

# Интеллектуальное управление и системы

УДК 629.735.017.1.083(045)

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАЕКТОРИЕЙ ДВИЖЕНИЯ САМОЛЕТА ПО КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ

Ю.В. Грищенко, А.В. Скрипец, В.Д. Тронько

*Национальный авиационный университета МОН Украины*

Рассматривается функция корреляции между заданным и несвоевременным вводом человеком-оператором воздушного судна в глиссаду посадки. В такой эргатической системе это связано с психофизиологическими особенностями пилота. Проведено описание корреляционных функций нескольких возможных вариантов входа в глиссаду. Теоретически показаны наиболее неблагоприятные последствия при ошибках в управлении самолетом.

**Ключевые слова:** функция корреляции, человеческий фактор, глиссада, полет.

Розглядається функція кореляції між заданим і несвоєчасним введенням людиною-оператором повітряного судна в глисаду посадки. У такій ергатичній системі це пов'язано з психофізіологічними особливостями пілота. Здійснено опис кореляційних функцій декількох можливих варіантів входу в глисаду. Теоретично показано найбільш несприятливі наслідки при помилках в керуванні літаком.

**Ключові слова:** функція кореляції, людський фактор, глисада, політ.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время доля авиационных происшествий, приходящихся на человеческий фактор (ЧФ), составляет 80–90 %. Несмотря на то, что такие события носят маловероятный характер, из-за них в один момент могут быть унесены сотни жизней. Ранее проведенные исследования по оценке изменения интегро-дифференцированного двигательного динамического стереотипа (ИДДС) пилота показали, что негативное воздействие на экипаж факторных накладок (ФН) — одновременно действующих факторов, часто имитируемых отказами на комплексном тренажере самолета, значительно влияет на качество техники пилотирования (КТП). Стресс, вызванный ФН, также приводит к возникновению ошибочных действий. Моделирование действия ФН путём введения комплексных отказов на тренажёре раскрывает огромные возможности для антистрессовой подготовки пилотов и остальных членов экипажа. Как показали исследования в учебных сертификационных центрах, примерно у 70 % пилотов отсутствует противодействие ФН и у этих же пилотов проявляется явление усиления ИДДС (ЯУИДДС), уже

отрицательное в том, что происходит увеличение амплитуды управляющих движений, которое оператор без специальной подготовки и оборудования не замечает. Следует отметить, что этап захода на посадку является наиболее аварийным [1–3].

Траектория движения воздушного судна (ВС) позволяет определить степень подготовки оператора, его психофизиологическое состояние, качество работы всех элементов воздушного судна. Более общая постановка задачи: каким образом при входе в глиссаду определить техническое и психологическое состояние системы оператор-машина-среда (СОМС).

**Целью** данной работы является определение возможности и формирование математических моделей управления воздушным судном по корреляционным функциям на участке входа в глиссаду для улучшения качества посадки.

### ФУНКЦИЯ КОРРЕЛЯЦИИ ТРАЕКТОРИИ ГЛИССАДЫ

В общем виде траектория полёта ВС

$$Z = f(x, y).$$

При посадке эта траектория определяется траекторией глиссады:

$$Z = f(x), y = \text{const}.$$

Траектория полёта определяется СОМС и связана с углами тангажа ( $\nu$ ), крена ( $\gamma$ ), наклона траектории ( $\theta$ ) и курса ( $\psi$ ), а также скоростью ( $v$ ) воздушного судна. Координаты траектории полёта являются зависимыми от всех перечисленных параметров и определяется выражениями

$$Z = F_1(\nu, \gamma, \theta, \psi, v), Y = F_2(\nu, \gamma, \theta, \psi, v), X = F_3(\nu, \gamma, \theta, \psi, v);$$

координаты глиссады ( $y = \text{const}$ ):

$$Z = F_4(\nu, \gamma, \theta, v) \quad \psi = \text{const}, \quad Z = F_5(\nu, \gamma, \theta, v) \quad y = \text{const}.$$

Для первых расчетов определим траекторию глиссады прямой линией, соединяющей точку положения радиомаяка ( $x = L, Z = 0$ ) и точку момента начала посадки ( $x = 0, Z_0 = h$ ) (Рис. 1). На этом рисунке в указанных точках траектория имеет резкий излом. Реально траектория полёта изменяется плавно, что в дальнейшем необходимо учесть.

Для этого случая координаты глиссады определяются зависимостью

$$Z = Z_0 + \text{tg}\alpha \cdot x,$$

где  $Z_0$  — начальная координата по высоте,  $\alpha$  — угол между линией траектории и направлением  $X$ ;  $Z_0 = h$ ,  $\text{tg}\alpha = -h/L$ ,  $L$  — длина глиссады. В этих обозначениях траектория глиссады будет иметь вид:

$$Z(x) = h - \frac{h}{L} \cdot x. \quad (1)$$

Отметим, что такая траектория посадки возможна при полном отсутствии внешних воздействий среды (точнее, внешние воздействия среды существуют, но они учитываются), нормальной работы всех механизмов воздушного судна, высокого профессионализма оператора без

психологических отклонений и при отсутствии других факторных накладок [4–6].

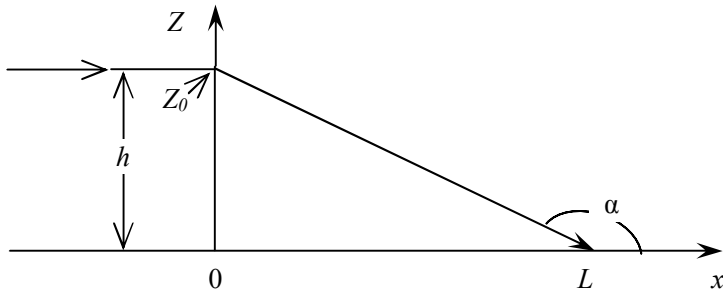


Рис. 1. Траектория глиссады ( $L$  — длина глиссады,  $h$  — начальная высота в момент посадки)

### ФУНКЦИЯ КОРРЕЛЯЦИИ ИДЕАЛЬНОЙ ГЛИССАДЫ

Траекторию посадки, описываемую формулой (1), обозначим как идеальную глиссаду.

Для дальнейшего анализа движения судна при посадке вычислим функцию корреляции траектории, описываемой уравнением (1):

$$\rho(\chi) = \frac{1}{L} \int_0^L Z(x) \cdot Z(x - \chi) dx, \quad (2)$$

где  $\chi$  — величина сдвига траектории по координате  $x$ : величина запаздывания при  $\chi > 0$  или величина опережения при  $\chi < 0$ .

Функции  $Z(x)$ ,  $Z(x - \chi)$ ,  $Z(x + \chi)$  на промежутке интегрирования от 0 до  $L$  имеют следующие значения:

$$Z(x) = \begin{cases} h - \frac{h}{L}x, & 0 \leq x \leq L \\ h \leq 0 & \\ 0 \geq L & \end{cases}, \quad (3a)$$

$$Z(x - \chi) = \begin{cases} h, & -\infty \leq x \leq \chi^* \\ h - \frac{h}{L}(x - \chi), & \chi \leq x \leq L + \chi \\ 0, & L + \chi \leq x \end{cases}, \quad (3б)$$

$$Z(x + \chi) = \begin{cases} h, & -\infty \leq x \leq \chi \\ h - \frac{h}{L}(x + \chi), & -\chi \leq x \leq L - \chi \\ 0, & L - \chi \leq L \end{cases}. \quad (3в)$$

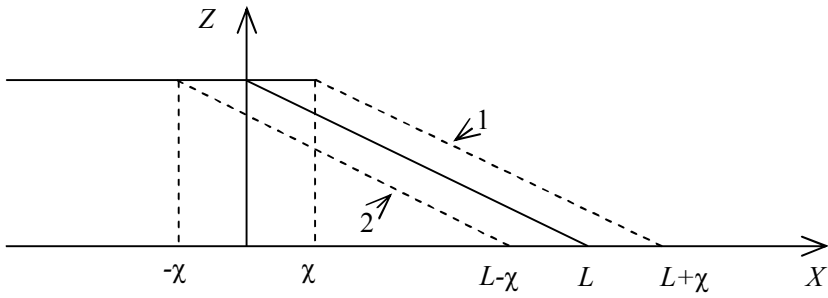


Рис. 2. Траектория глissады запаздывания — 1, и соответственно глissады опережения — 2.

Исходя из условий, определяемых выражениями (3а, б, в), функцию корреляции запаздывания и опережения распишем детально по областям интегрирования:

$$\begin{aligned}
 \rho(\chi) &= \frac{1}{L} \int_0^l Z(x)Z(x-\chi)dx = \frac{1}{L} \int_0^\chi \left(h - \frac{h}{L}x\right) \cdot 0 dx + \\
 &+ \frac{1}{L} \int_\chi^{L-\chi} \left(h - \frac{h}{L}x\right) \cdot \left[h - \frac{h}{L}(x-\chi)\right] dx + \frac{1}{L} \int_{L-\chi}^L \left(h - \frac{h}{L}x\right) \cdot 0 dx = \\
 &= \int_\chi^L \left(h - \frac{h}{L}x\right) \cdot \left[h - \frac{h}{L}(x-\chi)\right] dx = \\
 &= \frac{h^2}{L} \left(1 + \frac{\chi}{L}\right) (l-\chi) - \frac{h^2}{L} \frac{(2L+\chi)}{2} (L^2 - \chi^2) + \frac{h^2}{3L^3} (L^3 - \chi^3) = \\
 &= \frac{h^2}{3} - \frac{h^2 \chi}{2L} + \frac{h^2 \chi^3}{6L^3}, \chi \geq 0
 \end{aligned} \tag{4}$$

Функция корреляции опережения равна:

$$\begin{aligned}
 \rho(-\chi) &= \frac{1}{L} \int_0^l Z(x)Z(x+\chi)dx = \frac{1}{L} \int_0^{L-\chi} \left(h - \frac{h}{L}x\right) \left[h - \frac{h}{L}(x+\chi)\right] dx + \\
 &+ \frac{1}{L} \int_{L-\chi}^L \left(h - \frac{h}{L}x\right) \cdot 0 = \frac{1}{L} \int_0^{L-\chi} \left(h - \frac{h}{L}x\right) \left[h - \frac{h}{L}(x+\chi)\right] dx = \\
 &= \frac{h^2}{L^3} - \frac{h^2 \chi}{2L} + \frac{h^2 \chi^3}{6L^3} \quad \text{или} \quad \rho(\chi) = \frac{h^2}{3} + \frac{h^2 \chi}{2L} - \frac{h^2 \chi^3}{6L^3}, \chi \leq 0
 \end{aligned} \tag{5}$$

Функция автокорреляции:  $\rho(0) = \frac{h^2}{3}$  при  $\chi = L$

$$\rho(-L) = \rho(L) = 0.$$

Следует подчеркнуть, что при произвольном  $\chi$  в диапазоне  $-L$  до  $+L$

$$\rho(-\chi) = \rho(+\chi).$$

Факторная накладка приведет к изменению траектории глissады  $Z(x)$  на величину  $\Delta Z_{\text{ФН}} = Z_{\text{ФН}} - Z(x)$  или

$$Z_{\text{ФН}} = Z(x) + \Delta Z_{\text{ФН}}(x), \quad (6)$$

где  $Z(x)$  — траектория полета без факторных накладок,  $\Delta Z_{\text{ФН}}(x)$  — вклад в изменение траектории полета за счет факторных накладок. Этот вклад определяется не только техническими погрешностями и состоянием (влиянием) определяющей среды, а и уровнем профессиональной подготовки и психологическим состоянием оператора (пилота). Подчеркнем еще один важный момент. Уравнение (6) зависит (является функцией) не только от координат траектории полета, но и от времени, так как между координатой  $x$  и скоростью движения есть однозначная зависимость  $x = x(v, t)$ .

$$Z_{\text{ФН}}(t) = Z(t) + \Delta Z_{\text{ФН}}^{**}(t). \quad (7)$$

Вычислим функцию корреляции  $Z_{\text{ФН}}(x)$ , определяемую выражением (6):

$$\begin{aligned} \rho_{\text{ФН}}^{\text{Полная}}(\chi) &= \frac{1}{L} \int_0^L Z_{\text{ФН}}(x) \cdot Z_{\text{ФН}}(x - \chi) dx = \\ &= \rho(\chi) + \rho_{\text{ФН}}^{\text{Чистая}}(\chi) + \frac{1}{L} \int_0^L [Z(x) \cdot \Delta Z_{\text{ФН}}(x - \chi) + \Delta Z_{\text{ФН}}(x) \cdot Z(x - \chi)] dx, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\rho(\chi)$  — функция корреляции «чистого» полета (без ФН),  $\rho_{\text{ФН}}(\chi)$  — функция корреляции факторной накладки.

$$\rho(\chi) = \frac{1}{L} \int_0^L Z(x) \cdot Z(x - \chi) dx \quad (9)$$

$$\rho_{\text{ФН}}(\chi) = \frac{1}{L} \int_0^L \Delta Z_{\text{ФН}}(x - \chi) dx$$

Третий член правой части уравнения (8) является функцией корреляций двух независимых функций  $Z(x)$  и  $\Delta Z_{\text{ФН}}(x)$ .

Обозначим эту смешанную функцию  $\rho_{\text{СМ}}$ .

$$\rho_{\text{СМ}} = \frac{1}{L} \int_0^L [Z(x) \cdot \Delta Z_{\text{ФН}}(x - \chi) + \Delta Z_{\text{ФН}}(x) \cdot Z(x - \chi)] dx \quad (11)$$

Чаще всего корреляции между траекторией полета (в том числе глissады)  $Z$  и ФН  $\Delta Z_{\text{ФН}}$  нет и  $\rho_{\text{СМ}}$  равна или близка к нулю. Для примера возьмем такую ФН, которая влияет на координату  $Z$  как гармонические колебания во времени:

$$\Delta Z_{\text{ФН}}(t) = a_0 \cos(\Omega t) \quad (12a)$$

или

$$\Delta Z_{\Phi H}(x) = a_0 \cos \Omega \frac{x}{v}, h \gg a_0 \quad (126)$$

$$Z_{\Phi H}(x) = h.$$

где  $a_0$  — амплитуда факторной накладки.

Воздушное судно летит на постоянной высоте  $h$  с гармоническим изменением высоты по закону определяемой формулой (126).

Тогда смешанная функции корреляции  $\rho_{CM}$  вычисляется по формуле (11) и равна:

$$\begin{aligned} \rho_{CM} &= \frac{h \cdot a_0}{L} \int_0^L \left( \cos \frac{\Omega}{v} x \right) dx = \\ &= \frac{4h \cdot a}{L} \cdot \frac{\Omega^2}{v^2} \sin \frac{\Omega}{2v} L \cdot \cos \frac{\Omega}{2v} \left( L - \frac{\chi}{2} \right), \end{aligned} \quad (13)$$

так как  $h \ll L$ , то  $\rho_{CM} \approx 0$ .

Отметим, что при  $\frac{\Omega}{v} \cdot \chi = 180^\circ$ ,  $\rho_{CM} = 0$ , при  $\frac{\Omega}{v} \cdot \chi = 0$ ,  $\rho_{CM}$  амплитуда  $\rho_{CM}$  максимальная. Смешанная функция корреляции зависит от  $L$  и  $\chi$  периодически.

$$\begin{aligned} \rho(L) = h^2, \rho_{\Phi H}(\chi) &= \frac{a_0^2}{L} \int_0^L \cos \frac{\Omega}{v} x \cdot \cos \frac{\Omega}{v} (x - \chi) dx = \\ &= \frac{2a_0^2}{2L} \int_0^L \left[ \cos \frac{2\Omega}{v} \left( x - \frac{\chi}{2} \right) + \cos \chi \right] dx = \frac{a_0^2}{2L} \int_0^L \left[ \cos \frac{2\Omega}{v} \left( x - \frac{\chi}{2} \right) + \cos \frac{\Omega}{v} \chi \right] dx = \\ &= \frac{a_0^2}{2L} \cdot \frac{v}{2\Omega} \cdot \sin \frac{2\Omega}{v} \left( x - \frac{\chi}{2} \right) \Big|_0^L + \frac{a_0^2}{2L} \cos \frac{\Omega}{v} \chi \cdot L = \\ &= \frac{a_0^2}{2L} \cdot \cos \left( \frac{\Omega}{v} \cdot \chi \right) + \frac{a_0^2}{2L} \cdot \frac{v}{2\Omega} \left[ \sin \frac{2\Omega}{v} \left( L - \frac{\chi}{2} \right) + \left( \frac{2\Omega}{v} \cdot \frac{\chi}{2} \right) \right] \approx \\ &\approx \frac{a_0^2}{2L} \cdot \cos \left( \frac{\Omega}{v} \cdot \chi \right). \end{aligned}$$

Таким образом, полная функция корреляции равна:

$$\rho_{\Phi H}(\chi) = h^2 + \frac{a_0^2}{2} \cos \left( \frac{\Omega}{v} \cdot \chi \right). \quad (14)$$

Видно, что  $\rho_{\Phi H}$  при горизонтальном полете с периодически факторной накладкой имеет периодическую зависимость от  $\chi$ . График этой зависимости представлен на рис. 4.

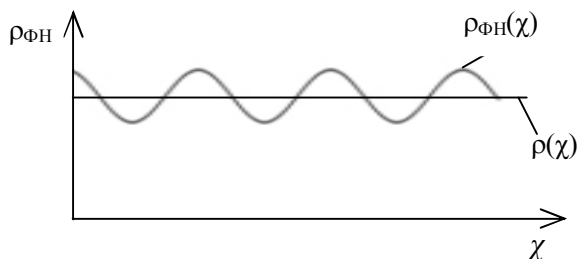


Рис. 4. Зависимость функции корреляции от величины задержки  $\chi$  для случая «чистого» полета  $\rho(\chi)$  и с факторной периодической накладкой  $\rho_{\text{ФН}}(\chi)$ .

Из (13) видно, что ФН на определенных этапах полета можно пренебречь в связи с тем, что  $h \gg a_0$ .

Из рассмотренного примера можно сделать следующий вывод.

При полете с ФН и возникновении малой периодической амплитуды колебаний траектории полета функция полной корреляции будет суммой функций корреляций полета без ФН и функции корреляции траектории только с ФН.

$$\rho_{\text{ФН}}^{\text{Полная}}(\chi) = \rho(\chi) + \rho_{\text{ФН}}^{\text{Чистая}}(\chi)$$

при условии большой длины траектории полета на глиссаде  $L > h$ ,  $L \gg a_0$ ,  $h > a_0$ .

На малых высотах, когда не выполняется условие  $h > a_0$ , высота траектории полета соизмерима с амплитудой колебаний ФН. Необходимо учитывать функцию корреляции смещенного процесса, траекторию движения идеального полета и появление ФН.

### ФУНКЦИЯ КОРРЕЛЯЦИИ ГЛИССАДЫ С ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ФАКТОРНОЙ НАКЛАДКОЙ

Из уравнений (13) следует, что функция корреляции глиссады с периодической факторной накладкой имеет вид:

$$\rho_{\text{ФН}}^{\text{Полная}}(\chi) = \rho(\chi) + \rho_{\text{ФН}}^{\text{Чистая}}(\chi) = \frac{h^2}{L^3} - \frac{h^2 \chi}{2L} + \frac{h^2 \chi^3}{6L^3} + \frac{a_0^2}{2} \cos\left(\frac{\Omega}{v} \cdot \chi\right). \quad (15)$$

$$L > h > a_0.$$

При снижении (на низких высотах), когда  $h$  соизмерима с амплитудой факторной накладки, полную функцию корреляции определяют с учетом  $\rho_{\text{СМ}}(\chi)$ .

График  $\rho_{\text{ФН}}^{\text{Полная}}(\chi)$  представлен на рис. 5.

Зависимость крена  $\gamma(\chi)$  от ФН будет аналогичной при полете на постоянной высоте. Однако при снижении из-за ФН амплитуда колебаний траектории полета может возрастать. Следует отметить, что траектория полета зависит от углов крена ( $\gamma$ ), тангажа ( $\Theta$ ) и т.д. Поэтому часто определяют эти **точки**, которые измерять экспериментально намного проще.

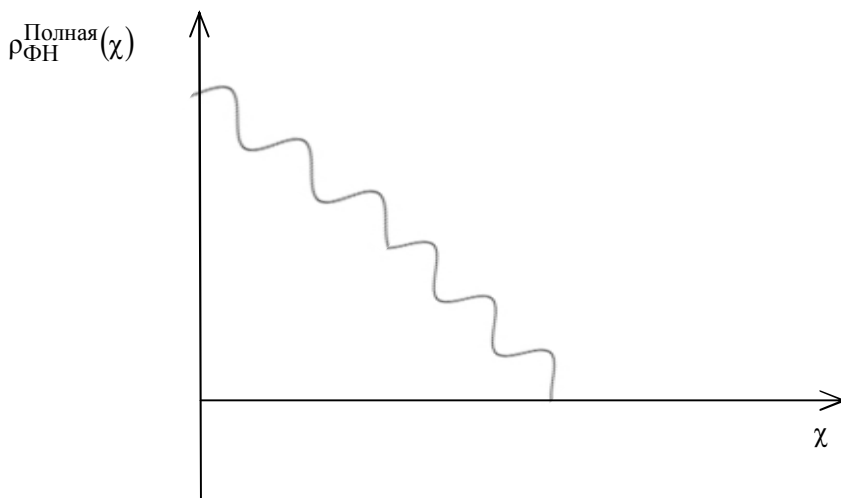


Рис. 5. Зависимость функции корреляции от величины  $\chi$  для случая полной корреляции  $\rho_{\text{ФН}}^{\text{Полная}}(\chi)$

#### АНАЛИЗ ТИПИЧНЫХ ДЛЯ СОВРЕМЕННОЙ АВИАЦИИ ГЛИССАД ПОСАДКИ

В наиболее реальной ситуации ВС, отойдя от глиссады посадки, пытается к ней вернуться (рис. 6). В отличие от глиссид на рис. 2 в данном случае все траектории сходятся в торце взлетно-посадочной полосы. В большинстве случаев направление правильной глиссады задают радиотехнические системы ближней навигации. В случае несвоевременного входа пилоты пытаются вернуться на правильную глиссаду. Мы рассматриваем один из возможных вариантов.

|                    |  |
|--------------------|--|
| Нормальная посадка | $Z = h - \frac{h}{L} \cdot x = h \frac{L-x}{L} \quad 0 < x \ll L.$ |
| Опережение         | $Z = h \frac{L-x}{L+x} - \chi \quad -\chi \ll x \ll L.$            |
| Задержка           | $Z = h \frac{L-x}{L-x} \quad \chi \ll x \ll L.$                    |

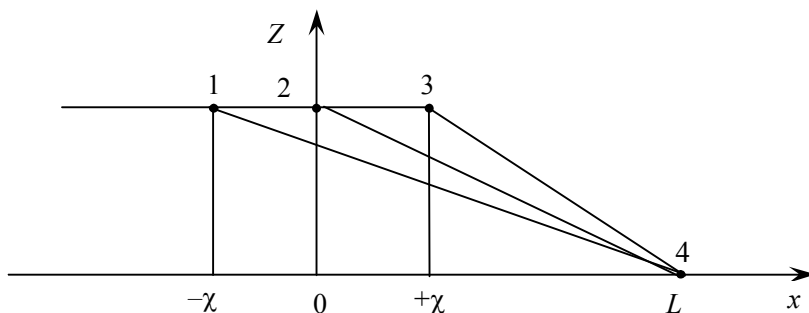


Рис. 6. Траектория нормальной глиссады — 2, запаздывания — 3 и, соответственно, глиссады опережения — 1.



$$\begin{aligned}
\rho(\chi) &= \frac{1}{L} \int_0^L h \frac{L-x}{L} \cdot h \frac{L-x}{L+x} dx = \\
&= \frac{h^2}{L^2(L+\chi)} \int_0^L (L-x)^2 dx = \frac{h^2}{L^2(L+\chi)} \int_0^L (L^2 - 2Lx + x^2) dx = \\
&= \frac{h^2}{L^2(L+\chi)} \left[ L^3 - L^2x + \frac{1}{3}L^3 \right] = \frac{h^2 \cdot L}{3(L+\chi)} \\
&0 < x \ll L .
\end{aligned}$$

Получив формулу нормальной посадки:

$$\rho(\chi) = \frac{h^2 \cdot L}{3(L+\chi)},$$

перейдем к рассмотрению формулы на задержку входа в глассаду.

$$\begin{aligned}
\rho(+\chi) &= \frac{1}{L} \int_0^L h \frac{L-x}{L} \cdot Z_{\text{задержка}}(x) dx = \\
&= \frac{1}{L} \int_0^{\chi} h \frac{L-x}{L} \cdot 0 dx + \frac{1}{L} \int_{\chi}^L h \frac{L-x}{L} \cdot h \frac{L-x}{L-\chi} \int_{\chi}^L (L-x)^2 dx = \\
&= \frac{h^2}{L^2(L-\chi)} \int_{\chi}^L (L^2 - 2Lx + x^2) dx = \\
&= \frac{h^2}{L^2(L-\chi)} \left[ L^2(L-\chi) - L(L^2 - \chi^2) + \frac{1}{3}(L^3 - \chi^3) \right] = \\
&= \frac{h^2}{L^2} \left[ L^2 - L(L+\chi) + \frac{1}{3}(L^2 + L\chi + \chi^2) \right] = \\
&= \frac{h^2}{L^2} \left[ -L\chi + \frac{1}{3}L^2 + \frac{1}{3}L\chi + \frac{1}{3}\chi^2 \right] = \\
&= \frac{h^2}{L^2} \left[ \frac{1}{3}L^2 + \frac{2}{3}L\chi + \frac{1}{3}\chi^2 \right] = \\
&= h^2 \left[ \frac{1}{3} - \frac{2}{3} \frac{\chi}{L} + \frac{1}{3} \left( \frac{\chi}{L} \right)^2 \right] \\
&L^3 - \chi^3 = (L^2 + L\chi + \chi^2)(L - \chi) .
\end{aligned}$$

Из формулы видно, что когда задержка  $\chi$  начала посадки увеличивается, функция корреляции падает.

Например, если задержка  $\chi$  равняется 0.1 L, то вероятность аварии так же примерно падает на 10%, что нежелательно.

Теперь сравним формулы входа в глассаду с задержкой и опережением.

Задержка 
$$\rho(+\chi) = h^2 \left[ \frac{1}{3} - \frac{2}{3} \frac{\chi}{L} + \frac{1}{3} \left( \frac{\chi}{L} \right)^2 \right] = \frac{h^2}{3} \left( 1 - \frac{\chi}{L} \right)^2 .$$

Опережения 
$$\rho(-\chi) = \frac{h^2}{3} \frac{1}{1 + \frac{\chi}{L}} .$$

Определим отношение 
$$\frac{\rho(+\chi)}{\rho(-\chi)} .$$

$$\frac{\rho(+\chi)}{\rho(-\chi)} = \frac{\left( 1 - \frac{\chi}{L} \right)^2}{\frac{1}{1 + \frac{\chi}{L}}} = \left( 1 - \frac{\chi}{L} \right)^2 \left( 1 + \frac{\chi}{L} \right) = \left[ 1 - \left( \frac{\chi}{L} \right)^2 \right] \left( 1 - \frac{\chi}{L} \right) .$$

Из этой формулы следует

$$\rho(-\chi) > \rho(+\chi) .$$

Таким образом, в результате проведенного анализа показано, что задержка входа в глиссаду более опасна для качества выполнения захода самолета на посадку, чем опережение.

## Выводы

В данной работе установлено, что возможно управление траекторией движения самолета по корреляционной функции на глиссаде по предложенным нами формулам, а именно по функции корреляции без действия факторных накладок и на глиссаде с периодической факторной накладкой.

Рассмотрены различные варианты входа в глиссаду воздушного судна. Выведены численные значения степени влияния своевременности входа в глиссаду на качество посадки при опережении и запаздывании и показано, что функция корреляции запаздывания на опережение падает быстрее. Сделан вывод, что задержка пилотом ввода в глиссаду более опасна, чем опережение.

Полученные результаты требуют внедрения в технологию производства полетов для повышения качества управления траекторией движения самолета.

1. Грищенко Ю.В. Явление усиления динамического стереотипа пилота при действии комплексных отказов / Ю.В. Грищенко. — Эргономические вопросы безопасности полетов: Сб. науч. тр. — К.: КИИГА. 1987. — С. 87–91.
2. Грищенко Ю.В. Analysis of changes in the dynamic stereotype of pilots in flight training on an integrated simulator aircraft. Анализ изменения динамического стереотипа пилотов в процессе лётной подготовки на комплексном тренажёре самолёта. // Кибернетика и вычислительная техника: Межведомственный сборник научных трудов. — К.: Вид. дім «Академперіодика» НАН України, 2004. — Вып.142. С. 35–40.
3. Hryshchenko Y.V. Mathematical Description Amplification Phenomenon of Integral-Differential Motive Dynamic Stereotype // Methods and Systems of Navigation and Motion Control // Y.V. Hryshchenko, A. V. Skripets, V. D. Tronko / IEEE 3rd International

Conference (October 14–17, 2014) — Kyiv, Ukraine, pp. 71–74.

4. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. — М.: «Советское радио», 1958. — 327 с.
5. Вентцель А.Д. Курс теории случайных процессов. — М.: «Наука», 1975. — 320 с.
6. Левин Б.Р. Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике. — М.: «Советское радио», 1957. — 496 с.

UDC 629.735.017.1.083(045)

## ANALYSIS OF THE CORRELATION FUNCTION OF THE GLIDESLOPE LANDING PATHS TAKING INTO ACCOUNT HUMAN FACTOR

Y.V. Hryshchenko, A. V. Skrypets, V.D. Tronko

National Aviation University of Ministry of Education and Science of Ukraine (*Kiev*)

**Introduction.** Nowadays, proportion of accidents caused by the human factor (HF) is 80-90%. Despite the fact that these events are unlikely to happen, due to them at one time hundreds of lives may be taken away. Previous research works at assessment of change of integral-differential motor dynamic stereotype (IDDS) of pilot showed that the negative impact on the crew of factor overlays (FO) is simultaneously operating factors that often are imitated by failures in complex aircraft simulator significantly affect the quality of piloting technique (QPT). Stress caused by FO also leads to faulty actions. Simulation of FO action by implementation of complex failures on the simulator opens great opportunities for antistress training of pilots and the rest of the crew. Research has shown that in training certification centers approximately 70% of the pilots have no resistance to FO and the same pilots show the phenomenon of amplification of IDDS (PAIDDS), which is negative that there is an increase in the amplitude of the control motions that the operator does not notice without special training and equipment. It should be noted that the approach phase is the most accidental [1-3].

Motion Path of aircraft allows to determine the level of operator's training, its psycho-physiological condition and quality of all elements of the aircraft. More common problem statement is how to define the technical and psychological state of the operator-machine-environment (SOME) at approaching the landing.

**The purpose** of this work is to determine opportunities and formation of mathematical models of the aircraft control by correlation functions while entering the glide path to improve the quality of landing.

**Conclusions.** In this study there is established that is possible to control the trajectory of the aircraft on glide path by the correlation function by our proposed formulas, especially: description of the correlation function without influence of factor overlaps and on the glide path with periodic factor overlap.

There are considered various options entering the glide path of an aircraft. We derive the numerical values of influence of timeliness of entrance to the glidepath on the quality of the landing at the outstrip and delay and it is shown that the correlation function of delay on outstrip is decreasing faster. It is concluded that the delay in entering the glide path by the pilot is more dangerous than outstrip.

The obtained results require the implementation in production technology of flight to improve the quality of trajectory control of the aircraft movement.

**Keywords:** *correlation function, the human factor, glissade, flying.*

1. Hryshchenko Yu.V. Amplification phenomenon of the dynamic stereotype of pilot under the influence of complex failures // Ergonomic flight safety issues: Collection of scientific tracts. — K.: KCAEI,K. 1987. — P. 87–91 (in Russian).
2. Hryshchenko Yu.V. Analysis of changes in the dynamic stereotype of pilots in flight training on an integrated simulator of aircraft — Cybernetics and computer engineering: Interdepartmental collection of scientific papers. — K.: Publishing house "Academperiodics" NAS of Ukraine, 2004. — Edition. 142. — P. 35–40 (in Russian).
3. Hryshchenko Y.V. Mathematical Description Amplification Phenomenon of Integral-Differential Motive Dynamic Stereotype // Methods and Systems of Navigation and Motion Control // Y.V. Hryshchenko, A. V. Skripets, V. D. Tronko / IEEE 3rd International Conference (October 14–17, 2014) — Kyiv, Ukraine, pp. 71–74.
4. Norbert Wiener. Cybernetics or control and communication in the animal and the machine. — M.: "Soviet Radio", 1958. — 327 p. (in Russian).
5. Aleksandr Venttsel. The course of the theory of random processes. — M.: "Science", 1975. — 320 p. (in Russian).
6. Boris Levin. The theory of stochastic processes and its application in electronics. — M.: "Soviet Radio", 1957. — 496 p. (in Russian).

Получено 06.07.2015