



УДК 62-50

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-3-8

НЕЛИНЕЙНЫЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ КРЕНОМ ПРИ ВЫВОДЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА НА ЗАДАННУЮ ЛИНИЮ ПУТИ

В. Г. Буласова, В. К. Пономарев

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Рассматривается задача вывода воздушного судна на заданную линию пути. Анализируется возможность использования для этой цели нелинейного алгоритма управления креном с функциями ограничения. Приводятся результаты моделирования процесса наведения, показывающие, что исследуемый нелинейный алгоритм обеспечивает вывод воздушного судна из любой точки пространства на линию заданного пути при любом начальном курсе в спокойной атмосфере и при наличии ветра.

Ключевые слова: линия заданного пути, управление креном, алгоритм траекторного управления, управления движением центра масс, боковое отклонение.

Для цитирования:

Буласова В. Г., Пономарев В. К. Нелинейный алгоритм управления креном при выводе воздушного судна на линию заданного пути // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 3-8. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-3-8.

NONLINEAR ROLL CONTROL ALGORITHM FOR THE DERIVATION OF AN AIRCRAFT LEAVING ON A PRESCRIBED WAY LINE

V. G. Bulasova, V. K. Ponomarev

State University of Aerospace Instrumentation

The conclusion of the aircraft to a given track line is considered. The possibility of using for this purpose a nonlinear roll control algorithm with functions of functions is analyzed. The results of modeling of the guidance process are given, showing that the investigated nonlinear algorithm ensures the withdrawal of an aircraft from any points in space on a given path for any initial course in a calm atmosphere and in the presence of wind.

Key words: line of a given path, roll control, trajectory control algorithm, motion control of the center of mass, lateral deviation.

For citation:

Bulasova V. G., Ponomarev V. K. Nonlinear roll control algorithm for the derivation of an aircraft leaving on a prescribed way line // System analysis and logistics.: №2(28), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 9-14. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-3-8.

Введение

На современном этапе развития принципов организации воздушного движения осуществляется последовательное внедрение технологий зональной навигации, которая предполагает унификацию навигационных элементов полета [1]. К их числу относится и маневр воздушного судна (ВС), обеспечивающий вывод его из любой точки пространства на линию заданного пути (ЛЗП). Такая задача решается при взлете, на этапе оперативного изменения маршрута полета и при заходе на посадку без выполнения предпосадочного маневра.

Основная часть

Задачу выхода ВС на ЛЗП можно решить с помощью разных алгоритмов формирования сигналов управления движением центра масс в горизонтальной плоскости. Маневрирование в горизонтальной плоскости осуществляется, как правило, с помощью координированного разворота, а основным сигналом управления является сигнал управления креном, при формировании которого может использоваться только информация о текущем положении ВС относительно ЛЗП и скорости изменения этого параметра.

Простое решение задачи обеспечивается, например, при использовании нелинейного алгоритма



формирования заданного значения угла крена с ограничениями [2.3]:

$$\gamma_3^* = -k_z z^* - k_z \dot{z},$$

$$z^* = \begin{cases} z & \text{при } z < z_{\text{огр}} \\ z_{\text{огр}} & \text{при } z \geq z_{\text{огр}} \end{cases}, \quad \gamma_3 = \begin{cases} \gamma_3^* < \gamma_{3\text{огр}}^* \\ \gamma_3^* \geq \gamma_{\text{огр}} \end{cases}, \quad (1)$$

где $z_{\text{огр}}$ и $\gamma_{\text{огр}}$ - предельные значения линейного бокового отклонения и угла крена.

В ходе синтеза алгоритма управления движением центра масс в процесс вывода ВС на ЛЗП должна быть определена не только структура закона регулирования, но и его параметры. В рассматриваемой задаче это коэффициенты передачи k_z , $k_{\dot{z}}$, а также $z_{\text{огр}}$. Их выбирают исходя из следующих условий:

- переходные процессы при управлении движением центра масс должны быть без перерегулирования;
- динамика системы управления креном ВС не должна существенно влиять на процесс управления траектории полета;
- при больших начальных отклонениях ВС от ЛЗП должна быть реализована траектория с постоянным углом подхода.

Для получения необходимых соотношений, позволяющих выбирать параметры закона управления, рассмотрим простейшую модель движения центра масс ВС в ортодромической системе координат [2]:

$$\ddot{x} = -\frac{g}{V}(\dot{z} - U_z) \sin \gamma, \quad \ddot{z} = \frac{g}{V}(\dot{x} - U_x) \sin \gamma,$$

$$V = \sqrt{(\dot{x} - U_x)^2 + (\dot{z} - U_z)^2}, \quad \text{tg} K = -(\dot{z} - U_z) / (\dot{x} - U_x), \quad (2)$$

где x, z – ортодромические координаты, V – воздушная скорость, U_x и U_z - составляющие скорости ветра в проекциях на оси ортодромической системы координат, K - условный курс.

Систему управления креном будем считать идеальным динамическим звеном:

$$\gamma \equiv \gamma_3. \quad (3)$$

Уравнения (1-3) образуют замкнутую систему, описывающую движение центра масс ВС. При $V \approx x - U_x$, $\sin \gamma \approx \gamma$ она преобразуется к виду:

$$\ddot{z} + gk_{\dot{z}}\dot{z} + gk_z z = 0. \quad (4)$$

Это уравнение можно представить в форме:

$$\ddot{z} + 2\Omega_z \xi_z \dot{z} + \Omega_z^2 z = 0, \quad (5)$$

где $\Omega_z = \sqrt{gk_z}$ – собственная частота колебаний системы, а ξ_z – коэффициент колебательности.

Из уравнения (5) найдем:



$$k_z = \frac{\Omega_z^2}{g}, k_z = \frac{2\Omega_z}{g} \quad (\text{при } \xi_z=1). \quad (6)$$

Частоту Ω_z выбирают по второму условию:

$$\Omega_z = (0,05 - 0,1)\Omega_\gamma, \quad (7)$$

где Ω_γ – собственная частота системы стабилизации крена.

При выборе параметра z_{oep} учитывается то, что ВС совершает разворот до тех пор, пока не будет выполнено условие:

$$k_z z_{oep} + k_z \dot{z}_{II} = 0, \quad (8)$$

где \dot{z}_{II} - линейная скорость бокового отклонения от ЛЗП на участке сближения.

Из уравнения (8) получаем:

$$z_{oep} = \frac{k_z k_z \dot{z}_{II}}{k_z}. \quad (9)$$

Величину \dot{z}_{II} можно вычислить исходя из заданного курса подхода K_n . При отсутствии ветра получаем:

$$\dot{z}_{II} = V \sin K_n. \quad (10)$$

Таким образом,

$$z_{oep} = \frac{k_z k_z V \sin K_n}{k_z}. \quad (11)$$

Параметр z_{oep} , как видно, зависит и от выбранного угла K_n , и от скорости полета.

Работоспособности и характеристики системы наведения при выводе ВС на ЛЗП с законом управления креном (1) исследованы методом математического моделирования задачи по уравнениям (1)-(3).

В ходе моделирования изучалось:

- способность системы наведения вывести ВС из любой точки пространства ЛЗП при любом начальном курсе,
- влияние ветра на траектории и навигационные параметры полета,
- чувствительность к ошибкам системы управления креном.

Некоторые результаты моделирования представлены на рисунках 1-5. Результаты получены при следующих параметрах модели: $V=200\text{м/с}$, $\Omega_z=0,05\text{с}^{-1}$, $K_n=30^\circ$.

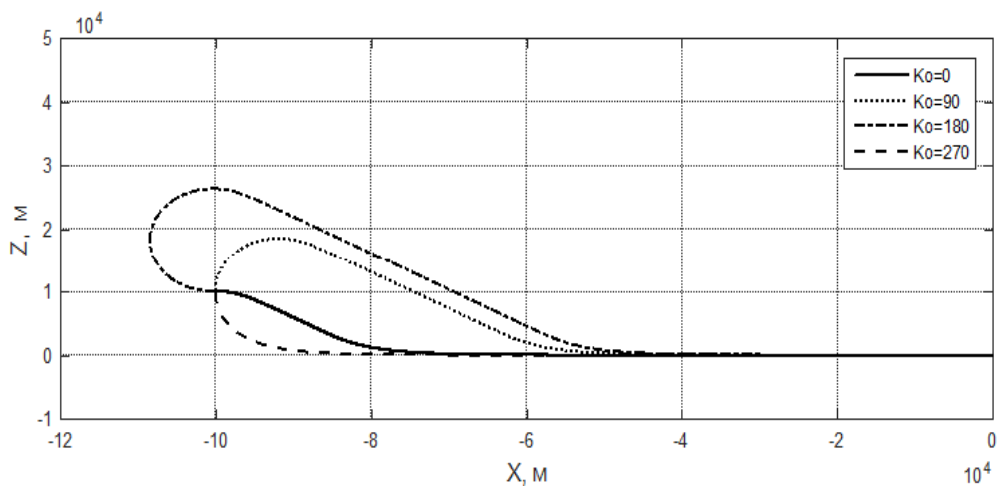


Рис. 1. Траектории ВС при выводе на ЛЗП

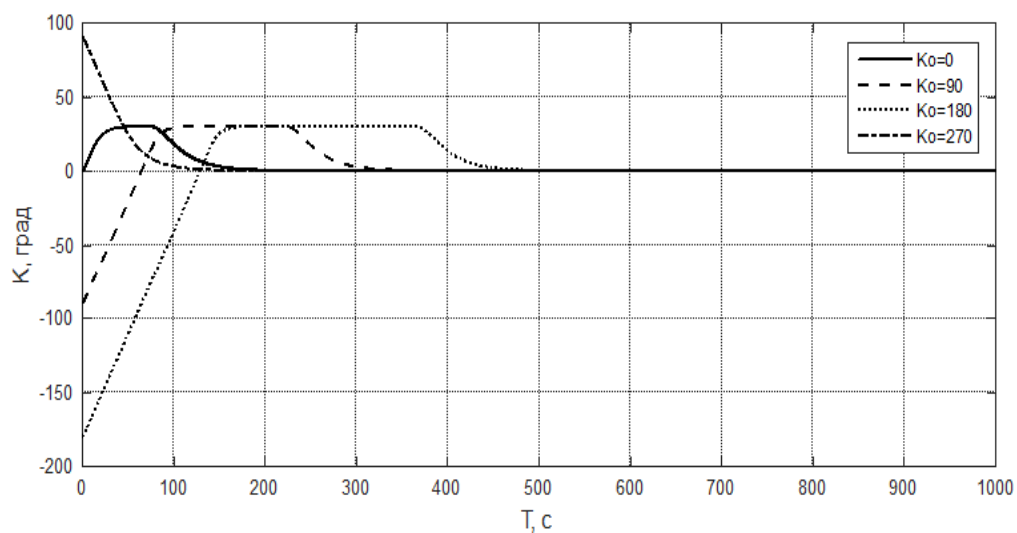


Рис. 2. Графики текущего курса при разных значениях начального курса ВС и отсутствии ветра

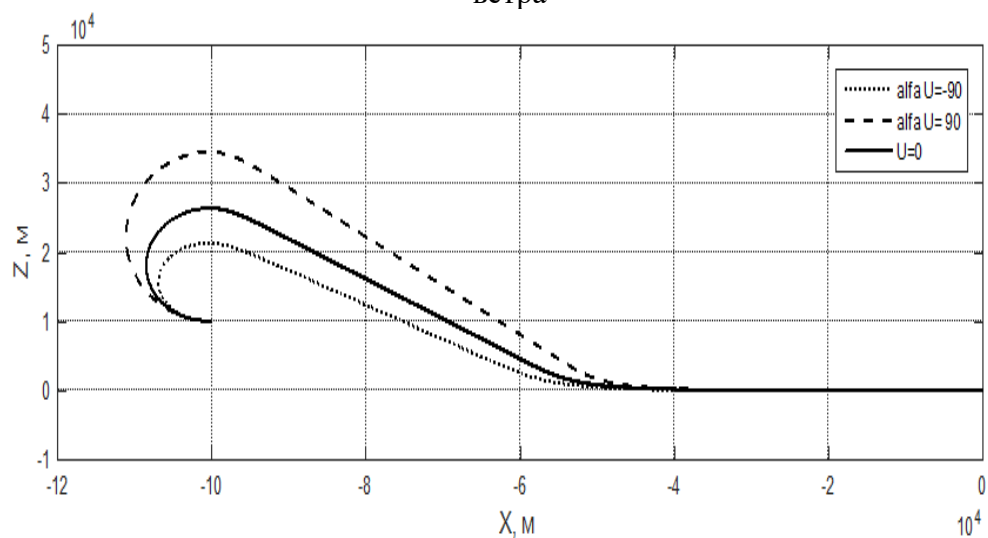


Рис. 3. Траектории ВС при наличии бокового ветра

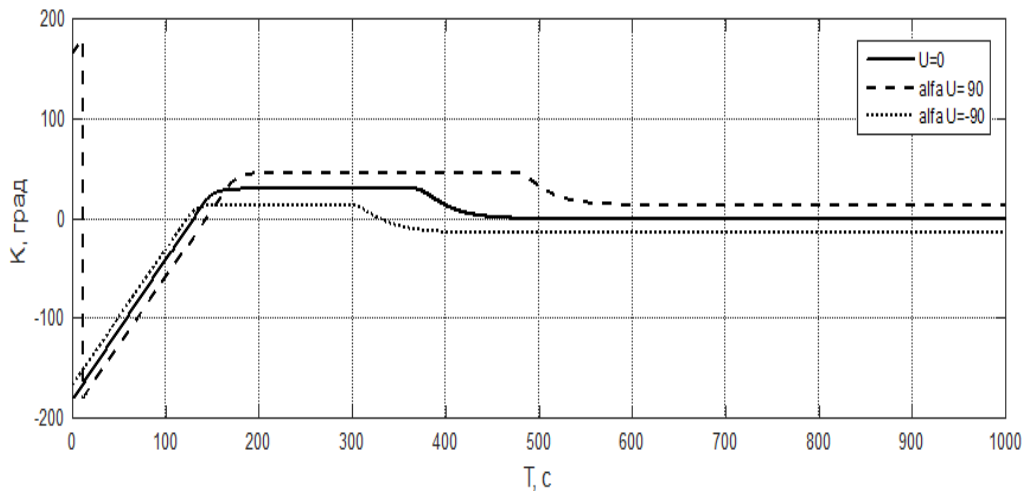


Рис. 4. Графики текущего курса при наличии бокового ветра

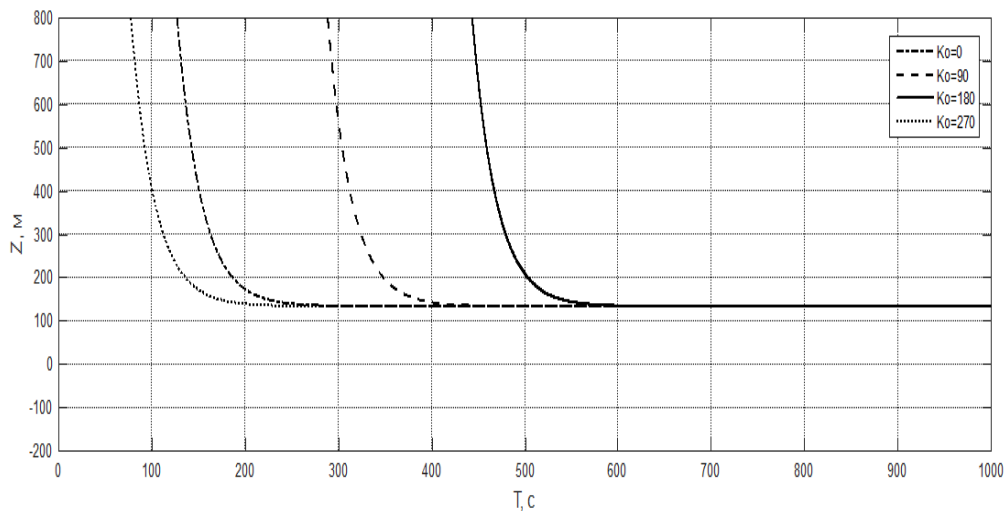


Рис. 5. Фрагмент конечного участка наведения ВС при наличии ошибки управления креном

Заключение

По результатам моделирования сделаны следующие выводы:

1. Закон управления траекторным движением в форме (1) обеспечивает вывод ВС на ЛЗП из любой точки воздушного пространства при любом начальном курсе и подход к ней с заданным курсовым углом;
2. При действии бокового ветра изменяется угол подхода ВС к ЛЗП. При этом, время выхода на ЛЗП практически не меняется, а ошибка по боковому отклонению после окончания маневра становится равной нулю;
3. Основными причинами отклонения ВС от ЛЗП после завершения маневра являются ошибки измерения бокового смещения и ошибки системы управления креном при отработке заданного значения управляемого параметра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вовк В.И., Липин А.В., Сарайский Ю.Н.* Зональная навигация. Учебное пособие. СПб.: АО Центр автоматизированного обучения. 2004. - 126с.
2. Под ред. Федорова С.М. Автоматизированное управление самолетами и вертолетами М.: Транспорт. 1977. - 246с.
3. *Байбородин Ю. В., Драбкин В. В., Сменковский Е. Г.* Бортовые системы управления



полетом М.: Транспорт. 1988. 336с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Буласова Валерия Геннадьевна —
магистрант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
E-mail: valeriyabulasowa17@gmail.com

Пономарев Валерий Константинович —
доцент, кандидат технических наук

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
E-mail: Kodzhebash.99@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bulasova Valeriya Gennedyevna —
master

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: valeriyabulasowa17@gmail.com

Ponomarev Valery Konstantinovich —
associate professor, candidat of technical sciences

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: vkponomarev@rambler.ru