



УДК 629.7.05
ГРНТИ 78.25.13

СПОСОБ НАВЕДЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ТОЧКУ НАЧАЛА АТАКИ

*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)*
*В.А. УФАЕВ, доктор технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

Статья относится к области управления летательными аппаратами и выводы из неё могут быть использованы для автоматического наведения самолёта или беспилотного летательного аппарата из точки, в общем случае, с произвольным местоположением и направлением полёта в точку с заданными координатами и курсом для последующей атаки наземной цели.

Ключевые слова: летательный аппарат; наземная цель; способ наведения; маршрут; разворот; атака.

*M.A. ZAMYSLOV, Candidate of Technical Sciences
MESCAF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*
*A.M. MALTSEV, Candidate of Technical Sciences
MESCAF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*
*S.B. MIHAJLENKO, Candidate of Technical Sciences
MESCAF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*
*V.A. UFAEV, Doctor of Technical Sciences
MESCAF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

WAY OF GUIDANCE OF A FLYING MACHINE IN A POINT OF THE BEGINNING OF ATTACK

Article concerns area of management of flying machines and can be used for automatic prompting of the plane or a pilotless flying machine from a point, generally, with any site and a flight direction in a point with the set co-ordinates and a course for the subsequent attack of the ground target.

Keywords: flying machine; ground target; a way of guidance; a route; a turn; attack.

Как известно [1], весь процесс управления летательным аппаратом (ЛА) при атаке наземной цели разделяется на четыре основных этапа: дальнейшее наведение, ближнее наведение, атака цели и выход из атаки. Задачей дальнего наведения является вывод летательного аппарата в заданную область пространства, обеспечивающего надежное обнаружение и захват цели бортовой РЛС. Ближнее наведение или самонаведение начинается с момента захвата цели бортовой РЛС. На данном этапе решаются задачи вывода ЛА в исходное положение для атаки, в процессе которого выбирается наиболее эффективный боевой маневр для преодоления ПВО и поражения цели.

В случае, когда координаты цели и прикрывающих её систем ПВО известны, наиболее целесообразен непосредственный вывод ЛА в такую точку начала атаки с курсом



на цель, с которой применение средств поражения будет наиболее эффективной. При этом практически одновременно выполняются этапы дальнего и ближнего наведения.

Целью работы является разработка способа вывода летательного аппарата с произвольным начальным курсом в точку начала атаки наземной цели с заданного направления.

Для решения поставленной задачи рассмотрим известный способ вывода самолёта в точку начала посадки, включающий измерение текущих координат самолёта, предварительное построение участка маршрута в виде прямой линии заданного пути (ЛЗП), являющейся касательной к дуге предпосадочного разворота самолёта для выхода на ось взлётно-посадочной полосы в точке начала посадки с курсом в направлении её центра, и непосредственно дуги предпосадочного разворота заданного радиуса, полёт по маршруту с учётом измеренных текущих координат самолёта [1,2]. Все эти этапы вывода самолёта в точку начала посадки могут быть применены касательно к предлагаемому способу наведения на наземную цель. При этом будем подразумевать, что центр взлётно-посадочной полосы является местом расположения цели, точка начала посадки – точкой начала атаки, предпосадочный разворот – боевой разворот перед атакой.

Необходимо дополнительно доопределить маршрут из точки первоначального местоположения ЛА дугой предварительного разворота заданного радиуса для выхода по касательной к ней прямой линии заданного пути и с учётом начального курса, комбинаций вариантов право- и левостороннего направления предварительного и боевого разворота, построить четыре возможных маршрута. На рисунке 1 показаны возможные маршруты вывода ЛА в точку начала атаки по предложенному способу.

На рисунке 1 принята местная прямоугольная система координат, с началом в точке O местоположения цели, ординатой Y в направлении первоначального местонахождения летательного аппарата N , перпендикулярной ей абсциссой X и отсчётом положительных углов от неё против часовой стрелки. Кроме того, введены следующие обозначения: P – точка начала атаки, $O_{11}, O_{21}, O_{12}, O_{22}$ – центры окружностей возможных вариантов разворота ЛА; $C_{11}, C_{21}, M_{11}, M_{21}$ – точки возможного выхода из предварительного разворота; $C_{12}, C_{22}, M_{12}, M_{22}$ – точки возможного начала боевого разворота, ЛЗП $_i$ – линии заданного пути для различных направлений разворота, $i = 1 \dots 4$, ψ – начальный курс ЛА, как угол вектора скорости \dot{V} , r – радиус разворота, ξ – курсовой угол атаки цели, R – удаление точки начала атаки от цели, d – дальность до цели от первоначального местоположения ЛА.

Выбор маршрута может быть осуществлён исходя из следующих соображений: облет препятствий при маловысотном полёте или зон ПВО, минимизация времени вывода ЛА в точку начала атаки и др.

Рассмотрим вариант реализации предложенного способа на основе применения пилотажно-навигационного комплекса и принципа самонаведения в заданную точку по отклонению курса на неё, исходя из её и измеренных текущих координат ЛА с выбором *минимального по длине* маршрута.

В исходном состоянии (программно на земле или по радиокоманде с пункта управления) в память пилотажно-навигационного комплекса заносят информацию о заданных параметрах цели и точки начала атаки, в соответствии с которыми рассчитываются удаление точки начала атаки R от цели и курсовой угол атаки ξ .

В процессе полёта измеряют текущие координаты ЛА, которые представляют в местной прямоугольной системе координат (рисунок 1).

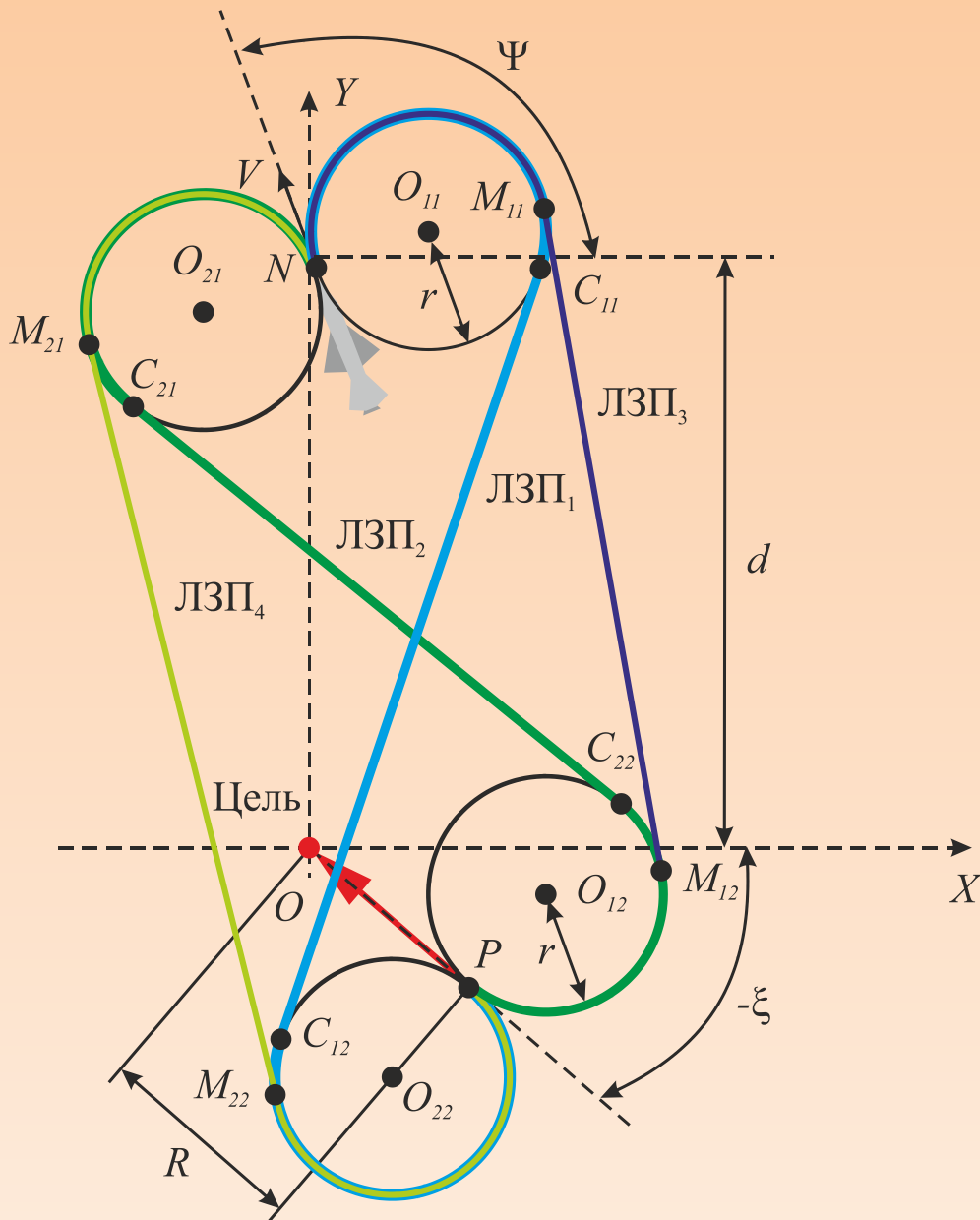


Рисунок 1 – Возможные варианты маршрута наведения ЛА на цель

По команде или в момент прибытия в заданную точку в пилотажно-навигационном комплексе по указанной информации определяют маршрут, для которого путь до точки начала атаки минимален.

Особенности выполнения данной операции поясним с привлечением рисунка 1. Первоначально по измерениям в различные, например, с промежутком 1 с, моменты времени \dot{Z}_0, \dot{Z}_1 определяют начальный курс ЛА $\psi = \arg(\dot{Z}_1 - \dot{Z}_0)$, где $\arg(\cdot)$ – аргумент комплексного числа (фаза), заключенного в скобки, а по текущим координатам ЛА – дальность до цели $d = \text{Im}(\dot{Z}_0)$.

Здесь и далее принято комплексное представление координат $\dot{Z}_0 = \text{Re}(\dot{Z}_0) + i \cdot \text{Im}(\dot{Z}_0)$, где $\text{Re}(\dot{Z}_0) = X_0$ – реальная часть, абсцисса, $\text{Im}(\dot{Z}_0) = Y_0$ – мнимая часть, ордината, i – мнимая единица.



Поскольку имеются две точки разворота, предварительного и боевого, в каждой из которых возможно движение по и против часовой стрелки, то, исходя из общего числа сочетаний, выход в точку начала атаки возможен по следующим четырём вариантам маршрута (рисунок 1).

1) По «восьмёрке» с первым правым разворотом по дуге (N, C_{11}) , полётом по ЛЗП₁ и вторым левым разворотом по дуге (C_{12}, P) .

2) По «восьмёрке» с первым левым разворотом по дуге (N, C_{21}) , полётом по ЛЗП₂ и вторым правым разворотом по дуге (C_{22}, P) .

3) По «кругу» с первым правым разворотом по дуге (N, M_{11}) , полётом по ЛЗП₃ и вторым правым разворотом по дуге (M_{12}, P) .

4) По «кругу» с первым левым разворотом по дуге (N, M_{21}) , полётом по ЛЗП₄ и вторым левым разворотом по дуге (M_{22}, P) .

Методика построения маршрутов полёта основывается на решении соответствующих геометрических задач и состоит в следующем.

1) Определяют две окружности с центрами O_{11} , O_{21} , по которым может осуществляться разворот ЛА в направлении на цель. Поскольку вектор скорости ЛА является касательной к данным окружностям, а их центры расположены на перпендикуляре к начальному курсу ЛА, то координаты центров рассчитывают по формулам:

$$\dot{O}_{11} = i \cdot (d - r \cdot e^{i\psi}); \dot{O}_{21} = i \cdot (d + r \cdot e^{i\psi}), \quad (1)$$

где r – радиус разворота, который может задаваться непосредственно или рассчитываться по формуле: $r = V / \omega$, где V – скорость ЛА, ω – допустимая угловая скоростью разворота [3].

2) Определяют окружности с центрами O_{12} , O_{22} , по которым может осуществляться боевой разворот ЛА для выхода в точку начала атаки, при этом линия «точка начала атаки - цель» является касательной к этим окружностям, а центры расположены на перпендикуляре к ней. Координаты этих центров определяют по формулам:

$$\dot{O}_{12} = (R + i \cdot r) \cdot e^{i\xi}; \dot{O}_{22} = (R - i \cdot r) \cdot e^{i\xi}. \quad (2)$$

3) Определяют возможные четыре линии заданного пути, как касательные к первым двум окружностям разворота с центрами O_{11} , O_{21} и к двум другим окружностям с центрами O_{12} , O_{22} . При этом координаты точек касания, соответственно точек выхода из первого разворота, по дуге предварительного разворота и начала второго разворота, по дуге боевого разворота, для разных вариантов маршрута рассчитывают по формулам:

$$\text{для первого варианта: } \dot{C}_{11} = \dot{O}_{11} + \Delta z_{1C}; \dot{C}_{12} = \dot{O}_{22} - \Delta z_{1C}, \quad (3)$$

$$\text{где } \Delta z_{1C} = r \left(\sqrt{1 - \left(\frac{2r}{a_1}\right)^2} \frac{\text{Im}(\dot{O}_{11} - \dot{O}_{22})}{a_1} - \frac{2r \text{Re}(\dot{O}_{11} - \dot{O}_{22})}{a_1} \right) -$$

$$- i \cdot r \left(\frac{2r \text{Im}(\dot{O}_{11} - \dot{O}_{22})}{a_1} + \sqrt{1 - \left(\frac{2r}{a_1}\right)^2} \frac{\text{Re}(\dot{O}_{11} - \dot{O}_{22})}{a_1} \right); a_1 = |\dot{O}_{11} - \dot{O}_{22}|;$$

$$\text{для второго варианта: } \dot{C}_{21} = \dot{O}_{21} + \Delta z_{2C}; \dot{C}_{22} = \dot{O}_{12} - \Delta z_{2C}, \quad (4)$$



$$\text{где } \Delta z_{2C} = -r \left(\sqrt{1 - \left(\frac{2r}{a_2} \right)^2} \frac{\text{Im}(\dot{O}_{21} - \dot{O}_{12})}{a_2} + \frac{2r}{a_2} \frac{\text{Re}(\dot{O}_{21} - \dot{O}_{12})}{a_2} \right) - \\ - i \cdot r \left(\frac{2r}{a_2} \frac{\text{Im}(\dot{O}_{21} - \dot{O}_{12})}{a_2} - \sqrt{1 - \left(\frac{2r}{a_2} \right)^2} \frac{\text{Re}(\dot{O}_{21} - \dot{O}_{12})}{a_2} \right); a_2 = |\dot{O}_{21} - \dot{O}_{12}|;$$

$$\text{для третьего варианта: } \dot{M}_{11} = \dot{O}_{11} + \Delta z_{1M}; \dot{M}_{12} = \dot{O}_{12} + \Delta z_{1M}, \quad (5)$$

$$\text{где } \Delta z_{1M} = r \left(\frac{\text{Im}(\dot{O}_{11} - \dot{O}_{12})}{a_3} - i \frac{\text{Re}(\dot{O}_{11} - \dot{O}_{12})}{a_3} \right); a_3 = |\dot{O}_{11} - \dot{O}_{12}|;$$

$$\text{для четвертого варианта: } \dot{M}_{21} = \dot{O}_{21} - \Delta z_{2M}; \dot{M}_{22} = \dot{O}_{22} - \Delta z_{2M}, \quad (6)$$

$$\text{где } \Delta z_{2M} = r \left(\frac{\text{Im}(\dot{O}_{21} - \dot{O}_{22})}{a_4} - i \frac{\text{Re}(\dot{O}_{21} - \dot{O}_{22})}{a_4} \right); a_4 = |\dot{O}_{21} - \dot{O}_{22}|.$$

5) Определяют длину пути ЛА от первоначальной точки N до точки начала атаки P каждого из маршрутов:

$$\text{вариант 1: } L_1 = r \left[\arg \left(\frac{i \cdot d - \dot{O}_{11}}{\dot{C}_{11} - \dot{O}_{11}} \right) + \arg \left(\frac{R \cdot e^{i\xi} - \dot{O}_{22}}{\dot{C}_{12} - \dot{O}_{22}} \right) \right] + |\dot{C}_{11} - \dot{C}_{12}|; \quad (7)$$

$$\text{вариант 2: } L_2 = r \left[\arg \left(\frac{\dot{C}_{21} - \dot{O}_{21}}{i \cdot d - \dot{O}_{21}} \right) + \arg \left(\frac{\dot{C}_{22} - \dot{O}_{12}}{R \cdot e^{i\xi} - \dot{O}_{12}} \right) \right] + |\dot{C}_{21} - \dot{C}_{22}|; \quad (8)$$

$$\text{вариант 3: } L_3 = r \left[\arg \left(\frac{i \cdot d - \dot{O}_{11}}{\dot{M}_{11} - \dot{O}_{11}} \right) + \arg \left(\frac{\dot{M}_{12} - \dot{O}_{12}}{R \cdot e^{i\xi} - \dot{O}_{12}} \right) \right] + |\dot{M}_{11} - \dot{M}_{12}|; \quad (9)$$

$$\text{вариант 4: } L_4 = r \left[\arg \left(\frac{\dot{M}_{21} - \dot{O}_{21}}{i \cdot d - \dot{O}_{21}} \right) + \arg \left(\frac{R \cdot e^{i\xi} - \dot{O}_{22}}{\dot{M}_{22} - \dot{O}_{22}} \right) \right] + |\dot{M}_{21} - \dot{M}_{22}|. \quad (10)$$

6) В завершение осуществляют выбор маршрута, длина пути которого из вариантов, рассчитанных по формулам (7)-(10), является минимальной.

На рисунке 2 жирной линией показан результат построения по приведенной методике маршрута вывода ЛА в точку начала атаки для следующих исходных данных: радиус разворота 1719 м, первоначальное удаление ЛА от цели 7200 м, удаление цели от точки начала атаки 2000 м, начальный курс ЛА ($-37,5^\circ$), требуемый курс наведения на цель (-50°). В соответствии с изложенным выше алгоритмом, обеспечивается построение маршрута с минимальной длиной пути.

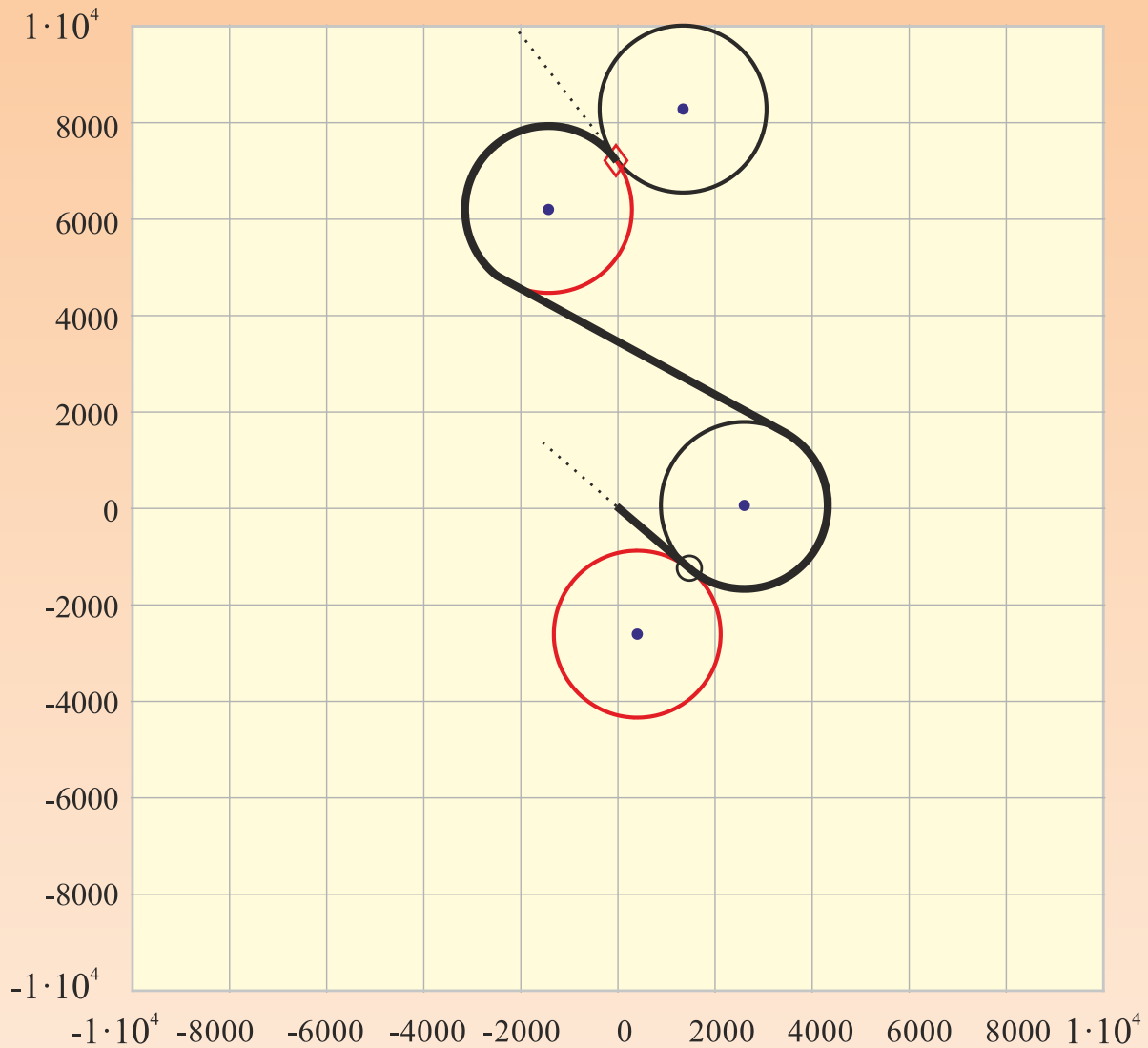


Рисунок 2 – Вариант вывода ЛА в точку начала атаки

Построение выполнено с помощью программного продукта *Mathcad*. На рисунке 2 исходное положение ЛА отмечено ромбиком, точка начала атаки – кружком, а пунктиром – исходное направление полёта ЛА и направление при атаке цели (в центре координат).

После завершения расчётов по командам управления пилотажно-навигационного комплекса осуществляют полёт ЛА по выбранному маршруту. Для чего оценивают отклонение направления полёта от направления на заданную точку по координатам её и ЛА. При этом первоначально выполняют полет на точку выхода из первого разворота с движением, в силу ограниченного заданного радиуса разворота, по дуге предварительного разворота. После этого выполняют полет на точку начала второго разворота с полётом по прямой линии заданного пути. По достижении этой точки выполняют боевой разворот с движением по дуге в точку начала атаки. На заключительном этапе наведения осуществляют перенацеливание ЛА на цель.

Таким образом, предложен способ вывода ЛА в точку начала атаки наземной цели с заданного направления и дальности при его первоначальном полёте с произвольным курсом.



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. Заявка ФИПС РФ на изобретение № 2016122578. Способ вывода самолета в точку начала посадки; заявл. 07.06.2016.
3. Справочник лётчика и штурмана / Под ред. В.М. Лавского. М: Воениздат, 1974. 504 с.

BIBLIOGRAPHY

1. Control systems and onboard digital computer complexes of flying machines / Under the editorship of N.M. Lysenko. M: AFIA N.E. Zhukovsky, 1990. 368 p.
2. Demand the Russian Federation on the invention № 2016122578. Way of a conclusion of the plane in a point of the beginning of planting; from 07.06.2016.
3. The directory of the pilot and the navigator / Under the editorship of V.M. Lavsky. M: Voenizdat, 1974. 504 p.

© Замыслов М.А., Мальцев А.М., Михайленко С.Б., Уфаев В.А., 2017

Замыслов Михаил Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, 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, vaiu@mil.ru

Мальцев Александр Михайлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий 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, vaiu@mil.ru

Михайленко Сергей Борисович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий 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, vaiu@mil.ru

Уфаев Владимир Анатольевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий 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, vaiu@mil.ru