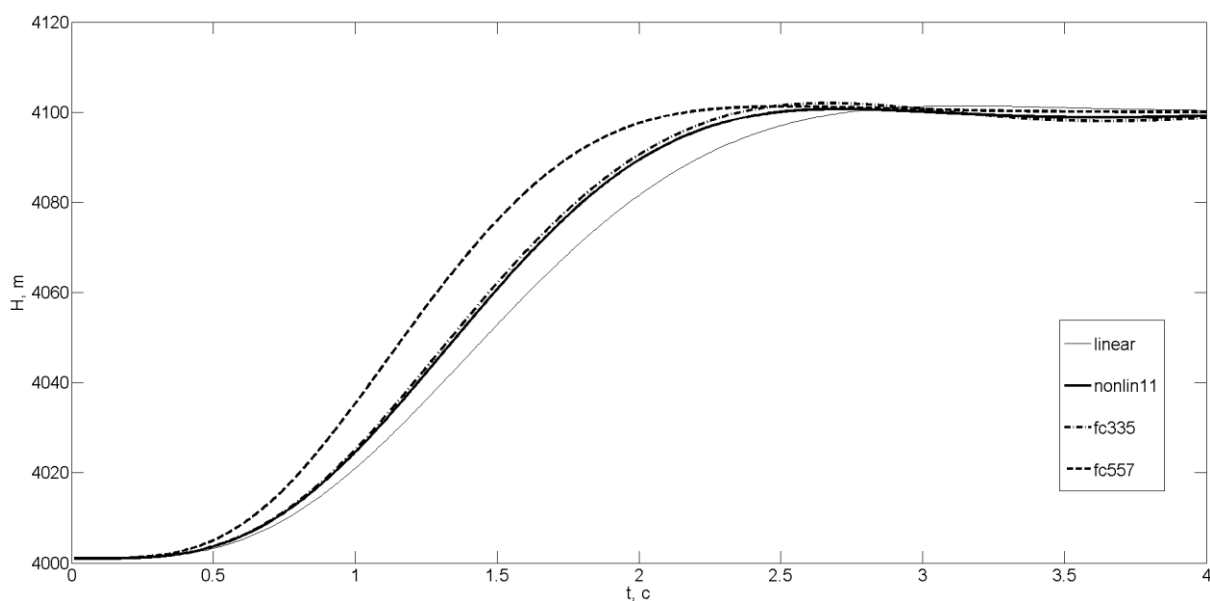


Рис. 3. Переходные характеристики для нечетких регуляторов

По проведенной работе можно сделать следующие выводы:

- использование приведенных нелинейных регуляторов вместо классического ПД позволяет уменьшить время переходного процесса на величину до 30%;
- нечеткий регулятор (3-3-5) исследованной структуры может быть заменен нелинейным степенным без потерь качества;
- наилучшим среди представленных является нечеткий регулятор (5-5-7).

Библиографический список

1. Боднер В.А., Козлов М.С. Стабилизация летательных аппаратов и автопилоты. - М.: «Оборонгиз», 1961. - 508 с.
2. Рутковская М., Плинский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. — М.: Горячая линия – Телеком, 2007. - 452 с.
3. Ишимцев Р.Ю., Воевода А.А., Жмудь В.А., Семибаламут В.М. «Оптимизация нелинейных ПИД-регуляторов» - Сборник научных трудов НГТУ, 2008 г. - No 3(53). - 13–16
4. Ишимцев Р.Ю., Воевода А.А., Жмудь В.А. «Обоснование размещения корней уравнения замкнутой динамической системы» - Сборник научных трудов НГТУ, 2007г. - No 3(49). - 3–8

5. P. Subbaraj, P.S. Godwin Anand GA «Optimized Knowledge Base of FLC for Complex Industrial Process » - International Journal of Digital Content Technology and its Applications, February 2010 - Volume 4, Number 1