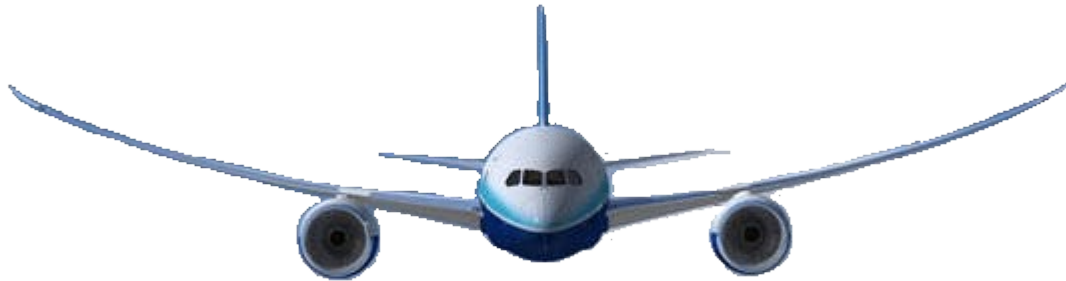


ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УПРАВЛЯЕМОСТИ САМОЛЕТА В ПУТЕВОМ КАНАЛЕ УПРАВЛЕНИЯ

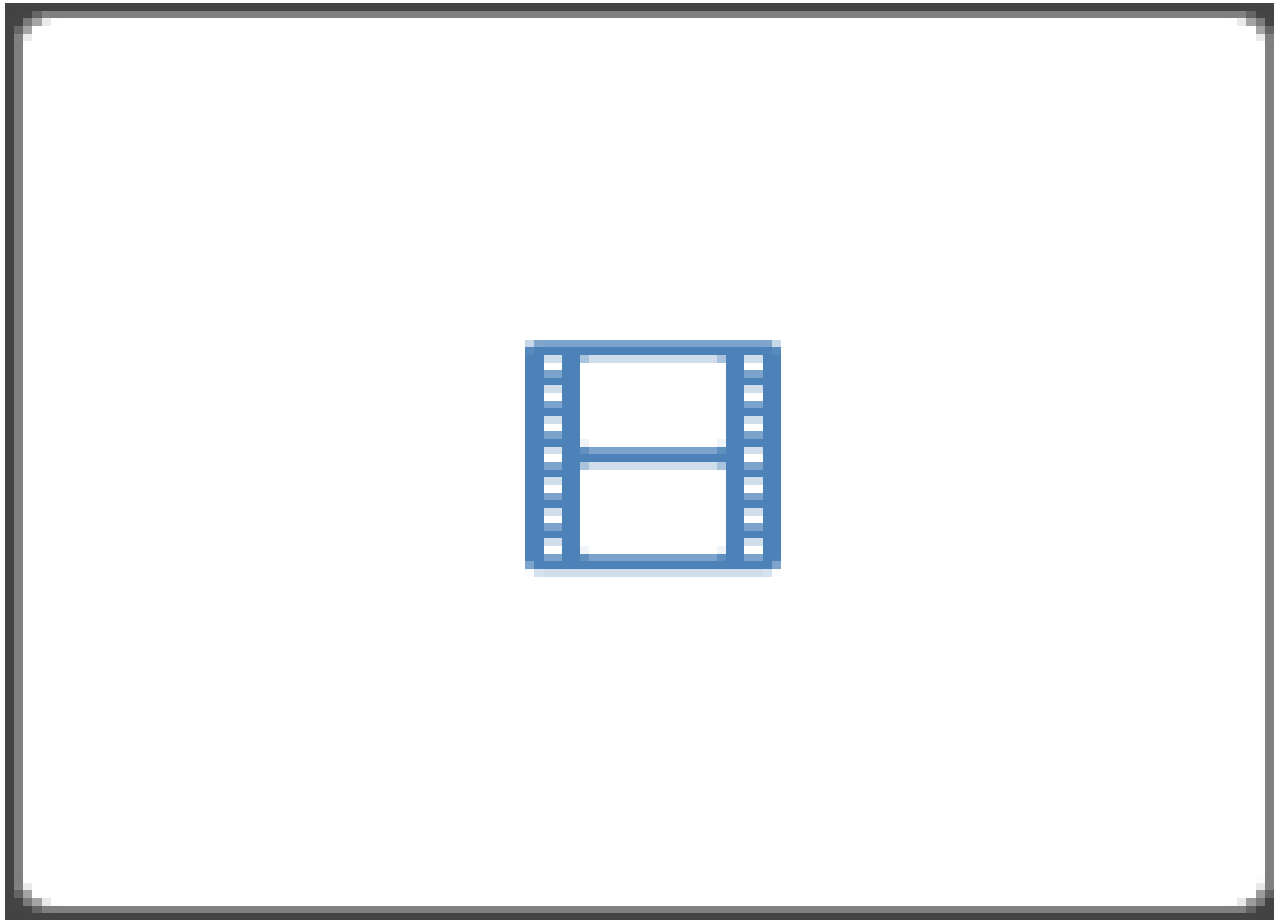


П.А.Десятник, Л.Е.Зайчик

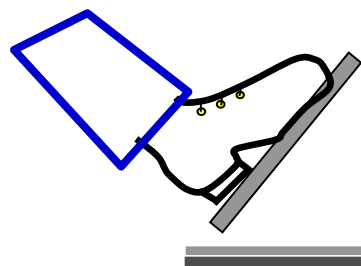
“...the proper setting of controlled element gain has become a non-trivial development aspect on every new aircraft that introduces a new inceptor. In the absence of an extensive background of data for these there is no basis other than experiment to determine the optimum gains.”

Д.МакРуер

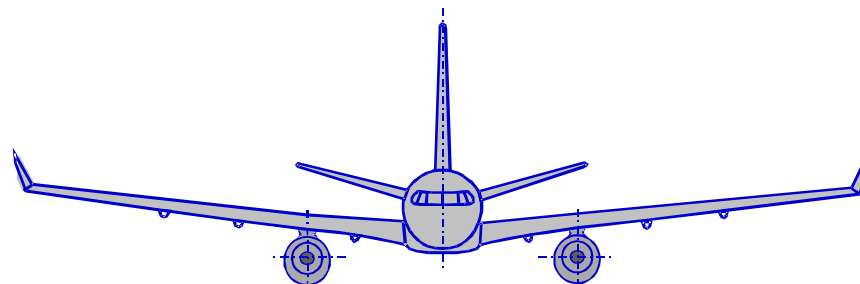
СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ



ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ УПРАВЛЯЕМОСТЬ САМОЛЕТА В ПУТЕВОМ КАНАЛЕ



**динамические
характеристики**



**характеристики
чувствительности
управления**

**взаимосвязь
движения рыскания
и крена**

Постановка эксперимента

Пилотажный стенд с подвижной кабиной (ПСПК-102)

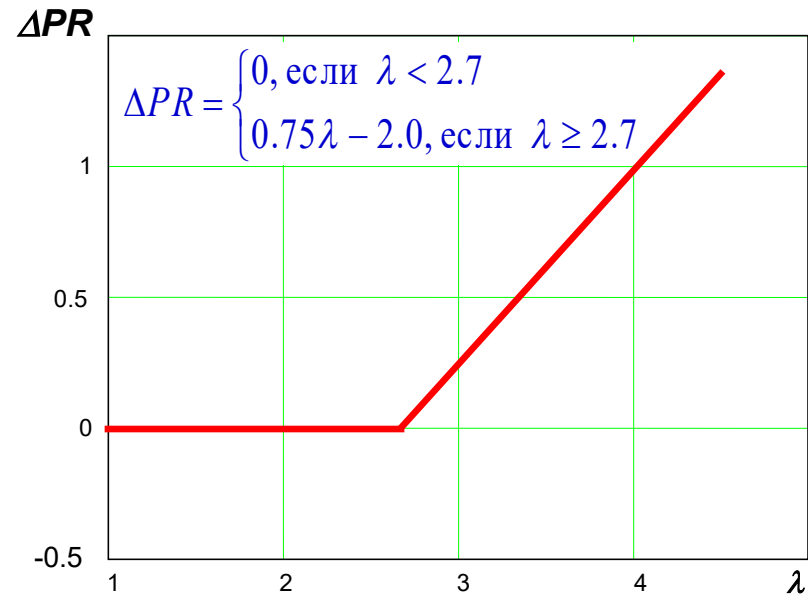
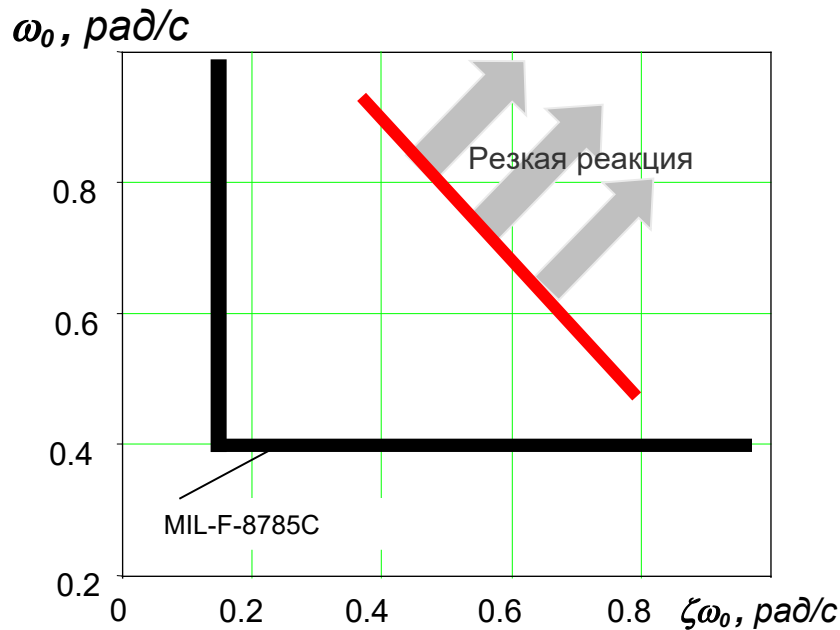


Пилотажный стенд магистрального самолета (ПСМС)



- модель самолета с уравнениями, записанными через обобщенные параметры (исследовательская модель)
- задачи пилотирования:
 - свободное пилотирование
 - заход на посадку с боковым ветром
 - “прыгающая” полоса
- 6 летчиков-испытателей
- оценки летчиков по шкале Купера-Харпера
- комментарии летчиков
- записи процессов пилотирования

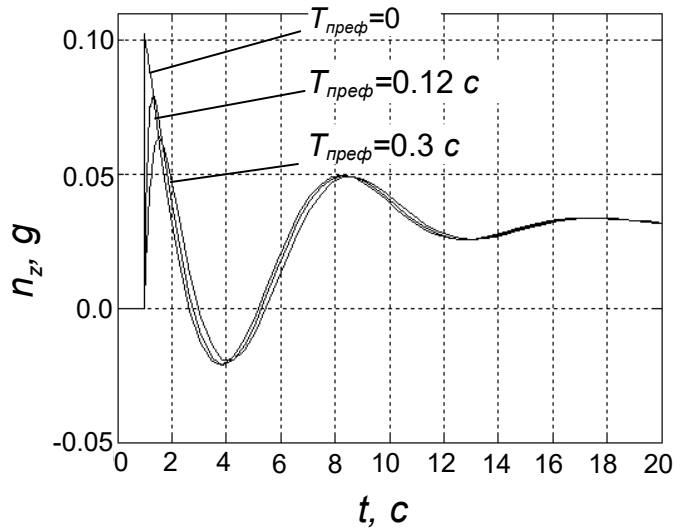
1. Динамические характеристики



Расчет параметра λ:

$$\lambda = \frac{(l - l_{мцy})}{g} \sqrt{\frac{\omega_0^2 + 2\zeta\omega_0 \cdot \omega_0 \cdot \frac{\bar{M}_y^{X_H}}{\bar{M}_{y^*}^{X_H}}}{1 + 2\zeta\omega_0 \cdot T_{преф} + \omega_0 \cdot \frac{\bar{M}_y^{X_H}}{\bar{M}_{y^*}^{X_H}} \cdot T_{преф}} + \frac{\omega_0^2 \cdot T_{преф} \cdot \omega_0 \cdot \frac{\bar{M}_y^{X_H}}{\bar{M}_{y^*}^{X_H}}}{\bar{M}_{y^*}^{X_H}}}$$

Устранение тенденции к РР



$$\omega_0 = 1.2 \text{ рад/с}, \zeta\omega_0 = 0.5 \text{ рад/с}$$

$$\lambda = f(\omega_0, \zeta\omega_0, M_y^{XН}), T_{преф} = 0$$

$$\lambda = 3.4$$

$$\Delta PR = 0, \lambda = 2.7$$



$$T_{преф} = 0.3 \text{ c}$$

2. Чувствительность управления. Взаимосвязь движений крена и рыскания



управление угловым движением

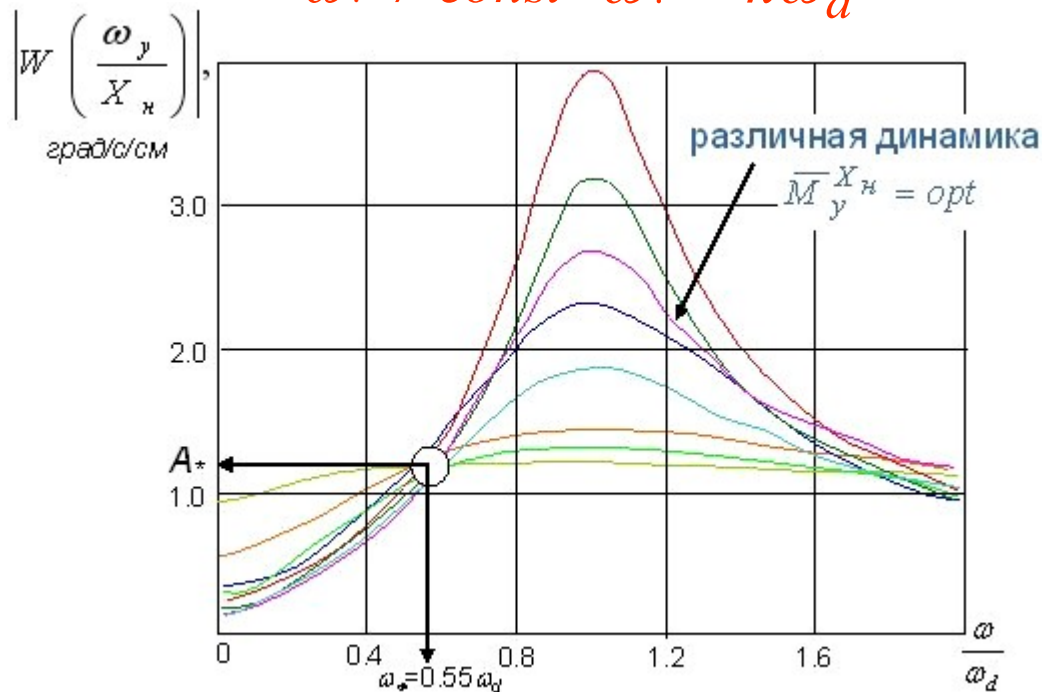
управление боковым перемещением

Критерий для выбора оптимальной чувствительности управления угловым движением

$$\overline{M}_y^{X_H} = \dot{\omega}_y^{X_H} \left| W_{\frac{\omega_y}{X_H}} \left(j\omega_*, \left(\overline{M}_y^{X_H} \right)_{opt}, \omega_d, \zeta_d, \dots \right) \right| = A_*^*$$

Особенности путевого канала управления:

$$\omega_* \neq const \quad \omega_* = k\omega_d$$

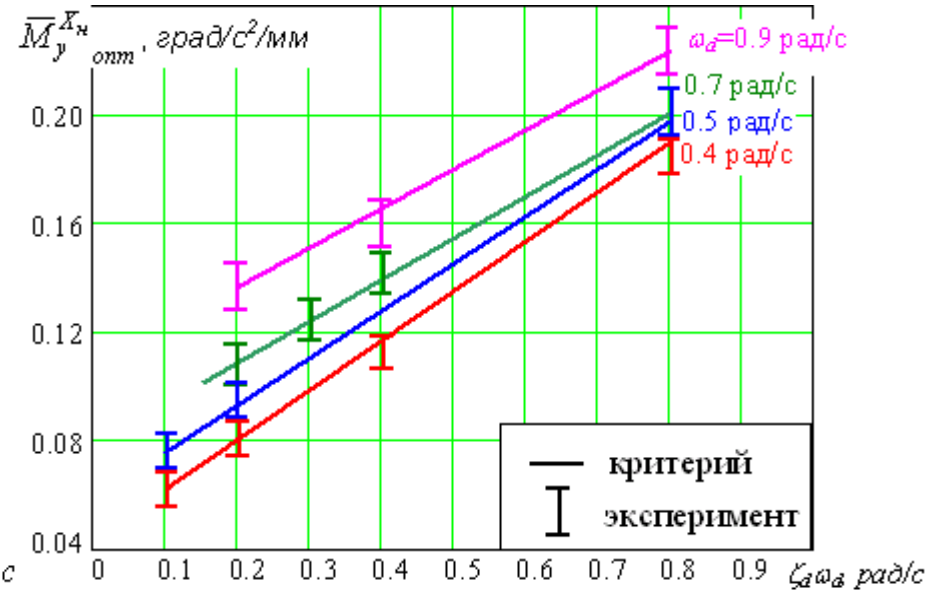
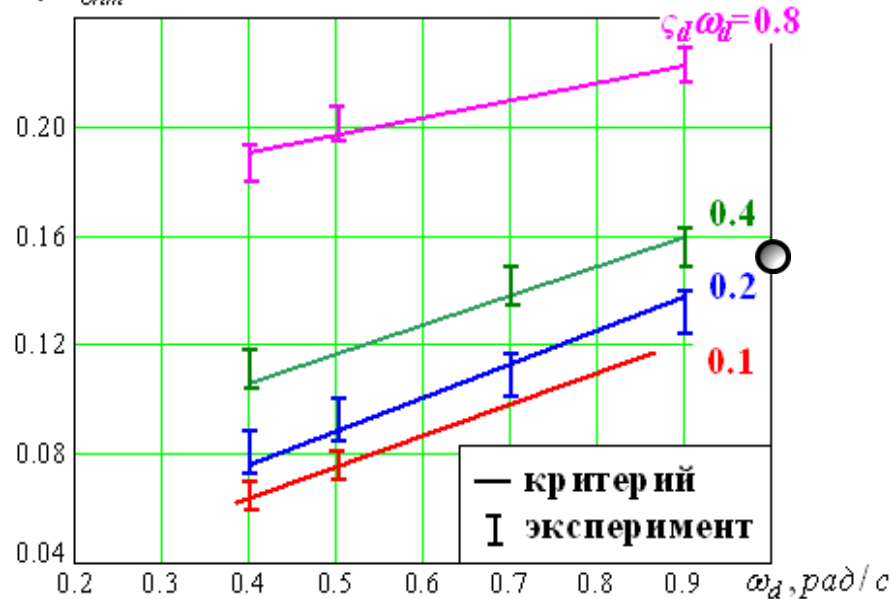


* Влияние характеристик чувствительности управления на оценку летчиком управляемости самолета.
Л.Е.Зайчик, В.В.Родченко, П.М.Чернявский – Ученые записки ЦАГИ, т.17, №5, 1986г.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных

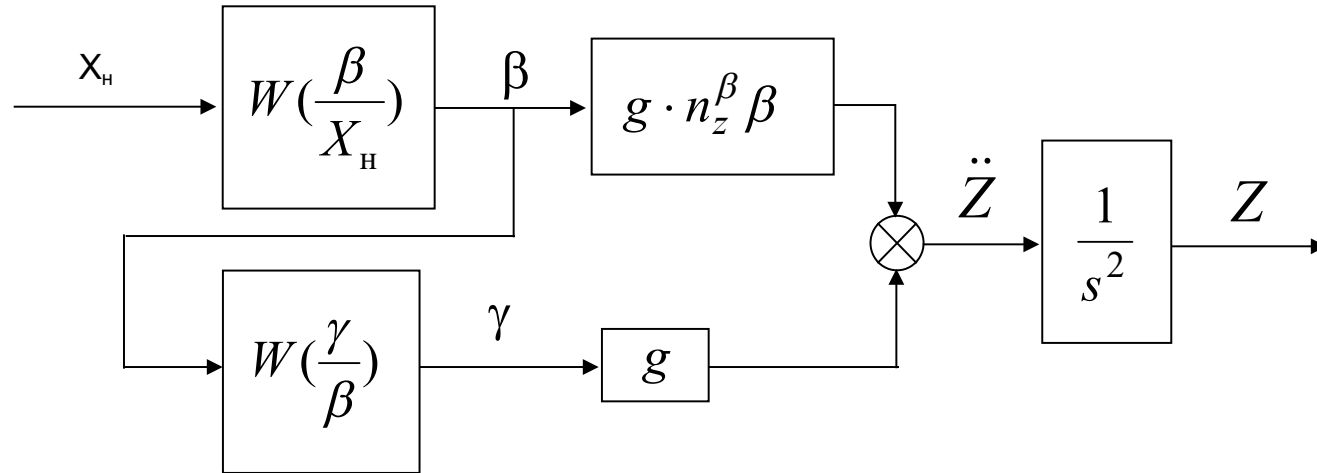
$$\overline{M}_y^{X_n}_{opt} = \omega_d^2 \sqrt{\frac{0.49 + 1.2\zeta_d^2}{0.3\omega_d^2 + \left(n_z^\beta \frac{g}{V}\right)^2}} \cdot A_*$$

$\overline{M}_y^{X_n}_{opt}, \text{ }^\circ/\text{с}^2/\text{мм}$



Критерий для выбора оптимальной взаимосвязи движений рыскания и крена

контур управления боковым перемещением самолета с помощью педалей



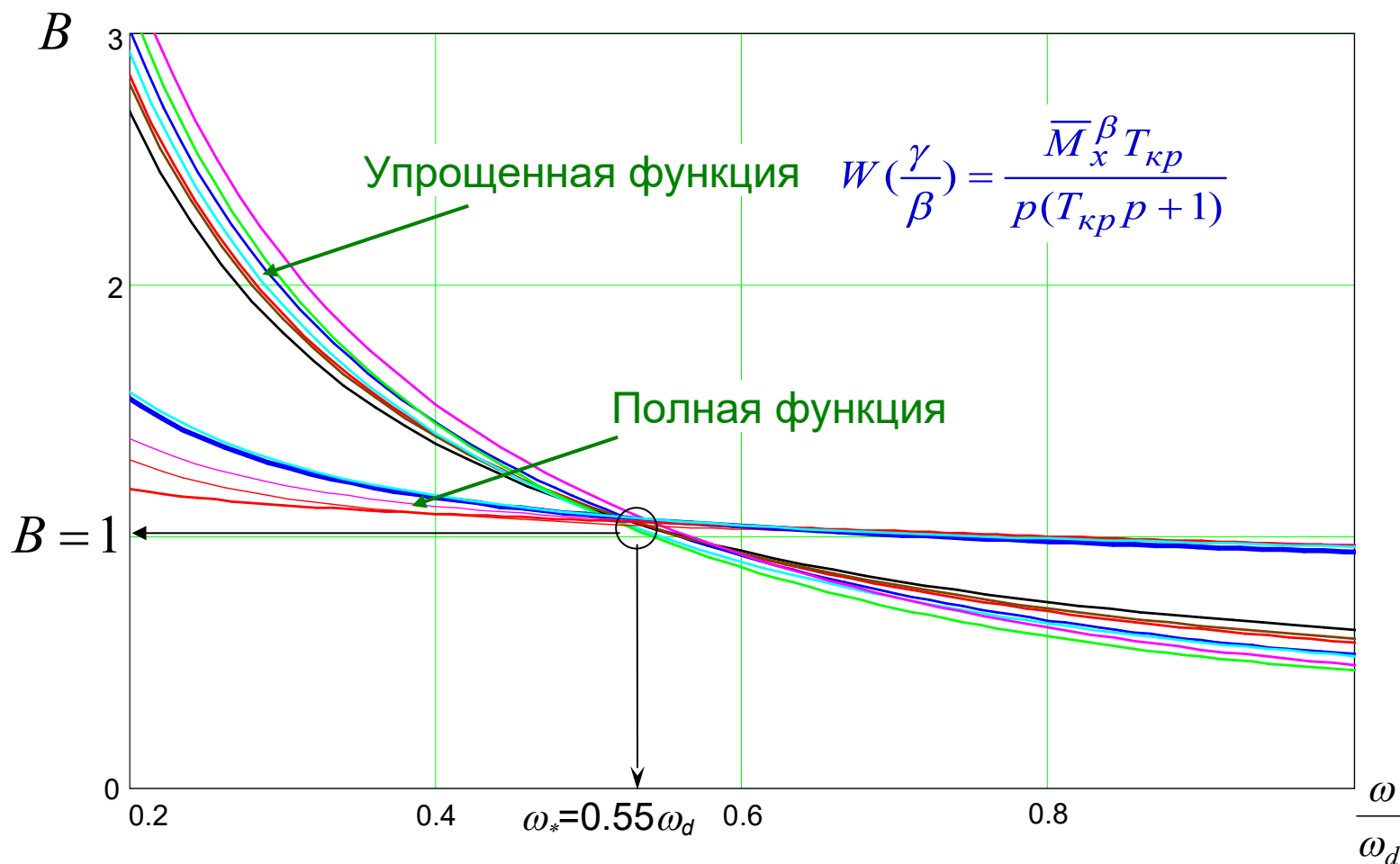
описывающая функция от угла скольжения к боковому ускорению:

$$W\left(\frac{\ddot{Z}}{\beta}\right) = g \left[n_z^\beta + W\left(\frac{\gamma}{\beta}\right) \right], \text{ где } W\left(\frac{\gamma}{\beta}\right) = f(\overline{M}_x^\beta)$$

$$\ddot{Z}^{X_H}_{opt} \longrightarrow \ddot{Z}^\beta_{opt} \longrightarrow \overline{M}_x^\beta_{opt}$$

Сущность критерия

$$\left| W \left(\frac{\ddot{Z}}{\beta} \right)_{\omega_*} \right| = \left| n_z^\beta + W_{\gamma/\beta} (j\omega_*, \bar{M}_x^\beta)_{opt} \right| = B = const$$

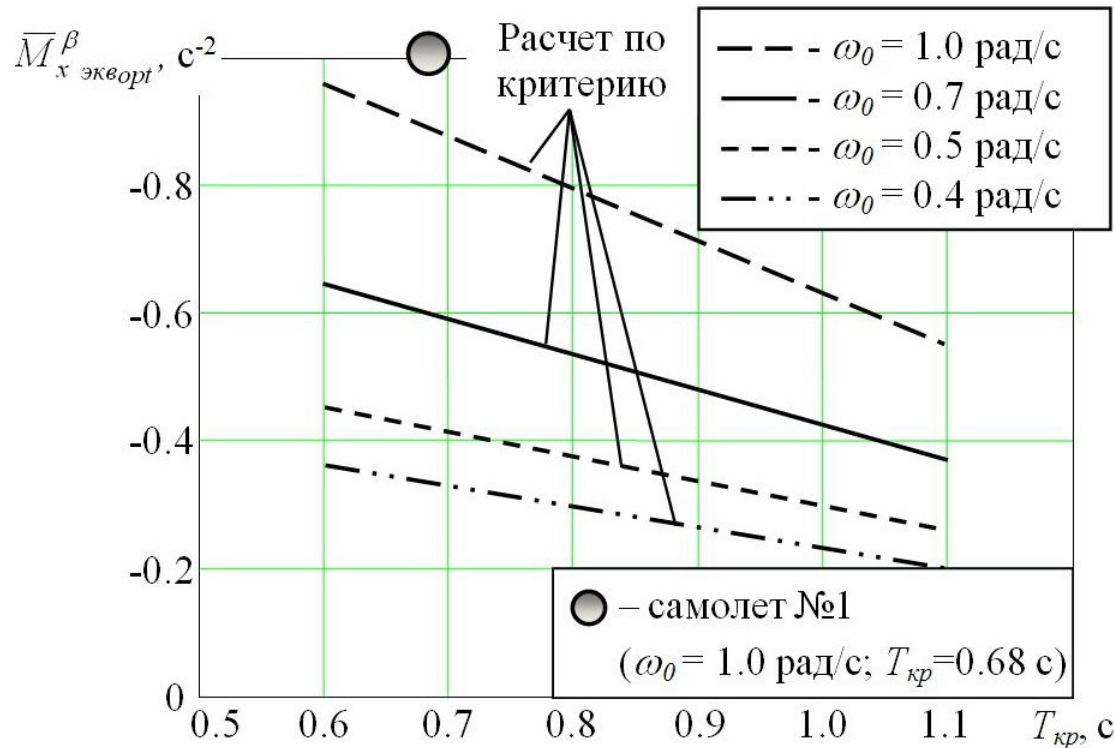


Сравнение расчетных и экспериментальных данных

Аналитическое выражение

$$\bar{M}_{x_{opt}}^{\beta} = 0.3n_z^{\beta}\omega_d^2 - \frac{1}{T_{кр}}\sqrt{0.3\omega_d^2(1 + 0.3T_{кр}^2\omega_d^2) - 0.3n_z^{\beta}\omega_d^2}$$

Экспериментальные данные



ВЫВОДЫ

- Разработаны критерии управляемости для выбора динамических характеристик и оптимальных характеристик чувствительности управления в путевом канале и взаимосвязи движения рыскания и крена.
- Путем сравнения экспериментальных и расчетных данных показана эффективность предложенных критериев применительно к современным высокоавтоматизированным самолетам.
- Разработанные критерии позволяют выбирать оптимальные характеристики управляемости в путевом канале уже на стадии проектирования самолета и существенным образом сократить время и затраты на проведение наземных и летных экспериментов.