

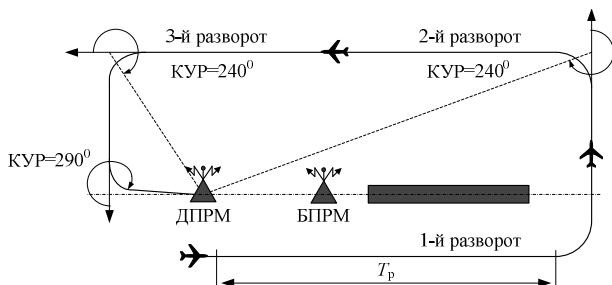
*И.В. Князев, А.Ю. Беляев, А.П. Пудовкин, Ю.Н. Панасюк*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОВЫХ МАНЕВРОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В РАЙОНЕ АЭРОДРОМА ДЛЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМ**

Несмотря на значительное улучшение качества функционирования современных радиоэлектронных средств слежения за воздушными судами (ВС), проблема рационального и, главное, безопасного управления воздушным движением не теряет своей актуальности [1]. С развитием информационных технологий на ведущие позиции вышли радиолокационные станции (РЛС), обладающие информационными свойствами, их отличают: высокая оперативность и полнота данных о состоянии воздушной обстановки в целом и каждого контролируемого ВС в отдельности, высокая точность получаемой информации и надежность аппаратуры [2]. Наиболее опасной из всех стадий полета является посадка. Разработка эффективных алгоритмов автоматической посадки позволит значительно уменьшить вероятность катастрофы ВС [3].

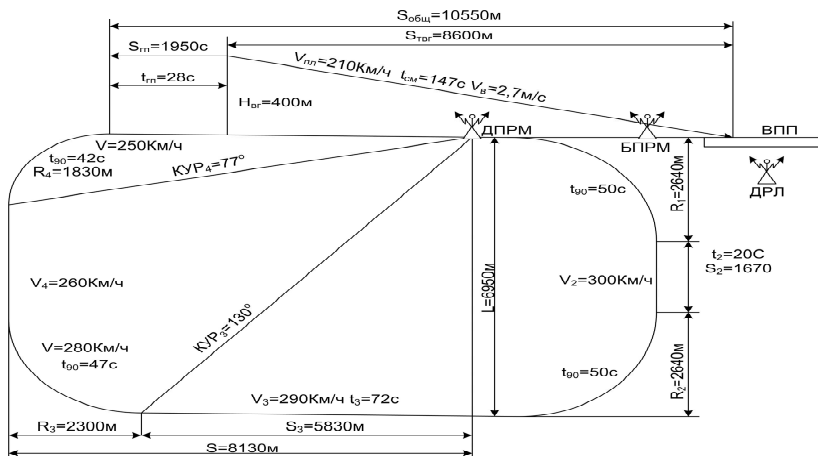
Для реализации автоматического управления воздушным движением необходима высочайшая точность радиоэлектронных следящих систем (РЭСС). Заход на посадку производится с помощью выполнения типовых маневров. Полеты воздушных судов гражданской авиации выполняются по схемам, установленным для данного аэродрома. В гражданской авиации применяют следующие схемы снижения и захода на посадку [1]:

- 1) с прямой;
- 2) по большому и малому прямоугольному маршруту (большая «коробочка» (рис. 1) и малая «коробочка»);
- 3) отворотом на расчетный угол;
- 4) стандартным разворотом;
- 5) с обратного направления.



**Рис. 1. Типовой маневр большая «коробочка»**

Подробнее разберем заход на посадку по малому прямоугольному маршруту (рис. 2). Данный маршрут применим, когда в районе аэродрома посадки нет других ВС, препятствующих подходу к аэродрому на снижении. ВС выходит на ДПРМ с курсом, близким к посадочному, на высоте начала маневра для захода на посадку выполняется разворот



**Рис. 2. Схема захода на посадку по малому прямоугольному маршруту**

на  $180^\circ$  и самолет выводится на курс обратный посадочному, скорость при этом не должна превышать  $460$  км/ч. В процессе разворота скорость полета уменьшается до  $300$  км/ч, на траверзе скорость полета  $280\dots300$  км/ч. Третий разворот выполняется при КУР равном  $130^\circ$  для правого круга (также разворот может осуществляться по истечении установленного времени). После третьего разворота самолет следует курсом, перпендикулярным посадочному. При КУР равном  $77^\circ$  выполняется четвертый разворот на посадочный курс, после входа в глиссаду самолет переводится в режим планирования со скоростью  $210$  км/ч и заданной вертикальной скоростью.

Исследуем изменение координат ВС: дальности  $D$ , азимута  $\varphi_r$ , угла места  $\varphi_v$  относительно диспетчерского радиолокатора (ДРЛ) от времени полета ВС по малому прямоугольному маршруту  $t$ . ДРЛ измеряет координаты ВС. В декартовых координатах с центром в месте расположения ДРЛ построим маршрут движения самолета в горизонтальной и вертикальной плоскостях (рис. 3), воспользовавшись известными соотношениями для равномерного прямолинейного движения и равномерного движения по окружности [2]. Как видно из рис. 3, при совершении маневра ВС (рис. 2) координаты  $X$  и  $Y$  в горизонтальной плоскости изменяются по нелинейному закону, причем более интенсивно изменяются на участках полета ВС, где осуществляется разворот ВС на  $90^\circ$ . Изменение координат  $X$  и  $Y$  влияет на изменение координат ВС  $D$ ,  $\varphi_r$  относительно ДРЛ. Координаты  $X$  и  $h$  в вертикальной плоскости (рис. 3) изменяются по линейному закону, это связано с тем, что ВС в вертикальной плоскости изменяет высоту незначительно. Изменение координат  $X$  и  $h$  влияет на изменение координат ВС  $D$ ,  $\varphi_v$  относительно ДРЛ.

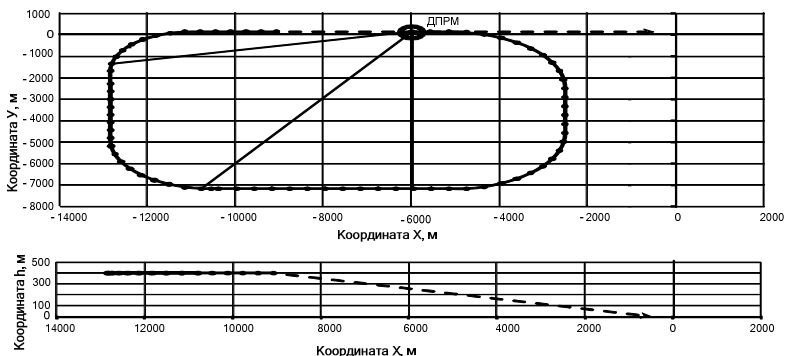


Рис. 3. Малый прямоугольный маршрут в декартовых координатах  $X$ ,  $Y$ ,  $h$

Затем перейдя к цилиндрической системе координат, найдем зависимости изменения дальности  $D$  (рис. 4) и изменения угловых координат  $\varphi_r$ ,  $\varphi_v$  (рис. 5) относительно ДРЛ от времени полета ВС по малому прямоугольному маршруту и изменения.

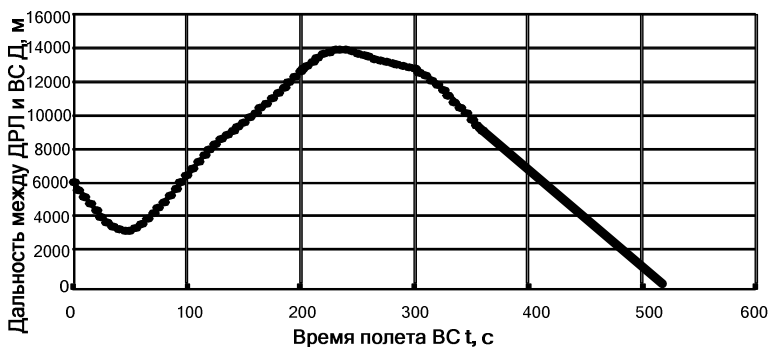


Рис. 4. Зависимость изменения дальности ДРЛ от времени полета ВС

Из рис. 4 видно, что несмотря на простоту траектории самолета, расстояние, измеряемое ДРЛ, изменяется со временем по сложному нелинейному закону.

Штриховой линией показан график зависимости угла азимута  $\varphi_r$  ВС, измеряемого ДРЛ, а сплошной – угла места  $\varphi_v$ . Из этих графиков видно, что угол  $\varphi_r$  от времени изменяется по сложному нелинейному закону, а  $\varphi_v$  – изменяется незначительно. Нелинейный закон движения

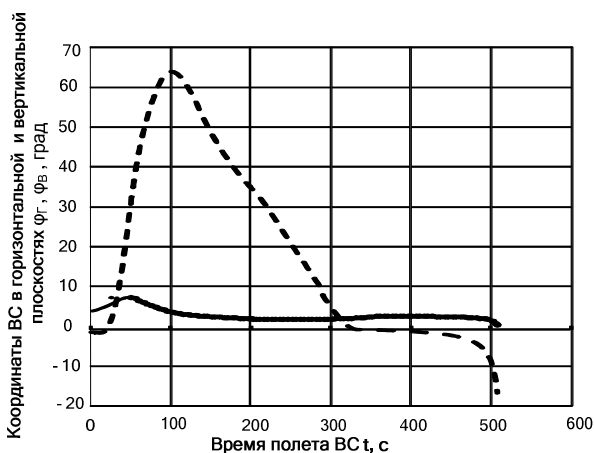


Рис. 5. Зависимости углов  $\varphi_r$ ,  $\varphi_v$ , измеряемых ДРЛ, от времени полета ВС

ВС обусловлен прежде всего его изменением пространственного положения (вектор скорости ВС относительно РЛС: модуль вектора скорости  $V_{ц}$ , угла наклона  $\theta_{ц}$ , путевого угла  $\varphi_{ц}$ ) и изменением координат цели. Нелинейный закон изменения координат цели может вносить значительную ошибку слежения в РЭСС автосопровождения или привести к срыву автосопровождения. Нелинейный закон движения ВС необходимо учитывать при разработке моделей и алгоритмов РЭСС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Задорожный, А.И. Автоматизированные системы управления полетами и воздушным движением / А.И. Задорожный. – М. : ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1998. – С. 290.
2. Крыжановский, Г.А. Автоматизация процессов управления воздушным движением / Г.А. Крыжановский. – М. : Транспорт, 1981. – С. 220.
3. Лобачев, Ю.В. Обработка радиолокационной информации в автоматизированных системах управления полетами / Ю.В. Лобачев, Ю.Н. Панасюк, Б.П. Комягин. – Тамбов : ТВВАИУРЭ, 2008. – С. 152.