

Питання управління в складних системах

УДК 519.7

В.И. Барсов, А.В. Кравцова

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Приведены результаты исследования системы управления беспилотным летательным аппаратом в канале продольного движения (управление углом тангажа). Была исследована система с сервоприводом с жёсткой обратной связью, скоростной обратной связью и изодромной обратной связью, при изменении коэффициентов датчика угловой скорости и датчика угла. Исследование системы управления было выполнено в среде моделирования Simulink пакета Matlab.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, система управления, продольный канал, сервопривод, обратная связь.

Введение

Рост восторженности в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) вызван расширением масштабов научно-исследовательских, аварийно-спасательных работ, решением актуальных вопросов по экологической безопасности и охране окружающей среды.

Эффективное использование летательных аппаратов, прежде всего, таких специфических классов летательных аппаратов, как беспилотные летательные аппараты невозможно без помощи систем автоматического управления (САУ), позволяющих оперативно и точно решать задачи пространственной ориентации и стабилизации.

Для САУ беспилотного летательного аппарата (БПЛА) одной из наиболее важных решаемых задач является исполнение всей программы полета, в независимости от воздействия случайных возмущающих факторов, возникающих в процессе полета [5].

Одним из главных элементов реализации процессов управления полётом летательного аппарата является сервопривод (СП) – электрический привод с обратной связью по положению, применяемый в автоматической системе для привода управляющих элементов и рабочих органов [3].

Сервопривод получая на вход значение управляющего параметра (в реальном времени), основываясь на показаниях датчика стремится создать и поддерживать это значение на выходе исполнительного элемента [1].

В данной работе было проведено исследование влияния на систему стабилизации по углу тангажа сервопривода с жёсткой обратной связью, скорост-

ной обратной связью и изодромной обратной связью.

Схема сервопривода применяемого при исследовании САУ БПЛА представлена на рис. 1 [3], где приняты следующие обозначения:

Ус. СП – усилитель сервопривода;

РМ – рулевая машинка;

ДОС – датчик обратной связи;

ОС – обратная связь;

РА – рулевой агрегат;

Блок ус. РА – блок усиления РА;

$U_{упр}$ – сигнал управления;

δ – угол отклонения рулевой поверхности.

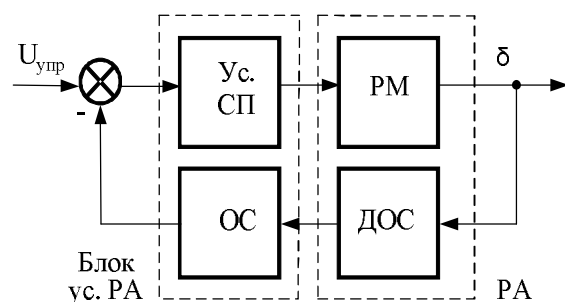


Рис. 1. Типовая схема сервопривода

Для элементов сервопривода приняты следующие передаточные функции:

$$W_y(s) = k_y = 3;$$

$$W_{рм}(s) = k_y / s = 0,2 / s;$$

$$W_{дос}(s) = k_{дос} = 1.$$

Данные передаточные функции использовались при проведении моделирования исследуемых процессов.

Основная часть

Для исследования динамики беспилотного летательного аппарата использовались методы теории линейных, систем математического и машинного моделирования.

Для моделирования процессов протекающих в САУ беспилотного летательного аппарата использовалась среда графического моделирования Simulink пакета Matlab [4].

Было рассмотрено три вида обратной связи (ОС) сервопривода: жёсткая обратная связь (ЖОС), скоростная обратная связь (СОС) и издромная обратная связь (ИОС).

При жёсткой обратной связи — на вход регулятора поступает сигнал, пропорциональный выходному сигналу объекта в любой момент времени. При этом, входному управляющему сигналу соответствует пропорциональное отклонение штока исполнительного устройства, пропорциональный углу отклонения рулевой поверхности [2].

Передаточная функция жёсткой обратной связи имеет вид:

$$W_{жос}(s) = k_{oc} = 1.$$

Таким образом, передаточная функция сервопривода с ЖОС равна:

$$W_{сп_жос} = \frac{k_y \cdot k_{pm}/s}{1 + k_y \cdot (k_{pm}/s) \cdot k_{дос} \cdot k_{oc}} = \frac{1}{1,667 \cdot s + 1}.$$

При скоростной обратной связи — на вход регулятора поступает не только сигнал, пропорциональный выходному сигналу объекта, но и сигнал, пропорциональный производным выходной переменной. Для такой ОС сервопривода в цепи обратной связи стоит идеальное дифференцирующее звено [2].

Передаточная функция скоростной обратной связи имеет вид:

$$W_{сп_coc}(s) = s \cdot k_{oc} = s \cdot 1.$$

Передаточная функция сервопривода с СОС имеет вид:

$$W_{сп_coc}(s) = \frac{k_y \cdot k_{pm}/s}{1 + k_y \cdot (k_{pm}/s) \cdot k_{дос} \cdot s \cdot k_{oc}} = \frac{0,375}{s}.$$

Сервопривод со СОС является интегрирующим звеном.

При использовании издромной обратной связи в цепи обратной связи стоит реальное дифференцирующее звено. Его можно рассматривать как последовательно соединенные идеальное дифференцирующее и апериодическое звенья [2].

Передаточная функция ИОС имеет вид:

$$W_{иос_coc}(s) = k_{oc} \cdot \frac{s \cdot T_{и}}{s \cdot T_{и} + 1} = 1 \cdot \frac{s}{s + 1}.$$

Передаточная функция сервопривода с ИОС:

$$W_{сп_coc}(s) = \frac{k_y \cdot k_{pm}/s}{1 + k_y \cdot (k_{pm}/s) \cdot k_{дос} \cdot k_{oc} \cdot \frac{s \cdot T_{и}}{s \cdot T_{и} + 1}} = \frac{0,6 \cdot (s + 1)}{1,6 \cdot s \cdot (0,625 \cdot s + 1)}.$$

При проведении моделирования была реализована модель САУ БПЛА позволяющая исследовать систему автоматического управления с сервоприводом для трёх видов обратной связи при различных коэффициентах датчика угловой скорости (ДУС) и датчика угла (ДУ). Машинная модель системы управления по углу тангажа, реализованная в среде Simulink, представлена на рис. 2.

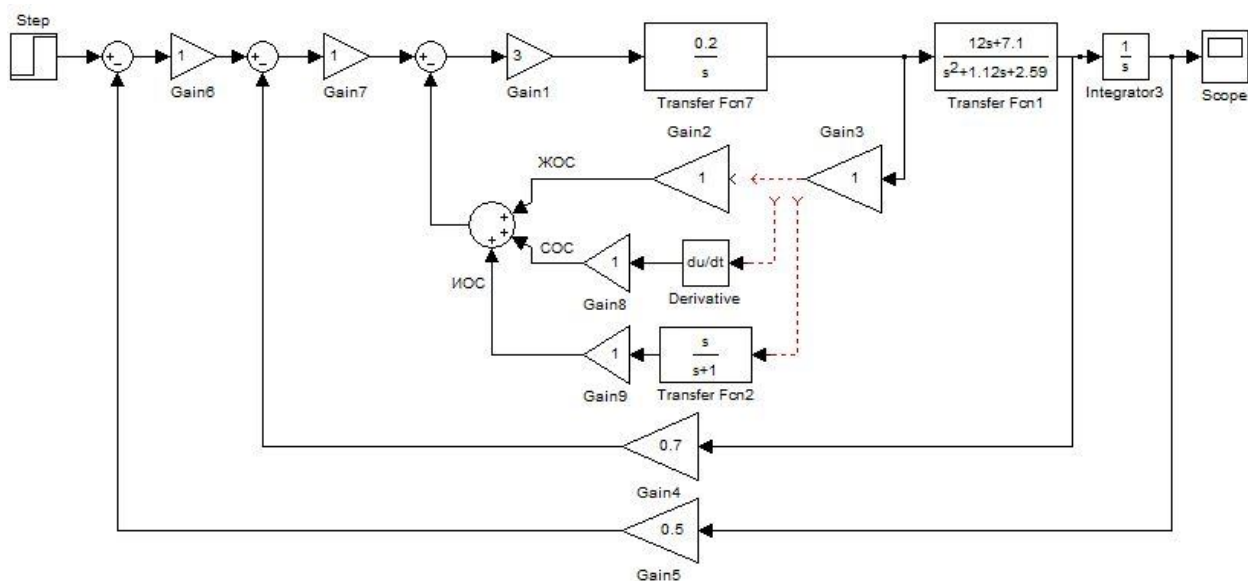
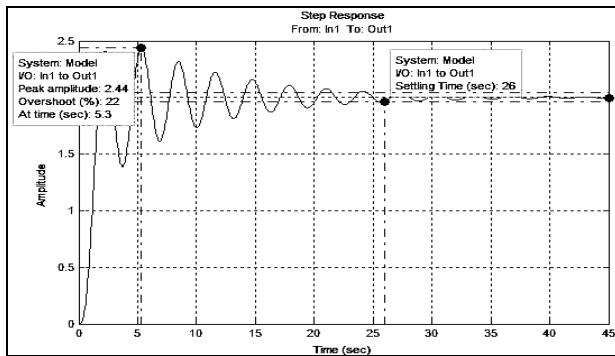


Рис. 2. Машинная модель САУ по углу тангажа

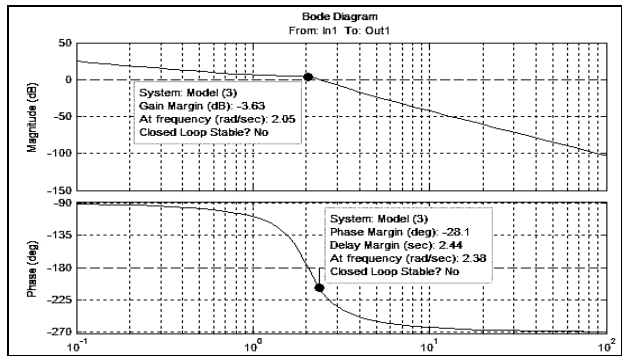
В ході проведення дослідження були отримані результати системи стабілізації кутлового положення беспилотного летального апарату для

разных видів зворотного зв'язку при різних коефіцієнтах датчика кутлової швидкості і датчика кутла, які приведені на рис. 3.

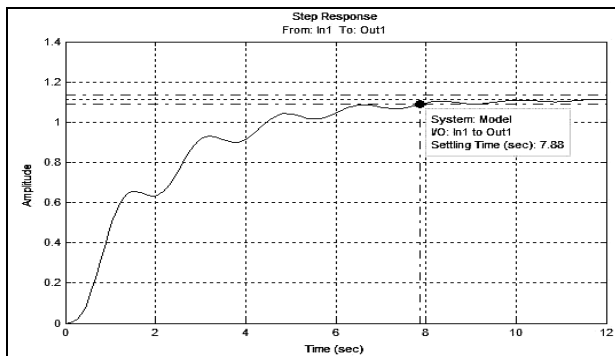


$K_{дус} = 0,225, K_{ду} = 0,5$

а

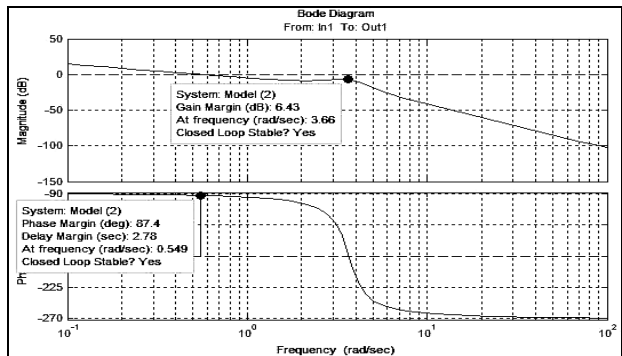


б

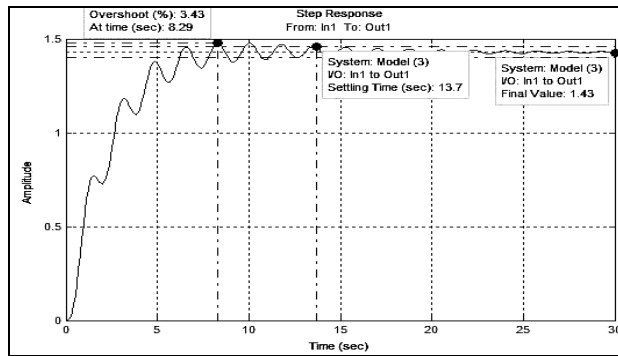


$K_{дус} = 1,5, K_{ду} = 0,9$

в

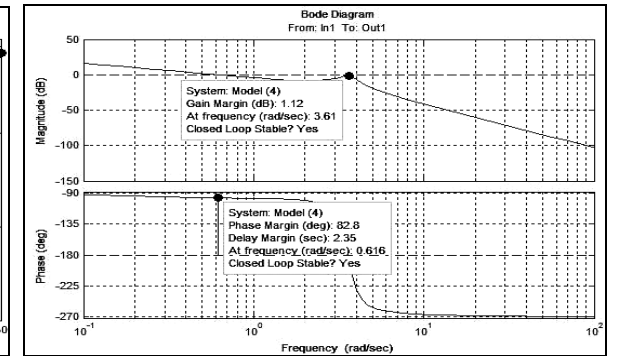


г

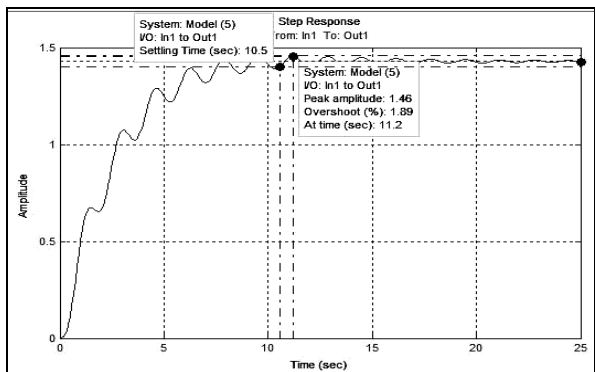


$K_{дус} = 1,5, K_{ду} = 0,7$

д

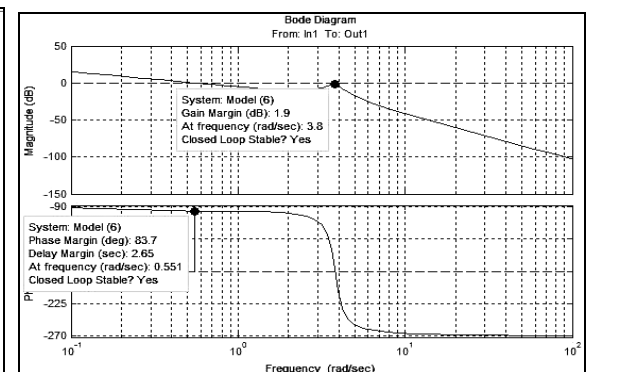


е



$K_{дус} = 1,7, K_{ду} = 0,7$

ж



з

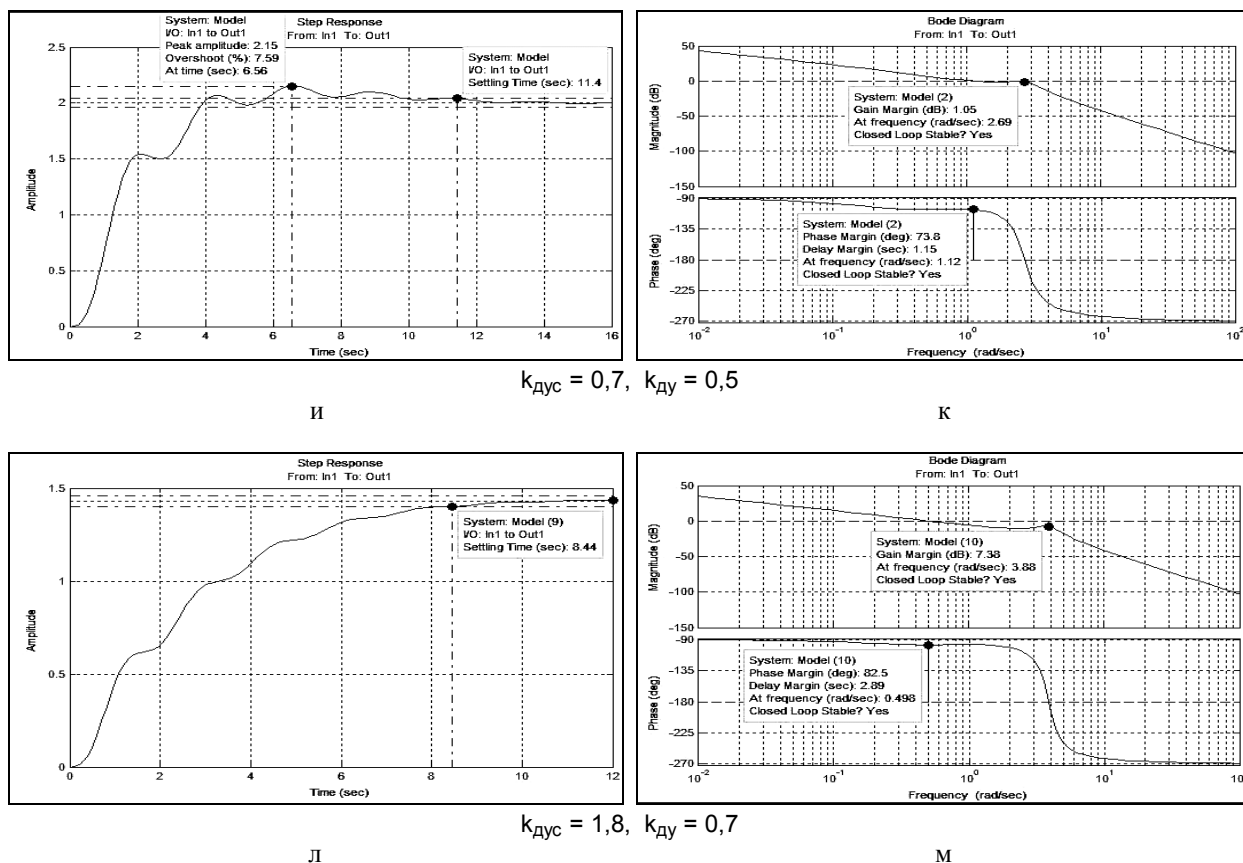


Рис. 3. Переходная характеристика (а, в, д, ж, и, л), и АЧХ и ЛФЧХ САУ (б, г, е, з, к, м) САУ с СП с СОС

В табл. 1 – 3 приведены показатели качества системы с сервоприводом с жёсткой ОС, со ско-

ростной ОС и издромнойОС для разных коэффициентов ДУС и ДУ.

Таблица 1

Показатели качества системы стабилизации с СП с ЖОС

$K_{дус}$	$K_{ду}$	$t_{пп}, c$	$\sigma, \%$	M	$\epsilon_{уст}, B$	Lз, дБ	Фз, град
0,225	0,5	26	22	0,158	1	0	0
0,7	0,5	8,17	0	0,7	1	1,54	79,2
1	0,5	10,7	0	1,03	1	3,71	84,6
1,5	0,7	9,95	0	1,4	0,42	6,43	87,4
1,5	0,9	7,88	0	1,2	0,11	6,43	87,4

Таблица 2

Показатели качества системы стабилизации с СП с СОС

$K_{дус}$	$K_{ду}$	$t_{пп}, c$	$\sigma, \%$	M	$\epsilon_{уст}, B$	Lз, дБ	Фз, град
0,7	0,5	21,7	12,6	0,208	1	0	0
1,5	0,7	13,7	3,43	0,437	0,43	1,12	82,8
1,5	0,6	10,9	1,6	0,537	0,67	1,12	82,8
1,6	0,6	10,8	1,05	0,591	0,67	1,52	83,3
1,7	0,7	10,5	1,46	0,544	0,43	1,9	83,7

Таблиця 3

Показатели качества системы стабилизации с СП с ИОС

$K_{дус}$	$K_{ду}$	$t_{пп}$, с	σ , %	M	$\epsilon_{уст}$, В	$Lз$, дБ	$\Phiз$, град
0,7	0,5	11,4	7,59	0,629	1	1,05	73,08
1	0,5	10,6	2,75	0,954	1	3,25	78,3
1,5	0,5	9,57	0,4	1,5	1	6,04	81,3
1,5	0,7	6,44	1,33	1,3	0,43	6,04	81,3
1,8	0,7	8,44	0	1,64	0,43	7,38	82,5

Выводы

По результатам сравнительного анализа показателей качества, приведенных в табл. 1 – 3, можно сделать следующие выводы:

1) система с сервоприводом с ЖОС показала наилучший результат при $K_{дус} = 1,5$, $K_{ду} = 0,9$ со следующими показателями:

$$t_{пп}, \text{ с} - 7,88; \sigma, \% - 0; M - 1,2;$$

$$\epsilon_{уст}, \text{ В} - 0,11; Lз, \text{ дБ} - 6,43; \Phiз, \text{ град} - 87,4;$$

2) система с сервоприводом с СОС показала оптимальный результат при $K_{дус} = 1,7$, $K_{ду} = 0,7$ с такими показателями качества:

$$t_{пп}, \text{ с} - 10,5; \sigma, \% - 1,46; M - 0,544;$$

$$\epsilon_{уст}, \text{ В} - 0,43; Lз, \text{ дБ} - 1,9; \Phiз, \text{ град} - 83,7;$$

3) система с сервоприводом с ИОС показала лучший результат при $K_{дус} = 1,5$, $K_{ду} = 0,7$ со следующими показателями качества:

$$t_{пп}, \text{ с} - 6,44; \sigma, \% - 1,33; M - 1,3;$$

$$\epsilon_{уст}, \text{ В} - 0,43; Lз, \text{ дБ} - 6,04; \Phiз, \text{ град} - 81,3.$$

Таким образом, для системы автоматического управления стабилизацией углового положения БПЛА по углу тангажа на и более эффективным

является применение с сервоприводом с изодромной обратной связью.

Список литературы

1. Рулевые приводы и сервоприводы [Электронный ресурс]. – Режим доступа к материалу: <http://ooobskspetsavia.ru>, свободный.
2. Транспортные системы. Сервоприводы и виды обратных связей в них. Способы включения исполнительных устройств САУ в контур управления. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа к материалу: <http://transporton.ru>, свободный.
3. Москаленко, В.В. Электрический привод: учебник для вузов [Текст] / В.В. Москаленко. – М.: Академия, 2007.
4. Краснопрошина А.А. Современный анализ систем управления с применением Matlab, Simulink, Control System [Текст] / Репейникова Н.Б., Ильченко А.А. – К.: «Корнийчук», 1990. – 86 с.
5. Боднер В.А. Системы управления летательными аппаратами [Текст] / В.А. Боднер. – М.: Машиностроение. 1973. – 506 с.

Надійшла до редколегії 3.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Можасв, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КУТОВОГО ПОЛОЖЕННЯ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

В.І. Барсов, А.В. Кравцова

Наведено результати системи управління безпілотним літальним апаратом в каналі поздовжнього руху (управління кутом тангажа). Була досліджена система з сервоприводом з жорстким зворотним зв'язком, швидкісним зворотним зв'язком і ізодромним зворотним зв'язком, при зміні коефіцієнтів датчика кутової швидкості і датчика кута. Дослідження системи управління було виконано в середовищі графічного моделювання Simulink пакета Matlab. Виходячи з отриманих результатів машинного моделювання був запропонований оптимальний варіант зворотного зв'язку сервоприводу.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, система управління, поздовжній канал, сервопривід, зворотний зв'язок.

THE RESEARCH OF CONTROL SYSTEM OF ANGULAR POSITION OF UNMANNED AERIAL VEHICLE

V.I. Barsov, A.V. Kravtsova

The results of the control system of unmanned aircraft in the channel longitudinal motion (pitch angle control). A system has been studied with actuator with rigid feedback, speed feedback and izodromic feedback when changing the coefficients of the angular velocity sensor and the angle sensor. The research of system of control was performed in the graphical modeling environment Simulink Matlab package. Based on the results of computer simulation was proposed optimal variant of the actuator feedback.

Keywords: unmanned aerial vehicles, control system, longitudinal channel, actuator feedback.