

## ***Оценка возможности движения летательного аппарата по заданной пространственной траектории***

*А.А. Антипина, С.М. Кривель*

Цель работы состоит в разработке методики и программного комплекса по оценке возможности движения летательного аппарата по заданной траектории.

Считается, что летательный аппарат может двигаться по заданной траектории, если он не выйдет за лётные ограничения и если мощностей и эффективностей органов управления достаточно, чтобы обеспечить его управляемое движение по данной траектории.

Настоящая работа включает в себя две взаимосвязанные части: решение уравнений динамики и балансировки (уравновешивания) летательного аппарата с помощью виртуальной системы автоматического управления для случая «удержания» на заданной траектории; построение заданной траектории движения летательного аппарата и ее характеристик в необходимой для решения траекторной задачи форме, а именно в виде зависимости радиуса кривизны траектории от пройденного пути. Следует заметить, что на зависимость радиуса кривизны от пути накладываются жесткие ограничения из соображений механики движения. Функция траектории должна быть дифференцируема как минимум до второй производной и радиусы кривизны не должны превышать определённые значения.

Движение летательного аппарата с точки зрения динамики описывается известной системой уравнений. Движение центра масс летательного аппарата рассматривается в траекторной системе координат; вращение летательного аппарата вокруг центра масс и аэродинамические моменты – в связанной; аэродинамические силы, действующие на летательный аппарат, – в скоростной; траектория движения – в нормальной системе координат.

Система уравнений используется в рамках виртуальной системы автоматического управления, основанной на ПИД-регуляторах. Система автоматического управления в квазистационарной постановке уравновешивает летательный аппарат в полетном положении, параметры которого обеспечивают движение с заданным радиусом кривизны траектории в данный момент времени. Радиус кривизны траектории однозначно определяет угол крена и угловые скорости поворота летательного аппарата. Путем уравновешивания летательного аппарата по силам в направлении вектора скорости определяется тяга, необходимая для реа-

лизации летательным аппаратом заданного режима маневрирования. Путем уравнивания сил в вертикальной плоскости в направлении перпендикулярном вектору скорости летательного аппарата на заданной высоте полета определяется балансирующий угол атаки. Путем приведения текущего значения угла крена к заданному (балансировка по силам в горизонтальной плоскости в направлении перпендикулярно вектору скорости) определяется балансирующее отклонение руля элеронов. Уравнивание летательного аппарата по угловой скорости рыскания и по угловой скорости тангажа позволяет определить балансирующие значения углов отклонения рулей направления и высоты соответственно.

Задача уравнивания решается последовательно на каждом шаге по времени движения летательного аппарата по заданной траектории с заданной скоростью.

Отдельной задачей является описание заданной траектории движения летательного аппарата. С точки зрения постановки задачи удобно, чтобы заданная траектория была определена в декартовой системе координат (нормальной земной системе координат) в виде координат поворотных пунктов. На вид траектории при использовании методов аппроксимации или интерполяции этой траектории большое значение играет предыстория движения летательного аппарата, то есть как он двигался до начала движения по заданной траектории. Предыстория движения также задается координатами ряда точек траектории до точки начала маневрирования по заданной траектории.

Задача решается в несколько этапов:

1. От кривой параметрического вида  $X_g = f(Z_g)$  осуществляется переход к кривой вида  $X_g = f(S)$ ;  $Z_g = f(S)$ . Здесь  $S$  – пройденный путь (криволинейная координата естественного способа задания движения точки).

2. Осуществляется интерполяция  $X_g(S)$  и  $Z_g(S)$ . Проинтерполировав по  $S$  получаем новую плавную кривую  $X_g = f(Z_g)$ .

3. Уточняется координата  $S$ , получаем новые функции:  $X_g = f(S)$ ;  $Z_g = f(S)$ .

4. Определяется кривизна траектории  $K$  как функция от  $S$  и радиус кривизны как функция от  $S$ .

Предлагаемая методика и программа для ЭВМ могут быть использованы при проектировании летательных аппаратов.