



УДК 629.7.05
ГРНТИ 78.25.13

СПОСОБ ВЫВОДА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ТОЧКУ НАЧАЛА ПОСАДКИ

*М.А. ЗАМЫСЛОВ, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
А.М. МАЛЬЦЕВ, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
С.Б. МИХАЙЛЕНКО, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Н.В. ШТАНЬКОВА
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

Статья относится к области управления летательными аппаратами и может быть использована для автоматического вывода самолета или беспилотного летательного аппарата с произвольным курсом и скоростью из исходной точки, удаленной от аэродрома, в точку начала посадки на взлетно-посадочную полосу (ВПП) аэродрома с курсом, совпадающим с направлением посадки по оси ВПП, и заданной посадочной скоростью.

Ключевые слова: летательный аппарат; точка начала посадки; способ вывода; маршрут; разворот; скорость.

METHOD OF THE AIRCRAFT WITHDRAWAL TO THE LANDING START POINT

*M.A. ZAMYSLOV, Candidate of Technical Sciences
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)
A.M. MAL'TSEV, Candidate of Technical Sciences
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)
S.B. MIKHAILENKO, Candidate of Technical Sciences
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)
N.V. SHTAN'KOVA
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)*

The article relates to the field of aircraft control and can be used for automatic withdrawal of an aircraft or an unmanned aircraft with an arbitrary course and speed from the starting point remote from the airfield to the point of landing on the runway of the airport with a course coinciding with the direction of landing on the runway axis, and a given landing speed.

Keywords: aircraft; landing start point; withdrawal method; route; turn; speed.

Прицельно-навигационные комплексы самолетов фронтовой авиации обеспечивают автоматизированный возврат на аэродром [1]. При этом летательные аппараты (ЛА) используют прямоугольную систему координат, связанную с аэродромом посадки и с началом в центре взлетно-посадочной полосы (ВПП). Если дальность до наземного маяка радиотехнической системы ближней навигации (РСБН) более 250 км, заданный курс ψ_3 формируют в направлении на этот маяк, установленный перпендикулярно оси ВПП на удалении от ее центра 300...600 м. Если дальность до аэродрома меньше 250 км, формируют ψ_3 в точку четвертого разворота, расположенную на оси ВПП и удаленную от ее центра на 21 км. При этом задают угол наклона траектории полета, выдерживание которого выводит самолет на высоту предпосадочного маневра. Осуществляют полет с выдерживанием ψ_3 до пересечения самолетом 5,5 км коридора относительно ВПП, после чего формируют ψ_3 в убегающую точку цели, распо-



ложенную на оси ВПП на 2,5 км впереди самолета, и наводят в эту точку самолет, что позволяет выполнить плавный выход его на ось ВПП по кривой, близкой к экспоненциальной. При входе самолета в 1,5 км коридор относительно оси ВПП заканчивают процесс возврата и начинают этап захода на посадку.

Данный способ возврата на аэродром требует наличия (исправности) наземной и бортовой аппаратуры РСБН и при этом полет осуществляется по маршруту, состоящему из нескольких разворотов и сложных маневров.

Для неманевренных летательных аппаратов применяют способ возврата на аэродром, при котором первоначально осуществляют построение линии заданного пути (ЛЗП), проходящей через конечный пункт маршрута (КПМ) и являющейся касательной к дуге разворота самолета с постоянным радиусом для выхода на ось ВПП в точку четвертого разворота, которую можно назвать точкой начала посадки [1]. После построения маршрута осуществляют полет по ЛЗП до точки начала разворота и разворот до выхода на ось ВПП. На рисунке 1 представлена схема реализации данного способа в горизонтальной плоскости, где обозначены: $\{x_{g \text{ КПМ}}, z_{g \text{ КПМ}}\}$ – координаты КПМ; $D_{\text{пос}}$ – дальность от центра ВПП до условной точки четвертого разворота; r – радиус разворота; $\psi_{\text{ВПП}}$ – курс посадки на аэродром; ψ_3 – заданный курс полета по ЛЗП; D – длина ЛЗП; ЛУР – участок линейного упреждения разворота.

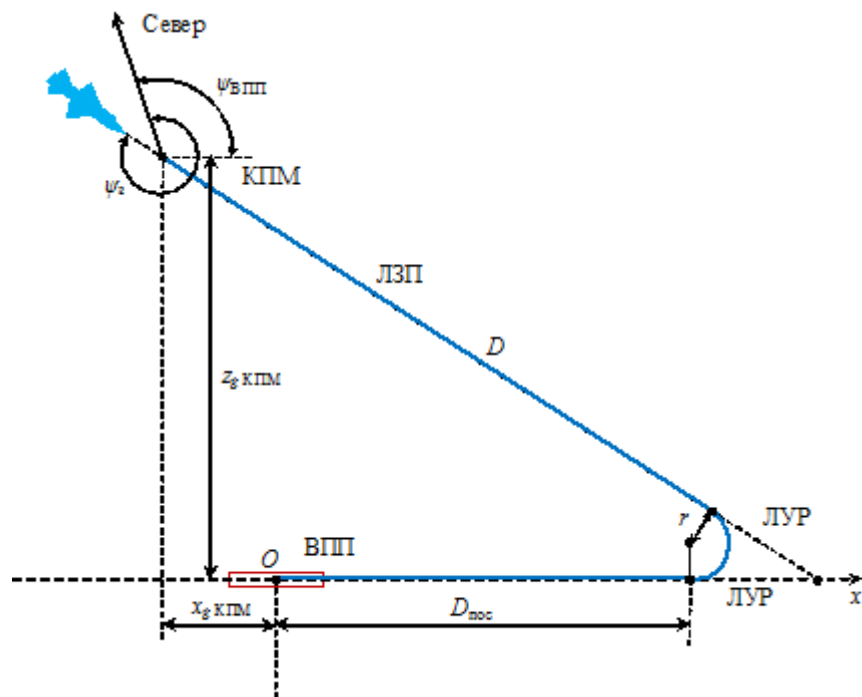


Рисунок 1 – Способ возврата летательного аппарата на аэродром

Недостатком способа является построение ЛЗП с известного заранее КПМ без учета исходного курса и скорости самолета и поиска кратчайшего пути вывода ЛА в точку начала посадки. Предполагается, что самолет уже летит в направлении на аэродром посадки.

Целью работы является разработка способа вывода летательного аппарата с произвольным начальным курсом и скоростью из исходной точки, удаленной от аэродрома, в точку начала посадки на взлетно-посадочную полосу аэродрома с курсом, совпадающим с направлением посадки по оси ВПП, и заданной предпосадочной скоростью.

Дополнительно поставим задачу вывода летательного аппарата в точку начала посадки по кратчайшему маршруту.



Подобная задача решалась в работе [2], в которой летательный аппарат наводился в точку начала атаки с заданным курсом. Однако одним из ограничений в данной работе было принято, что скорость летательного аппарата не изменяется, то есть $|\dot{V}| = Const$.

На рисунке 2 представлены схемы возможных вариантов вывода ЛА на аэродром.

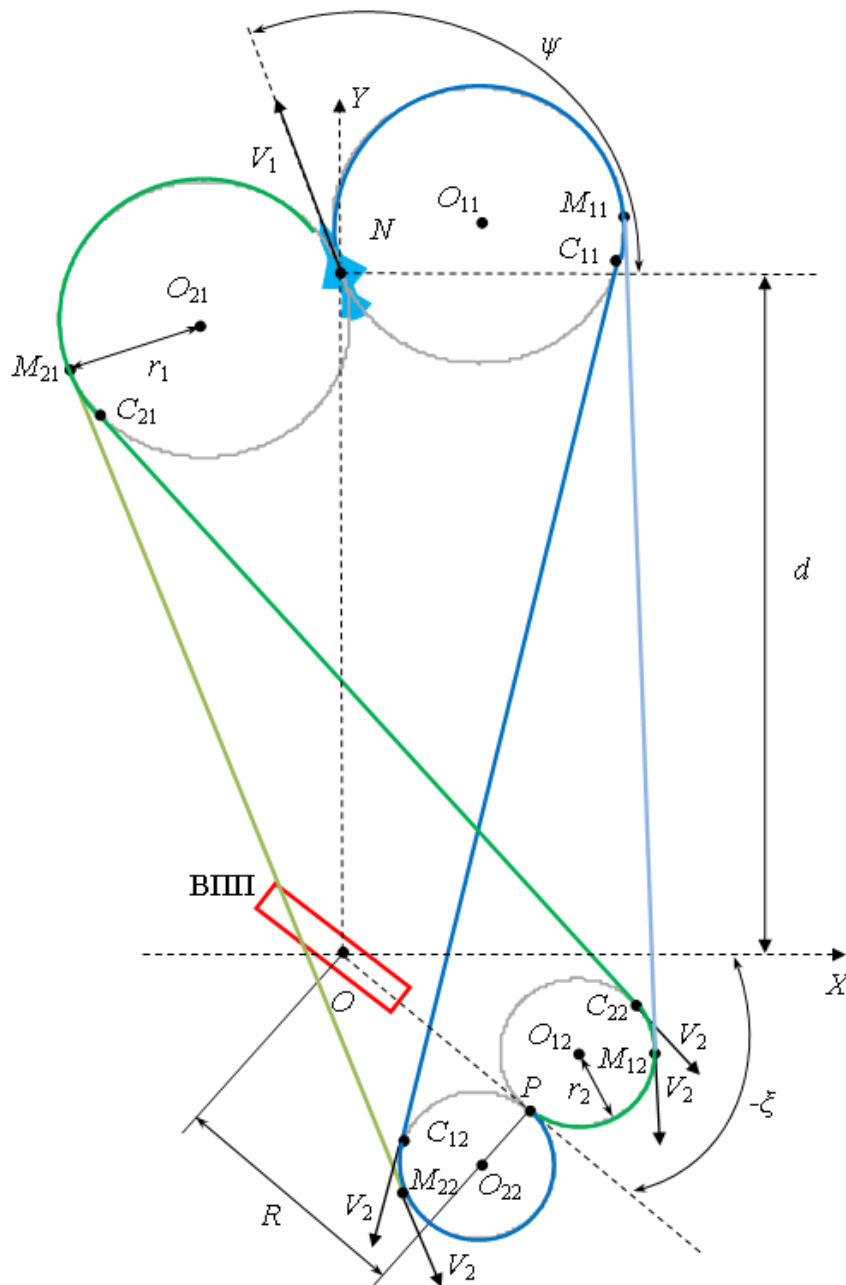


Рисунок 2 – Варианты вывода летательного аппарата на аэродром

Здесь принята местная прямоугольная система координат с началом в центре ВПП (точка O), с ординатой Y , направленной в точку первоначального местонахождения летательного аппарата N , перпендикулярной ей абсциссой X и отсчетом положительных углов от нее против часовой стрелки. Введем следующие обозначения: ψ – угол вектора скорости ЛА в исходной точке N , удаленной от центра ВПП на расстояние d ; V_1 , V_2 – векторы скоростей самолета в исходной точке и в районе предпосадочного маневра; r_1 , r_2 – радиусы первого и второго разворо-



тов самолета; R – расстояние от центра ВПП до точки начала посадки P на оси ВПП; ξ – заданный курс посадки на ВПП; точки $O_{11}, O_{21}, O_{12}, O_{22}$ – центры окружностей возможных вариантов разворота; точки $C_{11}, C_{21}, M_{11}, M_{21}$ – точки возможного выхода из первого разворота; точки $C_{12}, C_{22}, M_{12}, M_{22}$ – точки возможного начала второго разворота перед выходом на ось ВПП.

Как видно из рисунка 2, возможны четыре варианта вывода летательного аппарата в точку начала посадки. Выбор оптимального варианта осуществим в соответствии с критерием кратчайшего маршрута.

Алгоритм решения поставленной цели представляет собой последовательность следующих шагов:

1. Предварительно строят две окружности, по которым может осуществляться первый разворот самолета из исходной точки в направлении на аэродром посадки. При этом вектор скорости самолета является касательной к данным окружностям, а радиус окружностей r_1 определяется модулем вектора скорости \vec{V}_1 и допустимой угловой скоростью разворота ω [3] в соответствии с соотношением $r_1 = \frac{|\vec{V}_1|}{\omega}$. Строят еще две окружности, по которым можно выполнить

второй разворот самолета для захода на ось ВПП аэродрома с выходом в точке начала посадки. При этом ось ВПП в выбранной точке начала посадки является касательной к этим окружностям, а радиус окружностей r_2 будет соответственно определяться модулем вектора скорости самолета \vec{V}_2 в районе предпосадочного маневра в соответствии с соотношением $r_2 = \frac{|\vec{V}_2|}{\omega}$. Строят четыре прямых, касательных к первым двум окружностям разворота из исходной точки и к двум окружностям возможного захода самолета на ось ВПП. Данные прямые будут являться вариантами ЛЗП для возврата на аэродром.

2. Рассчитывают координаты точек касания прямых-вариантов ЛЗП с окружностями и длину пути четырех вариантов маршрута возврата на аэродром от начальной точки местоположения самолета до точки начала посадки с учетом разворотов.

3. Выбирают маршрут, протяженность которого является минимальной. Соответственно выбирают две точки на маршруте, одна из которых является точкой выхода из первого разворота самолета на ЛЗП, а вторая – начало второго разворота от ЛЗП на ось ВПП аэродрома.

Центры окружностей O_{11}, O_{21} (рис.2) расположены на перпендикуляре к начальному курсу самолета, а O_{12}, O_{22} – к оси ВПП, их координаты определяются следующими выражениями:

$$O_{11} = i \cdot (d - r_1 \cdot e^{i\psi}); O_{21} = i \cdot (d + r_1 \cdot e^{i\psi}); O_{12} = (R + i \cdot r_2) \cdot e^{i\xi}; O_{22} = (R - i \cdot r_2) \cdot e^{i\xi}, \quad (1)$$

где i – мнимая единица. Здесь и далее принято комплексное представление координат: реальная часть – абсцисса, мнимая – ордината, отсчет положительных углов выполняется от оси абсцисс против часовой стрелки.

Расчет координат точек выхода из первого разворота, начала второго разворота и длины маршрута L для вариантов маршрута осуществляют по формулам:

Вариант 1:

$$C_{11} = O_{11} + r_1 \cdot \Delta z_{1C}; C_{12} = O_{22} - r_2 \cdot \Delta z_{1C}; \quad (2)$$

$$L_1 = r_1 \cdot \arg\left(\frac{i \cdot d - O_{11}}{C_{11} - O_{11}}\right) + r_2 \cdot \arg\left(\frac{R \cdot e^{i\xi} - O_{22}}{C_{12} - O_{22}}\right) + |C_{11} - C_{12}|,$$

где $\Delta z_{1C} = \exp\left[i \cdot \left(\arg(i \cdot (O_{22} - O_{11})) - \arcsin\left(\frac{r_1 + r_2}{|O_{22} - O_{11}|}\right)\right)\right].$



Вариант 2:

$$C_{21} = O_{21} + r_1 \cdot \Delta z_{2C}; \quad C_{22} = O_{12} - r_2 \cdot \Delta z_{2C}; \quad (3)$$

$$L_2 = r_1 \cdot \arg\left(\frac{C_{21} - O_{21}}{i \cdot d - O_{21}}\right) + r_2 \cdot \arg\left(\frac{C_{22} - O_{12}}{R \cdot e^{i\xi} - O_{12}}\right) + |C_{21} - C_{22}|,$$

где $\Delta z_{2C} = \exp\left[i \cdot \left(\arg(-i \cdot (O_{12} - O_{21})) + \arcsin\left(\frac{r_1 + r_2}{|O_{12} - O_{21}|}\right)\right)\right]$.

Вариант 3:

$$M_{11} = O_{11} + r_1 \cdot \Delta z_{1M}; \quad M_{12} = O_{12} + r_2 \cdot \Delta z_{1M}; \quad (4)$$

$$L_3 = r_1 \cdot \arg\left(\frac{i \cdot d - O_{11}}{M_{11} - O_{11}}\right) + r_2 \cdot \arg\left(\frac{M_{12} - O_{12}}{R \cdot e^{i\xi} - O_{12}}\right) + |M_{11} - M_{12}|,$$

где $\Delta z_{1M} = \exp\left[i \cdot \left(\arg(i \cdot (O_{12} - O_{11})) - \arcsin\left(\frac{r_1 - r_2}{|O_{12} - O_{11}|}\right)\right)\right]$.

Вариант 4:

$$M_{21} = O_{21} + r_1 \cdot \Delta z_{2M}; \quad M_{22} = O_{22} + r_2 \cdot \Delta z_{2M}; \quad (5)$$

$$L_4 = r_1 \cdot \arg\left(\frac{M_{21} - O_{21}}{i \cdot d - O_{21}}\right) + r_2 \cdot \arg\left(\frac{R \cdot e^{i\xi} - O_{22}}{M_{22} - O_{22}}\right) + |M_{21} - M_{22}|,$$

где $\Delta z_{2M} = \exp\left[i \cdot \left(\arg(-i \cdot (O_{22} - O_{21})) + \arcsin\left(\frac{r_1 - r_2}{|O_{22} - O_{21}|}\right)\right)\right]$.

Выбор маршрута осуществляют по минимуму его длины $L = \min\{L_j\}, j = 1 \dots 4$.

Текущие координаты исходного местоположения самолета N , промежуточных точек разворота, точки начала посадки P могут быть определены с использованием существующих навигационных систем, например, системой спутниковой навигации *GPS* или ГЛОНАСС.

Согласно предлагаемому способу сперва выполняют разворот самолета с начальной скоростью V_1 по дуге постоянного радиуса r_1 до точки выхода на выбранную ЛЗП. Затем осуществляют полет по ЛЗП до точки начала второго разворота на ось ВПП, при этом изменяют скорость самолета таким образом, чтобы к началу второго разворота она соответствовала предпосадочной скорости V_2 . Далее выполняют разворот самолета по дуге постоянного радиуса r_2 до точки начала захода на посадку, расположенной на оси ВПП. При этом курс самолета будет совпадать с направлением оси ВПП.

Таким образом, предложен способ вывода по кратчайшему маршруту летательного аппарата с произвольным начальным курсом и скоростью из исходной точки, удаленной от аэродрома в точку начала посадки на взлетно-посадочную полосу аэродрома с курсом, совпадающим с направлением посадки по оси ВПП, и заданной предпосадочной скоростью.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системы управления и бортовые цифровые вычислительные комплексы летательных аппаратов. Под ред. Н.М. Лысенко. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1990. 368 С.
2. Способ наведения летательного аппарата в точку начала атаки / М.А. Замыслов, А.М. Мальцев, С.Б. Михайленко, В.А. Уфаев В.А. // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2017. №1. С. 233-239; ISSN: 2500-4352.
3. Справочник летчика и штурмана. Под ред. В.М. Лавского. М: Воениздат, 1974. 504 С.

REFERENCES

1. Sistemy upravleniya i bortovye tsifrovye vychislitel'nye komplekсы letatel'nykh apparatov. Pod red. N.M. Lysenko. M.: VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo, 1990. 368 s.
2. Sposob navedeniya letatel'nogo apparata v tochku nachala ataki / M.A. Zamyslov, A.M. Mal'tsev, S.B. Mikhajlenko, V.A. Ufaev V.A. // Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika. 2017. №1. S. 233-239; ISSN: 2500-4352.
3. Spravochnik letchika i shturmana. Pod red. V.M. Lavskogo. M: Voenizdat, 1974. 504 s.

© Замыслов М.А., Мальцев А.М., Михайленко С.Б., Штанькова Н.В., 2018

Замыслов Михаил Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, mzam48@mail.ru

Мальцев Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, ma_alex_67@mail.ru

Михайленко Сергей Борисович, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, mikhserbor@yandex.ru

Штанькова Надежда Викторовна, младший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, nadia_shtankova@mail.ru