

**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 № 5 - Радіонавігаційні далекомірні системи та пристрої**

**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 відомості про радіодалекоміри
2. Імпульсні радіонавігаційні далекомірні системи
3. Радіовисотоміри з імпульсною модуляцією
4. Радіовисотоміри з частотною модуляцією
5. Різницево-далекомірні радіонавігаційні системи

### 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 радіобладнання. 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](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](http://www.fcs-modification.com/?go=news&n=6&new_language=0)

## Текст лекції

### 1. Загальні відомості про радіодалекоміри

Радіонавігаційні далекоміри дозволяють за допомогою радіохвиль виміряти відстані. Для визначення відстаней використовують запізнювання сигналів, що приймаються, відносно опорних сигналів. Це запізнювання, що дорівнює часу поширення радіосигналів між точками випромінювання і приймання, можна визначати за різними параметрами радіосигналу.

За видом параметрів радіосигналів, використовуваних для визначення відстаней, розрізняють імпульсні, фазові й частотні радіодалекоміри.

У радіонавігаційних далекомірах широко використовують імпульсні радіосигнали, оскільки при цьому разом з високою точністю і завадостійкістю порівняно легко забезпечується висока пропускна здатність. За принципом дії імпульсні радіонавігаційні далекоміри можна розподілити на імпульсні радіовисотоміри (ІРВ) і імпульсні радіонавігаційні далекомірні системи.

До складу імпульсних далекомірних систем входить бортове і наземне устаткування, внаслідок чого вони, на відміну від імпульсних радіовисотомірів, належать до класу неавтономних радіонавігаційних засобів.

### 2. Імпульсні радіонавігаційні далекомірні системи

Для визначення відстані між пунктами А й Б вимірюють сумарний час поширення радіосигналів від пункту А до пункту Б і від пункту Б до пункту А. Для цього в пункті А встановлюється приймач (замовник), а в пункті Б – передавач (відповідач) (рис. Б.4.1).

Передавач замовника надсилає на хвилі  $\lambda_3$  імпульсні радіосигнали запиту, моменти випромінювання яких синхронізовані з сигналами синхронізатора, що виконує в далекомірній системі роль еталона часу. Синхронізатор є високостабільним генератором синусоїдних коливань.

Запитальні сигнали приймаються в пункті Б приймачем відповідача. У приймачі прийняті сигнали посилюються і перетворюються на імпульсні радіосигнали відповіді, які випромінюються передавачем відповідача на хвилі  $\lambda_в$ . Хвиля відповіді  $\lambda_в$  відрізняється від хвилі запиту  $\lambda_3$ . Це дозволяє розв'язати канал приймача від прямого сигналу передавача.

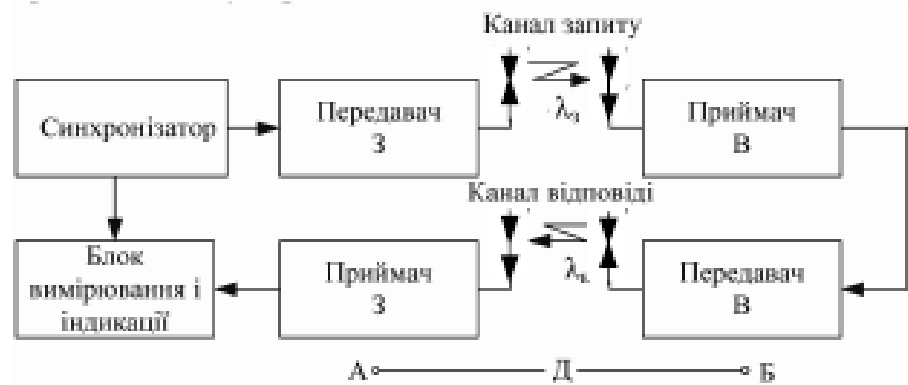


Рисунок 1 - Функціональна схема імпульсної радіонавігаційної далекомірної системи: 3 – замовник; В – відповідач

Сигнали відповідача через час  $\tau = 2D/c$  після випромінювання запитальних сигналів приймаються приймальним пристроєм пункту А. З виходу приймача замовника імпульсні сигнали відповіді подаються в блок вимірювання та індикації, куди із синхронізатора надходять опорні імпульси, що збігаються за часом з моментами випромінювання імпульсів запиту. За допомогою блока вимірювання та індикації вимірюється час запізнення імпульсів відповіді відносно опорних імпульсів. Шкала індикатора може бути відградуйована в одиницях довжини відповідно до формули

$$D = \tau c/2.$$

В авіації найбільшого поширення набули автоматичні радіодалекоміри з вимірюванням відстані на борту літального апарата. Відома велика кількість варіантів імпульсних радіонавігаційних далекомірних систем, призначених для розв'язання різних навігаційних завдань.

### 3. Імпульсні радіовисотоміри

Принцип дії ІРВ ґрунтується на вимірюванні запізнювання відбитих від землі імпульсних сигналів відносно моменту їх випромінювання з борту літального апарата.

Імпульсний радіовисотомір, функціональну схему якого показано на рис.2, складається з передавача, синхронізатора, приймача і блока вимірювання та індикації. Як синхронізатор використовується генератор синусоїдних коливань, які підводяться до передавача і генератора розгортки. В передавачі виробляються короткі радіоімпульси, які випромінюються у напрямі до землі за допомогою передавальної антени.

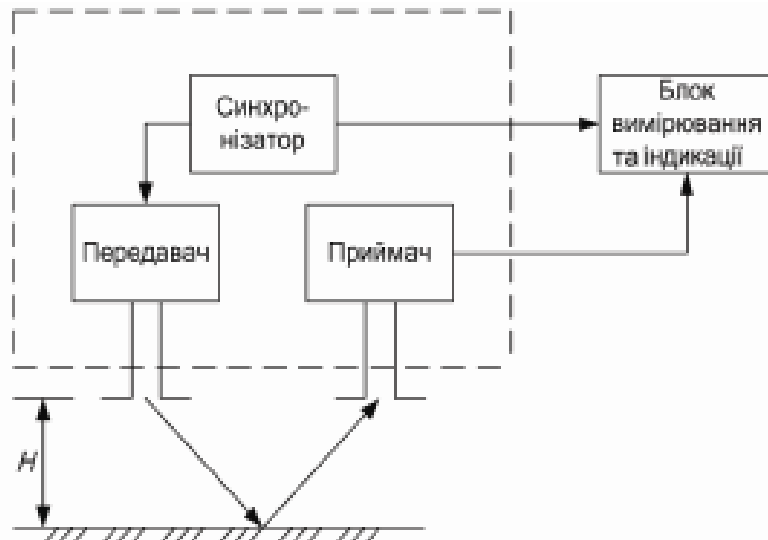


Рисунок 2- Функціональна схема імпульсного радіовисотоміра

Частота повторення радіоімпульсів дорівнює частоті синусоїдних коливань синхронізатора. Після відбиття від поверхні землі ці імпульси надходять на вхід супергетеродинного приймача.

Передавач і приймач радіовисотоміра працюють у дециметровому діапазоні радіохвиль. Більш короткі хвилі не використовуються, оскільки вони сильніше послаблюються при відбитті від землі. Довші хвилі недоцільно використовувати, оскільки для цього потрібно застосовувати великі за габаритами антени.

У приймачі прийняті радіоімпульси перетворюються, посилюються і потім детектуються. З виходу приймача імпульси надходять до блока вимірювання та індикації. Висота в сучасних радіовисотомірах вимірюється цифровим способом.

Опорний імпульс, що надходить від передавача, є початком відліку. Момент, що відповідає закінченню відліку, визначається по передньому фронту відображеного імпульсу, який запізнюється відносно опорного імпульсу на якийсь час

$$\tau = \frac{2H}{c}.$$

Часовий інтервал між моментами випромінювання передавачем імпульсного сигналу і прийманням відображеного сигналу в блоці вимірювання та індикації заповнюється лічильними імпульсами, які потім за допомогою цифрових схем підраховуються. Результати підрахунку відображаються на цифрових індикаторах або надходять у БЦОМ для подальшої обробки.

Імпульсні радіовисотоміри застосовують для вимірювання великих висот під час виконання бомбометання, фотографування тощо, оскільки їх відносні похибки зазвичай не перевищують 0,25% від вимірюваної висоти.

Останнім часом у зв'язку із значними досягненнями в галузі технології виробництва радіоапаратури імпульсні радіовисотоміри почали застосовувати і для вимірювання малих висот. Але більше для цього застосовують радіовисотоміри з частотною модуляцією.

#### 4. Радіовисотоміри з частотною модуляцією

Принцип дії радіовисотоміра з частотною модуляцією (ЧМ) не відрізняється від принципу дії станції радіолокації з частотною модуляцією. «Ціллю» в цьому випадку є поверхня землі. На відміну від станції радіолокації радіовисотомір вимірює тільки дальність і не вимірює кутових координат.

Радіовисотоміри з ЧМ, так само як і імпульсні радіовисотоміри, працюють у діапазоні дециметрових хвиль.

Точність радіовисотомірів з частотною модуляцією оцінюється похибкою приблизно  $2 \text{ м} + 5\%$  від вимірюваної висоти. Максимальна висота, що вимірюється за допомогою таких радіовисотомірів,

зазвичай не перевищує 1200...1500 м. Їх застосовують головним чином для пробиття хмарності, посадки літаків і в інших випадках польоту на невеликих висотах.

Частотний радіовисотомір малих висот, функціональну схему якого зображено на рис.3, складається з передавача, модулятора та приймача-індикатора.

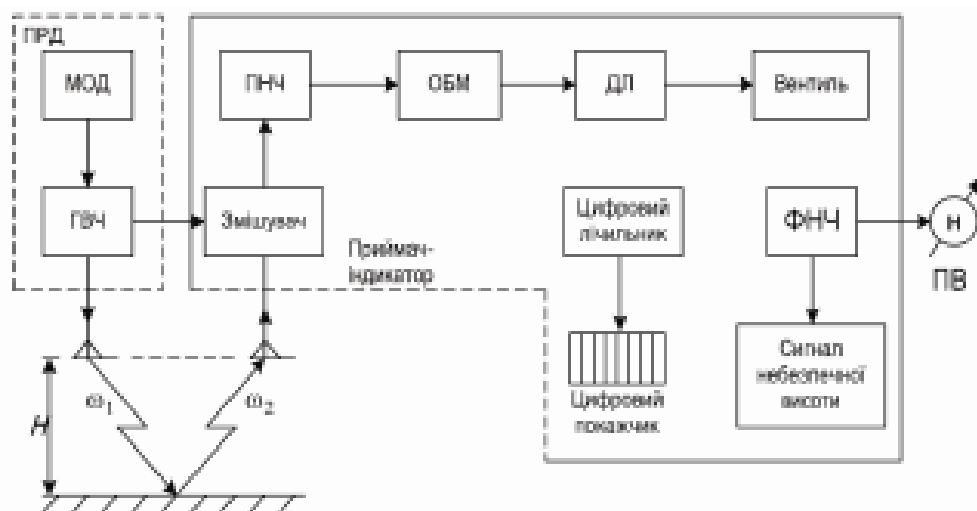


Рисунок 3 - Функціональна схема частотного радіовисотоміра:  
МОД – модулятор; ОБМ – обмежувач; ПВ – показчик висоти

Передавач ПРД на частоті генератора високої частоти ГВЧ випромінює неперервні частотно-модульовані коливання в напрямі землі. Модульовальною напругою МОД може бути пилкоподібна (симетрична, несиметрична) напруга, синусоїдна та ін.

Відбитий сигнал надходить до змішувача, підсилюється ПНЧ, обмежується обмежувачем з метою усунення паразитної амплітудної модуляції, диференціюється диференціальною ланкою (ДЛ), надходить на вентиль для усунення від'ємних імпульсів ДЛ, до цифрового лічильника і згладжувального пристрою – фільтра нижніх частот (ФНЧ) для аналогової індикації показчика висоти ПВ. Як кількість імпульсів лічильника, так і напруга ФНЧ пропорційні висоті польоту.

## 5. Різницево-далекомірні радіонавігаційні системи

Різницево-далекомірні радіонавігаційні системи дозволяють виміряти за допомогою радіохвиль різниці відстаней від рухомих об'єктів до нерухомих наземних точок. За виміряною різницею відстаней визначають лінію положення, що має властивість постійності різниці відстаней до двох заданих точок. Лінії положення для різних значень різниць відстаней наносять заздалегідь на карти і потім використовують для розв'язання навігаційних завдань.

Залежно від типу застосованих радіосигналів розрізняють імпульсні, імпульсно-фазові і фазові різницево-далекомірні радіонавігаційні системи. Принцип дії імпульсних різницево-далекомірних систем полягає в такому.

На земній поверхні в двох різних пунктах з відомими координатами встановлюються синхронно працюючі передавальні радіостанції А і Б. Станція А такої пари є ведучою, а станція Б – веденою. Ведуча станція А періодично випромінює короткі імпульсні радіосигнали, які приймаються на веденій станції Б і на борту літального апарата, що перебуває в довільній точці М.

Сигнали ведучої станції досягають веденої станції через час

$$t_0 = \frac{d}{c},$$

де  $d=AB$  – відстань між станціями А і Б, названа базою системи.

Ведена станція після приймання сигналів від ведучої станції ви-промінює свої імпульсні сигнали з фіксованою кодовою затримкою. Загальна затримка сигналів веденої станції відносно сигналів ведучої станції  $t_3 = t_0 + t_K$ . Таким чином забезпечується синхронність роботи ведучої і веденої станцій.

Передавачі обох станцій випромінюють імпульси однакової форми і однакової тривалості на загальній несучій частоті. Частота повторення цих імпульсів підтримується постійною.

На рухомому об'єкті за допомогою спеціального приймально-індикаторного пристрою приймаються імпульсні сигнали ведучої станції і вимірюється часовий інтервал між ними.

Різницево-далекомірна система, що складається з двох станцій, дозволяє визначати всього одну лінію положення літального апарата. Для визначення



місця літального апарата потрібна друга пара станцій, розташована так, щоб її лінії положення перетиналися з лініями першої пари станцій.

Після вимірювання часових інтервалів для двох пар наземних станцій за картою визначається місцеперебування літального апарата в точці перетину двох гіперболічних ліній положення.

Останніми роками для автоматизації процесу визначення місцеперебування з використанням різницево-далекомірних радіотехнічних систем розроблено спеціальні перетворювачі, які виконують перерахунок гіперболічних координат у географічні або ортодромічні координати. Слід зазначити, що в деяких пілотажно-навігаційних комплексах задача перетворення гіперболічних координат розв'язується за допомогою БЦОМ.