

# АСТАТИЧЕСКИЙ ЗАКОН УПРАВЛЕНИЯ В ПУТЕВОМ КАНАЛЕ САМОЛЕТА ТРАНСПОРТНОЙ КАТЕГОРИИ

**А.Н. Козьяйчев**

*Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского*  
Россия, 140180, Московская область, Жуковский, ул. Жуковского, 1  
E-mail: kozyaychev@gmail.com

**Ключевые слова:** путевой канал, закон управления, астатический закон управления, пассажирский самолет, угол скольжения.

**Аннотация:** Современные цифровые системы управления позволяют реализовать обширный набор функций, способствующих повышению безопасности полета. В докладе рассматривается идеология управления в путевом канале самолета транспортной категории основанная на астатическом (интегральном) законе управления по углу скольжения в путевом канале самолета. Представлены результаты расчётных и стендовых исследований, демонстрирующие работу астатического закона управления в путевом канале самолёта транспортной категории, получены положительные отзывы летчиков о пилотажных характеристиках самолета.

## 1. Введение

После перехода пассажирских самолетов на цифровые системы дистанционного управления, которые позволили включить большее количество функций и реализовать более сложные алгоритмы управления, чем аналоговая система управления (СУ), начинается рост числа функций управления в СУ самолетов транспортной категории. Современные цифровые СУ позволяют реализовать обширный набор функций, способствующих повышению безопасности полета. Современные самолеты транспортной категории обладают широким набором функций:

- функции управления;
- функции, обеспечения безопасности полета;
- функции повышения комфорта управления.

На большинстве, современных самолетов транспортной категории в продольном канале управления применяется интегральный закон управления, обеспечивающий заданные характеристики управляемости, ограничение угла атаки, перегрузки, угла тангажа, скорости полета, а также автоматическую балансировку самолета. В боковом канале на существующих самолетах транспортной категории, как правило, используются статические законы управления, которые обеспечивают удовлетворительные характеристики управляемости, стабилизацию угла крена, а также функцию ограничения угла крена. Но рост конкуренции между авиапроизводителями приводит к росту объема функций, реализуемых в СУ это касается не только функций ограничения и предупреждения, но и функций, обеспечивающих комфорт управления, данные функции снижают нагрузку на экипаж и создают конкурентные преимущества.

## 2. Астатический закон управления в путевом канале

Введение в перечень информационных сигналов СУ сигнала угла скольжения позволяет реализовать астатический (интегральный) закон управления углом скольжения. Использование астатического закона управления углом скольжения позволяет:

- обеспечить заданный градиент управляемости в путевом канале;
- обеспечить ограничение угла скольжения  $\beta$  заданной величиной  $\beta_{max}$ ;
- реализовать функцию автоматической балансировки в путевом канале.

Астатический закон управления в путевом канале реализует следующую идеологию управления: при движении самолета в воздухе перемещению педалей соответствует заданный угол скольжения  $\beta_3$ , максимальному перемещению – заданный максимальный угол скольжения, при движении по взлетно-посадочной полосе перемещению педалей соответствует заданное отклонение руля направления.

Астатический закон управления углом скольжения основан на принципах комбинированного управления, т.е. для процесса управления кроме сигнала пропорционального изменению угла скольжения используется сигнал управления от летчика:

$$\delta_{н\text{ком}} = K_Y^\beta \cdot \beta_3 + K_{\Pi}^\beta \cdot (\beta - W_{\text{фд}} \cdot \beta_3) + \int K_I^\beta \cdot (\beta - W_{\text{фд}} \cdot \beta_3) + K_D^\beta \cdot \dot{\beta}$$

где  $\delta_{н\text{ком}}$  – управляющий сигнал на привода руля направления;

$K_Y^\beta, K_{\Pi}^\beta, K_I^\beta, K_D^\beta$  – коэффициенты закона управления углом скольжения;

$W_{\text{фд}}$  – передаточная функция фильтра учитывающего различного рода нелинейности в СУ, которые вносят дополнительные запаздывания и ограничения в тракт управления.

$\dot{\beta}$  – вычисляемое значение производной угла скольжения:

$$\dot{\beta} = \frac{g}{V} \cdot (n_z + \cos \vartheta \cdot \sin \gamma) + \omega_y \cdot \cos \alpha + \omega_x \cdot \sin \alpha$$

где  $n_z, \vartheta, \gamma, \alpha, \omega_y, \omega_x$  – значения боковой перегрузки, угла тангажа, угла крена, угла атаки, скорости рысканья и скорости крена соответственно.

## 2.1. Заданный угол скольжения

Заданный угол скольжения является функцией перемещения педалей и скорости полета. Заданный угол скольжения может быть задан с помощью кнопки триммера, а также различными функциями управления, реализованными в алгоритмах СУ. Типовая зависимость заданного угла скольжения при управлении педалями летчиком  $\beta_{3Л}$  представлена на рис. 1.

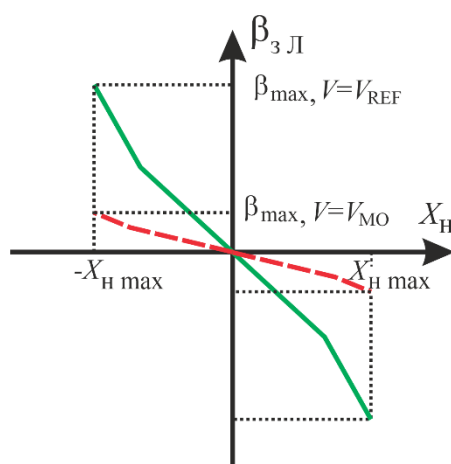


Рис. 1. Заданный угол скольжения, определяемый перемещением педалей.

Посредством формирования заданного угла скольжения реализуется функция автоматической балансировки в путевом канале. Так нейтральному положению педалей соответствует нулевой угол скольжения, но в случае различного рода отказов, вследствие которых увеличивается сопротивление самолета (заклинение органов управления, отказ двигателя и т.п.) нулевой угол скольжения может не являться оптимальным. В таком случае при нейтральном положении педалей необходимо стабилизировать ненулевой угол скольжения. Так в случае продолженного взлета с отказом двигателя требуется обеспечить как можно большие градиенты набора высоты, при этом требуется значительное отклонение руля направления для компенсации возмущающего момента по рысканью, вследствие этого, а также сопротивления авторотации растет общее сопротивление самолета. Таким образом создавая небольшой угол скольжения возможно уменьшить общее сопротивление самолета, при этом облегчить набор высоты. Необходимый угол скольжения, как правило, для большинства магистральных самолетов, находится в пределах 1-2 градусов. Поддержание такого угла скольжения при ручном пилотировании, в условиях продолженного взлета, достаточно сложная задача. Поэтому целесообразно возложить данную задачу на алгоритмы управления.

В том случае, когда на самолете присутствует датчик угла скольжения, но самолет имеет статический закон управления в путевом канале возможна реализация индикации желательного диапазона угла скольжения, например, из условия обеспечения требуемых градиентов набора высоты.

## 2.2. Расчетные и стендовые исследования

С целью демонстрации работы астатического закона управления в путевом канале были проведены расчетные исследования движения самолета при различных возмущающих и управляющих воздействиях. Расчеты проводились на характерных режимах самолета транспортной категории. Пример реакции самолета на различное перемещение педалей представлены на рис. 2.

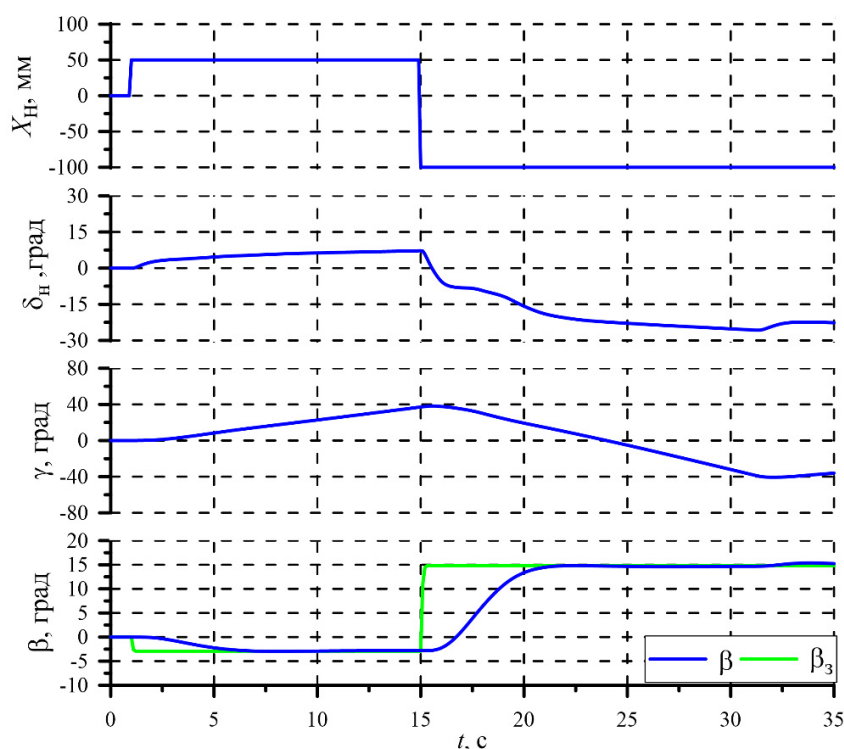


Рис. 2. Реакция самолета на знакопеременное перемещение педалей.

Расчетами показано, что перемещении педалей, самолет достигает заданного угла скольжения  $\beta_3$ , переходный процесс по углу скольжения близок к апериодическому, обеспечивая тем самым характеристики управляемости, и точно его отслеживает. При максимальном перемещении педалей достигается заданный максимальный угол скольжения т.е. реализуется функция ограничения угла скольжения.

Оценка поведения самолета при отказе двигателя и невмешательстве летчика в управление показала, что после отказа двигателя автоматически отклоняется руль направления, при этом угол скольжения близок к нулю, первоначальная реакция самолета при отказе двигателя как по углу скольжения, так и по углу крена естественная, не вводит летчика в заблуждение.

В стендовых исследованиях, с участием летчиков-испытателей, оценивалась управляемость самолета транспортной категории с астатическим законом управления в путевом канале. Оценка проводилась при различных перемещениях педалей от малых до максимальных перемещений.

Анализ результатов стендовых исследований показал, что при малых и средних перемещениях педалей самолет достигает заданного угла скольжения и точно его отслеживает. Для случая разгона или торможения с максимально отклоненными педалями заданный максимальный угол достаточно точно, отслеживался.

По результатам стендовых исследований получены положительные отзывы летчиков о пилотажных характеристиках самолета с астатическим законом управления в путевом канале. Результаты стендовых исследований подтверждают заявленные свойства самолета, обеспечиваемые разработанными алгоритмами управления.

### 3. Заключение

В докладе представлена идеология управления в путевом канале, обеспечивающая достижение самолетом заданного угла скольжения при перемещении педалей, а также описаны алгоритмы управления, реализующие данную идеологию.

Математическим и стендовым моделированием, проведенное на примере самолета транспортной категории, показало, что астатический закон управления в путевом канале обеспечивает выполнение заявленных для него функций в широком диапазоне режимов полета с достаточной точностью. По результатам стендовых исследований получены положительные отзывы летчиков о пилотажных характеристиках самолета, которые подтверждают заявленные свойства самолета, обеспечиваемые представленным астатическим законом.