

Пальманов В.А.

*Научный руководитель: к.т.н. Михеев К.В.*

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: palmanov1@gmail.com.*

### **Совершенствование метода воспроизведения траекторий движения воздушных объектов**

При проведении контроля работоспособности радиотехнических систем (РТС) в автоматическом режиме назначаются и непрерывно формируются трассы движения воздушных объектов (ВО), заключающиеся в ручном вводе координат опорных точек, определяющих траекторию движения в виде ломаной линии, с указанием скоростей полета в этих точках [1]. От РТС требуется при последовательном накоплении массива информации об опорных точках автоматически формировать непрерывную траекторию движения ВО по трем координатам  $x(t_p)$ ,  $y(t_p)$ ,  $z(t_p)$  и скорости  $V(t)$ . Эта задача решается путем аппроксимации трассы отрезками прямых, соединяющих заданные точки, однако, при переходе с одного отрезка траекторий на другой происходит резкое изменение курса и скорости ВО, что не соответствует реальным траекториям, кроме этого, подобная модель не позволяет формировать ускоренное движение ВО. Траектория движения объекта должна образовываться только набором чередующихся круговых, параболических и прямолинейных сегментов. Она должна обладать нулевым кручением и, таким образом, должна быть более адаптирована для имитации плоских маневров ВО. Движение вдоль каждого сегмента в общем случае должно быть равноускоренным либо равномерным [1, 2].

Реальная имитация траектории движения должна учитывать кинематику маневра ВО, когда объект (его пилот) испытывает мгновенное воздействие перегрузки вследствие скачка центробежной силы

$$F_{ц} = mv^2/R,$$

где  $m$  и  $v$  – соответственно масса и скорость ВО, который неизбежно возникает при переходе с траектории движения по прямой с радиусом кривизны  $R \rightarrow \infty$  на траекторию движения с конечным радиусом  $R_{окр}$ . Кроме этого, имитируемая траектория должна формировать координаты движения ВО в трехмерном пространстве.

Для реализации отмеченных требований можно использовать способ описания кривой Безье, задаваемой графически и аналитически с наглядным, интуитивным представлением отдельных сегментов ее воспроизведения. Но данный способ задает лишь геометрическую форму кривой и не обеспечивает физическое воспроизведение траектории движения ВО с учетом его кинематики - скоростей, ускорений, непосредственно привязанных к каждой точке всей траектории в заданные моменты времени. Кроме этого безразмерный параметр  $t \in [0; 1]$  не привязан к реальному времени  $t_p$  движения по траектории.

Для исключения отмеченных недостатков можно использовать более эффективный метод сегментации траекторий – на основе гладко совмещенных кривых различных степеней, построенных на общей опорной ломаной, которая задана группой из последовательно расположенных отрезков прямых.

Для достижения технического результата положение и геометрическое представление траектории движения объекта в пространстве плавно комплексируется из последовательно сопрягаемых сегментов с итерационными, наглядными графическими интуитивными изменениями их формы и кривизны, расчетом параметрических уравнений движения в каждом сегменте по трем координатам  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $z(t)$  зоны обзора РТС в функции безразмерного параметра  $t \in [0; 1]$  (рис.1) с преобразованием его при различных законах изменений линейной скорости движения в функцию от аргумента - линейно-нарастающего временного интервала реального времени  $t_p$  воспроизведения траектории путем определения проходимого по сегментам пути  $S(t_p)$ , вычисления в соответствии с обратной функцией значений  $t(S)$  в каждом

сегменте и последующим вычислением в блоке расчета координат по параметрическим уравнениям движения значений текущих декартовых координат объекта [3].



Рис. 1. Траектория движения воздушного объекта

Данный подход сочетает в себе предварительные действия оператора, направленные на проектирование модели движения, подготовительные расчеты, необходимые для определения траекторий движения, а также расчеты, вычисляющие мгновенные значения координат движущегося объекта в реальном масштабе времени. В качестве траектории задается кусочно-заданная пространственная кривая, состоящая из плавно совмещаемых сегментов в виде параметрических кривых Безье первого-третьего порядков. Для определения максимальной перегрузки необходимо для кубической кривой определить минимальный радиус кривизны. Наряду с вышеизложенным необходимо определить путь, пройденный по параметрически заданной кривой на плоскости в функции нормированного времени и аппроксимировать функции пути и функции, обратную функции пути.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-37-00077.

#### Литература

1. Квасов, Б.И. Методы изогеометрической аппроксимации сплайнами / Б.И. Квасов – М.: ФИЗМАЛИТ - 2006.-360с.
2. Чекушкин В.В., Аверьянов А.М., Бобров М.С. Способ имитации траекторий движения воздушных объектов // Патент № 2419072 от 20.05.2011.
3. Чекушкин В.В., Михеев К.В. Способ имитации траекторий движения объектов // Патент №2617144 от 21.04.2017.