

РИЖСКОЕ КРАСНОЗНАМЕННОЕ ВЫСШЕЕ
ИНЖЕНЕРНО-АВИАЦИОННОЕ ВОЕННОЕ УЧИЛИЩЕ
имени К. Е. ВОРОШИЛОВА

А. В. УШАКОВ

БОКОВАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ
БУКСИРУЕМЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рига—1957

A-2

114222

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. Киргизской ССР

Технический редактор Е. Г. Андреева

Ст. корректор А. Н. Львова

Подписано к печати 7.03.1957 г.

Объем 1/2 печ. листа

Г-511831 Зак. 74.

Типография РКВИАВУ им. К. Е. Ворошилова

Буксировка летательных аппаратов того или иного типа начинает все чаще и чаще применяться при выполнении Военно-Воздушными Силами различного вида боевых операций. Такие летательные аппараты, как буксирные планеры и скоростные мишени, предназначенные для тренировки летного состава, широко используются в отечественных и иностранных ВВС. Следует отметить, что одной из важных проблем, с которой приходится сталкиваться при проектировании буксируемых летательных аппаратов, является проблема обеспечения устойчивости.

Особую актуальность эта проблема приобретает при проектировании беспилотного буксируемого летательного аппарата.

Предлагаемая диссертационная работа состоит из четырех глав и дополнения.

Глава 1 посвящена рассмотрению известных автору работ в данной области, постановке задачи и принимаемым допущениям.

При проведении исследования автор ставил перед собою задачу рассмотреть боковую устойчивость движения объекта, буксируемого абсолютно жесткой буксирной связью.

Под рассмотрением устойчивости движения подразумевается в данном случае составление уравнений возмущенного движения системы, нахождение выражений для коэффициентов соответствующего характеристического уравнения и выявление влияния на устойчивость различных параметров, характеризующих способ буксировки, конструктивно-аэродинамические параметры буксируемого объекта и простейших автоматических устройств, предназначенных для обеспечения устойчивости.

При проведении исследования были приняты следующие допущения:

1) самолет-буксир представляет собою материальную точку, движущуюся на постоянной высоте с постоянной скоростью;

2) буксировка осуществляется с помощью абсолютно жесткой связи;

3) весом буксирной связи и ее лобовым сопротивлением пренебрегаем;

4) возмущения параметров предполагаем малыми.

Глава 2 посвящена составлению уравнений возмущенного движения системы.

В соответствии с принятыми допущениями положение буксируемого летательного аппарата в пространстве при заданном положении буксира определяется пятью обобщенными координатами. (Система имеет пять степеней свободы).

За обобщенные координаты принимаются:

1) угол скольжения β , образованный проекцией связанной оси x объекта на горизонтальную плоскость и направлением скорости полета буксира;

2) угол крена γ , образованный вертикальной плоскостью, проходящей через связанную ось объекта x и плоскостью симметрии объекта;

3) угол поворота буксирной связи φ_3 , образованный проекцией оси буксирной связи на горизонтальную плоскость и направлением скорости полета буксира;

4) угол тангажа ν , образованный связанной осью x и горизонтальной плоскостью;

5) угол превышения φ_1 , образованный осью буксирной связи и горизонтальной плоскостью.

Уравнения движения системы составляются в форме Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_1} = Q_1,$$

где T — кинетическая энергия системы при изменении одновременно всех обобщенных координат;

q_1 — обобщенная координата;

Q_1 — обобщенная сила.

В случае принятия допущения о том, что в невозмущенном движении плоскости симметрии буксира и буксируемого объекта совпадают, система уравнений, характеризующая возмущенное движение, распадается на две группы, одна из которых характеризует продольное движение, а другая — боковое. В предлагаемой работе рассмотрению подлежит лишь последняя группа уравнений, представляющая собою систему из трех линейных дифференциальных уравнений второго порядка.

Соответствующее характеристическое уравнение имеет вид:

$$a_0 \lambda^6 + a_1 \lambda^5 + \dots + a_6 = 0.$$

В результате составления и раскрытия характеристического определителя системы получены выражения для коэффициентов характеристического уравнения.

Глава 3 посвящена исследованию влияния на боковую устойчивость параметров буксировки и конструктивно-аэродинамических параметров буксируемого объекта.

Полученные выражения для коэффициентов характеристического уравнения позволяют, проведя ряд расчетов, выяснить влияние на характер бокового возмущенного движения буксируемого объекта таких параметров, как длина буксирной связи, угол превышения, координаты точки крепления связи к буксируемому объекту, конструктивно-аэродинамические параметры объекта.

Наиболее доступным методом выявления характера влияния тех или иных величин является построение границ устойчивости и областей устойчивости на плоскости исследуемых параметров. Однако этот способ анализа позволяет в каждом конкретном случае лишь ответить на вопрос о наличии или отсутствии устойчивости системы при данном сочетании параметров.

Более полную картину дает нахождение корней характеристического уравнения; исчерпывающий же ответ о характере возмущенного движения получаем лишь с помощью построения непосредственно переходного процесса при воздействии на систему какого-то возмущения. В этом случае может быть выявлена полная картина изменения обобщенных координат по времени, что очень важно для суждения о качестве переходного процесса. Недостатком настоящего метода является то обстоятельство, что благодаря сложности исходной системы уравнений для получения требуемых зависимостей приходится проводить чрезвычайно трудоемкие вычислительные работы.

Представленные в работе результаты получены использованием всех вышеупомянутых методов. Применяя метод Соколова-Неймарка, построены области устойчивости на плоскостях параметров $L \div \varphi_1$, $m_y^\beta \div m_x^\beta$, $m_x^\beta \div m_x^\beta$ для различных значений L и C_z^β .

В результате нахождения численных значений корней характеристического уравнения при различных значениях L , m_x^β , r_x выяснено влияние этих параметров на характер колебательных составляющих возмущенного движения.

Решение непосредственно системы дифференциальных уравнений методом Лапласа, проведенное при различных значениях L , m_x^β и r_x , позволяет судить о характере переходного процесса, то есть о характере поведения буксируемого объекта после воздействия возмущения.

Глава 4 посвящена возможности применения простейших автоматических устройств, предназначенных для обеспечения устойчивости.

Составлены уравнения идеальных автопилотов, реагирующих на изменения каждой из обобщенных координат (углы крена, скольжения и отклонения буксирной связи).

В результате совместного рассмотрения системы уравнений самолета и уравнения автопилота составлен характеристический определитель системы и получено характеристическое уравнение вида:

$$b_0 \lambda^7 + b_1 \lambda^6 + \dots + b_7 = 0.$$

Применительно к различным видам автопилотов найдены выражения для коэффициентов характеристического уравнения.

Исследование устойчивости производилось посредством построения областей устойчивости на плоскости параметров

$$I_{oc} \div I_\gamma, I_{oc} \div I_{\varphi_2}, I_{oc} \div I_\beta.$$

(Здесь I_{oc} — коэффициент, характеризующий передаточное число обратной связи; I_γ , I_{φ_2} , I_β — коэффициенты, характеризующие передаточные числа автопилота при соответствующих чувствительных элементах).

Дополнение содержит в себе материал, позволяющий проиллюстрировать некоторые положения, полученные теоретически, результатами экспериментального исследования одного из типов буксируемых летательных аппаратов.

Выводы

А. Характер возмущенного движения

1. Возмущенное движение буксируемого летательного аппарата является колебательным, состоящим из короткопериодической гармоники, длиннопериодической гармоники и двух апериодических составляющих.

2. Короткопериодическое движение состоит в основном в изменении угла рыскания β , угла крена γ ; длиннопериодическое — в изменении угла отклонения буксирной связи φ_3 и угла крена γ .

3. Короткопериодическое движение является, как правило, затухающим, в то время как длиннопериодическое представляет собою в ряде случаев колебательное движение с возрастающей амплитудой. Задача достижения самоустойчивости состоит, таким образом, в обеспечении затухания длиннопериодических колебаний.

Б. Влияние параметров буксировки

1. Увеличение длины буксирной связи благоприятно влияет на боковую устойчивость буксируемого объекта, приводя к увеличению затухания и уменьшению частоты длиннопериодических колебаний. На короткопериодические колебания изменение L практически влияния не оказывает.

При очень больших значениях L может быть достигнута самоустойчивость применительно к самолету обычной схемы.

2. Угол превышения φ_1 оказывает влияние в основном на характеристики затухания короткопериодических и длиннопериодических колебаний. Положительный угол превышения приводит (по сравнению с отрицательным) к более интенсивному затуханию короткопериодических колебаний, вызывая в то же время более интенсивное возрастание амплитуды колебаний длиннопериодических.

3. Положение точки крепления буксирной связи к буксируемому объекту влияет на боковую устойчивость незначительно при изменении r_x и r_y в пределах, конструктивно возможных для обычного самолета.

В. Влияние конструктивно-аэродинамических параметров буксируемого объекта

1. Уменьшение значения коэффициента m_x^β благоприятно влияет на устойчивость, приводя к более быстрому затуханию короткопериодической гармоника и уменьшению возрастания амплитуды гармоника длиннопериодической. При достаточно малых значениях m_x^β может быть обеспечена самоустойчивость.

2. Увеличение коэффициента боковой силы C_z^β и степени поперечного демпфирования m_x^p благоприятно влияют на устойчивость.

3. Коэффициент путевой устойчивости m_y^β должен в целях обеспечения самоустойчивости быть по абсолютной величине небольшим. Увязывая это требование с требованием большого значения C_z^β , приходим к выводу о рациональности постановки киля большой площади, близко расположенного к центру тяжести.

Г. Влияние постановки автопилота

1. Постановкой специального автоматического устройства может быть обеспечена самоустойчивость летательного аппарата, не предназначенного исключительно для полета на буксире и обладающего обычными конструктивно-аэродинамическими параметрами.

2. В качестве автоматических устройств, предназначенных для обеспечения самоустойчивости, могут быть применены автопилоты, реагирующие на угол крена γ , угол поворота буксирной связи φ_β и одновременно — на углы β и φ_β .

3. Наиболее перспективным, на наш взгляд, является использование автопилота, реагирующего на угол крена γ , по причинам наибольшей простоты осуществления чувствительного элемента и широких пределов возможного передаточного числа.

Примечание: Основное содержание работы опубликовано в трудах РКВИАВУ им. К. Е. Ворошилова, вып. 12.

