



УДК 629.735.33.051.83-52

*Просвірін Д.А.*

Державне підприємство "АНТОНОВ". Україна, м. Київ

**РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ  
ПОВІТРЯНИМ СУДНОМ НА ЕТАПІ ЗАХОДУ НА КУРСОВУ ЗОНУ З ВІЛЬНИМ  
КУТОМ ПІДХОДУ ДО ЗПС**

*Анотація*

*Сформульовано задачу автоматичного керування повітряним судном на етапі заходу на курсову зону. Розроблено і досліджено алгоритми автоматичного керування повітряним судном на етапі заходу на курсову зону з вільним кутом*

*підходу до ЗПС, з програмною реалізацією у середовищі Simulink/Matlab.*

*Abstract*

*Formulated task of aircraft automatic control in the phase of approach to the localizer. Developed*

*and research of aircraft automatic control algorithms in the phase of approach to the localizer with a free angle of approaching to the runway, with realization in Simulink/Matlab are made.*

Сучасний стан авіації характеризується великою інтенсивністю польотів літаків, а отже й складністю при пілотуванні під час виконання різних маневрів, особливо це помітно при здійсненні заходу літака на посадку. Близькість землі і контактування з поверхнею ЗПС потребує високої точності управління кутовими та траєкторними параметрами польоту, а завантаженість пілота та членів екіпажу додатковими функціями значно ускладнює ручне управління. Тому автоматизація цих режимів значно підвищує безпеку польоту та знижує навантаження на членів екіпажу. Особливо ця проблема стала гострою останнім часом, тому що істотно підвищилися вимоги до точності польоту повітряного судна на заданій траєкторії у зв'язку з різким збільшенням насиченості повітряного простору.

Отже, робота по вдосконаленню систем управління польотом літака під час заходу на посадку є актуальною. Задача посадки літака може бути розв'язана за допомогою різних технічних засобів, тому вибір найбільш прийнятної з них може бути зроблено тільки на основі ретельного аналізу можливостей й особливостей відповідної апаратури, знання тактичних і технічних параметрів розглядуваних систем посадки. Все це в цілому вимагає істотного поліпшення траєкторного керування й знаходження нових підходів до оптимізації алгоритмів керування польотом літального апарату. Істотним при цьому є необхідність застосування інформації, що забезпечує найбільшу імовірнісну оцінку стану літального апарату у просторі й виконання заданих вимог по витримуванию встановленої траєкторії польоту й критеріїв оптимальності по точності, економічності й безпеці польоту [1].

Побудова передпосадкового маневру з виходом на посадочну пряму, що співпадає з віссю ЗПС, здійснюється за допомогою навігаційної обчислювальної системи літаководіння (ОСЛ) відповідно до схем, встановлених для даного аеродрому. У разі відмови двох обчислювальних систем літаководіння або переривання передпосадкового маневру по вказаним схемах службою УПР (управління повітряним рухом), захід здійснюється автономно, відповідно до вказівок служби УПР. У останньому випадку для забезпечення польоту в заданому службою УПР коридорі повітряного простору, необхідно витримувати необхідний шляховий кут щодо курсу ЗПС.

Даний кут знаходиться в діапазоні  $\Delta\varphi=55\pm 28^\circ$ , який необхідно витримувати на початковому етапі виходу на курсову зону до виходу в лінійну зону зміни сигналу відхилення від курсової лінії  $E_k$ .

Допустима величина "перерегулювання" сигналу  $E_k$  не повинна перевищувати  $0,05 \text{ РГМ}=0,6^\circ$ .

Якщо заданий магнітний шляховий кут  $\Delta\varphi$  перевищує  $55^\circ$ , то при включенні автоматичного заходу на посадку з великим бічним відхиленням від осі ЗПС ( $Z > 4\div 5 \text{ км}$ ) літак під впливом системи автоматичного управління (САУ) виконує розворот і виходить на курс  $55^\circ$ , а потім при виході в лінійну зону зміни сигналу  $E_k$  виконує "довертання" на вісь ЗПС.

Якщо заданий магнітний шляховий кут менше  $28^\circ$ , літак під впливом САУ виходить на кут підходу  $28^\circ$ . Далі виконує маневр "довертання" на вісь ЗПС.

Перед включенням автоматичного або директорного режиму заходу на посадку слід переконаватися, що літак знаходиться в зоні дії курсового маяка аеродрому посадки.

Описаний вище алгоритм виконується для зменшення "перерегулювання" яке може виникати під час перемикавання з одного режиму польоту на інший, при автоматичному керуванні повітряним судном на етапі заходу на курсову зону з вільним кутом підходу до ЗПС (рис. 1). Це бокове відхилення від рівносигнальної зони курсового радіомаяка подекуди може сягати сотень метрів, а отже призвести до незручностей як при піло-

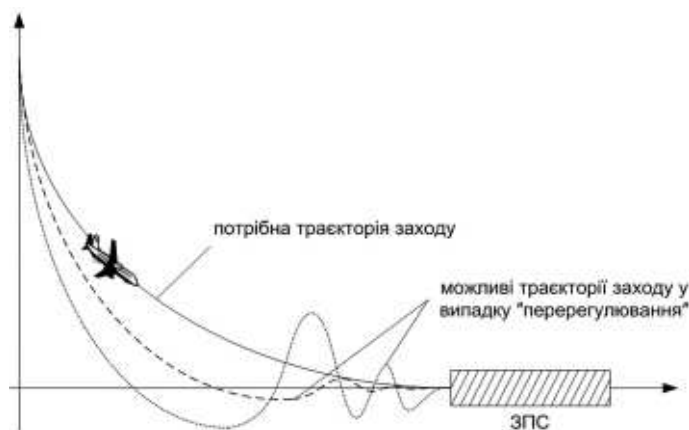


Рис. 1. До пояснення появи "перерегулювання"

туванні так і при здійсненні комерційних перевезень (зайвих витрат палива, незручності пасажирів та ін.). Тому розробка алгоритмів автоматичного керування повітряним судном на зазначеному етапі та їх дослідження є задачею актуальною. А отримані результати ("віяло" графіків) може стати у нагоді під час визначення оптимальних умов для здійснення описаних вище маневрів літака, що значно покращує задачу літаководіння.



Як вимогу до якості кривизни траєкторії обираємо критерій  $I$ :

$$I = \int \Delta Z^2 dt \rightarrow \min,$$

де  $Z(t)$  – аперіодична функція з одним перерегулюванням:

$$|\Delta Z| \leq 100 \text{ м.}$$

Тобто площа кривої між траєкторією заходу та віссю ЗПС повинна бути мінімальною, а значення

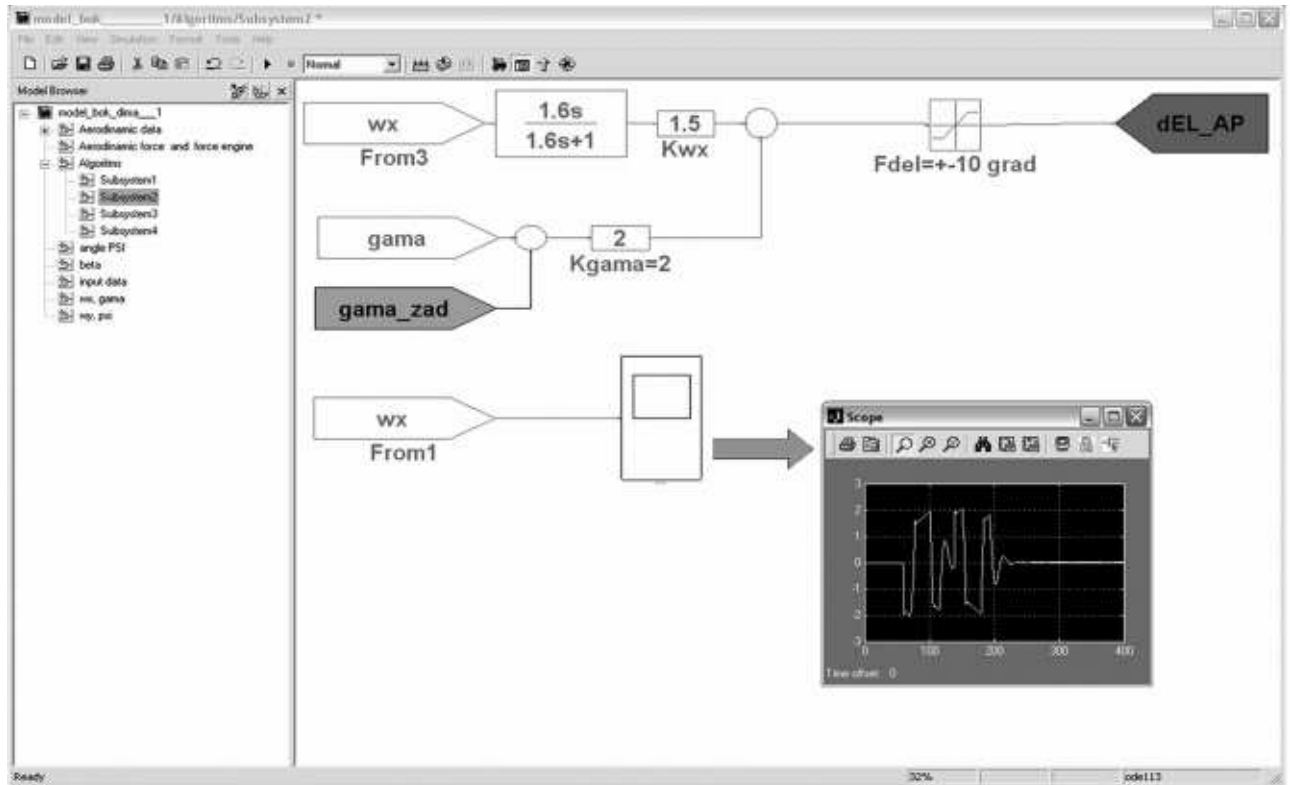


Рис. 2. Закон керування в каналі елеронів

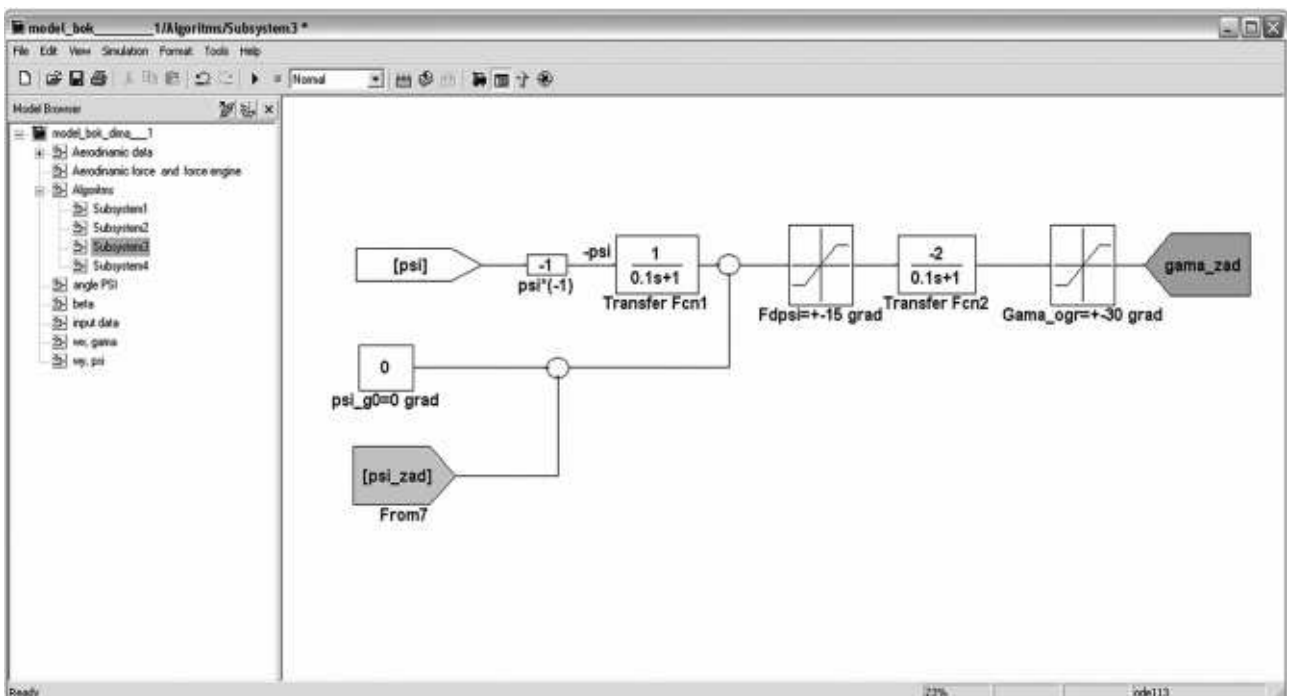


Рис. 3. Представлення заданого кута крену

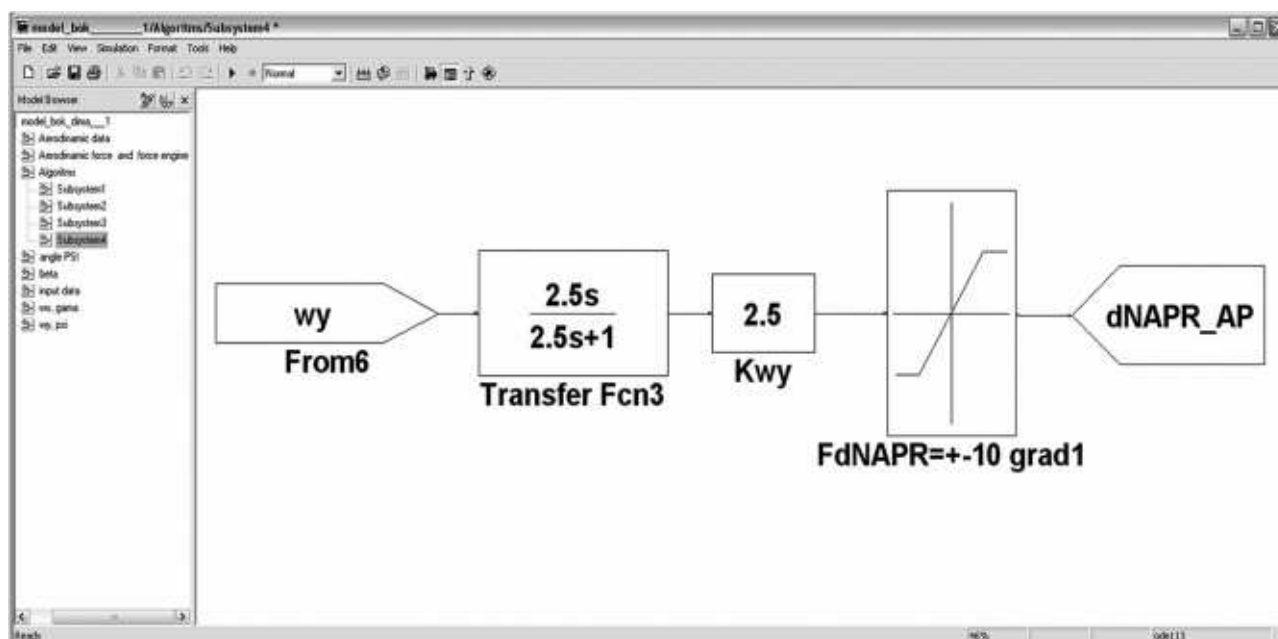
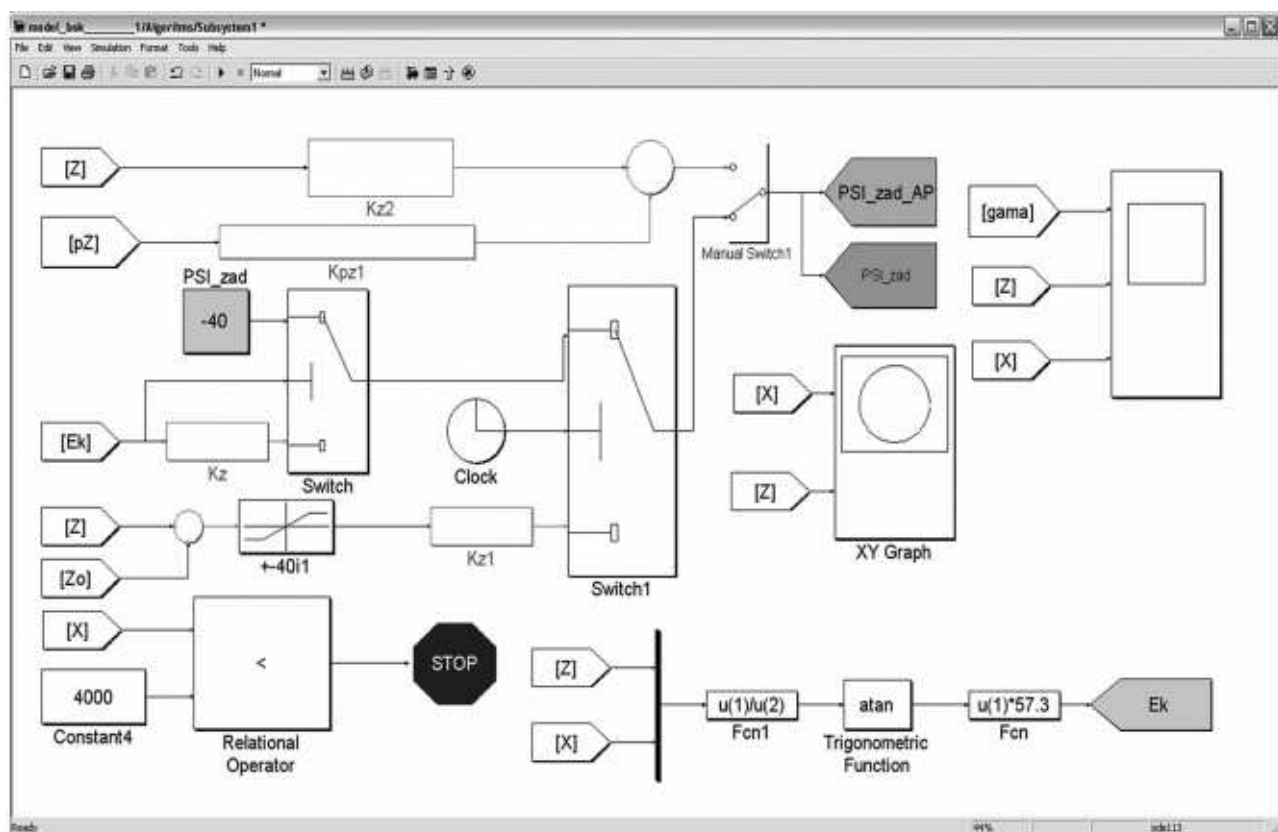


Рис. 4. Закон керування в каналі руля напрямлення

Рис. 5. Алгоритм перемикання закону керування по шляховому куту  $\Psi$  та закону керування по  $E_k$  (реалізоване у Simulink/Matlab)

бокового відхилення від рівносигнальної зони курсового радіомаяка не перевищувати 100 метрів перерегулювання [2].

Внаслідок наявності у літака площини симетрії і припущення, що в межах плавного обтікання його

повітряним потоком зміни параметрів бокового руху практично не викликають змін параметрів поздовжнього руху так само, як зміни параметрів поздовжнього руху не виявляють суттєвого впливу на параметри бокового руху, виникає можливість



роздільного вивчення руху літака у поздовжній та боковій площинах. Для подальшого дослідження розглянемо ймовірні закони керування у цих площинах окремо. Програмну реалізацію законів автоматичного керування виконано у системі блочного імітаційного моделювання динамічних систем Simulink/Matlab [3].

Закон керування в каналі елеронів має вигляд, представлений на рис. 2, 3.

Закон керування в каналі руля направлення має вигляд, представлений на рис. 4, 5.

Отримані закони керування зведемо до одного закону керування, який буде виконувати перемикавання з закону керування по шляховому куту  $\Psi$  на закон керування по  $E_k$ . Компонування отриманих вище результатів наведено на рис. 6.

Після розробки алгоритмів автоматичного керування літаком на етапі заходу на курсову зону з вільним кутом підходу до ЗПС, можна приступити до дослідження отриманих результатів, побудови "віяла" графіків, та визначення найбільш оптимальних умов для здійснення посадки.

Результати дослідження (виконані в програмному середовищі Simulink/Matlab) алгоритмів автоматичного керування повітряним судном на етапі заходу на курсову зону з вільним кутом підходу до ЗПС наведено на рис. 6 в залежності від відстані до ЗПС, куту підходу та маси літака отримано відповідні прямі. Вплив вітру не враховуємо.

Нижче (рис. 7) приведено приклад моделювання випадку заходу на посадку при значному боковому відхиленні та результати згладжування

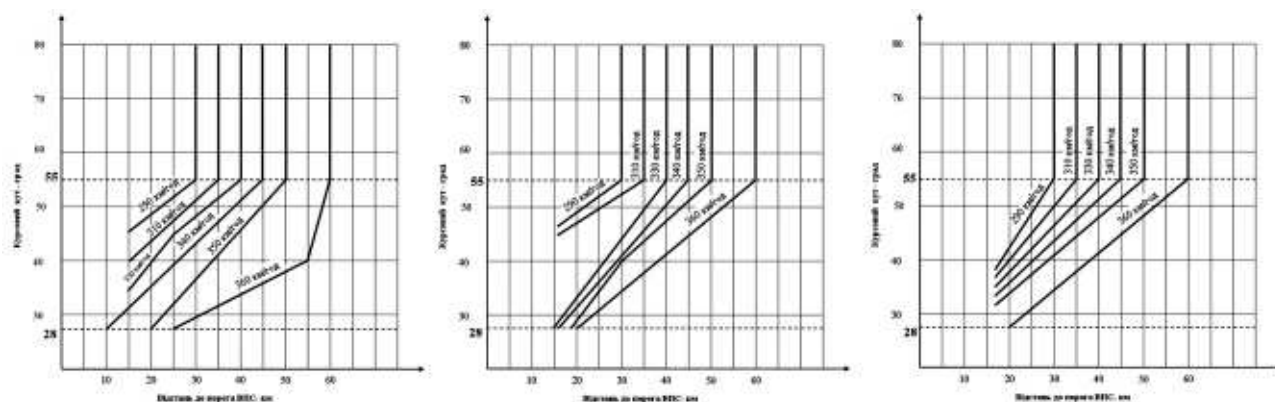


Рис. 6. Залежність кута підходу до курсу ВПС відносно відстані до порогу ВПС при перерегулюванні по  $E_k = 0,60$ .

Вітер  $W_z = 0$  м/сек. Та наступних значеннях  $H_0$  та  $m$ :

а)  $H_0 = 1000$  м,  $m = 70000$  кг., б)  $H_0 = 600$  м,  $m = 60000$  кг., в)  $H_0 = 1000$  м,  $m = 80000$  кг

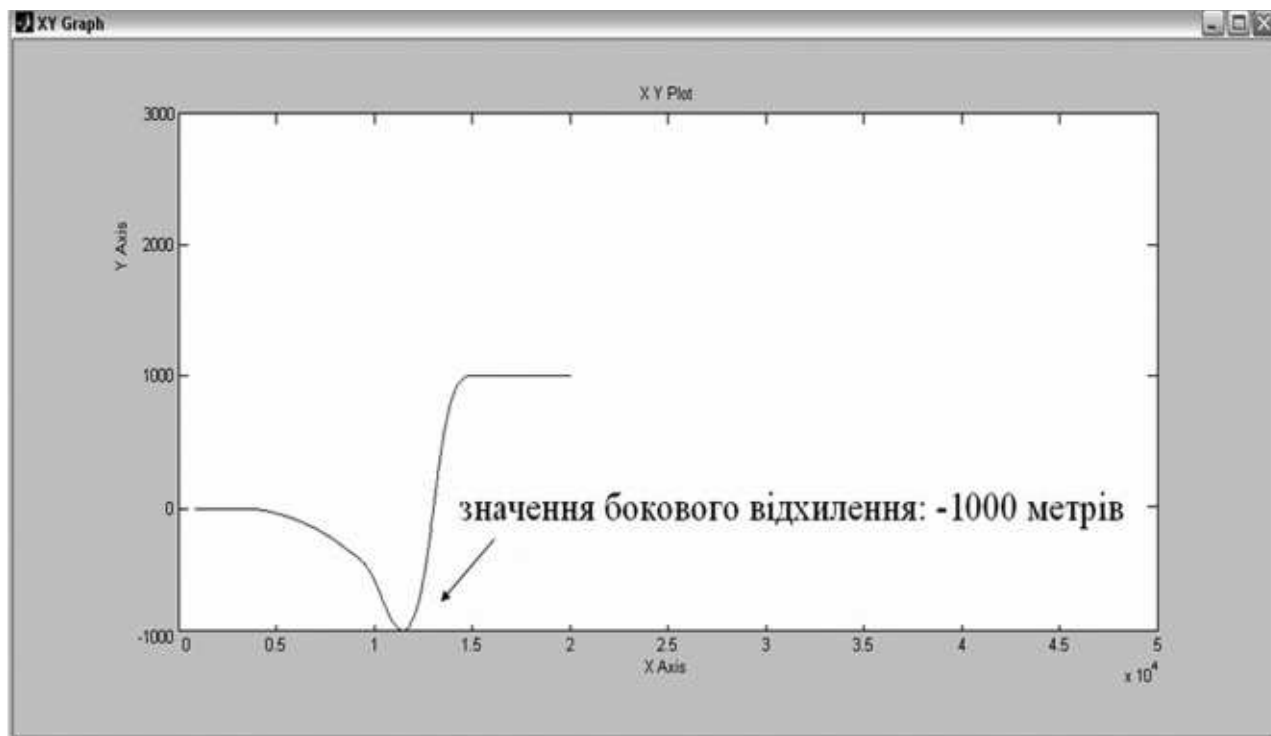


Рис. 4. Закон керування в каналі руля направлення

траєкторії заходу на посадку в вертикальній площині для різних значень шляхового кута та відстаней до ЗПС (рис. 8).

З отриманих результатів видно, що моделювання було проведене в межах допустимих значень (відхилення елеронів не більше  $\pm 150$  відхилення руля направлення не більше  $\pm 20$  (рис. 9) та не перевищили вимог критерію щодо якості траєкторії заходу на курсову зону з вільним кутом підходу до ЗПС.

В результаті виконання моделювання розроблено і досліджено алгоритми автоматичного керування пасажирським літаком на етапі заходу на курсову зону з вільним кутом підходу до ЗПС. Показано та проаналізовано (на прикладі нелінійної моделі бічного руху ПС і нелінійної моделі контуру автоматичного управління) можливості згладжування "перерегулювання", що може виникати при перемиканні з одного режиму на інший при підході до

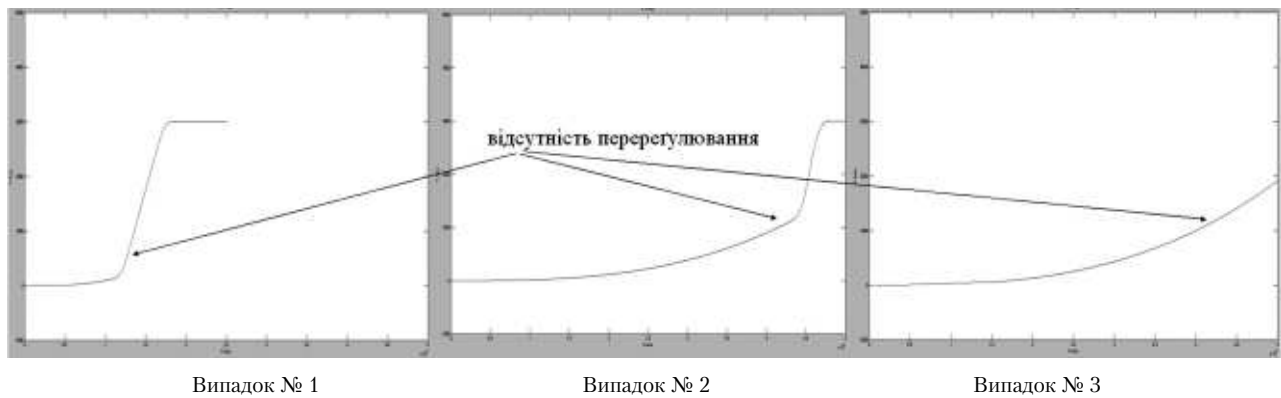


Рис. 8. Вирівнювання траєкторії заходу на посадку (при різних значеннях заданого шляхового кута)

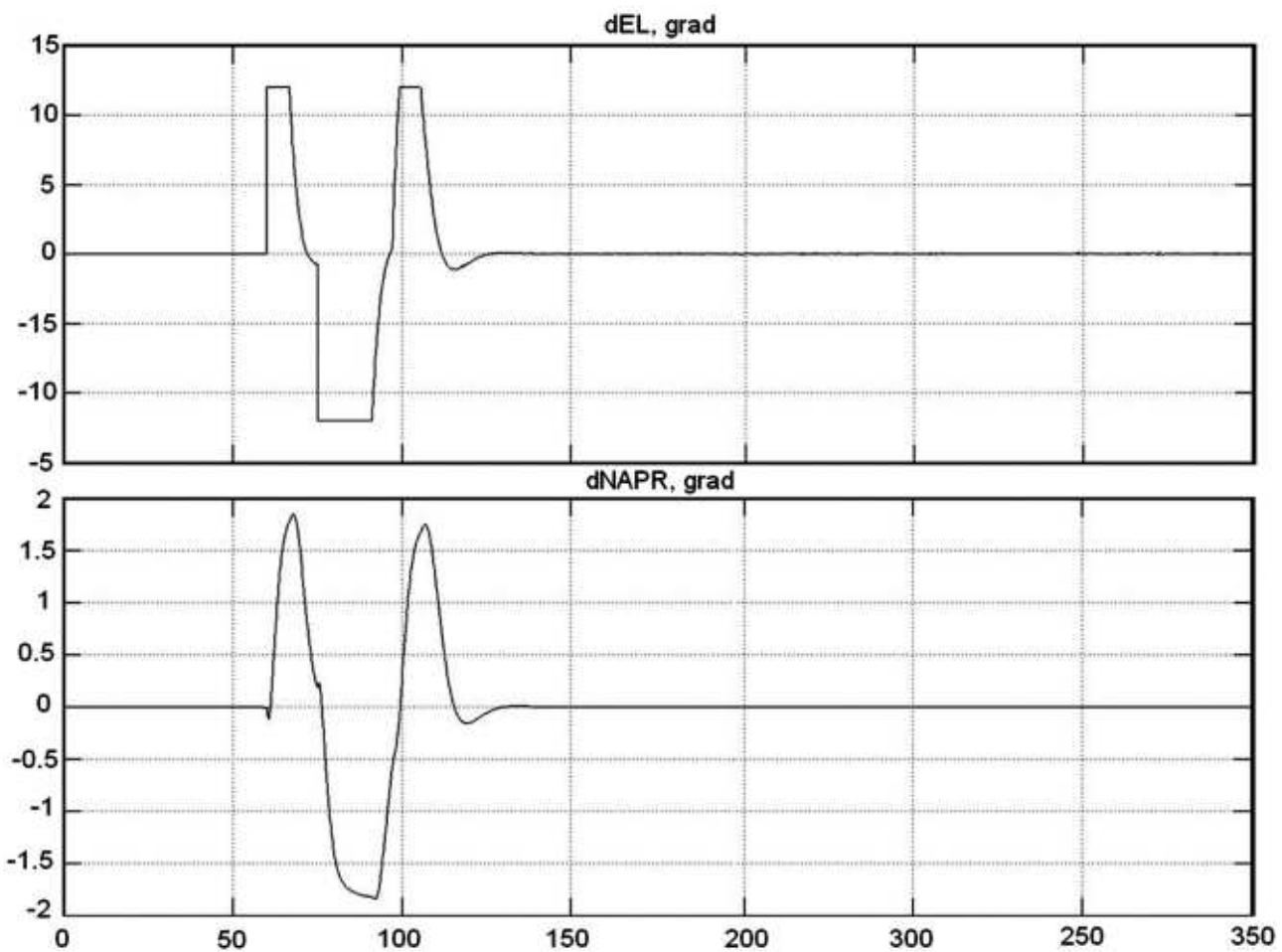


Рис. 9. Відхилення елеронів та руля направлення (для випадку № 2)



ЗПС та по кутовому відхиленню літака від рівно-сигнальної зони курсового радіомаяка (КРМ).

Отримані результати ("віяло" графіків) можуть стати у нагоді під час визначення оптимальних умов для здійснення описаних вище маневрів літака, що значно покращує задачу літаководіння, для розробки технічних вимог на систему автоматичного керування пасажирським літаком на етапі заходу на курсову зону, а також для поглибленого вивчення та розвитку розробленої нелінійної моделі через постановку нових задач, таких як захід на посадку при сильному боковому вітрі та стабілізація літака в даних умовах, відмови двигуна під час входу в курсову зону та ін.

## Література

1. *Создание* и применение математических моделей самолетов. Под ред. Белоцерковского А.С. — М.: Наука, 1984. — 144 с.
2. *Просвірін Д.А. Котниєва-Просвіріна Н.В.* Використання середовища Matlab, як засобу для моделювання та візуалізації польоту літака, для аналізу динаміки його руху на етапі заходу на посадку // Технологические системы, № 2(55), 2011. — С. 54–58.
3. *В. Дьяконов.* MATLAB: учебный курс. — СПб: Питер, 2001. — 560 с.