

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни «Авіоніка»
вибіркових компонент
освітньої – професійної програми першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти

***272 Авіаційний транспорт
(Аеронавігація)***

**за темою № 14 - Бортові системи попередження зіткнень (TCAS) та системи
попередження наближення землі (TAWS)**

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.23 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.23 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.23 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023 № 1

Розробник: викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Стущанський Ю.В.

Рецензенти:

1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.
2. Заступник директора з ОЛР, командир авіаційного загону ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Гетьман Ю.Ю.

План лекції:

1. Призначення та принцип дії бортові системи попередження зіткнень (TCAS).
2. Особливості індикації та експлуатації бортової системи попередження зіткнень (TCAS).
3. Призначення та принцип дії системи попередження наближення землі (TAWS).
4. Особливості індикації та експлуатації системи попередження наближення землі (TAWS).

Рекомендована література:**Основна**

1. В.П. Харченко, І.В. Остроумов. Авіоніка. Навчальний посібник. К.: НАУ, 2013.-272с.
2. О.О. Чужа. Авіаційні радіоелектронні системи / О.О. Чужа, О.Г. Ситник, В.М. Хімін, О.В. Кожохіна. – К.:НАУ, 2017. – 264с.
3. В.О. Рогожин. Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден. / В.О. Рогожин, В.М. Синеглазов, М.К. Філяшкін. Підручник. – К.: НАУ, 2005. – 316 с.
4. В.П. Харченко Авіоніка безпілотних літальних апаратів / В.П. Харченко, В.І.Чепіженко, А.А.Тунік, С.В.Павлова. – К.: ТОВ «Абрис-принт», 2012. – 464 с.
5. А.В. Скрипець. Теоретичні основи експлуатації авіаційного обладнання. Навч. посіб. / А.В. Скрипець. – К.:НАУ, 2003. – 396с.
6. А.П. Бамбуркін, В.Н. Неделько, М.І. Рубец. Аеронавігаційні радіотехнічні системи. Навчальний посібник/ Під.ред. М.І. Рубця — Кіровоград. Вид-во ГЛАУ, 2002.- 520с.
7. Ю.В. Стуцанський. Комп'ютерні інтегровані системи авіоніки. Навчальний посібник. КЛК НАУ. 2011. – 182 с.

Допоміжна

1. Керівництво з льотної експлуатації вертольота Мі-2 - М.: Департамент повітряного транспорту, 1996.
2. Конспекти лекцій з базової підготовки технічного персоналу згідно вимог Part-66, Part-147 (Модуль 3, 4, 5, 13, 14)

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. Системи індикації ПС. <https://studfiles.net/preview/6810198/page:28/>
2. Бортова система попередження зіткнень
http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/TM058196.htm
3. HELLI — TAWS http://www.fcs-modification.com/?go=news&n=6&new_language=0

Текст лекції

1. Призначення та принцип дії бортові системи попередження зіткнень (TCAS)

Системи попередження небезпечних зближень літаків у повітрі (Traffic Collision Avoidance System – TCAS) призначені для допомоги пілоту ПК у запобіганні зіткненням у повітряному просторі.

Виділяють чотири типи систем TCAS:

TCAS I. Повідомляє пілота ПК про повітряний рух навколо (ТА). Система TCAS I являє собою систему дистанційного спостереження, що періодично випромінює сигнали запиту, які приймаються іншими ПК. Літакові відповідачі режиму «S» оброблюють прийнятий сигнал та надсилають сигнал-відповідь, що містить інформацію про ПК. Ця інформація приймається на борту ПК, оброблюється і відображається на дисплеї пілота. Крім того, оцінюються параметри траєкторії руху та можливість зіткнення, що також відображається відповідними кодованими символами.

Сучасні системи TCAS I орієнтовані на використання концепції ADS-B для інформування пілота про ПК, які перебувають поблизу і можуть становити загрозу зіткнення. Відповідно до цього бортове обладнання приймає сигнали від літакових відповідачів режиму «1090 ES» та вказує пілоту місцеположення ПК, який надіслав його.

TCAS I широко застосовується у системах авіоніки легкої авіації. Зокрема є обов'язковою для засобів легкої авіації США (з кількістю пасажирів від 11 до 30). Загалом на засобах легкої авіації застосовують інтегровані системи і зазвичай функцію TCAS I виконує бортовий обчислювальний комплекс. Застосування комбінованої системи, що виконує усі пілотажно-навігаційні функції, дозволяє зменшити вартість, габаритні розміри та масу обладнання.

TCAS II. Забезпечує огляд навколишнього повітряного простору на випадок виявлення інших ПК з відображенням їх на дисплеї (ТА). Крім того, TCAS II оцінює потенційну можливість зіткнення у повітрі з іншими ПК і у випадку наявності такої загрози формує повідомлення (RA) для обох пілотів, що дозволяє розвести ПК у вертикальній площині й уникнути зіткнення.

TCAS III. Проект TCAS III на додаток до консультативної інформації про повітряний рух (ТА) має надавати рекомендації щодо уникнення загрози зіткнення (RA) у вертикальній та горизонтальній площинах.

Уникнення загрози зіткнення у горизонтальній площині тісно пов'язано з точністю визначення місцеперебування конфліктуючих ПК. Застосовувані принципи дистанційного спостереження у побудові систем TCAS не забезпечують потрібної точності визначення відносних кутових

координат. Тому уникнення конфлікту виконанням маневру в горизонтальній площині є дуже ризикованим.

Оскільки виявилось технічно складно створити та впровадити цей тип TCAS, проект було відхилено.

TCAS IV. Проект системи TCAS IV передбачає використання GNSS з функціональними доповненнями EGNOS (WAAS) та інерціальної системи навігації для отримання точної інформації про місцезнаходження ПК. На основі точних координат місцезнаходження стане можливим генерування траєкторії маневру для уникнення конфліктної ситуації у горизонтальній та вертикальній площинах.

Проект TCAS IV ґрунтується на використанні концепції ADS-B та цифрових мереж передавання даних для обміну інформації між конфліктуєчими ПК.

Одним з можливих варіантів реалізації концепції TCAS IV є створення функції попередження зіткнень ПК у складі обчислювальної системи літаководіння (FMS).

У зв'язку з неготовністю аеронавігаційного забезпечення польотів до вимог TCAS IV ця концепція залишається у проектній формі. Крім того, необхідним є впровадження доступних цифрових каналів обміну даними, глобальне розгортання концепції ADS-B та зменшення похибок системи глобальної супутникової навігації, що потребує значних затрат часу, пов'язаних з розміщенням наземної інфраструктури станцій диференціальних поправок.

Натепер TCAS II є обов'язковою системою для літаків цивільної авіації:

- у Європі (TCAS II v.7.1) з 01.01.2005 для ПК з кількістю пасажирів більшою за 11 або з максимальною злітною масою понад 5700 кг
- у США (TCAS II v.6.04) з 1994р. із загальною кількістю пасажирів більшою ніж 30. ICAO рекомендує застосовувати систему TCAS II з 01.01.2003 для польотів у глобальному масштабі.

Принцип дії TCAS II. У центрі системи міститься обчислювальний блок. Він формує сигнали запиту на частоті 1030 МГц, подібні досигналів запиту вторинних радіолокаційних станцій (РЛС) та випромінює їх через дві антени, розміщені зверху й знизу ПК. Ці сигнали приймаються на іншому ПК, що перебуває у зоні дії TCAS, за допомогою антен літакового відповідача.

Літаковий відповідач формує сигнал відповіді та випромінює його на частоті 1090 МГц. Антени TCAS приймають сигнал-відповідь і визначають напрямок його надходження. Обчислювач TCAS визначає час, за який сигнал повернувся, та оцінює відстань до ПК.

Точність визначення відстані становить $4,2 \cdot 10^{-6}$ м. Обчислювач TCAS спостерігає за переміщеннями сусідніх ПК і прогнозує їх траєкторії руху. На наступному етапі перевіряється можливість зіткнення власного ПК із прогнозованими траєкторіями. Дані про висоту польоту TCAS отримує від

барометричного висотоміра системи повітряних сигналів, а про висоту інших ПК – з відповідей літакових відповідачів.

Система TCAS формує навколо ПК деяку уявну просторову зону повітряного простору, яка називається зоною зіткнення. Розміри цієї зони змінюються залежно від висоти польоту.

Розрахунки TCAS за допомогою алгоритмів забезпечують захист цієї зони від потрапляння в неї іншого ПК.

TCAS постійно веде спостереження за повітряним простором навколо ПК через випромінювання сигналів запиту літакових відповідачів та приймання сигналів відповіді від інших ПК. За отриманою інформацією про повітряний рух TCAS складає прогноз траєкторії польоту кожного виявленого літака. Час оновлення інформації TCAS становить 1 с. TCAS формує дві уявні зони повітряного простору навколо ПК:

- аварійну зону (Warning Area);
- зону попередження (Caution Area).

2. Особливості індикації та експлуатації бортової системи попередження зіткнень (TCAS)

В основу алгоритмів роботи TCAS покладено часовий критерій, відповідно до якого у випадку виявлення майбутньої конфліктної ситуації, залежно від часу до її настання, видаються відповідні попередження про повітряну ситуацію (ТА) або рекомендації щодо усунення конфліктної ситуації (RA). При цьому враховується час, необхідний пілоту для

виконання маневру з усунення конфліктної ситуації, що склалася.

Довжина зони попередження становить 20–48 с польоту від оціненого системою TCAS часу вторгнення конфліктуючого літака в зону зіткнення.

Довжина аварійної зони становить 15–35 с польоту від часу вторгнення в зону зіткнення. Часові та висотні розміри цих зон різні, що залежить від висоти польоту.

Якщо ПК увійшов у зону попередження, то TCAS сприймає його як конфліктний літак і видає попередження про повітряну ситуацію (Traffic Advisory – ТА). Це повідомлення складається з голосового та візуального попереджень, які допомагають пілоту виконувати візуальний пошук та ідентифікувати літак.

Якщо конфліктний літак перетинає аварійну зону, TCAS видає рекомендацію (Resolution Advisory – RA) щодо вирішення конфліктної ситуації, що складається. Рекомендації RA можуть бути коригувальними, попереджувальними або послаблювальними.

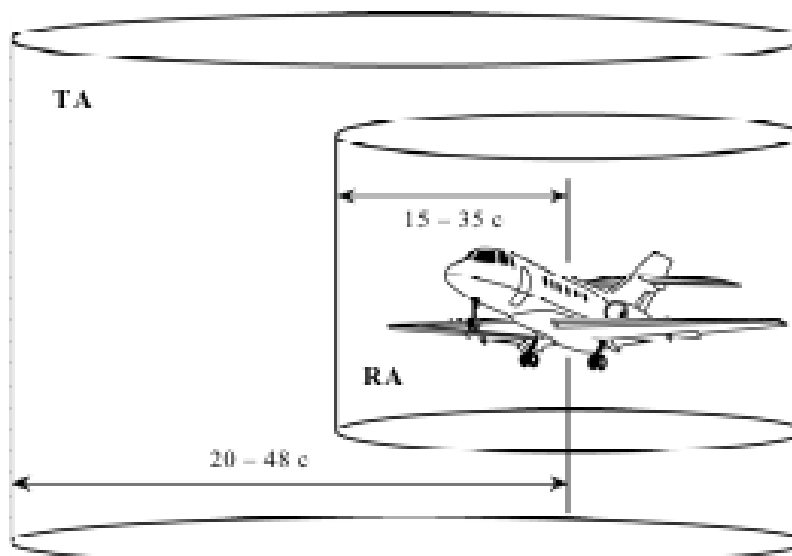


Рисунок 1 – Зона дії TCAS

Коригувальні RA вказують на виконання певного маневру у вертикальній площині для вирішення конфліктної ситуації. Повідомлення вказують пілоту на неприпустимі значення вертикальної швидкості.

Попереджувальні та послаблювальні RA намагаються привернути увагу пілота до слідкування за вертикальною швидкістю. Пілот повинен витримувати значення вертикальної швидкості у зеленій зоні і якнайменше відхилятися від запланованої траєкторії руху.

Інформація про місцезоположення інших ПК, що перебувають у зоні дії TCAS, може відображатися на:

- комбінованому індикаторі вертикальної швидкості та дисплеї TCAS (VSI/TDI);
- удосконаленому дисплеї метеорадіолокаційної станції;
- дисплеї електронної системи індикації.

Якщо траєкторії руху ПК не перетинаються, такі ПК позначаються голубим ромбом; ПК, вертикальна відстань між якими становить понад 1200 футів, позначаються порожнім ромбом; ПК, вертикальна відстань між якими становить менше за 1200 футів, а відстань менша за 6 м. миль, – суцільним голубим ромбом.

Якщо обчислювач TCAS виявив загрозу зіткнення ПК, оцінюють точку найближчого зближення і розраховують час польоту до неї. Якщо час до можливого зіткнення становить до 20–48 с, цей літак позначається колом бурштинового кольору. У цьому випадку пілот повинен візуально знайти ПК і спробувати власноруч уникнути зіткнення.

У випадку, якщо ПК продовжують зближатися, тоді за 15–35 с до можливого зіткнення обчислювач TCAS генерує пілоту рекомендацію щодо розведення ПК у вертикальній площині. Для узгодження рекомендацій системи TCAS різних літаків обмінюються інформацією за допомогою

режиму «S» літакових відповідачів. Повітряний корабель, що спровокував появу RA на дисплеї, позначається червоним квадратом. Необхідна для розв'язання конфліктної ситуації вертикальна швидкість зображується на шкалі варіометра зеленою зоною, а недопустима - червоною.

Рекомендації формуються таким чином, щоб забезпечити безпечне розведення ПК у вертикальній площині, при цьому відстань між ПК повинна бути не меншою за 300–700 футів .

Крім візуальної сигналізації на дисплеї, TCAS видає відповідні голосові повідомлення (винятково англійською мовою):

1. Повідомлення про повітряний рух – «Traffic – Traffic».
2. Попереджувальне RA – «Monitor vertical speed».
3. Коригувальні RA:
 - «Climb – Climb»;
 - «Descend – Descend»;
 - «Climb, crossing climb – Climb, crossing climb»;
 - «Descend, crossing descend – Descend, crossing descend».
4. Коригувальні RA з підсиленням або послабленням:
 - «Increase climb – Increase climb»;
 - «Increase descent – Increase descent».
5. RA, що змінюють напрямок маневру:
 - «Climb, climb now! – Climb, climb now!»;
 - «Descent, descent now! – Descent, descent now!».
6. Послаблювальні й обмежувальні RA:
 - «Adjust vertical speed, adjust»;
 - «Maintain vertical speed, maintain»;
 - «Maintain vertical speed, crossing maintain».

Алгоритм роботи TCAS II оцінює необхідну вертикальну швидкість для виконання відповідного маневру у вертикальній площині. Ця безпечна швидкість дозволяє розвести ПК з достатнім, з міркувань безпеки, висотним інтервалом. Кожній безпечній швидкості відповідає певне мовне повідомлення, що повідомляє пілоту про необхідність діяти задля її дотримання. Найменші допустимі вертикальні швидкості та відповідні мовні повідомлення для TCAS II версії 7 наведено в табл.

Після вдалого вирішення конфліктної ситуації видається мовне повідомлення «Clear of conflict».

Рекомендації RA є необхідними для виконання пілотами. Крім того, у випадку видачі рекомендації RA пілот ПК повинен негайно доповісти диспетчеру АТС про цей факт фразою:

«TCAS RA» (вимовляється як «Тикас Ер-ей»).

Після видачі мовного повідомлення «Clear of conflict» пілот повинен повернути ПК до запланованої траєкторії руху та доповісти диспетчеру АТС фразою: «Clear of conflict (номер заданого ешелону польоту) Resumed»

чи «Clear of conflict, returning to (номер заданого ешелону польоту)».

Після видачі першої рекомендації RA пілот повинен перейти до виконання необхідного маневру не більше ніж за 5 с з моменту видачі мовного повідомлення. Безпечний час реакції пілота для наступних RA вдвічі менший і становить 2.5 с.

Інформація про повітряний рух навколо ПК надається пілоту тільки для усвідомлення суті конфлікту і її не слід використовувати для навігації та маневрування. Визначити взаємне положення з конфліктним літаком може виявитись складним завданням у зв'язку з відносною системою відображення TCAS. Це досить незвична для сприйняття система відображення. Так, наприклад, два літаки, траєкторії руху яких перетинаються під кутом 90° на дисплеї TCAS будуть відображатись таким чином, що може скластися враження, що вони перетинаються під кутом 45° . Саме таке відображення і є головною причиною неправильного розуміння повітряної ситуації навколо літака.

3. Призначення та принцип дії системи попередження наближення землі (TAWS)

Перші системи попередження наближення землі (Ground Proximity Warning System – GPWS) були розроблені в 1960-х роках. Основними функціями GPWS було попередження пілота про можливість зіткнення ПК із землею внаслідок швидкого зниження.

Розвиток інформаційних технологій сприяв значному удосконаленню основних функцій GPWS [25]. Розвиток супутникових навігаційних систем надав можливість визначати координати місцеперебування, а також використовувати надточні електронні мапи земної поверхні. Все це спричинило появу нового класу систем раннього попередження наближення землі (Enhanced Ground Proximity Warning System – EGPWS).

Натепер FAA ввела позначення для цього типу систем (Terrain Awareness and Warning System – TAWS) і стандартизувала три основні класи TAWS.

Клас В. Обладнання TAWS має сигналізувати у таких випадках:

- зменшення відстані до земної поверхні;
- явно вираженого майбутнього зіткнення;
- швидкого зниження;
- недостатньої швидкості набору висоти після зльоту;
- зниження ПК нижче за 500 футів над поверхнею землі.

Як додаток TAWS В може відображати мапу підстильної поверхні на спеціальному дисплеї.

Клас А. TAWS цього класу повинна включати попередження у всіх випадках класу В та забезпечувати сигналізацію у разі:

- перевищення максимально допустимої швидкості зближення;
- польоту поблизу поверхні землі з не випущеними шасі;
- надмірного відхилення від лінії глісади під час посадки ПК.

Крім того, TAWS класу А повинна відображати мапу підстильної поверхні або положення ПК відносно ландшафту у вертикальній площині. Клас С. До TAWS цього класу вимоги значно нижчі і включають тільки найнеобхідніші функції попередження. TAWS класу С призначено для ПК легкої авіації, кількість пасажирських місць яких менша шести.

Загалом TAWS призначена для своєчасної видачі екіпажу ПК попереджувальної мовної та візуальної сигналізації у разі виникнення таких ситуацій у польоті, розвиток яких може призвести до ненавмисного зіткнення ПК із землею поверхнею, а також для підвищення обізнаності екіпажу ПК про елементи земної поверхні та місцеположення штучних перешкод, що є у базі даних системи і становлять потенційну небезпеку на його дійсному або прогнозованому шляху. Крім цього, система забезпечує видачу:

- мовних повідомлень під час проходження обумовлених фіксованих висот;
- сигналізації у разі перевищення недопустимого значення крену;
- попереджувальної сигналізації у випадку передчасного зниження під час заходу на посадку.

Обладнання TAWS безперервно аналізує поточні параметри польоту ПК, положення шасі та закрилків, рельєфу підстильної поверхні та наявності на поверхні штучних перешкод. У випадку виявлення у напрямку польоту потенційно небезпечної ситуації завчасно попереджує пілота за допомогою візуальних та мовних повідомлень. Завчасне попередження про можливість зіткнення дозволяє пілоту зорієнтуватися і почати виконувати маневр для ухилення ПК від зіткнення, не порушуючи при цьому правил пілотування.

4. Особливості індикації та експлуатації системи попередження наближення землі (TAWS)

Розрізняють три основні функції TAWS:

- функцію систем попередження наближення землі (СПНЗ);
- функцію раннього попередження наближення землі (РПНЗ), у тому числі і сигналізацію про передчасне зниження;
- формування попереджувальних мовних повідомлень.

Функції СПНЗ забезпечують видачу попереджувальних повідомлень у випадку виходу певних параметрів польоту за допустимі значення:

- швидкість зниження перевищує встановлені обмеження;
- швидкість зближення із землею перевищує встановлені обмеження;
- утрата висоти на зльоті або відході на друге коло;

- політ літака нижче за допустиму висоту в не посадковій конфігурації;
- відхилення вниз від глісади заходу на посадку за радіотехнічними засобами посадки, що перевищує встановлені обмеження;
- перевищення порога розбіжності між відносною барометричною висотою і дійсною висотою.

У режимі РПНЗ TAWS на основі бази даних рельєфу підстильної поверхні, поточних координат місцеперебування ПК, параметрів польоту та стану повітря, тактико-технічних характеристик типу ПК, міжнародних норм про мінімально допустимі висоти прольоту над землею поверхнею та перешкодами на ній, а також загальноприйнятих правил пілотування система формує у робочому просторі дві зони сигналізації попереджувальну та аварійну.

Потрапляння підстильної поверхні у відповідну зону призводить до спрацьовування попереджувальної чи аварійної сигналізації у вигляді мовних та графічних повідомлень.

Для підвищення обізнаності екіпажу ПК про наземну ситуацію система видає на електронну систему відображення інформації про підстильний рельєф. Окрім цього, у разі спрацьовування попереджувальної сигналізації система виокремлює на екрані індикатора яскраво-жовтим кольором ту ділянку підстильної поверхні, яка викликала спрацьовування попереджувальної сигналізації. У разі спрацьовування аварійної сигналізації система виокремлює на екрані індикатора відповідну ділянку яскраво-червоним кольором.

Основні функції РПНЗ:

- раннє попередження про недостатню висоту над перешкодою у напрямку польоту;
- попередження про передчасне зниження під час заходу на посадку;
- видача на екран пристрою відображення візуальної обстановки про підстильний рельєф у зоні огляду та штучні перешкоди.

Під час зниження ПК у алгоритмі TAWS закладена можливість видачі мовних повідомлень проходження ПК заздалегідь обумовлених фіксованих висот над підстильною поверхнею у разі :

- перетину висоти прийняття рішення;
- досягнення висоти 150 м під час зниження;
- проходження ряду обумовлених фіксованих висот;
- перевищення встановленого граничного значення крену.