

УДК 629.053

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРЦЕПТОРОВ В КАЧЕСТВЕ ОРГАНОВ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДЪЕМНОЙ СИЛОЙ МАГИСТРАЛЬНОГО САМОЛЕТА ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ ПО КРУТОЙ ГЛИССАДЕ

А.А. Дементьев

Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского (ФАУ «ЦАГИ»)
Россия, 140180, Московская область, Жуковский, ул. Жуковского, 1
E-mail: aleksandr.dementev@tsagi.ru

Ю.И. Диденко

Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского (ФАУ «ЦАГИ»)
Россия, 140180, Московская область, Жуковский, ул. Жуковского 1
E-mail: yuriy.didenko@tsagi.ru

Ключевые слова: магистральный самолет, управление интерцепторами, непосредственное управление подъемной силой, крутая глиссада, заход на посадку, электродистанционная система управления.

Аннотация: Разработан алгоритм управления интерцепторами как органом непосредственного управления подъемной силой (НУПС) магистрального самолета при заходе на посадку по крутой глиссаде (имеющей наклон 4.5 градуса и выше). Описана методика настройки данного алгоритма, а также показана его работоспособность.

Для обеспечения стабилизированного захода на посадку магистрального самолета по крутой глиссаде необходимо использование выпущенных интерцепторов как воздушных тормозов. При фиксированном положении интерцепторов уменьшается максимальное значение коэффициента подъемной силы, что приводит к увеличению скорости сваливания и, следовательно, регламентированной скорости захода на посадку [1]. В настоящей работе предлагается алгоритм управления интерцепторами как органами НУПС, позволяющий обеспечить стабилизированный полет по крутой глиссаде без увеличения скорости захода на посадку. В качестве объекта рассматривается среднемагистральный пассажирский самолёт с электродистанционной системой управления (ЭДСУ), включающей весь набор функций, характерных для современных и перспективных магистральных самолётов [2].

Управление предварительно выпущенными интерцепторами как органами НУПС осуществляется по сигналу заданного приращения перегрузки. Управляющий сигнал распределяется между трактами управления рулем высоты и интерцепторами (Рис. 1).

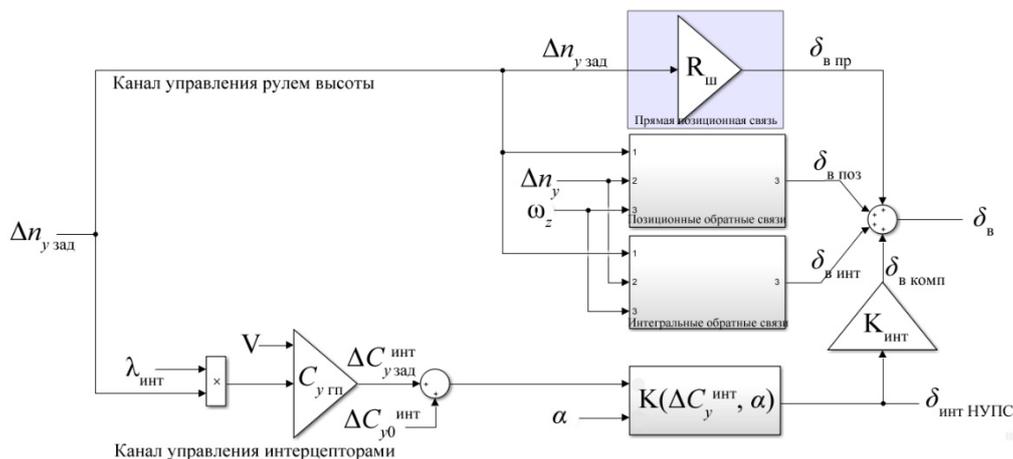


Рис. 1. Упрощенная структурная схема управления рулем высоты и интерцепторами как органом НУПС.

Соотношение, в котором поступающий на вход сигнал распределяется между двумя цепями, определяется параметром $\lambda_{инт}$. Подавая на вход канала управления интерцепторами долю сигнала $\lambda_{инт} \cdot \Delta n_{у зад}$, остаток сигнала $(1 - \lambda_{инт}) \cdot \Delta n_{у зад}$ будет обрабатываться прямой цепью алгоритма управления рулём высоты. Чтобы динамические свойства данного тракта остались прежними, вместо коррекции коэффициентов всех связей управления достаточно скорректировать коэффициент прямой цепи. С учетом вклада интерцепторов в изменение перегрузки, коэффициент прямой цепи будет иметь вид:

$$(1) \quad R_{ш} = (1 - \lambda_{инт}) \cdot \tilde{R}_{ш},$$

где $\tilde{R}_{ш}$ – исходный коэффициент прямой цепи в канале руля высоты без использования интерцепторов как органа НУПС.

В канале управления интерцепторами основным задаваемым параметром является сигнал изменения общего коэффициента подъемной силы, вызванный отклонением интерцепторов. Закон управления интерцепторами как органом НУПС представляется в следующем виде:

$$(2) \quad \delta_{интНУПС} = K(\Delta C_{у}^{инт}, \alpha) \cdot [\Delta C_{у0}^{инт} + \Delta C_{у зад}^{инт}],$$

$$\Delta C_{у зад}^{инт} = C_{у гп} \cdot W_{\phi} \cdot \lambda_{инт} \Delta n_{у зад}$$

где: $\Delta C_{у0}^{инт}$ – вклад в общий коэффициент подъемной силы от балансировочного отклонения интерцепторов; $\Delta C_{у зад}^{инт}$ – вклад в общий коэффициент подъемной силы, вызванный подаваемой на вход тракта управления интерцепторов долей сигнала заданного изменения перегрузки $\lambda_{инт} \Delta n_{у зад}$; $K(\Delta C_{у}^{инт}, \alpha)$ – обратная функция, заданная в виде табличной зависимости; W_{ϕ} – фильтр для улучшения качества переходного процесса.

Астатизм замкнутой системы «самолет – СДУ» по перегрузке обеспечивается интегральной обратной связью в канале руля высоты.

Для улучшения качества регулирования сигнал $\lambda_{инт} \cdot \Delta n_{у зад}$ пропускается через апериодическое звено.

Сигнал компенсации момента тангажа от отклонения интерцепторов, подаваемый в тракт управления рулем высоты, с учетом закона управления **Ошибка! Источник ссылки не найден.** имеет вид

$$\delta_{в комп инт} = K_{инт}(\delta_{закр}; M) \cdot \delta_{интНУПС}$$

Рациональное значение параметра $\lambda_{\text{инт}}$ рассчитывается в процессе полета исходя из возможности обеспечения необходимых располагаемых перегрузок. В качестве максимального значения коэффициента подъемной силы при выходе на перегрузку принимается значение:

$$C_{y \text{ прот int0}} = C_{y \text{ прот}}(\delta_{\text{инт}} = 0^\circ, \delta_z, \delta_{\text{п}}).$$

Угол атаки, соответствующий этому значению коэффициента подъемной силы (на рисунке обозначен как $\alpha_{\text{прот}}(\delta_{\text{инт}} = 0^\circ)$) меньше остальных значений угла атаки, соответствующих различным балансировочным отклонениям интерцепторов. Поэтому выход на перегрузку в случае сбалансированного полета на угле атаки $\alpha_{\text{прот}}(\delta_{\text{инт}} = 0^\circ)$ должен обеспечиваться только за счет интерцепторов во избежание выхода за пределы допустимых значений угла атаки.

Параметр $\lambda_{\text{инт}}$ трактуется как отношение приращения подъемной силы, вызванной полной уборкой интерцепторов к суммарному приращению подъемной силы (относительно $C_{y \text{ гп}}$), обусловленному как уборкой интерцепторов, так и увеличением угла атаки:

$$(3) \quad \bar{\lambda}_{\text{инт}}(V_{\text{пр}}) = \frac{\Delta C_{y \text{ инт}}^{\text{инт}}(\delta_{\text{инт бал}}, \alpha_{\text{прот}}(\delta_{\text{инт}} = 0^\circ))}{C_{y \text{ гп}}(V_{\text{пр}}) - C_{y \text{ прот int0}}} \Big|_0^1, \quad (1)$$

где $\bar{\lambda}_{\text{инт}}$ – ограниченное в пределах от 0 до 1 значение параметра $\lambda_{\text{инт}}$; $\Delta C_{y \text{ инт}}^{\text{инт}}(\delta_{\text{инт бал}}, \alpha_{\text{прот}}(\delta_{\text{инт}} = 0^\circ))$ – вклад интерцепторов в создание суммарного коэффициента подъемной силы, посчитанный при балансировочном отклонении интерцепторов $\delta_{\text{инт бал}}$ на угле атаки $\alpha_{\text{прот}}(\delta_{\text{инт}} = 0^\circ)$; $V_{\text{пр}}$ – приборная скорость полета.

В рамках данной работы рассмотрен следующий алгоритм уборки интерцепторов при уменьшении скорости ниже безопасной:

$$\delta_{\text{инт бал}}(V_{\text{пр}}) = \begin{cases} \delta_{\text{инт бал ном}}, & \text{при } C_{y \text{ гп}}(V_{\text{пр}}) < C_{y \text{ прот}}(\delta_{\text{инт бал ном}}, \alpha) \\ \delta_{\text{инт бал прот}}, & \text{при } C_{y \text{ прот}}(\delta_{\text{инт бал ном}}, \alpha) \leq C_{y \text{ гп}}(V_{\text{пр}}) < C_{y \text{ прот int0}}, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

где: $\delta_{\text{инт бал ном}}$ – номинальное значение балансировочного отклонения интерцепторов, обеспечивающее сбалансированный полет с требуемым углом наклона траектории при постоянной скорости; $\delta_{\text{инт бал прот}}$ – такое значение угла отклонения интерцепторов, при котором текущее значение $C_{y \text{ гп}}(V_{\text{пр}})$ совпадает со значением $C_{y \text{ прот}}(\delta_{\text{инт}} = \delta_{\text{инт бал прот}}, \delta_z, \delta_{\text{п}})$;

Для оценки располагаемой перегрузки были проведены расчеты по оценке установившихся значений перегрузок и при подаче управляющего сигнала $\Delta n_{y \text{ зад}} = 0.4$. Для сравнения, сигнал перегрузки подавался в СДУ без системы управления интерцепторами (см. рис.).

Из рисунка видно, что располагаемый запас по перегрузке до срабатывания алгоритма ограничения угла атаки с системой управления интерцепторами составляет как минимум 0.4 единицы, в то время как без системы он составляет 0.2 единицы. Таким образом, рассматриваемая система управления интерцепторами позволяет значительно расширить маневренные возможности самолета при выпущенных интерцепторах.

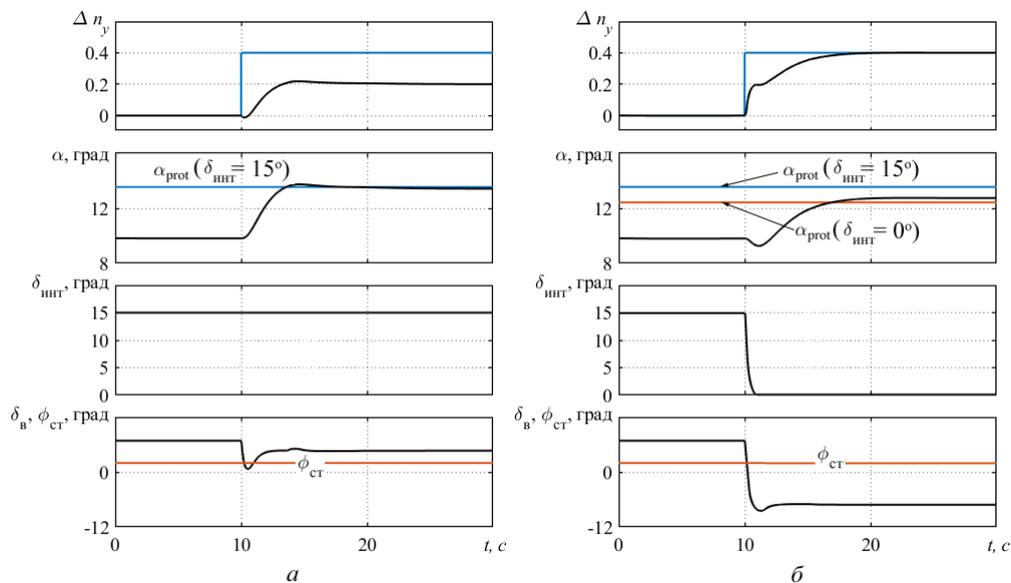


Рис. 2. Сравнение располагаемого запаса по перегрузке для алгоритмов СДУ: а – без системы управления интерцепторами; б – с системой управления интерцепторами.

Список литературы

1. Нормы летной годности самолетов транспортной категории НЛГ 25. Федеральное агентство воздушного транспорта (Росавиация), 2023.
2. Алешин Б.С., Баженов С.Г., Диденко Ю.И., Шелюхин Ю.Ф. Системы дистанционного управления магистральных самолетов. М.: Наука, 2013. 292 с.