

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

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни «Радіотехнічні системи навігації»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***173 Авіоніка
(Авіоніка)***

за темою № 7 - Основні вимоги споживачів послуг радіонавігаційних систем

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. Інженер з технічного обслуговування, ремонту та діагностики авіаційної техніки ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Калінін О.В.

План лекції

1. Загальні технічні вимоги.
2. Вимоги повітряних споживачів до радіонавігаційних систем
3. Вимоги до систем посадки
4. Вимоги до навігаційних характеристик (RNP)
5. Вимоги до додаткових засобів навігації

Рекомендована література:

Основна література:

1. В.П. Харченко, І.В. Остроумов. Авіоніка. Навчальний посібник. К.: НАУ, 2013.-272с.
2. 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. Синєглазов, М.К. Філяшкін. Підручник. – К.: НАУ, 2005. – 316с.
4. А.В. Скрипець. Теоретичні основи експлуатації авіаційного обладнання. Навч. посіб. / А.В. Скрипець. – К.:НАУ, 2003. – 396с.
5. 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.
6. В.П. Харченко. Системи зв'язку та навігації./ В.П. Харченко, Ю.М. Барабанов, М.А. Міхалочкін/ Навчальний посібник – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 216 с.
7. Л.М. Логачова. Поширення земних радіохвиль та мобільний зв'язок / Л. М. Логачова, Т. І. Бугрова / Навчальний посібник.– Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 236 с.

Допоміжна література:

1. П.В.Олянюк, Авіаційне радіообладнання. Підручник для ВУЗів. М: Транспорт 1989р. – 318 с.
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. Загальні технічні вимоги

Загальні вимоги споживачів до радіонавігаційних систем стосуються таких її параметрів:

- ☐ розміру робочої зони;
- ☐ точності визначення місцеперебування та параметрів руху об'єктів;
- ☐ доступності;
- ☐ цілісності;
- ☐ безперервності обслуговування (функціонування);
- ☐ дискретності визначення місцеперебування;
- ☐ пропускної здатності РНС.

Вимоги до розмірів робочої зони. Робоча зона – це ділянка простору земної кулі (замкнута поверхня), у межах кордонів якої у будь-якій точці забезпечується можливість для будь-якого споживача визначати своє місцеперебування з необхідними характеристиками руху.

Зростаюча інтенсивність руху, розширення меж переміщення, збільшення швидкостей, висоти та довжини маршрутів (трас) сучасних транспортних засобів ставляться більш високі вимоги до навігаційного забезпечення, створення умов точного місцевизначення у будь-якій точці Землі та навколоземного простору. Інакше кажучи, виникають вимоги глобальної робочої зони планетарного масштабу.

Вимоги до точності визначення місцеперебування та параметрів руху об'єктів. Точність місцевизначення є ступенем відповідності між оціненим або вимірним місцем об'єкта в поточний момент часу та його істинним місцем у той же момент часу. Точність місцеперебування та параметрів руху характеризується відхиленням визначених (обсервованих) координат від істинних. Кількісною мірою точності є абсолютне значення різниці між визначеними та істинними значеннями координат. Розраховують також середньоквадратичне відхилення.

Вимоги до точності місцевизначення об'єктів залежать від характеру завдань, які вирішуються споживачами. Числові значення точності місцевизначення (середньоквадратична похибка) різних об'єктів змінюються в широких межах від часток метра до декількох кілометрів.

Вимоги до доступності. Доступність радіонавігаційної системи характеризує здатність системи забезпечувати отримання споживачем необхідної інформації для достовірного визначення свого місцеперебування у заданий момент часу з необхідною точністю. Чисельно доступність системи оцінюється ймовірністю отримання споживачем такої інформації.

Вимоги до доступності змінюються залежно від використовуваних транспортних засобів і завдань, які вирішуються споживачами.

Виходячи із забезпечення безпеки польотів літаків і плавання морських та річкових суден, найбільш високі вимоги, за яких доступність має дорівнювати майже одиниці, ставляться повітряними споживачами при заході на посадку та посадці за категоріями ІКАО, морськими й річковими споживачами при маневруванні в порту й русі по внутрішніх водних шляхах.

Вимоги до цілісності РНС. Цілісність радіонавігаційної системи характеризує спроможність системи попереджувати можливість відмови шляхом автоматичного вилучення випадків, коли робочі характеристики системи виходять за допустимі межі. Чисельно цілісність системи оцінюється ймовірністю доведення до споживачів інформації про порушення роботи системи в межах певного інтервалу часу. Вимоги до цілісності РНС морських, річкових та наземних споживачів більш низькі, ніж повітряних, унаслідок менших швидкостей руху і більших інтервалів оновлення інформації.

Вимоги до безперервності обслуговування (функціонування). Безперервність обслуговування (функціонування) радіонавігаційної системи характеризується ймовірністю безвідмовної роботи системи протягом найбільш важливих інтервалів часу виконання завдання. Чисельно вона характеризується граничним інтервалом часу.

Вимоги до дискретності визначення місцеперебування. Дискретність визначення місцеперебування характеризується часовим інтервалом, за який можливе нове визначення місцеположення з використанням однієї і тієї ж радіонавігаційної системи.

Вимоги до пропускної здатності. Пропускна здатність радіонавігаційної системи характеризується кількістю її споживачів, які можуть обслуговуватися водночас.

Ураховуючи важливе значення своєчасного отримання навігаційної інформації для забезпечення безпеки плавання й польотів, пропускна здатність радіонавігаційної системи не повинна мати обмежень, а безперервність, чи, інакше, надійність обслуговування, повинна відповідати заданому значенню.

2. Вимоги повітряних споживачів до радіонавігаційних систем

Фази польоту повітряних кораблів

У повітряному транспорті визначено такі фази (етапи) руху ПК:

- ☐ зліт та вихід у заданий пункт маршруту (траси);
- ☐ політ по маршруту (маршрутний політ);
- ☐ політ у зоні аеродрому (термінальний політ);
- ☐ позакатегорійне заходження на посадку;
- ☐ заходження на посадку та посадка за категоріями ІКАО

(інструментальна посадка).

Вимоги до навігаційного забезпечення на кожному етапі ставляться різні. Для маршрутного етапу польоту ПК установлені категорії районів (зон):

- ☐ океан (без орієнтирів);
- ☐ внутрішня континентальна (місцева) лінія;
- ☐ зони виконання спеціальних завдань.

Вимоги повітряних споживачів до точності визначення місця під час заходження на посадку за категоріями ICAO наведено у табл.1.

Таблиця 1

**Вимоги повітряних споживачів під час заходу на посадку
за категоріями ICAO**

Категорія посадки	Висота над злітно-посадковою смугою для перевірки, м	Точність вимірювання координат (середньоквадратична похибка)		Доступність (імовірність отримання інформації)
		бічна похибка, м	вертикальна похибка, м	
I	30,0	4,5 ... 8,5	1,5 ... 2,0	0,9999999
II	15,0	2,3 ... 2,6	0,7 ... 0,85	0,99999999
III	2,4	2,0	0,2 ... 0,3	0,99999999

Вимоги залежно від завдань та районів (зон) польоту наведено в табл. 2.

Виходячи зі стану радіонавігаційної мережі в Україні та враховуючи необхідність переобладнання або дообладнання ПК України бортовими радіотехнічними системами, важливо обрати такі радіотехнічні засоби основних частин системи, які б стали універсальними. Це забезпечить польоти українських ПК як у повітряному просторі України, так і у повітряному просторі інших регіонів, включаючи ті регіони, що недостатньо забезпечені мережею радіотехнічних засобів.

Універсальною системою може бути супутникова радіонавігаційна система, створена на базі діючої американської системи GPS.

Ураховуючи той факт, що ці системи утворюють безперервне поле навігаційної інформації майже над усіма регіонами виконання польотів у глобальному масштабі і є суто пасивними беззапитними системами (на відміну від систем радіотехнічної системи ближньої навігації, VOR/DME), не потребують ліцензування, вони надалі мають бути прийняті як один з основних засобів радіонавігаційної інформації для забезпечення потреб бортової навігації для створення нової системи навігації під загальною назвою GNSS-2.

Таблиця 2

Вимоги повітряних споживачів до точності вимірювання координат для різних завдань, які потребують розв'язання (окрім заходження на посадку та посадки за категоріями ІКАО)

Завдання	Зони польоту	Точність вимірювання координат (СКП), м	Доступність	Цілісність
Політ ПК: а) політ за маршрутом	1. Над океаном (місцевість без орієнтирів) 2. Повітряні траси шириною 20 км 3. Повітряні траси шириною 10 км 4. Місцеві повітряні траси: І категорії II категорії 5. Повітряні траси для використання методу зональної навігації	5800 2500 1250 500 250 230	0,999	0,999 (10 с)
б) політ у зоні аеродрому	—	200	0,9999	0,999 (10 с)
в) позакатегорійний захід на посадку	—	50	0,99999	0,9999 (10 с)
г) спеціальні польоти, у т. ч. для розвідки корисних копалин, пошукових та рятувальних робіт, аерофотозйомки тощо	—	1 ... 10	0,999999	0,9999 (10 с)

3. Вимоги до систем посадки

Питання розвитку нових технологій посадкових систем буде вирішуватися на завершальних етапах реалізації програми розвитку радіонавігації. Основні зусилля треба спрямувати на резервування радіотехнічних засобів посадки ILS/DGPS. У міру розвитку мережі ультракороткохвильових радіостанцій диференціальних поправок та за позитивного досвіду їх експлуатації можливий перехід на DGPS/ILS, де ILS буде виконувати резервну функцію.

Зі швидким розвитком супутникових технологій, що стало можливим унаслідок створення систем ГЛОНАСС та GPS, більш імовірним стає той факт, що системи MLS поступаються місцем супутниковим системам посадки у багатьох країнах Європи. Унаслідок цього ПК України (включаючи літаки іноземного виробництва), що уніфіковані до вимог сумісності бортового та наземного обладнання засобів посадки, потрібно орієнтувати на наявні в багатьох аеропортах України категорійні засоби ILS та поступово розгортати системи ILS. З цією метою можна рекомендувати розміщення майбутніх радіостанцій диференціальних поправок здебільш у регіонах з насиченим рухом ПК та в районах міжнародних аеропортів України: Борисполя, Сімферополя, Одеси, Донецька, Дніпропетровська, Харкова, Львова, Кривого Рогу, Миколаєва, Вінниці, Маріуполя, Івано-Франківська.

4. Вимоги до навігаційних характеристик (RNP)

Безперервне зростання обсягів авіап перевезень спричиняє зростання вимог до пропускної здатності повітряного простору і потребує його оптимального використання. Ці фактори, зокрема підвищення ефективності забезпечення експлуатації за рахунок використання оптимальних маршрутів, а також підвищена точність сучасних навігаційних систем створили умови для появи концепції RNP.

Концепція потрібних навігаційних характеристик RNP визначає характеристики засобів навігації у межах певного району повітряного простору і тому впливає як на повітряний простір, так і на ПК.

Спеціальний комітет ICAO з майбутніх аеронавігаційних систем визначив, що широко використовуваний у минулому традиційний спосіб для забезпечення необхідних навігаційних можливостей ґрунтувався на обов'язковій наявності певного складу обладнання.

Такий підхід обмежував оптимальне застосування сучасного бортового обладнання. Крім того, з появою навігаційних супутників та подальшого використання цього методу навігації виникає складне завдання вибору обладнання. Для його розв'язання ICAO розробила концепцію RNP.

Вони призначені характеризувати повітряний простір за допомогою показника точності дотримання навігаційних характеристик (типу RNP), який повинен забезпечуватися у межах цього повітряного простору. Тип RNP визначає точність дотримання навігаційних характеристик усіма споживачами та за всіх сполучень навігаційних систем у межах деякого повітряного простору.

Характеристики RNP можуть встановлюватися для маршруту, ряду маршрутів, району, обсягу повітряного простору. Вони обираються фахівцями з повітряного планування або повноважними органами. Установлені RNP при цьому будуть визначати необхідний рівень бортового обладнання та інфраструктуру повітряного простору.

Усього визначено шість типів RNP для польотів по маршруту за точністю дотримання навігаційних характеристик з імовірністю 0,95:

- RNP1 = 1,85 км (1,0 миля);
- RNP4 = 7,40 км (4,0 милі);
- RNP5 = 9,20 км (5,0 миль);
- RNP10 = 18,50 км (10,0 миль);
- RNP12,6 = 23,30 км (12,6 милі);
- RNP20 = 37,00 км (20,0 миль).

Тип RNP1 передбачається для забезпечення найбільш ефективних польотів по маршрутах ОПР у результаті використання найбільш точної інформації про місцеперебування, а також для забезпечення польотів та організації повітряного простору при переході із зони аеродрому до необхідного маршруту й у зворотному порядку.

Типи RNP4 та RNP5 передбачаються для маршрутів ОПР і схем повітряного простору, що базуються на обмеженій відстані між навігаційними засобами. Цей тип передбачено для використання у континентальному повітряному просторі.

Типи RNP10 та RNP12,6 забезпечують обмежену оптимізацію маршрутів у районі зі зниженим рівнем забезпечення навігаційними засобами у будь-якому контрольованому повітряному просторі та у будь-який час.

Тип RNP20 – це мінімальний рівень, що повинен забезпечуватися будь-якою ОПР у будь-якому контрольованому повітряному просторі у будь-який час. Потрібні навігаційні характеристики (RNP) для посадки наведено у табл. 3.

**RNP для операцій заходження на посадку, посадки і вильоту
(одиниці точності та інтервали дотримання, що входять
до системи CI)**

Тип RNP Готовність	Типова операція	Точність з імовірністю 0,95 (бокова/вер- тикальна площини), м	Інтервал до- тримання (боко- ва/верти- кальна пло- щини), м	Цілісність	Безперервність та критичний час
<u>RNP1</u> (CM Doc. 9613)	Політ по маршруту і перехід до етапу захо- ду на посадку та етап вильоту	±1853	±1855	10^{-4} /год	10^{-4} /год
<u>RNP 0,5</u> 0,95	Початкова ділянка захо- ду на посадку, виліт	±926	±1853	10^{-4} /год	10^{-4} /год
<u>RNP 0,3</u> 0,95	Початкова або проміж- на ділянка заходу на посадку, виступний захо- д на посадку, виліт	±556	±1112	10^{-4} /год	10^{-4} /год
<u>RNP 0,3/125</u> 0,95	Захід на посадку за приладами з наведен- ням у вертикальній площині	±556/38	±1112/76	10^{-4} /год	10^{-4} /год
<u>RNP 0,03/50</u> 0,9975	Точний захід на по- садку по HAT – 100 м (350 фут) (забезпечує операції категорії 1)	±56/15	±167/46	$13,5 \cdot 10^{-4}$ (протягом будь- якої однієї операції) час випадчі поперед- ження – 6 с	10^{-4} (у будь-який період 15 с)

Закінчення табл. Б.7.3

Тип RNP Готовність	Типова операція	Точність з імовірністю 0,95 (бокова/вертикальна площини), м	Інтервал дотримання (бокова/вертикальна площини), м	Цілісність	Безперервність та критичний час
<u>RNP37</u> <u>M</u>	Точний захід на посадку по НАТ 60 м (200 фут) (забезпечує операції по категорії 1)	$\pm 37/12$	$\pm 111/47$	$1 \dots 3,5 \cdot 10^{-7}$ (протягом будь-якої однієї операції) час до видачі попередження – 6 с	$1 \dots 1 \cdot 10^{-8}$ (у будь-який період 15 с)
<u>RNP0,0</u> <u>1/15</u> 0,9985	Точне заходження на посадку по НАТ 30 м (100 фут) (забезпечує операції по категорії 2)	$\pm 19/5$	$\pm 56/14$	$1 \dots 2,5 \cdot 10^{-6}$ (протягом будь-якої однієї операції) час до видачі попередження – 1 с	$1 \dots 6 \cdot 10^{-8}$ (у будь-який період 15 с)
<u>RNP</u> <u>0,003</u> 0,999	Точне заходження на посадку по НАТ менше 30 м (100 фут), посадка та виліт, а також наведення при пробігу (забезпечує операції по категорії 3)	± 6 м виключає винятки до тримання, пробігу та розбігу при зльоті	± 17	$1 \dots 2 \cdot 10^{-6}$ (протягом будь-якої однієї операції) час до видачі попередження – 1 с	$1 \dots 6 \cdot 10^{-8}$ (у будь-який період 30 с)

5. Вимоги до додаткових засобів навігації

Виходячи з концепції технології літакобудування, яка передбачає резервування для забезпечення безпеки польоту по маршруту, слід збагнути, що одного принципового засобу позиціонування для магістральних ПК недостатньо. Окрім цього, українські авіакомпанії мають парк ПК, які не потребують високоточного місце визначення (ПК 3-го та 4-го класів) і які мають штатне обладнання в обсязі радіотехнічних засобів. Тому доцільно доукомплектувати діючі повітряні траси України, особливо міжнародні повітряні траси, радіотехнічними засобами ультракороткохвильового діапазону, зокрема маяками VOR та DME. На користь вибору саме цього типу

наземних РТЗ говорить те, що вони за бортовим обладнанням ПК, які виконують рейси міжнародними повітряними лініями, сумісними з наземним обладнанням майже всіх регіонів, куди літають ПК України.

За оцінкою закордонних фахівців – користувачів цих радіонавігаційних систем – маяки VOR/DME характеризуються високим показником «вартість–ефективність».

Основними принципами розміщення цих засобів, враховуючи вимоги споживачів ПК та рекомендації ІКАО щодо організації забезпечення повітряних трас радіотехнічними засобами, є:

- розміщення кутомірних систем (VOR) на лінії маршруту для необмеженого їх використання споживачем навігаційної інформації;
- прокладання повітряних трас і відповідно обладнання їх радіотехнічними засобами поза зонами аеродромів, тим більше міжнародних, з великою інтенсивністю руху;
- визначення кількості маяків VOR/DME з урахуванням їх оптимального розташування для якомога повнішого вирішення завдань навігації та безпеки повітряного руху.