

ОЦІНКА ЯКОСТІ ТЕХНІКИ ПІЛОТУВАННЯ ЕКІПАЖУ В АВІАКОМПАНІЇ

Вступ

Безпека польотів займає важливе місце в системі авіаційних перевезень. На теперішній час події, які пов'язані з авіаподіями, носять малоймовірний характер. На сучасних літаках більшість польотів відбувається в автоматичному режимі. Водночас, екіпажам все складніше виконувати захід на посадку в директорному, не кажучи про штурвальний режим. Це підтверджує кількість авіаційних подій, які приходяться на людський фактор. Вона становить близько 80 %. Етап заходу на посадку самий аварійний.

Раніше колишній командир льотного загону М. О. Буригін подав діаграму, де вказано, що тільки у 2 % польотів є зауваження, відхилення, порушення, серйозні інциденти, авіаційні події без людських жертв, катастрофи. Звідси випливає, що доцільно зосередитись на польотах без зауважень.

Аналіз 48 осцилограм літака Боїнг-737-500 від другого розвороту до посадки показав, що випадкова функція кута крену носить ергодичний і стаціонарний характер. Кореляційна функція дає найповнішу характеристику випадкового процесу. В даному випадку для аналізу якості техніки пілотування в одному польоті досить автокореляційної функції.

Якість техніки пілотування визначається точністю витримування параметрів польоту і своєчасними і правильними діями екіпажу згідно керівництва льотної експлуатації.

Кінцевий етап посадки (приземлення) залежить від якості входу в глісаду. Тому досліджується ергатична система управління на етапі заходу на посадку від третього розвороту. Більшість дослідників зосередилися на аналізі тільки польоту на глісаді. У цій статті розглядається взаємозв'язок вище вказаних ділянок польоту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Останнім часом проводиться багато досліджень ергатичної системи управління на глісаді

посадки [1–3]. Автор цієї статті теж працював у цьому напрямі [4–5].

Проте якість посадки залежить від точності входу в глісаду. Цьому присвячений розділ у колективній міжнародній монографії [6]. У цій публікації проведені дослідження траєкторій польоту в складних і нескладних умовах. Результати отримані на основі аналізу кореляційних функцій. Подібні методи використовуються багатьма дослідниками [6–8]. Визначені межі у вигляді еліпсоїда [9]. Потрібно відмітити, що результати наших досліджень по межах входу в глісаду співпадають з межами відхилень на глісаді, які опубліковані в статті [1].

Межі по відповідності траєкторії на різних етапах польоту можна прогнозувати по автокореляційних функціях при підходах до них. Виходячи з отриманих раніше теоретичних досліджень у цій статті проводиться аналіз якості техніки пілотування льотної складу авіакомпанії.

Завдання дослідження

Метою цієї роботи є оцінка якості техніки пілотування екіпажу в ергатичній системі при директорному режимі управління після третього розвороту до посадки.

Для досягнення мети дослідження вирішуються такі завдання:

– по нормованим автокореляційним функціям кута крену порівнюються значення її перших негативних значень по модулю,

– після попереднього оцінювання якості техніки пілотування екіпажу авіакомпанії вибираються найбільш показові польоти,

– проводиться спектральний аналіз автокореляційних функцій кута крену.

Аналіз автокореляційних функцій кута крену

Для оцінки якості польоту від кінця третього розвороту до четвертого і після нього до посадки використовуємо аналіз автокореляційних функцій. По нормованих автокореляційним функціям порахуємо коефіцієнти для порівняння по модулю

її перших негативних значень y_1 . На рис. 1–15 представлені графіки, які отримані в комп'ютерній системі Mathcad по формулі для обчислення нормованої автокореляційної функції:

$$K(t) = \frac{1}{\sigma N} \sum_{i=0}^{N-t-1} [(\gamma_i - m)(\gamma_{t+i} - m)],$$

де N — число спостережень по тимчасовому ряду t ; γ_i — амплітуда кута крену, $i = 1, 2, 3; N$,

m — математичне очікування; σ — середнє квадратичне відхилення.

Формула для обчислення ненормованої автокореляційної функції:

$$\Psi(t) = \frac{1}{N-t+1} \sum_{i=0}^{N-t-1} [(\gamma_i - m)(\gamma_{t+i} - m)].$$

Пилот 1. Полет 1. Анталія. Куос 2 град. (после 4 разворота до посадки, 120 с)

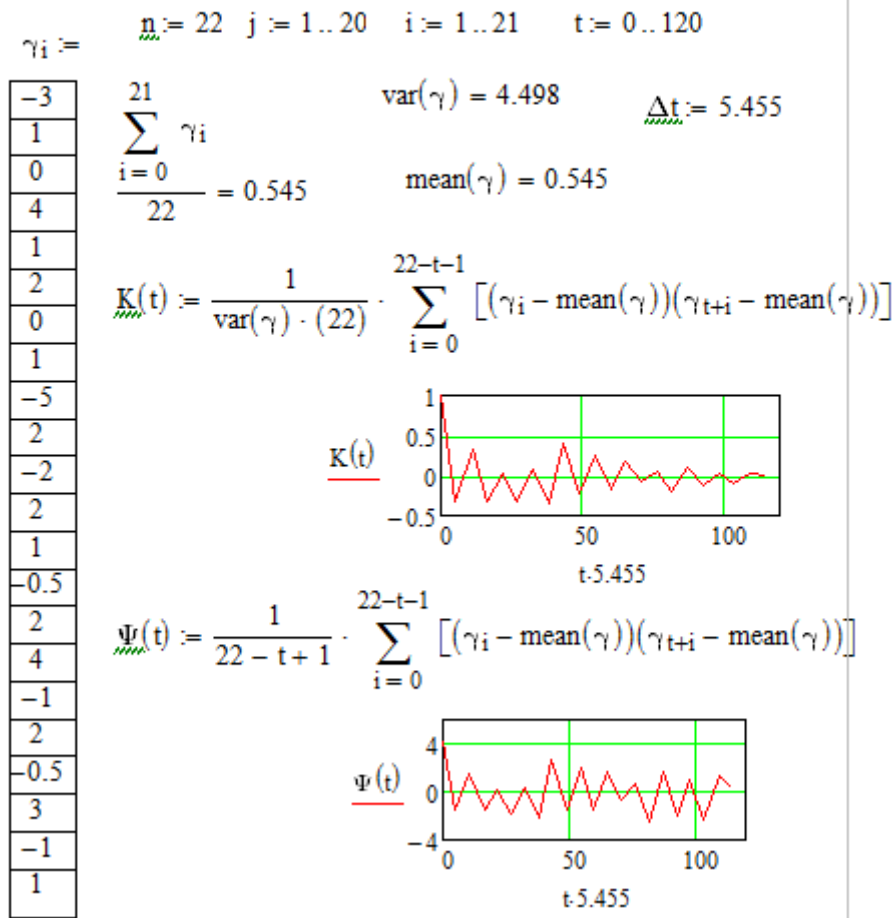


Рис. 1. Лістинг розрахунку нормованої і ненормованої автокореляційних функцій

Проведемо аналіз автокореляційних функцій чотирьох пілотів авіакомпанії при посадці на аеродроми різної складності заходу на посадку.

Проаналізуємо автокореляційні функції кута крену польотів пілота №1. На рис. 2 представлені розрахунки при посадці в аеропорту Анталія. Вказаний той курс, який зафіксований на покажчику у момент торкання злітно-посадкової смуги (ЗПС).

Коефіцієнт посилення K_n по модулю перших негативних амплітуд при польоті після 3-го до 4-го розвороту (y_1 рівні: 0.40327 і 0.31251):

$$K_n = \frac{0.40327 - 0.31251}{0.40327 + 0.31251} = 0.127.$$

Коефіцієнт посилення по модулю перших негативних амплітуд при польоті після 4-го розвороту до посадки (y_1 дорівнюють: 0.30708 і 0.66751):

$$K_n = \frac{0.66751 - 0.30708}{0.66751 + 0.30708} = 0.37.$$

Таким чином, можемо спостерігати більше посилення при польоті від четвертого розвороту до посадки.

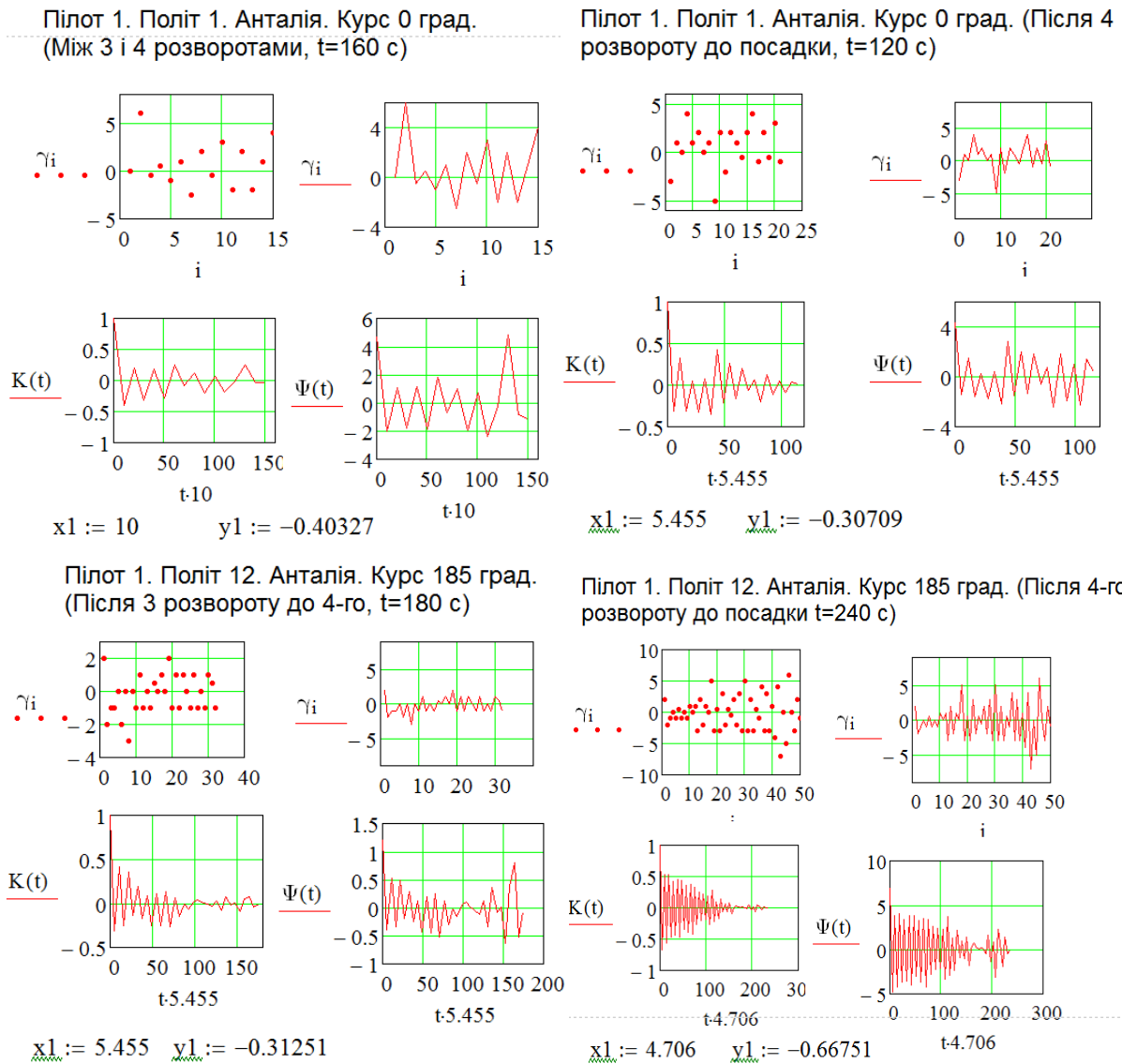


Рис. 2. Лістинг розрахунку автокореляційних функцій кута крену при посадці пілота №1 в аеропорту Анталія

На рис. 3 представлені розрахунки при посадці в аеропорт Шарм Эль Шейх.

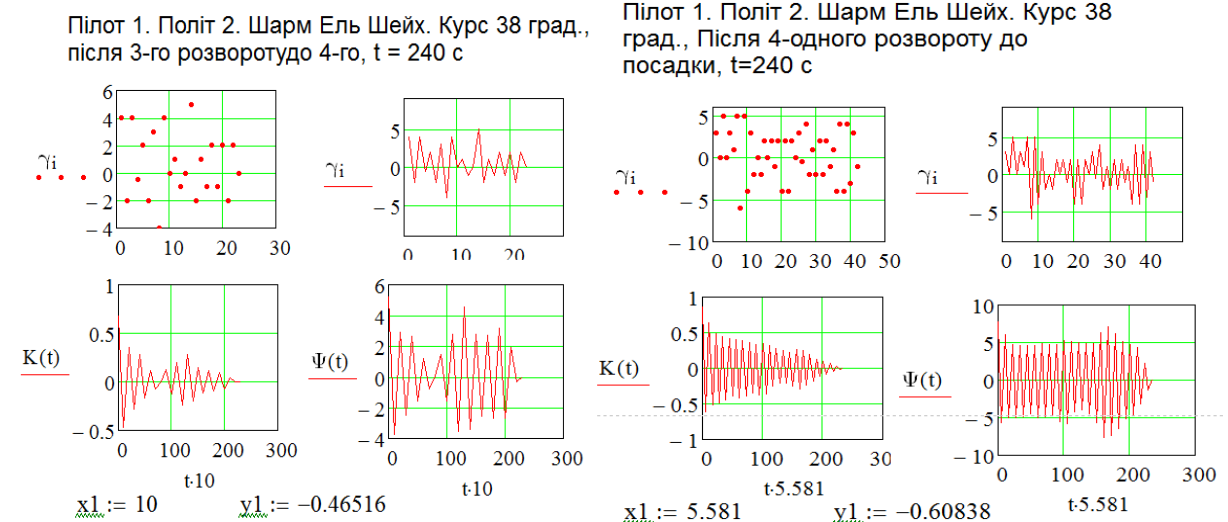


Рис. 3. Лістинг розрахунку автокореляційних функцій кута крену при посадці першого пілота в аеропорту Шарм Эль Шейх

Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 3-го до 4-го розвороту $y_1 = 0.46516$.

Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 4-го розвороту до посадки $y_1 = 0.60838$. На рис. 4 представлені розрахунки при посадці в аеропорту Бориспіль.

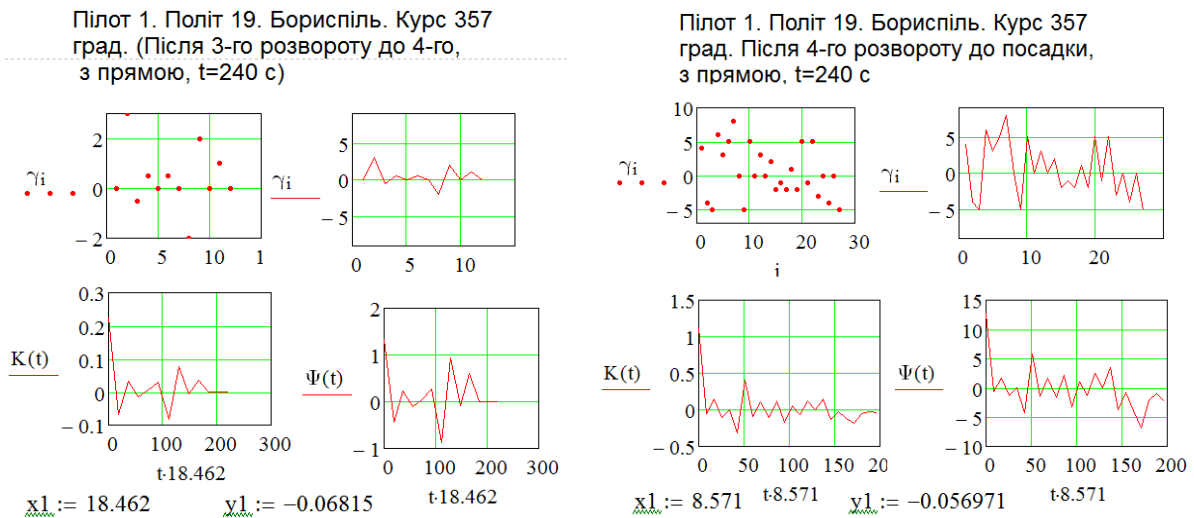


Рис. 4. Лістинг розрахунку автокореляційних функцій кута крену при посадці першого пілота в аеропорту Бориспіль

Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 3-го до 4-го розвороту $y_1 = 0.06815$. Значення по модулю першої нега-

тивної амплітуди при польоті після 4-го розвороту до посадки $y_1 = 0.056971$.

На рис. 5 представлені розрахунки при посадці в аеропорту Кривий Ріг пілотом №1.

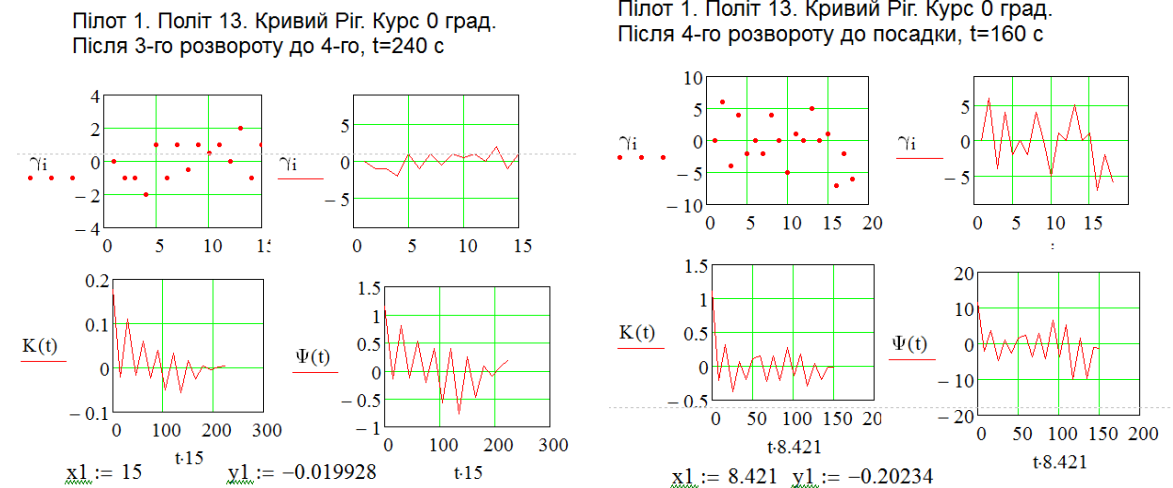


Рис. 5. Лістинг розрахунку автокореляційних функцій кута крену при посадці пілота №1 в аеропорту Кривий Ріг

Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 3-го до 4-го розвороту $y_1 = 0.019928$. Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 4-го розвороту до посадки $y_1 = 0.20234$. Проаналізуємо автокореляційні функції кута крену польотів пілота №2.

На рис. 6 представлені розрахунки при посадці в аеропорту Анталія пілота №2. Значення по модулю перших негативних амплітуд при польо-

ті після 3-го до 4-го розвороту рівні 0.76226, 0.46975, 0.41642.

Коефіцієнт посилення дорівнює:

$$K_{II} = \frac{0.76226 - 0.41642}{0.76226 + 0.41642} = 0.293.$$

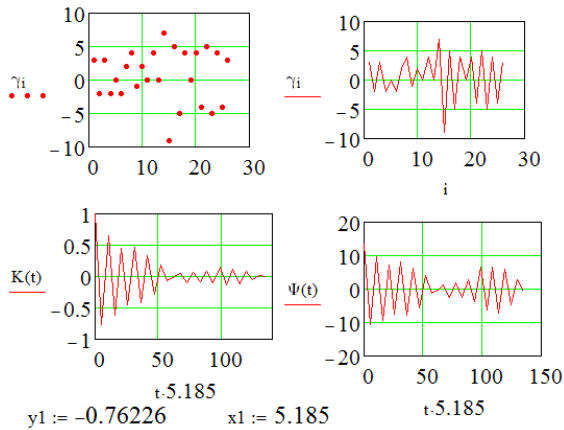
Значення по модулю перших негативних амплітуд при польоті після 4-го розвороту до посадки рівні 0.091785, 0.24683, 0.46557.

Коефіцієнт посилення дорівнює:

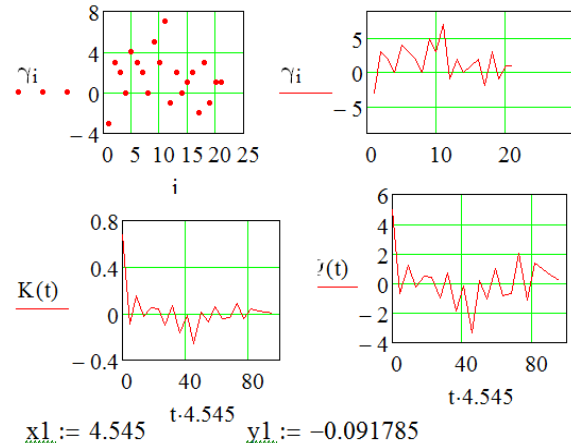
$$K_{II} = \frac{0.46657 - 0.091785}{0.46657 + 0.091785} = 0.671.$$

Таким чином, можемо спостерігати більше посилення при польоті від четвертого розвороту до посадки.

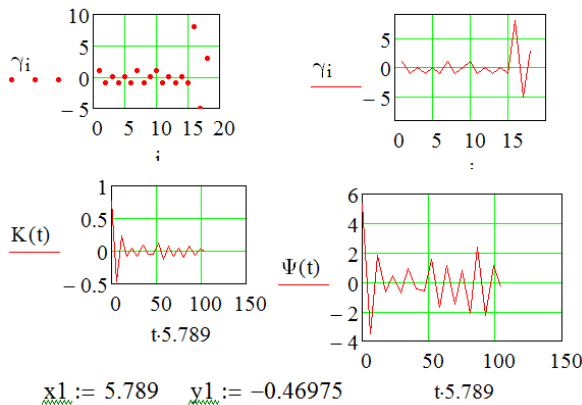
Пілот 2. Політ 7. Анталія. Курс 2 град.
Між 3 і 4 розворотами, 140с



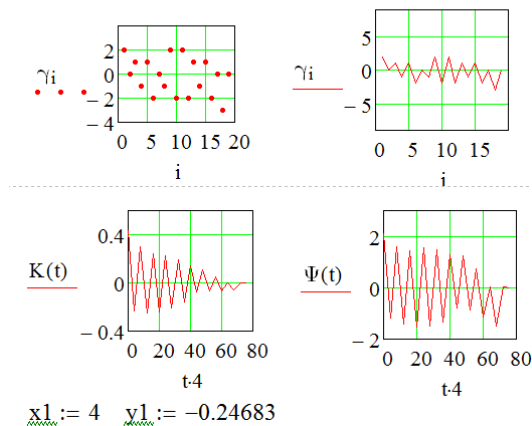
Пілот 2. Політ 7. Анталія. Курс 2 град.
Після 4 розвороту до посадки, 100 с



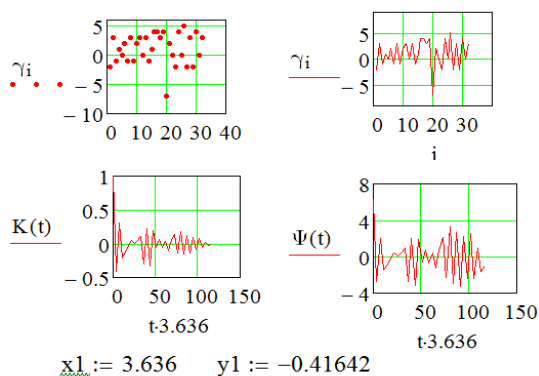
Пілот 2. Політ 12. Анталія. Курс 2 град.
Після 3 розвороту до 4-го, t=110 с



Пілот 2. Політ 12. Антал. Курс 2 град.
Після 4-го розвороту до посадки, t=80 с



Пілот 2. Політ 5. Анталія. Курс 170 град.
Після 3-го розвороту до 4-го, t=120 с



Пілот 2. Політ 5. Анталія. Курс 170 град.
Після 4-го розвороту до посадки, t=120 с

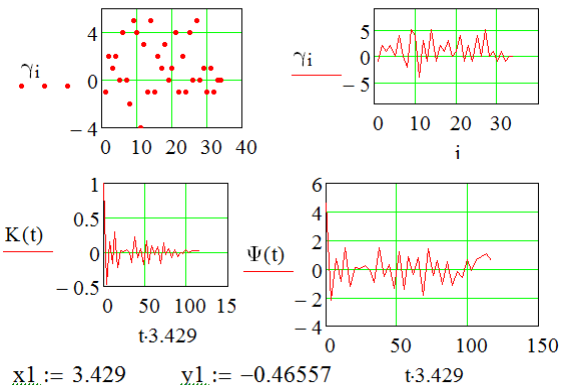
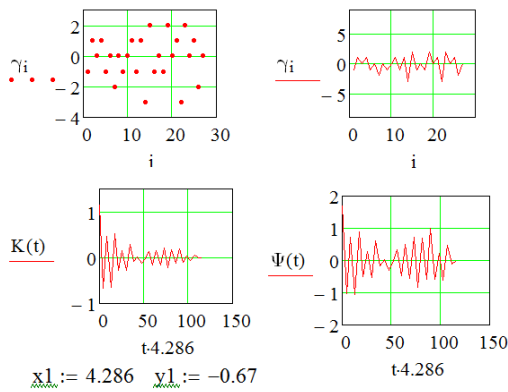


Рис. 6. Лістинг розрахунку автокореляційних функцій кута крену при посадці пілота №2 в аеропорту Анталія

На рис. 7 представлені розрахунки при посадці пілотом №2 в аеропорту Шарм Эль Шейх. Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 3-го до 4-го розвороту

$y1 = 0.67$. Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 4-го розвороту до посадки $y1 = 0.51386$.

Пілот 2. Політ 13. Шарм Ель Шейх. Курс 40 град.
Після 3-го до 4-го розвороту, $t=120$ с



Пілот 2. Політ 13. Шарм Ель Шейх. Курс 40 град.
Після 4-го до посадки, $t=120$ с

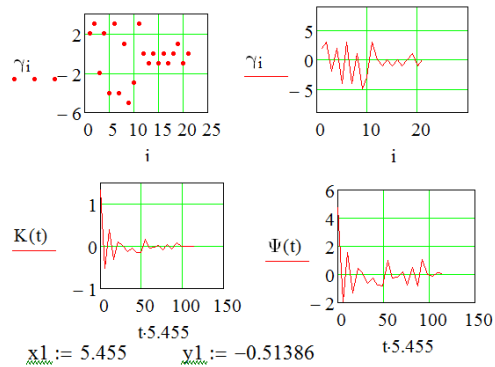
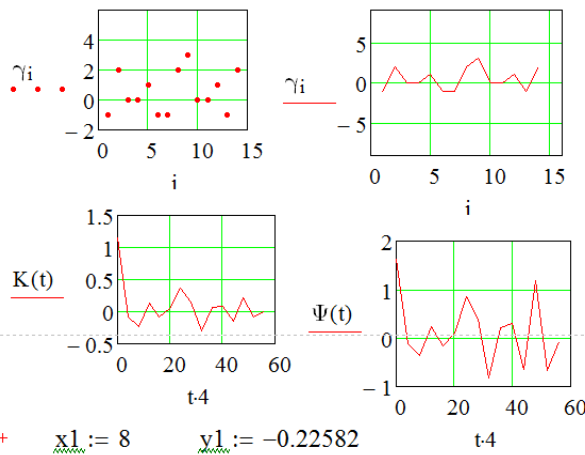


Рис. 7. Лістинг розрахунку автокореляційних функцій кута крену при посадці першого пілота №2 в аеропорту Шарм Эль Шейх

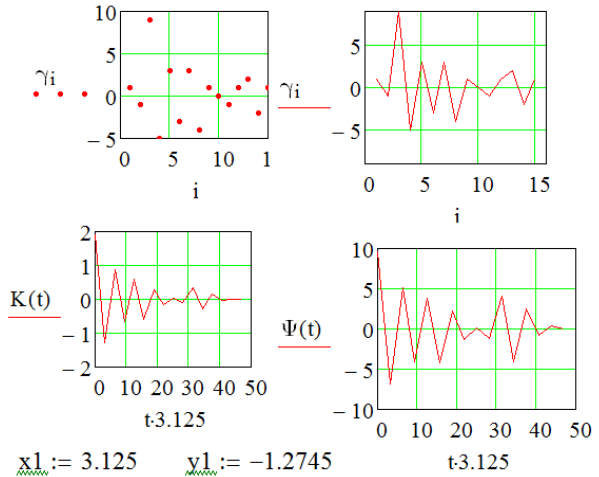
Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 3-го до 4-го розвороту $y1 = 0.67$.

Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 4-го розвороту до посадки $y1 = 0.51386$. На рис. 8 представлені розрахунки при посадці пілотом №2 в аеропорту X.

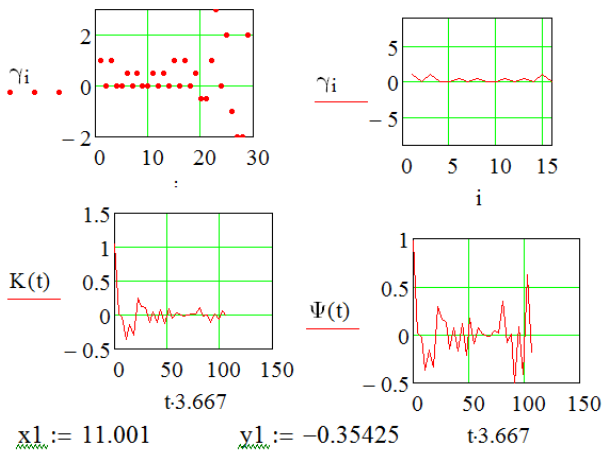
Пілот 2. Політ 6. X. Курс 226 град.
Після 3-го до 4-го розвороту, $t=60$ с



Пілот 2. Політ 6. X. Курс 226 град.
Після 4-го розвороту до посадки, $t = 50$ с



Пілот 2. Політ 11. X. Курс 269 град.
Після 3-го до 4-го розвороту, $t = 110$ с



Пілот 2. Політ 11. X. Курс 270 град.
Після 4-го розвороту до посадки, $t=60$ с

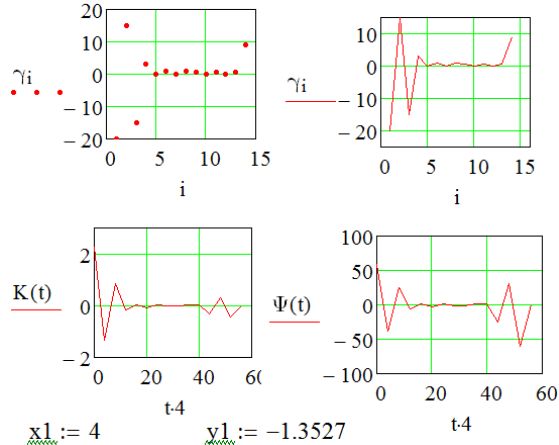


Рис. 8. Лістинг розрахунку автокореляційних функцій кута крену при посадці пілота №2 в аеропорту X

Значення по модулю перших негативних амплітуд при польоті після 3-го до 4-го розвороту рівні 0.22582, 0.35425. Коефіцієнт посилення дорівнює:

$$K_n = \frac{0.35425 - 0.22582}{0.35425 + 0.22582} = 0.22139.$$

Значення по модулю перших негативних амплітуд при польоті після 4-го розвороту до посадки рівні 1.2745, 1.3527.

Коефіцієнт посилення дорівнює:

$$K_n = \frac{1.3527 - 1.2745}{1.3527 + 1.2745} = 0.02977.$$

У більшості випадків можемо спостерігати більшу розбіжність K_n при польоті від четвертого розвороту до посадки. Проте, при складних посадках розбіжність мінімальна.

Проаналізуємо автокореляційні функції кута крену польотів пілота №3.

На рис. 9 представлені розрахунки при посадці пілота №3 в аеропорту Анталія.

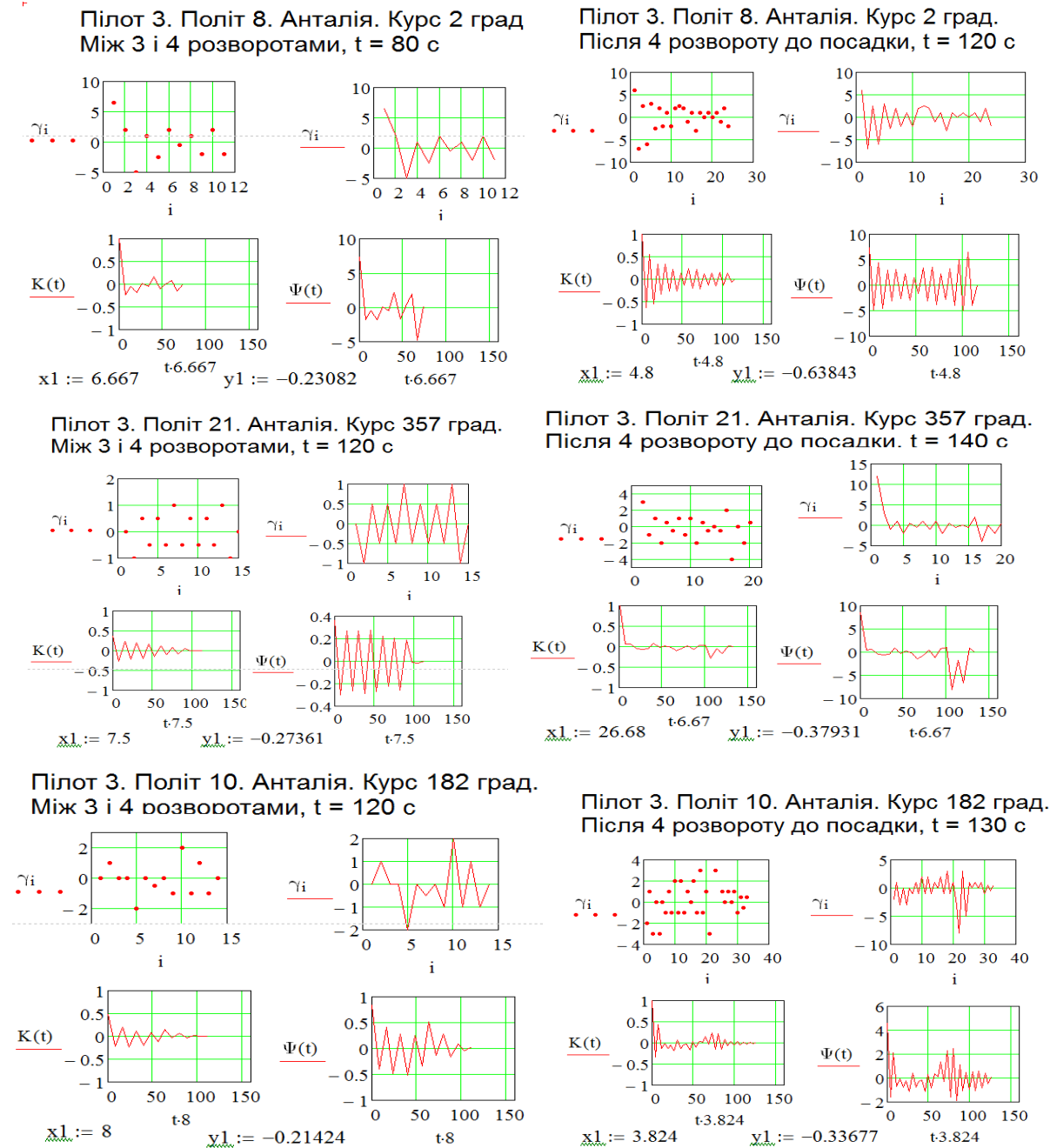


Рис. 9. Лістинг розрахунку автокореляційних функцій кута крену при посадці пілота №3 в аеропорту Анталія

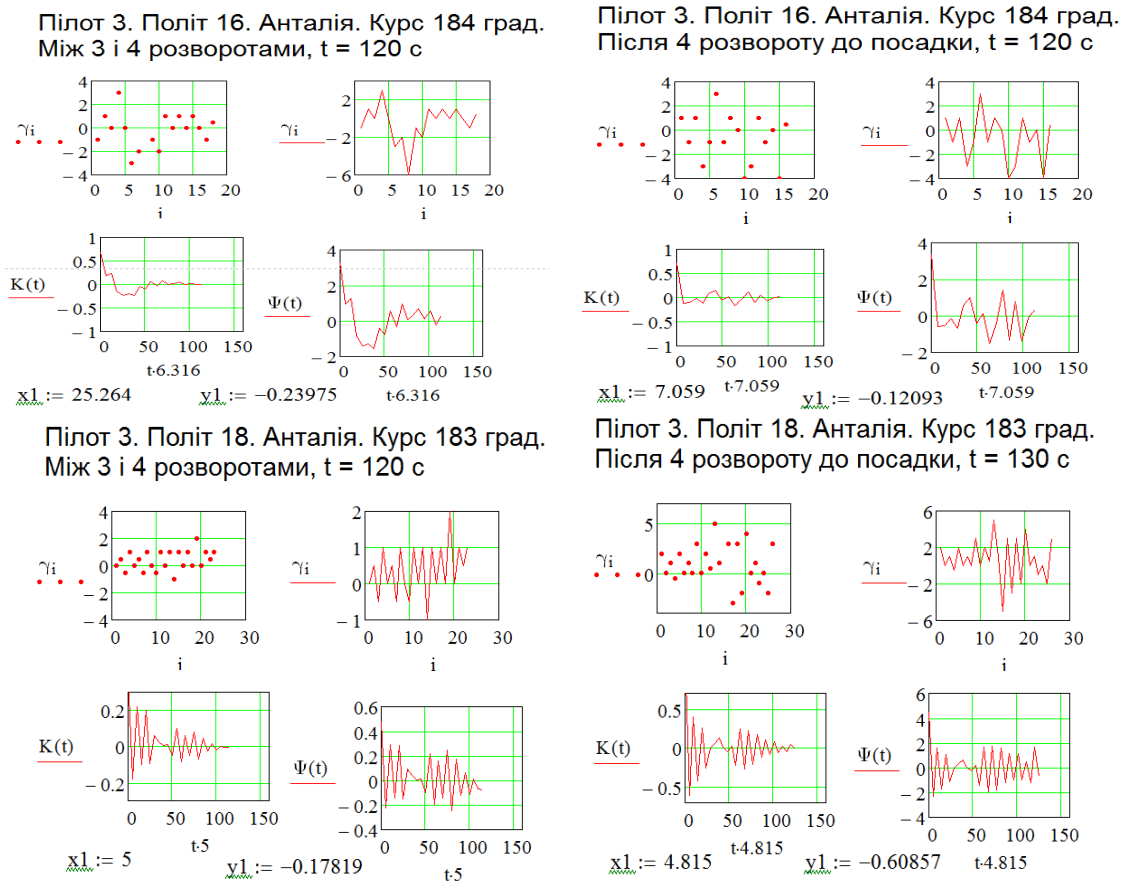


Рис. 9. Закінчення

Значення по модулю перших негативних амплітуд при польоті після 3-го до 4-го розвороту рівні 0.23082, 0.27361, 0.21424, 0.23975, 0.17819. Коефіцієнт посилення дорівнює:

$$K_n = \frac{0.27361 - 0.17819}{0.27361 + 0.17819} = 0.2112.$$

Значення по модулю перших негативних амплітуд при польоті після 4-го розвороту до посад-

ки рівні 0.63843, 0.37931, 0.33677, 0.12093, 0.60857.

Коефіцієнт посилення дорівнює:

$$K_n = \frac{0.63843 - 0.12093}{0.63843 + 0.12093} = 0.68149.$$

На рис. 10 представлені розрахунки при посадці в аеропорт Бориспіль.

Пілотував пілот №3.

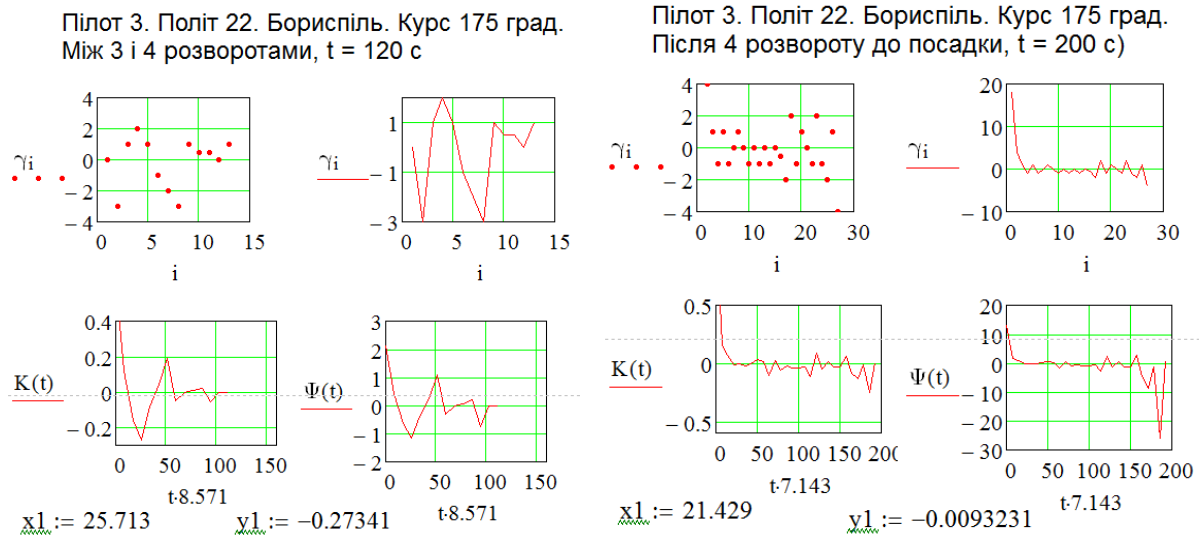


Рис. 10. Лістинг розрахунку автокореляційних функцій кута крену при посадці пілота №3 в аеропорту Бориспіль

Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 3-го до 4-го розвороту $y1 = 0.27341$. Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 4-го розвороту

ту до посадки $y1 = 0.0093231$. На рис. 11 представлені розрахунки при посадці в аеропорт Чернівці.

Пілотував пілот №3.

† Пілот 3. Політ 9. Чернівці. Курс 329 град.
Між 3 і 4 розворотами, $t = 120$ с

Пілот 3. Політ 9. Чернівці. Курс 329 град.
Після 4 розвороту до посадки, $t = 130$ с

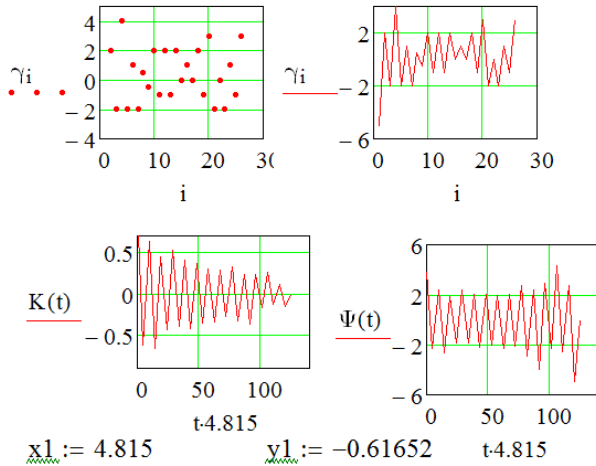
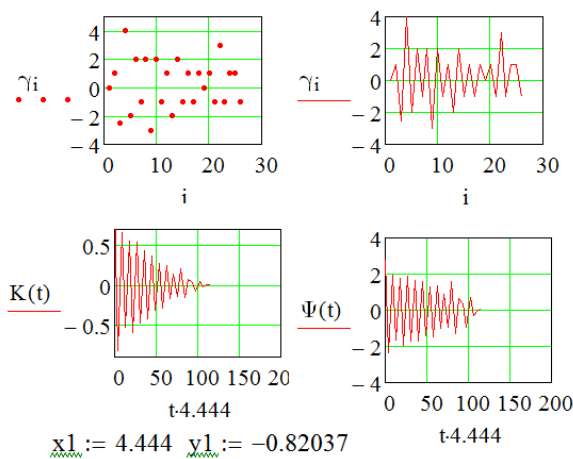


Рис. 11. Лістинг розрахунку автокореляційних функцій кута крену при посадці пілота №3 в аеропорту Чернівці

Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 3-го до 4-го розвороту $y1 = 0.82037$.

Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 4-го розвороту до посадки $y1 = 0.61652$.

На рис. 12 представлені розрахунки при посадці в аеропорту N.

Пілот 3. Політ 20. N. Курс 89 град.
Між 3 і 4 розворотами, $t = 140$ с

Пілот 3. Політ 20. N. Курс 89 град.
Після 4 розвороту до посадки, $t = 58$ с

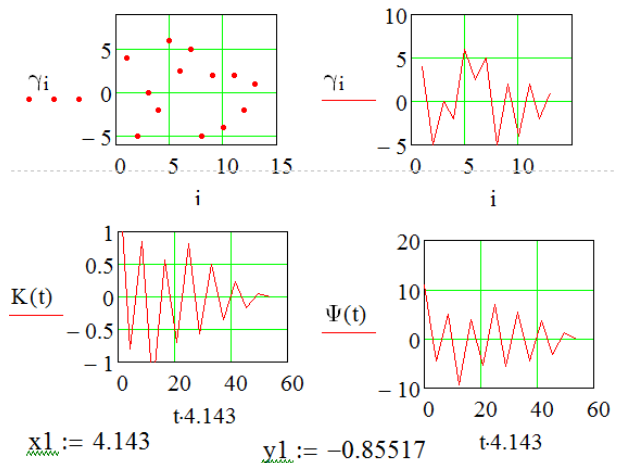
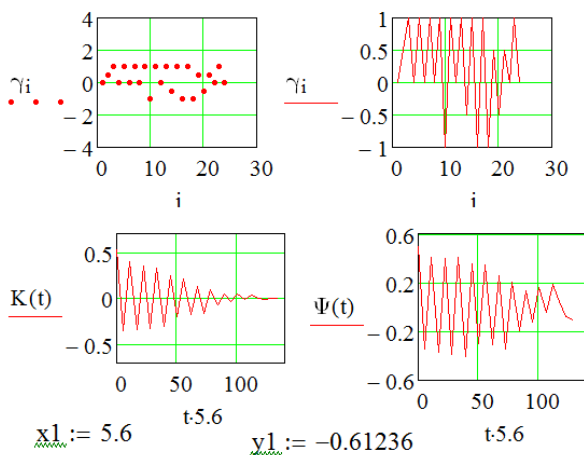


Рис. 12. Лістинг розрахунку автокореляційних функцій кута крену при посадці пілота №3 в аеропорту N

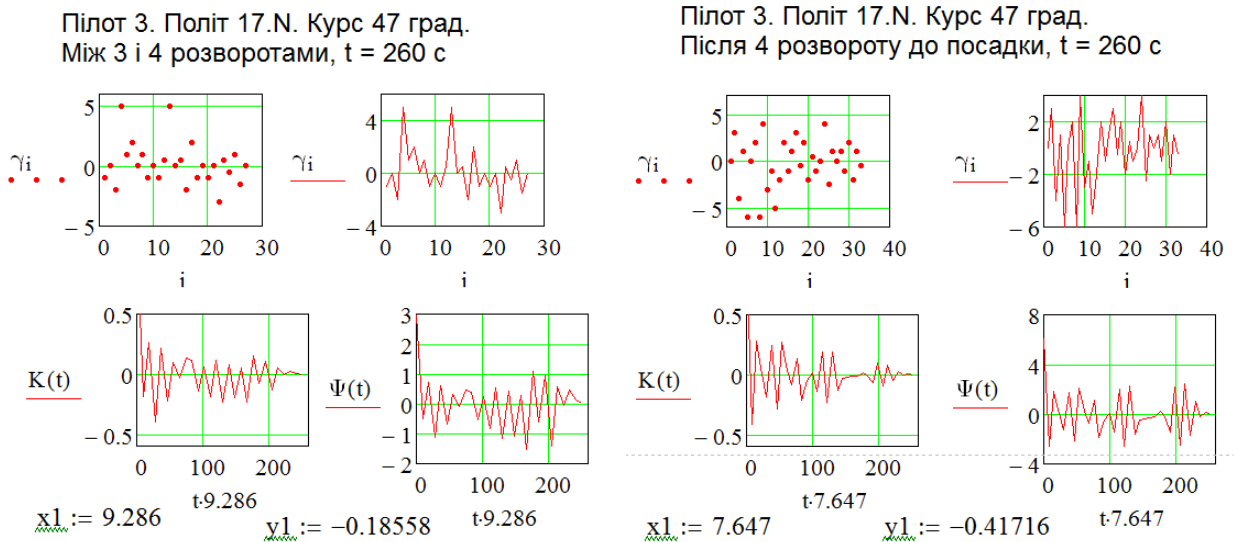


Рис. 12. Закінчення

Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 3-го до 4-го розвороту $y1 = 0.61236, 0.18558$. Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 4-го розвороту до посадки $y1 = 0.85517, 0.41716$.

Пілот 4. Політ 14. Анталія. Курс 1 град.
Між 3 і 4 розворотами, $t = 200$ с

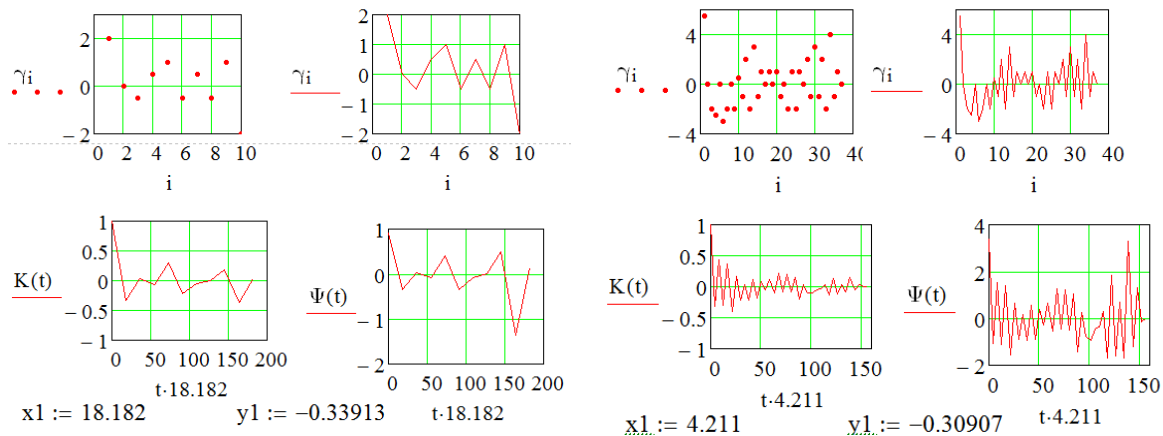


Рис. 13. Лістинг розрахунку автокореляційних функцій кута крену при посадці пілота №4 в аеропорту Анталія

Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 3-го до 4-го розвороту $y1 = 0.33913$. Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 4-го розвороту до посадки $y1 = 0.30907$.

На рис. 14 представлені розрахунки при посадці в аеропорту Бориспіль. Пілотував пілот №4. Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 3-го до 4-го розвороту $y1=0.44514, 0.0027797$. Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 4-го розвороту до посадки $y1=0.30369, 0.38101$.

Значення по модулю перших негативної амплітуди при польоті після 3-го до 4-го розвороту рівне 0.44514. Коефіцієнт посилення дорівнює:

Проаналізуємо автокореляційні функції кута крену польотів пілота №4.

На рис. 13 представлені розрахунки при посадці в аеропорт Анталія.

Пілотував пілот №4.

Пілот 4. Політ 14. Анталія. Курс 1 град.
Після 4 розвороту до посадки, $t = 160$ с

$$K_n = \frac{0.44514 - 0.0027797}{0.44514 + 0.0027797} = 0.98751.$$

Дані розрахунки не враховуватимемо, оскільки вхід в глісиду був дуже швидким і для розрахунків маємо мало значень.

Значення по модулю перших негативних амплітуд при польоті після 4-го розвороту до посадки рівне 0.30369.

Коефіцієнт посилення дорівнює:

$$K_n = \frac{0.38101 - 0.30369}{0.38101 + 0.30369} = 0.11293.$$

На рис. 15 представлені розрахунки при посадці в аеропорт Херсон. Пілотував пілот №4.

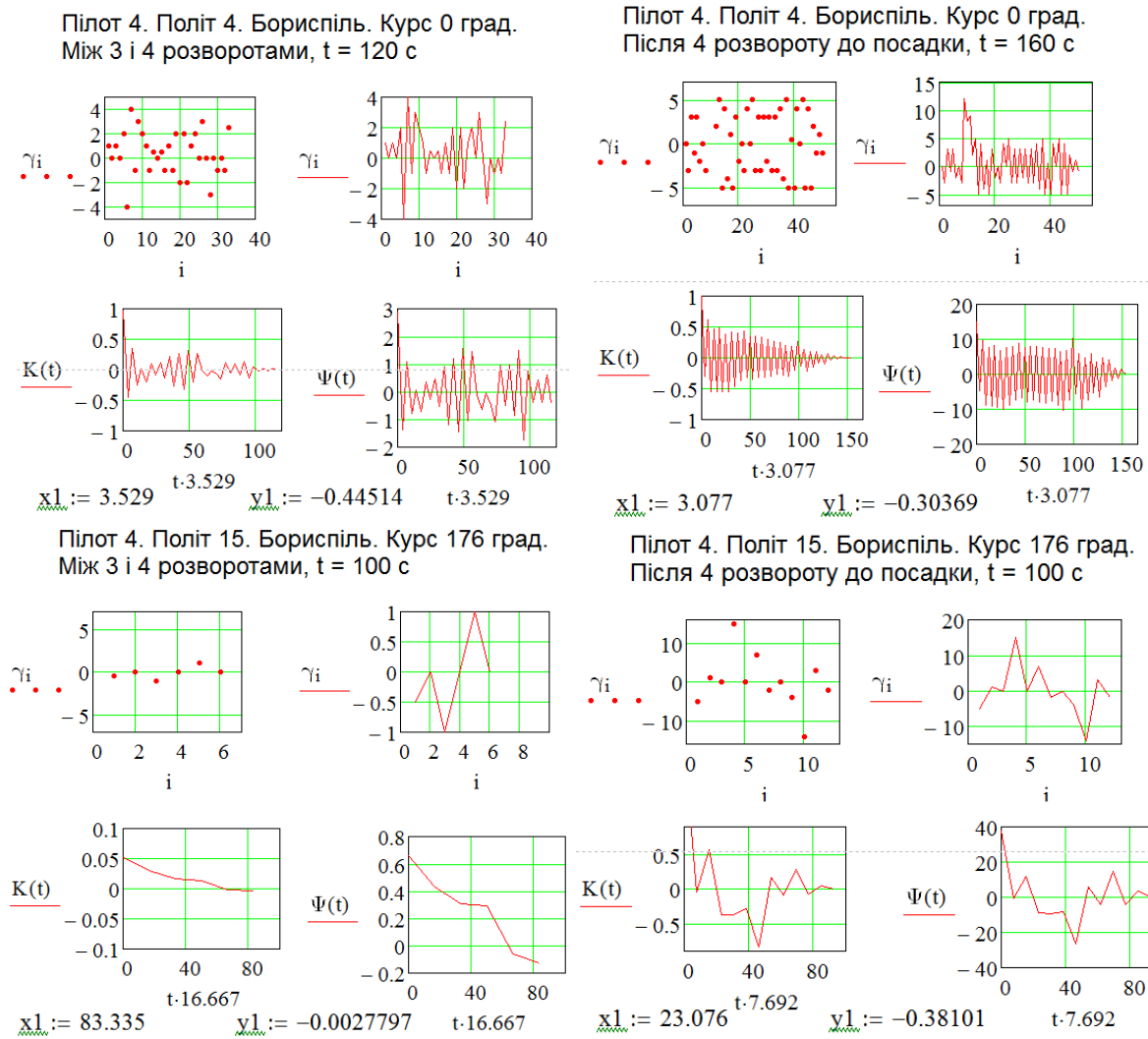


Рис. 14. Лістинг розрахунку автокореляційних функцій кута крену при посадці пілота №4 в аеропорту Бориспіль

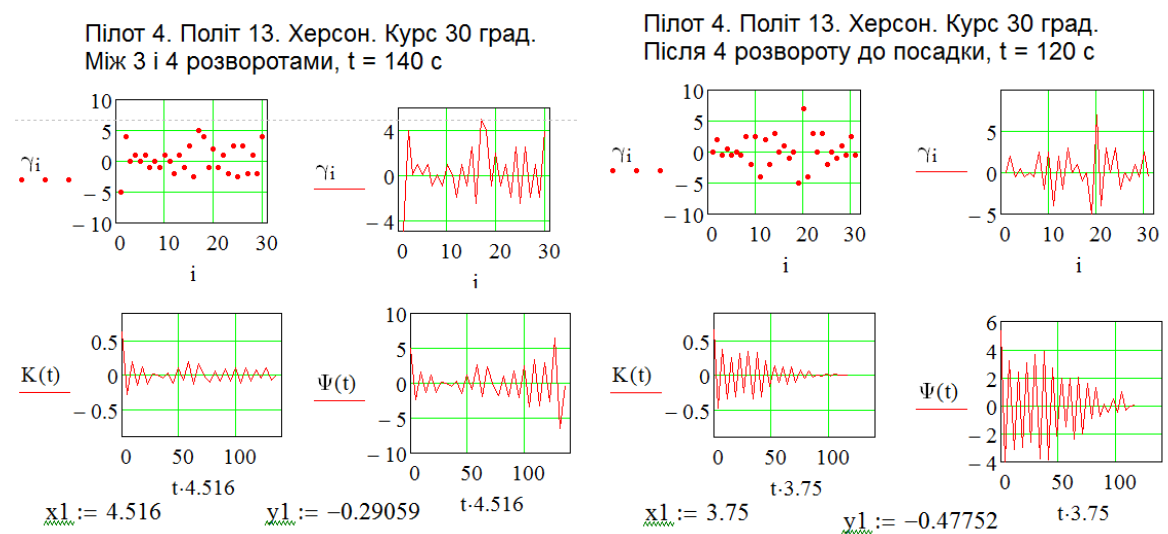


Рис. 15. Лістинг розрахунку автокореляційних функцій кута крену при посадці пілота №4 в аеропорту Херсон

Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 3-го до 4-го розвороту $y_1 = 0.29059$.

Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 4-го розвороту до посадки $y_1 = 0.47752$. Зведемо отримані результати в таблицю.

У таблиці представлені значення перших негативних амплітуд. Вони взяті по модулю.

Виділені максимальні і мінімальні значення на етапах від третього до четвертого розвороту (позначені 3–4) і після четвертого розвороту до посадки (позначені 4-п) у різних аеропортах.

Таблиця

Значення по модулю першої негативної амплітуди при польоті після 3-го до 4-го і при польоті після 4-го розвороту до посадки

| Пілоти Аеропорт | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------|---|---|---|--|
| Анталія | (3–4) 0.40327, 0.31251 (4-п) 0.30708, <u>0.66751</u> | (3–4) <u>0.76226</u> , 0.46975, 0.41642 (4-п) 0.091785 , 0.24683, 0.46557 | (3–4) 0.23082, 0.27361, 0.21424, 0.23975, 0.17819 (4-п) 0.63843, 0.37931, 0.33677, 0.12093, 0.60857 | (3–4) 0.33913 (4-п) 0.30907 |
| Бориспіль | (3–4) 0.06815 (4-п) 0.056971 | | (3–4) 0.27341 (4-п) 0.0093231 | (3–4) <u>0.44514</u> , 0.0027797 (4-п) 0.30369, <u>0.38101</u> |
| Чернівці | | | (3–4) 0.82037 (4-п) 0.61652 | |
| NX | | (3–4) 0.22582, 0.35425 (4-п) 1.2745, <u>1.3527</u> | (3–4) <u>0.61236</u> , 0.18558 (4-п) 0.85517, 0.41716 | |
| Херсон | | | | (3–4) 0.29059 (4-п) 0.47752 |
| Шарм Ель Шейх | (3–4) 0.46516 (4-п) <u>0.60838</u> | (3–4) <u>0.67</u> (4-п) 0.51386 | | |
| Кривий Ріг | (3–4) 0.019928 (4-п) 0.20234 | | | |

Спектральний аналіз автокореляційних функцій кута крену

Після попереднього оцінювання якості техніки пілотування пілотів авіакомпанії виберемо найбільш показові польоти.

Усі пілоти брали участь в посадках в аеропорту Анталія. Так само представляють інтерес польоти при посадці на складні аеродроми N–X.

Проведемо спектральний аналіз автокореляційних функцій кута крену цих польотів.

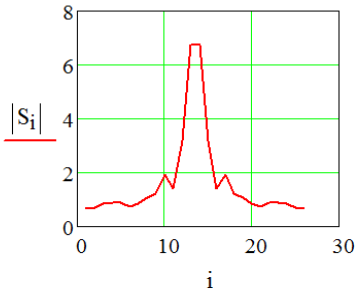
Виберемо функції з максимальними і мінімальними значеннями перших негативних амплітуд, які взяті по модулю (рис. 16–23).

Для підрахунку спектру автокореляційних функцій y по дискретних значеннях використовуємо формулу інтеграла Фур'є:

$$S_i = \sum_{i=1}^{N-1} K_i e^{\frac{-i2\pi it}{N}}$$

Пілот 2. Політ 7. Анталія. Курс 2 град. (Між 3 і 4 розворотами, t=140с)

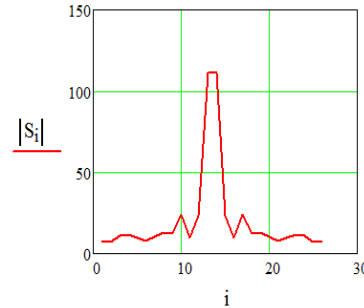
$$S_t := \sum_{i=0}^{26} \left(K_i \cdot e^{\frac{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot i \cdot t}{27}} \right)$$



x1 := 13
y1 := 6.7583

Пілот 2. Політ 7. Антал. Курс 2 град. (Між 3 і 4 розворотами, 140с)

$$S_t := \sum_{i=0}^{26} \left(\Psi_i \cdot e^{\frac{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot i \cdot t}{27}} \right)$$

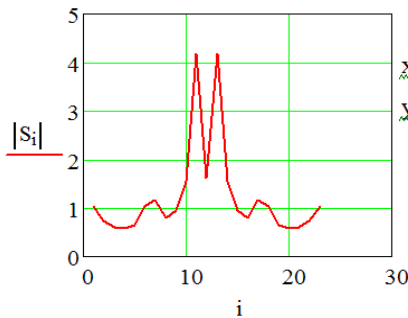


x1 := 13
y1 := 111.3

Рис. 16. Лістинг розрахунку спектру нормованої (у_{норм} = 6.1635) і ненормованої (у_{нен} = 111.3) автокореляційних функцій

Пілот 3. Політ 18. Анталія. Курс 183 град. (між 3 і 4 розворотами, t = 120 с)

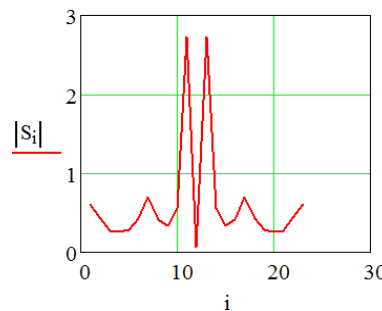
$$S_t := \sum_{i=0}^{23} \left(K_i \cdot e^{\frac{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot i \cdot t}{24}} \right)$$



x1 := 11
y1 := 1.1394

Пілот 3. Політ 18. Анталія. Курс 183 град. (між 3 і 4 розворотами, t = 120 с)

$$S_t := \sum_{i=0}^{23} \left(\Psi_i \cdot e^{\frac{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot i \cdot t}{24}} \right)$$

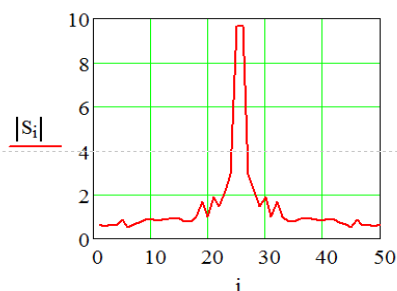


x1 := 11
y1 := 2.7489

Рис. 17. Лістинг розрахунку спектру нормованої (у_{норм} = 1.394) і ненормованої (у_{нен} = 2.7489) автокореляційних функцій

Пілот 1. Політ 12. Анталія. Курс 185 град. (Після 4-го розвороту до посадки, t=240 с)

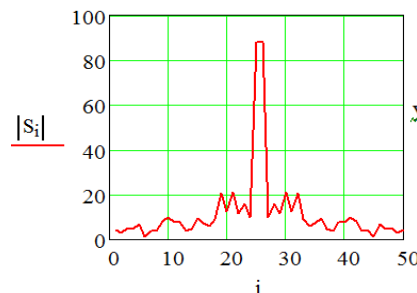
$$S_t := \sum_{i=0}^{50} \left(K_i \cdot e^{\frac{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot i \cdot t}{51}} \right)$$



x1 := 26
y1 := 9.6486

Пілот 1. Політ 12. Анталія. Курс 185 град. (Після 4-го розвороту до посадки, t=240 с)

$$S_t := \sum_{i=0}^{50} \left(\Psi_i \cdot e^{\frac{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot i \cdot t}{51}} \right)$$

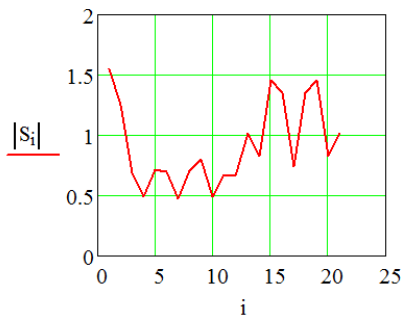


x1 := 26
y1 := 87.758

Рис. 18. Лістинг розрахунку спектру нормованої (у_{норм} = 9.6486) і ненормованої (у_{нен} = 87.758) автокореляційних функцій

Пілот 2. Політ 7. Анталія. Курс 2 град.
(Після 4 розвороту до посадки, t=100с)

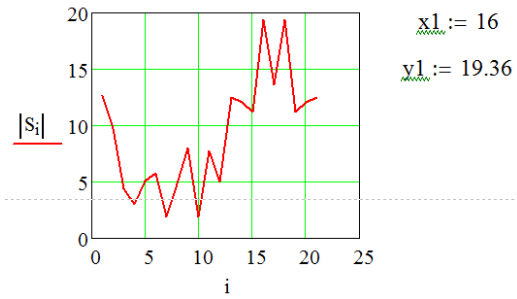
$$S_t := \sum_{i=0}^{33} \left(K_i \cdot e^{\frac{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot i \cdot t}{34}} \right)$$



$x1 := 14$
 $y1 := 2.253$

Пілот 2. Політ 7. Анталія. Курс 2 град.
(Після 4 розвороту до посадки, t=100с)

$$S_t := \sum_{i=0}^{33} \left(\Psi_i \cdot e^{\frac{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot i \cdot t}{34}} \right)$$

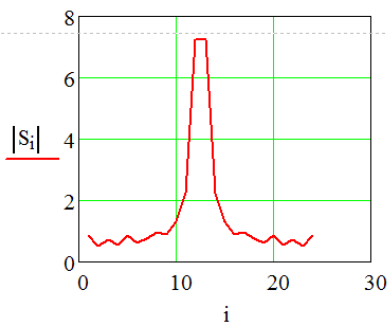


$x1 := 16$
 $y1 := 19.36$

Рис. 19. Лістинг розрахунку спектру нормованої ($y_{\text{норм}} = 2.253$) і ненормованої ($y_{\text{нен}} = 19.36$) автокореляційних функцій

Пілот 3. Політ 20. N. Курс 89 град. (між 3 і 4 розворотами, t = 140 с)

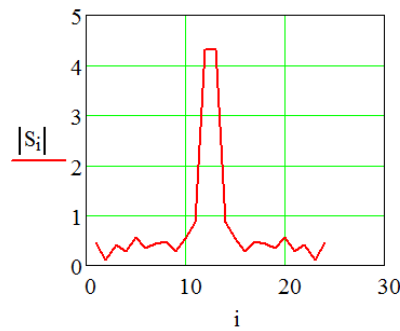
$$S_t := \sum_{i=0}^{24} \left(K_i \cdot e^{\frac{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot i \cdot t}{25}} \right)$$



$x1 := 13$
 $y1 := 0.54656$

Пілот 3. Політ 20. N. Курс 89 град. (між 3 і 4 розворотами, t = 140 с)

$$S_t := \sum_{i=0}^{24} \left(\Psi_i \cdot e^{\frac{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot i \cdot t}{25}} \right)$$

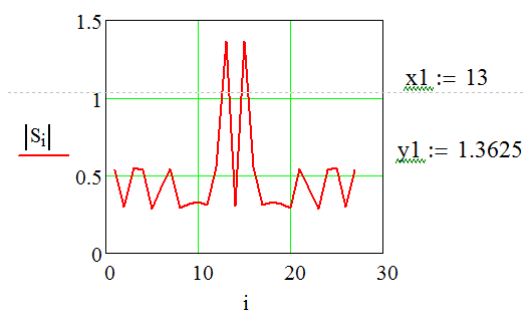


$x1 := 13$
 $y1 := 4.2039$
+

Рис. 20. Лістинг розрахунку спектру нормованої ($y_{\text{норм}} = 0.54656$) і ненормованої ($y_{\text{нен}} = 4.2039$) автокореляційних функцій

Пілот 3. Політ 17.N. Курс 47 град. (між 3 і 4 розворотами, t = 260 с)

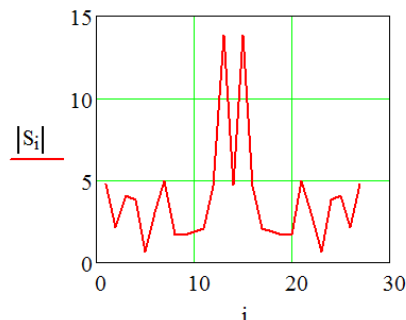
$$S_t := \sum_{i=0}^{27} \left(K_i \cdot e^{\frac{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot i \cdot t}{28}} \right)$$



$x1 := 13$
 $y1 := 1.3625$

Пілот 3. Політ 17.N. Курс 47 град. (між 3 і 4 розворотами, t = 260 с)

$$S_t := \sum_{i=0}^{27} \left(\Psi_i \cdot e^{\frac{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot i \cdot t}{28}} \right)$$

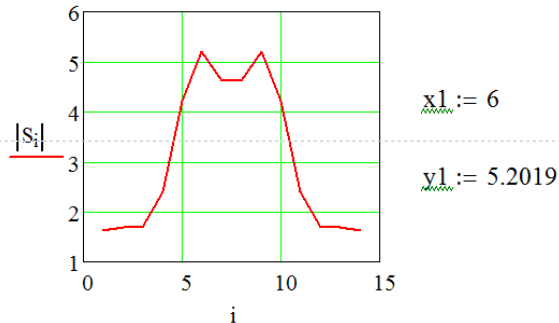


$x1 := 13$
 $y1 := 13.849$

Рис. 21. Лістинг розрахунку спектру нормованої ($y_{\text{норм}} = 1.3625$) і ненормованої ($y_{\text{нен}} = 13.849$) автокореляційних функцій

Пілот 2. Політ 11. X. Курс 270 град.
Після 4-го розвороту до посадки, t=60 с)

$$S_t := \sum_{i=0}^{14} \left(K_i \cdot e^{\frac{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot i \cdot t}{15}} \right)$$



Пілот 2. Політ 11. X. Курс 270 град.
(Після 4-го розвороту до посадки, t=60 с)

$$S_t := \sum_{i=0}^{14} \left(\Psi_i \cdot e^{\frac{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot i \cdot t}{15}} \right)$$

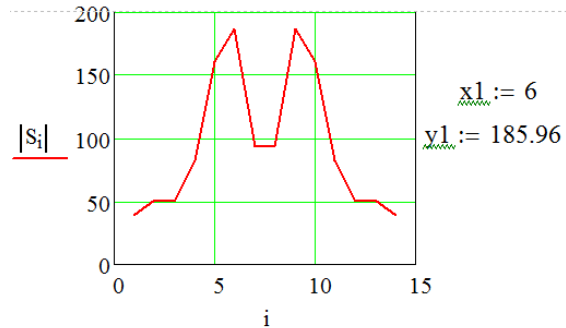
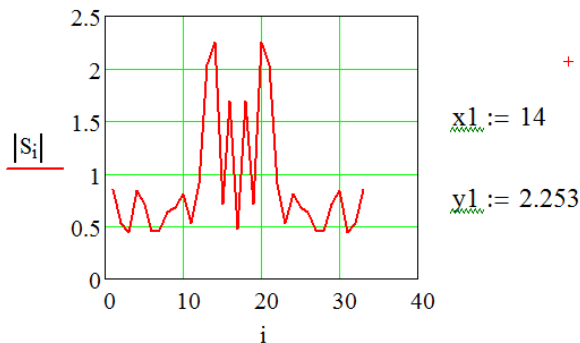


Рис. 22. Лістинг розрахунку спектру нормованої ($y_{норм} = 5.2019$) і ненормованої ($y_{нен} = 185.96$) автокореляційних функцій

Пілот 3. Політ 17.N. Курс 47 град. (після 4 розвороту до посадки, t = 260 с)

$$S_t := \sum_{i=0}^{33} \left(K_i \cdot e^{\frac{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot i \cdot t}{34}} \right)$$



Пілот 3. Політ 17.N. Курс 47 град. (після 4 розвороту до посадки, t = 260 с)

$$S_t := \sum_{i=0}^{33} \left(\Psi_i \cdot e^{\frac{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot i \cdot t}{34}} \right)$$

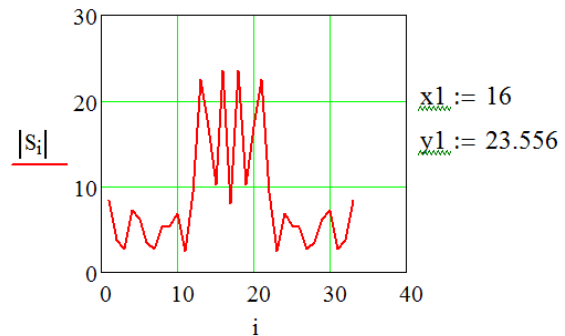


Рис. 23. Лістинг розрахунку спектру нормованої ($y_{норм} = 2.253$) і ненормованої ($y_{нен} = 23.556$) автокореляційних функцій

Розглянемо коефіцієнт відмінності максимальних амплітуд спектрів ненормованих автокореляційних функцій $K_{пс}$ при заході на посадку в аеропорт Анталія між 3-м і 4-м розворотами

$$K_{п} = \frac{111.3 - 2.7489}{111.3 + 2.7489} = 0.95179.$$

Розглянемо відмінність максимальних амплітуд спектрів ненормованих автокореляційних функцій при заході на посадку в аеропорт Анталія після 4-го розвороту до посадки.

$$K_{п} = \frac{87.758 - 19.36}{87.758 + 19.36} = 0.63853.$$

Спостерігається невелика відмінність $K_{пс}$ між 3-м і 4-м розворотами і після 4-го розвороту до посадки.

Розглянемо відмінність максимальних амплітуд спектрів ненормованих автокореляційних функцій при заході на посадку в аеропорт N між 3-м і 4-м розворотами

$$K_{п} = \frac{13.849 - 4.2039}{13.849 + 4.2039} = 0.53427.$$

Розглянемо відмінність максимальних амплітуд спектрів ненормованих автокореляційних функцій при заході на посадку в аеропорт N після 4-го розвороту до посадки.

$$K_{п} = \frac{185.96 - 23.556}{185.96 + 23.556} = 0.77514.$$

При заході в аеропорт Анталія всі пілоти виконують польоти не виходячи за обмеження встановлені керівництвом по льотній експлуатації (РЛЕ).

Обмеження по крену 28 згідно РЛЕ. Слід звернути увагу на те, що між 3-м і 4-м розворотами максимальні значення $u_{\text{нен}}$ у другого пілота, у третього — мінімальні. Після 4-го розвороту до посадки максимальні значення $u_{\text{нен}}$ у першого пілота, у другого — мінімальні. При посадці на аеродром X у другого пілота крен доходив до 20° . Це пов'язано з короткою глісадою посадки. Почерк у пілота у вигляді «затухаючої синусоїди». Пілот показав високу якість техніки пілотування.

Проте, не дуже досвідчений пілот у цій ситуації з великою ймовірністю міг не впоратися. Слід звернути увагу, що така скорочена глісада вкрай недопустима.

Аналіз законів розподілу

Побудуємо гістограму розподілу кутів крену при заході на посадку в аеропорт Анталія пілотом №1 між 3-м і 4-м розворотами і після 4-го розвороту до посадки (рис. 24). Так само підберемо відповідний теоретичний розподіл.

Пілот 1. Політ 1. Анталія. Курс 0 град. (Між 3 і 4 розворотами, $t=160$ с та після 4 розвороту до посадки, $t=120$ с)

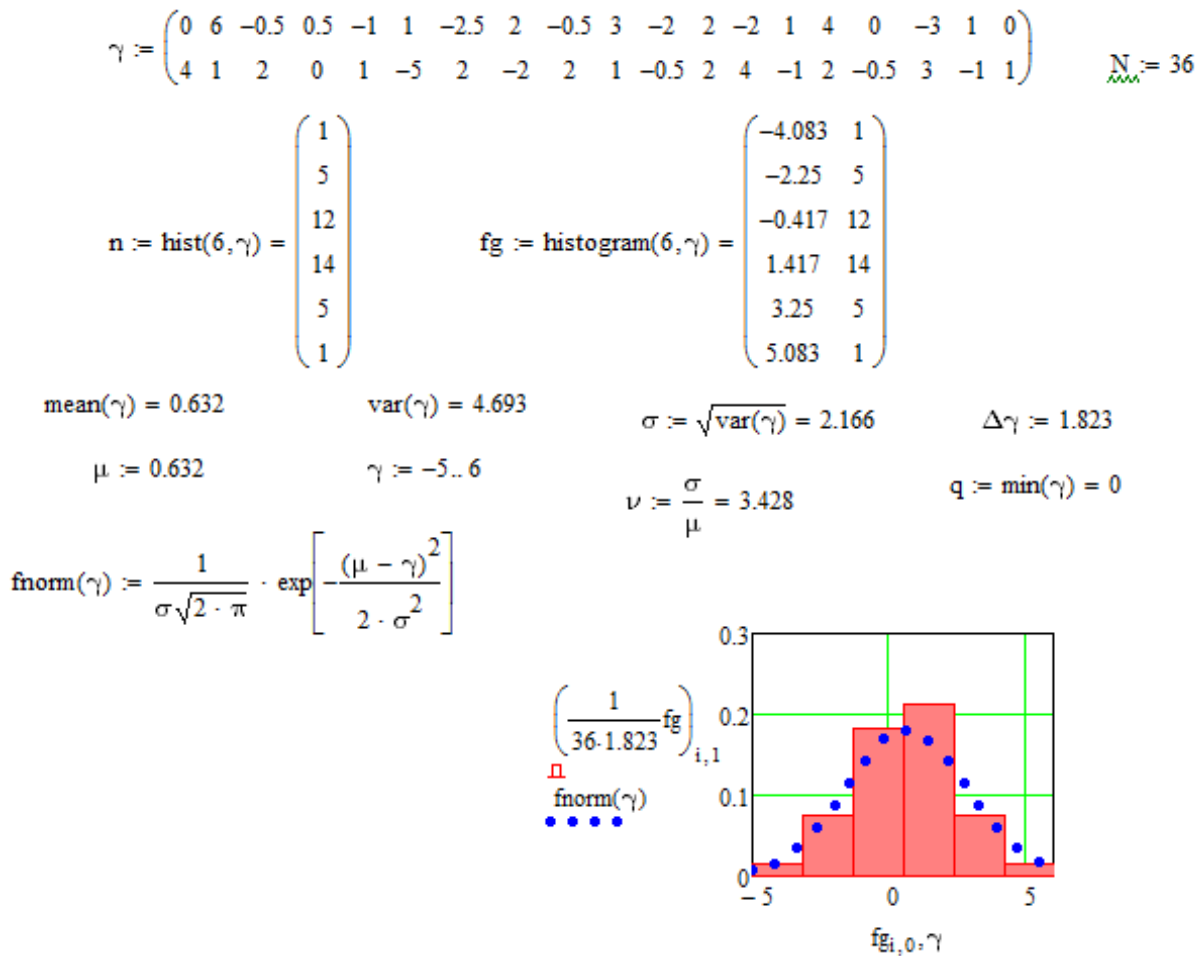


Рис. 24. Лістинг побудови гістограми значень γ і її апроксимація нормальним законом розподілу

Перевіримо відповідність теоретичного нормального розподілу статистичному за критерієм Пірсона (рис. 25).

$$\begin{aligned}
 & \underline{K} := 6 & k := 0..K - 1 & r := K - 3 = 3 & \Sigma n := 36 \\
 & a := 0..5 & \text{int}_k := -5 + \Delta\gamma \cdot k \\
 \\
 & Q_{\text{norm}_a} := \int_{\text{int}_a}^{\text{int}_a + \Delta\gamma} f_{\text{norm}}(\gamma) d\gamma \\
 \\
 & Q_{\text{norm}_0} := \int_{-\infty}^{\text{int}_0 + \Delta\gamma} f_{\text{norm}}(\gamma) d\gamma \\
 \\
 & Q_{\text{norm}_5} := 1 - \sum_{a=0}^4 Q_{\text{norm}_a} \\
 \\
 & Q_{\text{norm}_a} = \begin{array}{|c|} \hline 0.039 \\ \hline 0.14 \\ \hline 0.29 \\ \hline 0.308 \\ \hline 0.168 \\ \hline 0.047 \\ \hline \end{array} \quad n = \begin{pmatrix} 1 \\ 5 \\ 12 \\ 14 \\ 5 \\ 1 \end{pmatrix} \\
 \\
 & \chi^2_{\text{norm}} := \sum_{a=0}^{K-1} \left[\frac{[(n_a) - N \cdot Q_{\text{norm}_a}]^2}{N \cdot Q_{\text{norm}_a}} \right] = 1.748 \quad P \approx 0,7
 \end{aligned}$$

Рис. 25. Лістинг перевірки відповідності теоретичного нормального розподілу статистичному за критерієм згоди χ^2

Розрахунки показали, що статистичний розподіл γ не суперечить нормальному закону розподілу з імовірністю приблизно рівної 0.7. Раніше проведені дослідження вказують на те, що погіршення якості техніки пілотування не відбувається [4].

Висновки

Аналіз автокореляційних функцій і їх спектрів підтвердив викладені вище теоретичні висновки, що при заході на посадку на Б-737-500 по скороченій глісаді небажаний для непідготовлених екіпажів. Спостерігаються великі коефіцієнти посилення по автокореляційних функціях і їх спектрах.

При заході в глісаду, виходячи зі значень коефіцієнтів посилення, психофізіологічна напруга значно менша, ніж на глісаді. Це свідчить про те, що недотримання точності входу в глісаду позначається на якості техніки пілотування на глісаді.

Аналіз типового польоту показав, що статистичний розподіл γ не суперечить нормальному закону розподілу. Згідно раніше проведеним дослідженням це говорить про хорошу якість техніки пілотування пілотів.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Казак В. М.**, Будзинська Т. В., Міщеряко ва В. Ю. Оцінка впливу зміни параметрів помилок еліпсоїда на підтримку посадкової траєкторії літального апарату. *Наукоємні технології*. Київ, 2009. Вип. 2. С. 43–45.
2. **Randy Gibb**, Roger W Schvaneveldt, Rob Gray. Visual Misperception in Aviation: Glide Path Performance in a Black Hole Environment. *Human Factors The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2008. Vol. 50(4). Pp. 699–711.
3. **Кашматов В. І.** Застосування квазіоб’єктних систем управління по кутовому положенню літака для перекладу літака з горизонтального польоту в схил схилу. *Електроніка та системи управління*. Київ, 2008. Вип. (18). С. 79–87.

4. **Грищенко Ю. В.** Подготовка пилотов к полётам в особых ситуациях с учётом явления усиления динамического стереотипа. *Кибернетика и вычислительная техника*. Київ, 2003. Вып. 139. С. 81–85.

5. **Грищенко Ю. В.** Анализ изменения динамического стереотипа пилотов в процессе лётной подготовки на комплексном тренажёре самолёта. // *Кибернетика и вычислительная техника*. Київ, 2004. Вып. 142. С. 35–40.

6. **Yurii Hryshchenko**, Victor Romanenko, Daria Pipa. Methods for Assessing of the Glissade Entrance Quality by the Crew. *Handbook of Research on Artificial Intelligence Applications in the Aviation and Aerospace Industries*. IGI Global science reference. USA, 2019. Pp. 372–403.

7. **Solomentsev O.**, Zaliskyi M., Nemyrovets Yu., Asanov M. Signal processing in case of radio equipment technical state deterioration. *Signal Processing Symposium 2015 (SPS 2015)*, 10–12 June 2015: Proceedings. Debe (Poland), 2015. Pp. 1–5.

8. **Hryshchenko Y.V.**, Romanenko V.G., Pipa D.M., Amelina A. I. Piloting quality assessment systems. *Electronics and Control Systems*. Kyiv, 2019. Вип. 3(61). Pp. 55–60.

9. **Solomentsev O.**, Zaliskyi M. Correlated Failures Analysis in Navigation System. *Methods and Systems of Navigation and Motion Control: IEEE 5th International Conference*, 16–18 October 2018: Proceedings. Kyiv, 2018. Pp. 41–44.

Грищенко Ю. В.

ОЦІНКА ЯКОСТІ ТЕХНІКИ ПІЛОТУВАННЯ ЕКІПАЖУ В АВІАКОМПАНІЇ

Безпека польотів займає важливе місце при авіаційних перевезеннях. Сучасні повітряні судна мають високу надійність авіоніки і інших систем. Авіаційні події носять малоімовірносний характер, і близько 80 % їх доводиться на людський фактор. Автоматизація управління повітряним судном розвантажує екіпаж від рутинних дій і звільняє час для прийняття рішень. В той же час у екіпажа відбувається підвищена психофізіологічна напруженість при переході на управління при заході на посадку в директорному або штурманському режимах управління. Оцінка якості техніки пілотування методами теорії ймовірності при заході на посадку в директорному режимі спрямована на прогнозування дій екіпажа в особливих випадках польоту. Тільки у 2 % польотів є зауваження, відхилення, порушення, інциденти, серйозні інциденти, авіаційні події без людських жертв, катастрофи. Перехід в директорний режим не означає, що повністю припиняють роботу всі автоматизовані системи управління. У пілота з'являються розширені функції в контурі ергатичної системи управління. На комплексних тренажерах літака відпрацьовуються дії в особливих випадках польоту. Це дозволяє прищепити навичку таких дій і діяти упевнено при виникненні такої ситуації в польоті. Проте одночасне поєднання відмов, яке призводить до підвищеної психофізіологічної напруженості людини-оператора, передбачити практично неможливо. Таким чином, екіпажу необхідно не лише прищеплювати навички дій при відмовах техніки, але і навчати контрольованим діям при підвищеній психофізіологічній напруженості. У наших попередніх роботах були розглянуті траєкторії заходу на посадку в простих і складних умовах. У результаті аналізу кореляційних функцій були отримані прогнозовані межі входу в глісаду залежно від впливу негативних чинників на людину-оператора. Відмічений негативний вплив на пілота — запізнювання входу в глісаду. У цій роботі експериментально підтверджені теоретичні висновки, які зроблені в попередніх дослідженнях. Оскільки випадкова функція кута крену носить ергодичний і стаціонарний характер, то для аналізу якості техніки пілотування в одному польоті достатньо автокореляційної функції. При заході на посадку по укороченій глісаді спостерігається велика різниця між першими максимальними значеннями перших негативних значень автокореляційних функцій кута крену від посадки з нормальною глісадою. Перетворення Фур'є амплітуд наших автокореляційних функцій підтвердив вищезгадані висновки. Слід зазначити, що у пілотів амплітуди кута крену літаків укладаються у вимоги керівництва по льотній експлуатації при заході на посадку. Мова йде про пропозиції для оцінки характеристик ергатичної системи на випадок складних умов польоту і необхідності точності входу в точку глісади. Нормальний закон розподілу кута крену підтвердив хорошу якість техніки пілотування екіпажу в горизонтальній площині. Оцінюється екіпаж, оскільки другий пілот при польоті в директорному режимі управління літаком без зауважень виконує операційні дії з системами авіоніки.

Ключові слова: автокореляційна функція; глісада; закон розподілу; спектральний аналіз.

Hryshchenko Y. V.

ASSESSMENT OF QUALITY OF THE CREW PILOTING TECHNIQUE IN THE AIRLINE

Safety of flights occupies an important place at air transportations. Modern aircrafts have high reliability of avionics and other systems. Aviation incidents carry improbable character, and about 80% them is on a human factor. Automation control of the aircraft unloads the crew from routine actions and frees up time for decision-making. At the same time, the crew experiences increased psychophysiological tension during the transition to control during approach in the director or helm control modes. Assessment of the quality of piloting techniques using probability theory methods during approach in the director mode is aimed at forecasting of crew actions in special flight cases. Only 2 % flights have remarks, rejections, violations, incidents, serious incidents, air accidents without human victims, air crash.

The transition to the director mode does not mean that all automated control systems completely stop working. The pilot is considered with extended functions in the contour of an ergatic control system. Integrated flight simulators work out actions in special flight cases. This allows you to instill the skill of such actions and act confidently when such a situation arises in flight. However, the simultaneous combination of failures, which leads to increased psychophysiological tension of the human operator, is almost impossible to foresee. Thus, the crew needs not only to inculcate skills in actions in case of equipment failures, but also to train in controlled actions with increased psychophysiological tension. In our previous works, the approach paths in simple and complex conditions were considered. As a result of the analysis of correlation functions, the predicted boundaries of entry into the glide path were obtained depending on the influence of negative factors on the human operator. A negative effect on the pilot was noted the delay in entering the glide path. In this work, the theoretical conclusions made in previous studies are experimentally confirmed. Since the random roll angle function is ergodic and stationary in nature, an autocorrelation function is sufficient to analyze the quality of the piloting technique in one flight. When approaching on a shortened glide path, there is a big difference between the first maximum values of the first negative values of the autocorrelation functions of the roll angle from landing with a normal glide path. The Fourier transform of the amplitudes of our autocorrelation functions confirmed the above findings. It should be noted that the amplitude of the airplanes roll angle of the pilots fit into the requirements of the manual for flight operations during approach. The question is about proposals for assessing the characteristics of the erratic system in special flight cases conditions and the necessity for accuracy of entry to the glide path. The normal law of roll angle distribution confirmed the good quality of the crew piloting technique in the horizontal plane. The crew is estimated, as the co-pilot performs operations with the avionics systems while flying in the director's airplane control mode without comment.

Keywords: autocorrelation function; glide path; distribution law; spectral analysis.

Грищенко Ю. В.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕХНИКИ ПИЛОТИРОВАНИЯ ЭКИПАЖА В АВИАКОМПАНИИ

Безопасность полетов занимает важное место при авиационных перевозках. Современные воздушные суда имеют высокую надежность авионики и других систем. Авиационные происшествия носят маловероятный характер, и около 80 % их приходится на человеческий фактор. Автоматизация управления воздушным судном разгружает экипаж от рутинных действий и освобождает время для принятия решений. В то же время у экипажа происходит повышенная психофизиологическая напряженность при переходе на управление при заходе на посадку в директорном или штурвальном режимах управления. Оценка качества техники пилотирования методами теории вероятности при заходе на посадку в директорном режиме направлены на прогнозирование действий экипажа в особых случаях полета. Только у 2% полетов есть замечания, отклонения, нарушения, инциденты, серьезные инциденты, авиационные происшествия без человеческих жертв, катастрофы. Переход в директорный режим не означает, что полностью прекращают работу все автоматизированные системы управления. У пилота появляются расширенные функции в контуре эргатической системы управления. На комплексных тренажерах самолета отрабатываются действия в особых случаях полета. Это позволяет привить навык таких действий и действовать уверенно при возникновении такой ситуации в полете. Однако одновременное сочетание отказов, которое приводит к повышенной психофизиологической напряженности человека-оператора, предусмотреть практически невозможно. Таким образом, экипажу необходимо не только прививать навыки действий при отказах техники, но и обучать контролируемыми действиям при повышенной психофизиологической напряженности. В наших предыдущих работах были рассмотрены траектории захода на посадку в простых и сложных условиях. В результате анализа корреляционных функций были получены прогнозируемые границы входа в глиссаду в зависимости от влияния негативных факторов на человека-оператора. Отмечено негативное влияние на пилота — запаздывание входа в глиссаду. В данной работе экспериментально подтверждены теоретические выводы, которые сделаны в предыдущих исследованиях. Так как случайная функция угла крена носит эргодический и стационарный характер, то для анализа качества техники пилотирования в одном полете достаточно автокорреляционной функции. При заходе на посадку по укороченной глиссаде наблюдается большая разница между первыми максимальными значениями первых отрицательных значений автокорреляционных функций угла крена от посадки с нормальной глиссадой. Преобразования Фурье амплитуд наших автокорреляционных функций подтвердил вышеуказанные выводы. Следует отметить, что амплитуды угла крена пилотов укладываются в требования руководства по летной эксплуатации при заходе на посадку. Речь идет о предложениях для оценки характеристик эргатической системы на случай сложных условий полета и необходимости точности входа в точку глиссады. Нормальный закона распределения угла крена подтвердил хорошее качество техники пилотирования экипажа в горизонтальной плоскости. Оценивается экипаж, так как второй пилот при полете в директорном режиме управления самолетом без замечаний выполняет операционные действия с системами авионики.

Ключевые слова: автокорреляционная функция; глиссада; закон распределения; спектральный анализ.

Стаття надійшла до редакції 25.03.2020 р.
Прийнято до друку 28.04.2020 р.