

УДК 629.735.072.8.08:004(043.2)

І.В. Остроумов, к.т.н.

**ЕЛЕКТРОННИЙ ТРЕНАЖЕР СИСТЕМИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ ЛІТАКІВ**

Національний авіаційний університет  
E-mail: ostroumovv@ukr.net

*Наведено принцип побудови електронного тренажера системи попередження зіткнень літаків у повітрі на основі доступу через комп'ютерну мережу Інтернет. Для моделювання конфліктних ситуацій запропоновано використовувати спрощену модель повітряного руху.*

*The structure of TCAS training software has been represented. E-learning software based on web technology. A simple model of air traffic has been proposed for modeling of conflict situations.*

*Приведен принцип построения электронного тренажёра системы предупреждения столкновений самолетов в воздухе на основе доступа через компьютерную сеть Интернет. Для моделирования конфликтных ситуаций предложено использовать упрощенную модель воздушного движения.*

**Постановка проблеми**

У процесі підготовки технічних фахівців приділяють увагу ознайомленню з будовою та основними принципами роботи певних радіотехнічних систем повітряного корабля.

Популярністю користуються тренажерні комплекси, що дозволяють моделювати функції певних систем. Ці системи є програмним забезпеченням, що розміщується на персональному комп'ютері.

За допомогою інтерфейсу програми користувач може:

- ознайомитися з принципами роботи та функціями системи;
- дослідити електричні сигнали в різних місцях;
- виконати тестування та інші завдання.

В основу подібних комп'ютерних програм покладено математичну модель певної системи, відтворену подібно до реального обладнання, що застосовується на повітряному кораблі.

Однією з основного пілотажно-навігаційного обладнання повітряного корабля є система попередження зіткнень повітряних кораблів (Traffic Collision Avoidance System – TCAS). З 1 січня 2005 р. повітряні кораблі з кількістю пасажирів більше 15 чи загальною злітною вагою більше за 5,7 т, що виконують польоти в Європейському повітряному просторі, мають обладнутися системою TCAS II [1].

TCAS II забезпечує постійний аналіз повітряного руху навколо повітряного корабля та у випадку виявлення загрози зіткнення з іншим повітряним кораблем. TCAS активізує спеціальні алгоритми розв'язання конфліктної ситуації.

Пілотам обох повітряних кораблів надаються візуальні та звукові рекомендації щодо уникнення можливого зіткнення шляхом розведення повітряних кораблів у вертикальній площині зі збереженням безпечної відстані між літаками. Рекомендації TCAS є обов'язковими до виконання пілотами.

Знання принципів функціонування і побудови та набуття навичок реакції на рекомендації TCAS у певній ситуації повітряного руху є важливим питанням, що розглядається у процесі підготовки пілотів та диспетчерів організації повітряного руху. Важливість TCAS зумовило появу спеціалізованих комп'ютерних навчальних комплексів, спрямованих на вивчення принципів функціонування та набуття навичок роботи з системою.

Користувачам пропонуються такі навчальні комплекси:

- Arinc TCAS Training [2];
- Sun flight avionics TCAS training [3];
- АСДОиКЗ TCAS 2000 [4];
- АССS Training [5].

Більшість із наведених навчальних програм побудовані за принципами електронного підручника.

Вони містять детальний опис системи з роз'ясненням принципів функціонування, аудіо- та відеоматеріали, що відображають роботу TCAS у конкретних умовах. У будові навчальних програмах [2–5] немає модуля моделювання основних функцій системи.

Розробники програм обмежуються використанням мультимедійних матеріалів, що відображають роботу системи тільки в певних випадках.

**Мета** роботи – розроблення структури електронного навчального комплексу, направленого на вивчення TCAS з вбудованим електронним тренажером системи, що забезпечував би моделювання основних її функцій.

### **Будова електронного навчального комплексу**

Побудова навчальних комп'ютерних програм за принципом розподілених мультимедійних підпрограм з використанням технології Adobe Flash забезпечує одночасний доступ великої кількості користувачів до навчальних матеріалів.

Застосування сучасних мультимедійних технологій у будові дозволяє користуватися електронним тренажером незалежно від установленної операційної системи користувача та на будь-якому мобільному пристрої.

Доступ до навчальних матеріалів організовується за допомогою комп'ютерної мережі Інтернет з оптимізацією об'єму даних, необхідних для функціонування, що завантажуються [6].

Електронний навчальний комплекс повинен містити тренажерний комплекс, який дозволяв би досліджувати роботу TCAS у максимально наближених до реальних умовах.

Відповідно до цього будова мультимедійного тренажерного комплексу повинна містити:

- модуль моделювання повітряного руху;
- модулі моделювання алгоритмів функціонування TCAS різних виробників;
- модуль моделювання електронної системи відображення інформації;
- графічний інтерфейс взаємодії користувача з моделюючими підпрограмами.

### **Моделювання повітряного руху**

Вихідними даними для роботи електронного навчального комплексу TCAS є інформація про повітряний рух навколо повітряного корабля.

Моделювання повітряного руху потребує розв'язання питань моделювання руху власного повітряного корабля та генерування сторонніх повітряних кораблів, з якими може виникнути конфліктна ситуація.

Моделювання руху власного повітряного корабля зводиться до обчислення координат місцезнаходження за відомими складовими вектора швидкості:

$$\begin{vmatrix} x_{vi} \\ y_{vi} \\ h_{vi} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_{v(i-1)} \\ y_{v(i-1)} \\ h_{v(i-1)} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} V_x \\ V_y \\ V_{vh} \end{vmatrix} t,$$

де  $x_v$ ,  $y_v$ ,  $h_v$  – координати місцезнаходження власного повітряного корабля;

$V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_h$ , – складові вектора швидкості;

$t$  – час.

Вихідними даними є висота польоту повітряного корабля та складові швидкості, що задаються на початку роботи з електронного навчального комплексу, а координати місцезнаходження довільні.

Іншою складовою електронного тренажера є модуль моделювання зустрічного повітряного руху, з яким може виникнути конфліктна ситуація.

Отримана повітряна ситуація стане вихідною інформацією для модулів, що реалізують алгоритми роботи TCAS.

Для моделювання конфліктної ситуації в повітрі необхідно змодельовати зустрічний повітряний рух, траєкторія польоту якого буде перетинатися з власним повітряним кораблем.

Випадковим чином необхідно вибрати положення повітряного корабля в межах дії TCAS так, щоб зустрічний повітряний корабель з'явився на межі дії системи.

Крім того, змодельований повітряний корабель має розташовуватися таким чином, щоб потрапити в зону відображення дисплея (рис. 1).

Для цього використаємо зв'язану з власним повітряним кораблем систему координат розміщену так, як показано на рис. 1.

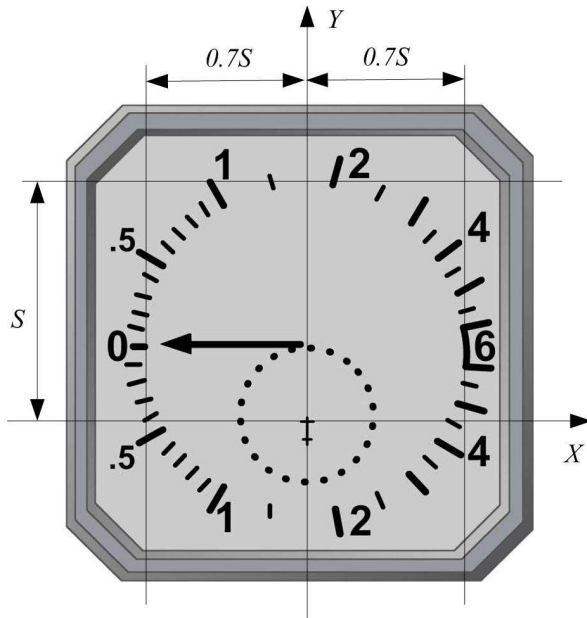


Рис.1. VSI/TDA дисплей TCAS

Це забезпечить постійну наявність символу повітряного руху на дисплеї. Тоді положення зустрічного повітряного корабля можна визначити так:

$$x_0 = S(1,4N(0,1) - 0,7),$$

$$y_0 = S,$$

де  $S$  – масштаб відображення інформації;

$N(0,1)$  – випадкова величина, вибрана за нормальним законом розподілу.

Висота вибирається з формули:

$$h = h_v - h_m + N(0,2h_m),$$

де  $h_v$  – висота польоту власного повітряного корабля;

$h_m$  – максимально можлива різниця висот між повітряними кораблями.

Траєкторію руху зустрічного повітряного корабля визначають для випадку створення загрози зіткнення літаків.

Для визначення траєкторії зустрічного руху повітряного корабля використаємо сценарій простого випадку у вигляді прямолінійної траєкторії.

Траєкторія повинна починатися з вибраної точки положення зустрічного руху та перетинати траєкторією руху власного повітряного корабля (рис. 2).

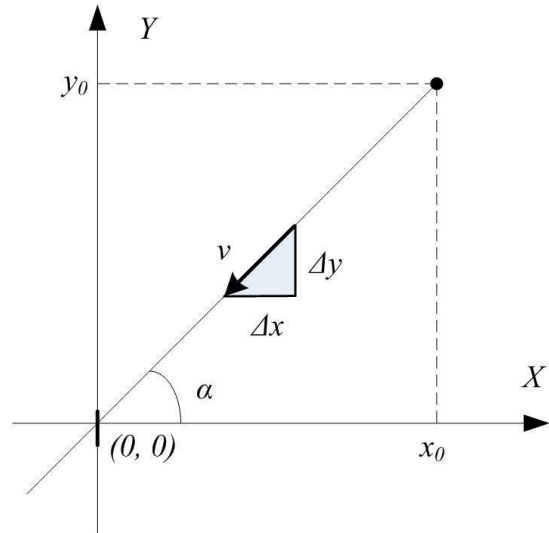


Рис. 2. Моделювання траєкторії руху

Рівняння траєкторії зустрічного руху матиме вигляд:

$$y = \frac{y_0 x}{x_0}.$$

Моделювання повітряного руху здійснюється моделюванням дискретного з певним інтервалом часу  $t$  пересування повітряного корабля від одного місцезнаходження до іншого з певною швидкістю  $V$  відповідно до рівняння траєкторії:

$$\begin{cases} x_i = x_{i-1} - \Delta x; \\ y_i = y_{i-1} - \Delta y, \\ \Delta x = Vt \cos(\alpha); \\ \Delta y = Vt \sin(\alpha), \end{cases}$$

де  $\alpha = \operatorname{tg} \left( \frac{y_0}{x_0} \right)$  – кут нахилу траєкторії.

Швидкість зближення повітряних кораблів можна обчислити у такий спосіб:

$$V = \frac{V_v}{\cos(90 - \alpha)} + V_{\text{int}},$$

де  $V_{\text{int}}$  – швидкість зустрічного повітряного корабля.

У загальному випадку  $V_{int}$  вибирається випадковим чином проте у межах не більше та не менше 10% від швидкості польоту власного повітряного корабля:

$$V_{int} = (V_v - 0,1V_v) + N(0,02V_v).$$

### **Інтерфейс взаємодії користувача з моделюючими програмами**

У основу електронного тренажера закладено алгоритми функціонування TCAS, які забезпечують виявлення повітряних кораблів поблизу та відстежують їх рух і положення [7].

Якщо зустрічний повітряний рух знаходиться безпосередньо близько від власного повітряного корабля, система попереджує пілота про це за допомогою мовних та візуальних повідомлень.

Навколо власного повітряного корабля система будує певну «захисну» повітряну зону, розміри якої залежать від висоти польоту. TCAS безперервно виконує аналіз траєкторій руху повітряних кораблів, що знаходяться поблизу.

У випадку виявлення загрози виникнення конфліктної ситуації між повітряними кораблями у вигляді можливого перетину захисних зон система надає рекомендації щодо її вирішення.

На основі критерію, що базується на визначенні часу до найближчого зближення повітряних кораблів, система видає різні повідомлення щодо усунення конфліктної ситуації.

Рекомендації TCAS спрямовані на розведення повітряних кораблів у вертикальній площині зі збереженням безпечної відстані між ними.

У ході моделювання видачі рекомендацій TCAS необхідно враховувати особливості побудови систем різних виробників та різних моделей.

Відмінності стосуються різних підходів до визначення рекомендованої вертикальної швидкості розведення повітряних кораблів у ході вирішення конфліктної ситуації.

Важливим елементом електронного навчального комплексу TCAS є не тільки відображення візуальних повідомлень, а і генерація відповідних до ситуації мовних повідомлень:

- "Traffic – Traffic";
- "Monitor vertical speed";
- "Climb – Climb";
- "Descend – Descend";
- "Climb, crossing climb – Climb, crossing climb";
- "Descend, crossing descend – Descend, crossing descend";
- "Increase climb – Increase climb";
- "Increase descent – Increase descent";
- "Climb, climb now! – Climb, climb now";
- "Descent, descent now! – Descent, descent now!";
- "Adjust vertical speed, adjust";
- "Maintain vertical speed, maintain";
- "Maintain vertical speed, crossing maintain";
- "Clear of conflict".

Блочна структура побудови алгоритму роботи TCAS дозволяє змоделювати відмови різних складових системи:

- відмова системи відображення інформації;
- відмова індикатора вертикальної швидкості;
- відмова антенної системи;
- відмова пульта керування;
- відмова літакового відповідача;
- неможливість визначення RA;
- неможливість визначення TA;
- відмова TCAS.

Однією з головних задач електронного навчального комплексу є формування розуміння пілотом ситуації, що склалася у повітрі на основі інформації від TCAS та відпрацювання реакцій на команди системи.

Електронний навчальний комплекс має надавати можливість користувачу побачити принцип дії системи та навчитися сприймати та виконувати рекомендації TCAS.

Графічний інтерфейс електронного навчального комплексу відтворює пульт керування TCAS та систему відображення інформації.

Інтерактивна побудова інтерфейсу пульта керування дозволяє виконувати налаштування необхідні для роботи системи та керувати режимами роботи. TCAS різних виробників має різні режими роботи, проте основними з них є режими:

- тільки повідомлень про повітряний рух;
- надання рекомендацій з вирішення конфліктної ситуації;
- тестування;
- тільки працюючого літакового відповідача.

Оскільки відповідач літака та TCAS є зв'язаними системами, то для керування їх роботою та режимами використовують комплексний пульт керування.

Виконані налаштування за допомогою інтерактивного пульта керування TCAS передаються в модуль моделювання алгоритмів роботи системи.

Рекомендації TCAS та інформація про повітряний рух відображаються за допомогою одного з дисплеїв:

- суміщеного індикатора вертикальної швидкості та інформації TCAS;
- електронної системи відображення інформації;
- модифікованого дисплея радіолокаційної станції.

Моделювання системи відображення складається з двох задач:

- моделювання відображення рекомендацій TCAS, що видаються на шкалі індикатора вертикальної швидкості;
- моделювання відображення повітряного руху навколо повітряного корабля.

Відображення символів повітряного руху на індикаторі вимагає врахування масштабу відображення, який задається на пульті керування. Відповідно до цього відмітки повітряного руху перераховуються в системі координат дисплея з врахуванням масштабу за формулами переходу:

$$x_d = \frac{l}{1,4Z} x;$$

$$y_d = \frac{l}{1,4Z} y,$$

де  $x_d$ ,  $y_d$  – координати відмітки повітряного корабля в системі координат, зв'язаної з дисплеєм;

$l$  – розмір зони відображення;

$Z$  – масштаб.

Для розведення повітряних кораблів у вертикальній площині за рекомендаціями TCAS користувач повинен змінювати вертикальну швидкість польоту, виконуючи підказування системи.

Рекомендовані межі допустимої вертикальної швидкості відображаються за допомогою відповідних різнокольорових дуг на шкалі приладу.

Інтерфейс електронного тренажера системи попередження зіткнень складається з таких елементів (рис. 3):

- пульта керування;
- дисплея;
- органів керування вертикальною швидкістю;
- вікна відображення інформації TCAS.

### Висновки

Розроблений електронний тренажер системи попередження зіткнень літаків спрямований на вивчення принципів функціонування системи та набуття навичок взаємодії з системою керування та відображення.

Модуль моделювання зустрічного повітряного руху відтворює простий сценарій конфліктної ситуації з вибором випадкової траєкторії руху.

Це дозволяє користувачу стикатися кожен раз із різною ситуацією та відпрацьовувати реакцію на різні повідомлення TCAS.

Інтерактивний інтерфейс електронного навчального комплексу дозволяє набути навички роботи з системою TCAS та відпрацювати різні варіанти відмов системи [6].

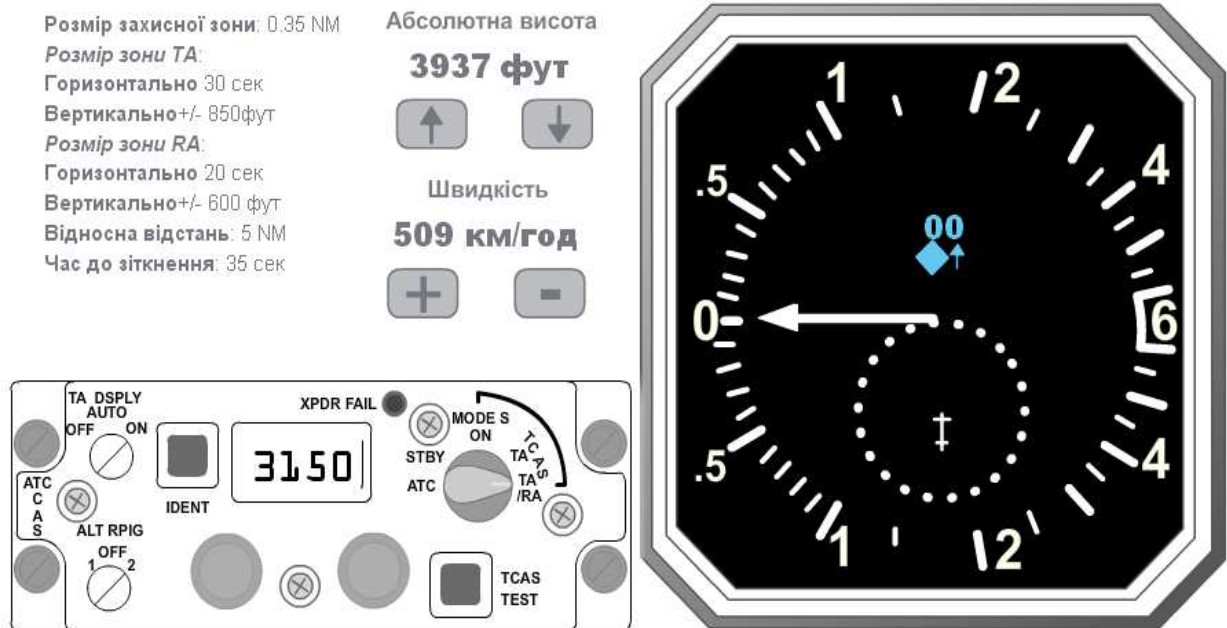


Рис. 3. Інтерфейс електронного тренажера

Побудова електронного навчального комплексу, орієнтована на забезпечення доступу через мережу Інтернет, дозволяє користуватися ним великій кількості користувачів без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення на комп'ютері. Крім того, доступ до навчальних ресурсів забезпечується з будь-якого мобільного пристрою.

### Література

1. *Overview of ACAS II / TCAS II*. – Eurocontrol – 2009. – 32 p.

2. *Arinc TCAS Training program*. – Режим доступу: <http://www.arinc.com/tcas/training.html>.

3. *Sun flight avionics training*. – Режим доступу: <http://www.electronicflight.com>

4. *Автоматизированная система дистанционного обучения и контроля знаний TCAS 2000 (Change 7)*. – Режим доступу: <http://www.sisadminov.net/tcas/>

5. *ACSS Training*. – Режим доступу: <http://training.acsscustomerservices.com>

6. *Електронний навчальний комплекс з вивчення системи попередження зіткнень літаків*. – Режим доступу: <http://www.ans.nau.edu.ua/tcas>

7. *Introduction to TCAS II Version 7 / Federal Aviation Administration – U.S. department of transportation – 2000*. – 45 p.

Стаття надійшла до редакції 02.11.10.