

**ПРМІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРО-
НІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ**

ОПОРНИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «**ЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ РАДІОМОНІТОРИНГУ**»

з галузі знань:	17	«Електроніка і телекомунікації»
за спеціальністю:	171	«Електроніка»
за спеціалізацією:		«Електронні прилади та пристрої»

Укладач: д. т. н. проф. В. О. Іванов

Конспект лекцій розглянутий та схвалений
на засіданні кафедри радіоелектронних
пристроїв та систем

Протокол № ____ від «__» ____ 2018 р.

Завідувач кафедри _____ Л. Сібрук

Лекція № 1 (2 години)

Тема лекції: Вступ. Сутність навчальної дисципліни.

План лекції

1. Загальні положення.
2. Види радіослужб.
3. Задачі моніторингу і контролю радіовипромінювань.

Зміст лекції

1. «Регламент радіозв'язку (PP)» - основний документ Міжнародного Союзу Електрозв'язку (МСЕ), що визначає порядок використання будь-яких пристроїв, випромінюючих або приймаючих електромагнітні хвилі – радіосигнали та радіозавади.

На основі PP країни – члени МСЕ розробляють державні документи, які регулюють використання радіочастот окремими радіослужбами на власній території.

2. В Україні розподіл частот між окремими радіослужбами (їх більше сорока), визначається спеціальним документом – Національною таблицею розподілу смуг радіочастот України.

3. Радіочастотний ресурс обмежується практичною неможливістю створення антенних пристроїв на вкрай низьких та вкрай високих частотах. Тому виникає його дефіцит при використанні різними службами, наслідком чого є виникнення проблеми забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) між окремими пристроями та системами. Виникає необхідність виявлення радіовипромінювань (санкціонованих і несанкціонованих), вимірювання їх параметрів, визначення місцезнаходження їх джерел. Тому задачу підрозділів радіомоніторингу і радіоконтролю можна сформулювати так: виявлення місцезнаходження джерел радіовипромінювань та ефірний контроль їх показників (напруженості електромагнітного поля, частоти, займаної смуги частот, поляризації, часу існування).

Лекція № 2 (2 години)

Тема лекції: **Радіочастотний спектр і радіочастотний ресурс.**

План лекції

1. Основні поняття.
2. Управління використанням радіочастотного спектра.
3. Вартість радіочастотного ресурсу

Зміст лекції

1. Радіочастотний спектр (РЧС) – неперервна смуга частот в межах від 3 кГц до 3 ТГц, встановлених МСЕ, які можуть бути застосованими у функціонуючих радіоелектронних засобах (РЕЗ).

Радіочастотний ресурс (РЧР) – частина РЧС, яка може бути застосованою для передавання та приймання радіосигналів.

Радіохвиля – електромагнітне поле (ЕМП), що збуджене антеною радіопередавача, яке є переносником інформації з однієї точки простору до іншої.

Радіосигнал – радіохвиля, яка містить інформацію, що призначена для приймання спеціальним РЕЗ.

Радіозавада – електромагнітне випромінювання, яке перешкоджає нормальному прийманню та обробці інформації.

Частотний канал – смуга радіочастот, яка призначена для роботи конкретного РЕЗ.

Радіоканал – сукупність технічних засобів і середовища поширення радіохвиль.

Радіолінія – частина радіоканалу, яка складається з антенно-фідерних пристроїв і середовища поширення радіохвилі між ними.

2. РЧР – амплітудно-частотна субстанція (ЕМП), яка має визначену вартість. Управління його використанням – соціально-економічна і науково-технічна проблема. Можна встановити віртуальні зв'язки між окремими керуючими інстанціями у вигляді наочної структурної схеми.

3. Вартість спектра розраховують за зведеною формулою, яка враховує: об'єм простору, який зайнятий радіовипромінюванням; ефект від застосування спеціалізованих РЕЗ; кількість радіоканалів; рівень соціальних доходів; рівень спросу на услугу, тощо.

Лекція № 3 (2 години)

Тема лекції: **Радіоканал і лінія радіозв'язку: структурні елементи**

План лекції

1. Глосарій для радіопередавача (РПД) як трансмітера радіозавод.
2. Глосарій для вимірювального радіоприймального пристрою (РПП) системи радіомоніторингу як ресивера електромагнітних збурень.
3. Особливості подіапазонного поширення ЕМП.

Зміст лекції

1. Визначаються параметри радіовипромінювань РПД, які повинні бути визначеними при здійсненні моніторингу електромагнітної обстановки (ЕМО) у точці спостереження. До них відносять: клас радіовипромінювання, його частотні ознаки, поляризацію радіовипромінювання, його енергетичні показники. На основі цих ознак апаратурним методом виявляють окремі радіосигнали і радіозаводи, які визначають ЕМО.

2. Визначаються особливості вимірювального РПП. До них відносять: чутливість, вибірковість за побічними та сусідніми каналами, широкий діапазон частот, великий динамічний діапазон, ефективне пригнічення побічних каналів, можливість перестроювання за кодом, автоматизацію процедури вимірювань.

3. Можливості радіомоніторингу і радіоконтролю якості ЕМО у точці нагляду в значній мірі залежать від того, в який спосіб поширюється радіохвиля у навколосемному просторі у залежності від частоти. Розрізняють такі способи поширення ЕМП: земною (поверхневою) хвилею, тропосферною хвилею, іоносферною хвилею, відбитою хвилею, розсіяною хвилею. Різноманітні механізми поширення радіохвиль ускладнюють процедуру місцевизначення її джерела.

Лекція № 4 (2 години)

Тема лекції: Характеристики сигналів

План лекції

1. Класи радіосигналів.
2. Види модуляції/маніпуляції.
3. Надання сигналів у часової та спектральної формах.

Зміст лекції

1. Для ідентифікації радіовипромінювань необхідне знання їх характерних ознак. Тому випромінювання РПД поєднують у класи. При цьому ознаки випромінювання надають у такій послідовності:

- тип модуляції,
- характер модулюючого сигналу,
- вид або форма повідомлення,
- специфічні особливості сигналу,
- вид ущільнення сигналу.

2. Тип модуляції/маніпуляції визначає ширину смуги частот, яка є необхідною для формування радіовипромінювання. Від необхідної смуги частот залежать швидкість передавання інформації, можливості забезпечення завадозахищеності каналу передавання даних.

У цифрових сигналах застосовують такі види модуляції: FSK, BPSK, QPSK, 64-QAM, та інші.

3. При здійсненні радіомоніторингу і ідентифікації сигналів застосовують їх огляд у вигляді осцилограм – розгортання сигналів у часі, або їх подання у вигляді спектрограм – розглядання особливостей сигналів з середини. Зіставлення цих виглядів дає додаткову інформацію, яка сприяє зменшенню похибок розпізнання випромінювань.

Лекція № 5 (2 години)

Тема лекції: Особливості антенних пристроїв для пунктів радіомоніторингу

План лекції

1. Робота антени у режимі приймання.
2. Особливості діаграм спрямованості.
3. Конструктивне виконання комплексу антенних пристроїв.

Зміст лекції

1. На пунктах радіомоніторингу антени функціонують у режимі приймання слабих сигналів. Електрорушійна сила на виході приймальної антени залежить від її ефективної висоти, тобто від її конструктивних особливостей. Конструкція антени, у свою чергу, залежить від частотного діапазону. Тому для радіомоніторингу у смузі частот від 10 кГц до 3 ГГц на пункті контролю необхідне мати до двох десятків антен різної конструкції.

2. У залежності від задачі, яка вирішується, антенні пристрої або антенні системи повинні мати різноманітні діаграми спрямованості - ненапрявлені, секторні, вузькоспрямовані, одно- або двопелюсткові, тощо. При цьому забезпечуються можливості виявлення наявності різноманітних радіовипромінювань у точці спостереження, вимірювання їх частотних, енергетичних, просторових показників та здійснюється пеленгація джерел електромагнітних збурень.

3. Антенні пристрої пункту радіомоніторингу повинні бути розміщеними компактно, але їх взаємний електромагнітний вплив при цьому повинен бути мінімальним. Це є складною конструктивною задачею. Прикладом її раціонального вирішування є антенна система AU 900A4 компанії Rode-Schwarz.

Лекція № 6 (2 години)

Тема лекції: **Контрольно-вимірювальна апаратура для пунктів радіомоніторингу**

План лекції

1. Вимоги до технічних характеристик контрольно-вимірювальної апаратури (КВА).
2. Режими та види контролю основних випромінювань РПД.
3. Режими та види контролю неосновних випромінювань РПД.

Зміст лекції

1. До типових технічних характеристик КВА, рекомендованих МСЕ у залежності від частоти, відносять такі:

- діапазон частот,
- крок перестроювання частоти,
- ширина смуги пропускання,
- чутливість,
- максимально-допустиме значення похибки настроювання,
- тривалість настроювання синтезатора частоти,
- значення вхідного опору антени і КСХ фідерного тракту.
- коефіцієнт шуму,
- ослаблення завад на ПЧ, у дзеркальному каналі,
- селективність,
- діапазон роботи АРП.

2. До режимів роботи КВА відносять:

- режим контролю за використанням у реальному часі РЧС, ступінь зайнятості РЧС по радіоканалах, динамічний діапазон рівнів реєстрованих сигналів, збереження вихідних даних і результатів контролю, обробку результатів контролю;
- режим контролю і вимірювання параметрів радіовипромінювань (рівні сигналів та напруженість поля, ширину контрольної смуги частот на рівні -30 дБ, параметри модуляції різних типів, високу достовірність вимірювань);
- режим ідентифікації оператором сигналів та джерел радіозавад (на слух, за допомогою аналізатора спектру, за допомогою спеціалізованого обладнання для декодування і автоматизованої обробки).

3. Ефірному контролю і виявленню параметрів належать також побічні та позасмугові випромінювання передавачів.

Лекція № 7 (2 години)

Тема лекції: Планування та організація робіт з здійснення радіомоніторингу

План лекції

1. Вихідні дані для планування.
2. Перелік робіт, що плануються до виконання.
3. Зміст звітних документів.

Зміст лекції

1. Вихідними даними при плануванні робіт є такі:
 - база даних з присвоєння частот,
 - нормативні документи, які визначають задачі служби РМ і РК,
 - міжнародні узгодження з використанням РЧС у прикордонних територіях,
 - договори з споживачами РЧР на проведення робіт з РМ та РК,
 - запитання споживачів РЧР на вилучення радіозавод у смугах функціонування відповідних РЕЗ,
 - запитання органів радіоінспекції,
 - запитання міжнародних органів з використання РЧС.За змістом робіт розрізняють:
 - роботи з здійснення радіоконтролю,
 - роботи з виявлення та усунення впливу радіозавод,
 - дослідні роботи.
2. Планування робіт здійснюється з урахуванням переліку робіт та їх періодичності. Зручним є поставлення спеціальних таблиць або графіків. В них указуються види відповідних радіотехнологій:
 - цифровий стільниковий зв'язок,
 - цифровий і аналоговий транкінговий зв'язок,
 - берегові станції радіозв'язку,
 - служба радіомовлення,
 - телебачення,
 - радіорелейний зв'язок, тощо.
3. У звітних документах наводяться відомості про:
 - отримані спектрограми та результатах їх аналізу,
 - узагальнені висновки з аналізу ЕМО,
 - програмне забезпечення у базі даних обліку та збереження отриманих досліджень.

Лекція № 8 (2 години)

Тема лекції: Станція радіомоніторингу та радіоконтролю

План лекції

1. Вимоги до структури станцій радіомоніторингу та радіоконтролю (СРМРК).
2. Стаціонарні СРМРК.
3. Мобільні СРМРК.

Зміст лекції

1. СРМРК – функціонально завершений комплекс обладнання і відповідного програмного забезпечення, який дозволяє вирішувати певний об'єм задач з виявлення і вимірювання параметрів радіовипромінювання, ідентифікацію, пеленгування джерел радіовипромінювань, визначення їх місцезнаходження та інше.

Пост радіомоніторингу і радіоконтролю (ПРМРК) – окремий спрощений підрозділ стаціонарної СРМРК.

До загальної структури СРМРК надходить комплект каліброваних антен, які через високочастотний комутатор підключаються до багатоканального РПП з цифровою обробкою сигналів. Отримана інформація надходить до бази даних.

До СРМРК надходять також спеціальна антенна система і комплект обладнання, які призначені для пеленгації окремих джерел радіовипромінювань.

За функціональним призначенням СРМРК розрізняють:

- радіопеленгатори (обладнання для виявлення напрямку на джерело радіовипромінювання);
- станції виявлення та ефірного вимірювання енергетичних та частотних особливостей радіовипромінювання;
- станції загального призначення.

2. Стаціонарна СРМРК – комплект обладнання, який знаходиться у точці з визначеними географічними координатами. Працює в ручному або в автоматичному режимі (необслуговуємі - з дистанційним управлінням).

3. Мобільна СРМРК - комплект обладнання, який розміщується на транспортному засобі. Забезпечує радіомоніторинг поза зоною дії стаціонарних станцій. Використовують також за спеціальними викликами.

Лекція № 9 (2 години)

Тема лекції: **Режими пошуку, контролю, вимірювання та ідентифікації радіовипромінювань радіопередавача**

План лекції

1. Мета задачі пошуку та ідентифікації джерел радіозавод.
2. Підконтрольні параметри радіовипромінювання.
3. Вимоги до програмного забезпечення радіоконтролю.

Зміст лекції

1. Метою процедур пошуку та ідентифікації джерел радіозавод є забезпечення нормальної роботи ліцензованих РЕЗ. Відповідь повинна містити інформацію про причини виникнення радіозаводи і методи її усунення або послаблення до дозволеного рівню.

Ідентифікація джерела радіозаводи повинна надати відповідь про те, що передавач – джерело радіозаводи є офіційно зареєстрованим.

Для ефективної ідентифікації джерел радіовипромінювань необхідне такі умови одночасне паювання всіх потенційних джерел радіозавод та джерела радіосигналу.

2. Підконтрольні параметри.

Загальні параметри:

- несуча або центральна частота,
- ширина займаної смуги частот
- напруженість електричного поля у точці нагляду.

Спеціальні параметри:

- параметри модуляції,
- ширина контрольної смуги частот.

Проблема контролю усугубляється тим, що джерела сигналів і радіозавод можуть належати до одного класу і одночасно випромінюватися на близьких частотах.

3. Вимоги до програмного забезпечення радіоконтролю передбачають наявність бази даних з частотних присвоєнь та інших офіційних реквізитах радіопередавачів, розташованих на підконтрольній території.

Програмний сервіс радіомоніторингу повинен забезпечити усі процедури, які перелічені у назві цієї лекції і документальне оформлення отриманих результатів.

Лекція № 10 (2 години)

Тема лекції: **Принципи пеленгування та визначення місцезнаходження джерел радіовипромінювань**

План лекції

1. Географічні координати точки.
2. Радіопеленгування джерела радіовипромінювання (ДРВ).
3. Класифікація радіопеленгаторів.

Зміст лекції

1. Горизонтальна площина екватору і вертикальна площина Грінвіцького меридіану є основними площинами, від яких здійснюється відлік кутових географічних координат (широти і довготи) точки.

Широта θ° («північна» або «південна») – вертикальний кут між площиною екватора і прямою лінією, що проходить через точку нагляду і центр Землі.

Паралель – обвідна площини малого кола, яка є паралельною площині екватора.

Довгота φ° («східна» або «західна») – горизонтальний кут між площиною Грінвіцького (нульового) меридіану і меридіану, який проходить через точку нагляду.

Паралелі і меридіани – взаємноперпендикулярні.

2. Радіопеленгація – визначення напрямку на ДРВ за допомогою спеціальних пристроїв – радіопеленгаторів (РП). Визначення місцезнаходження ДРВ на поверхні Землі здійснюється при одночасному застосуванні двох РП, розміщених у різних точках земної поверхні.

Пеленг – напрям на ДРВ. Визначається кутом між напрямом на «північ» відносно точки розміщення РП і лінією пеленгу на сферичній поверхні Землі.

3. РП складається з антенної системи із діаграмою спрямованості особливої форми (наприклад, кардіоїдного типу) і спеціалізованого приймального пристрою. Розрізняються РП за типами обробки прийнятих сигналів і підрозділяються на амплітудні, фазові і інтерферометри.

РП можуть бути стаціонарними і мобільними.

Показником якості пеленгації є відношення $\frac{\text{сигнал}}{\text{шум}}$ у напрямку пеленга.

Лекція № 11 (2 години)

Тема лекції: **Похибки радіопеленгування та місцезнаходження об'єктів радіовипромінювання**

План лекції

1. Фактори, що утруднюють процедуру радіопеленгації (РП).
2. Види похибок РП.
3. Класи якості РП.

Зміст лекції

1. До факторів, що утруднюють процедуру РП, відносять:
 - складність ЕМО в точці реєстрації сигналу,
 - залежність умов розповсюдження радіохвиль від частоти, виду поляризації сигналу, протяжності існування сигналу в ефірі,
 - необхідність сканування простору в межах кута $\theta^{\circ} = \pm 90^{\circ}$ при $\varphi^{\circ} = 0^{\circ} \div 180^{\circ}$,
 - широкий динамічний діапазон рівнів сигналів (~ 120 дБ),
 - технічні характеристики РП та інше.
2. Види похибок РП:
 - апаратурна (інструментальна),
 - з-за перевідбиття сигналу,
 - недостатня завадозахищеність РП,
 - з-за виду модуляції сигналу,
 - з-за умов експлуатації,
 - суб'єктивні помилки людини-оператора.
3. У залежності від допустимого рівню похибки пеленгування розрізняють чотири класу якості РП: *A, B, C, D*.
 - Для РП класу *A* допустима похибка складає $\mp 2^{\circ}$.
 - Для РП класу *B* допустима похибка складає $\mp 5^{\circ}$.
 - Для РП класу *C* допустима похибка складає $\mp 10^{\circ}$.
 - Для РП класу *D* допустима похибка складає більш, ніж $\mp 10^{\circ}$.
 - Для класів *A, B, C* ймовірність виникнення похибок – не більше, ніж 0,05.

Лекція № 12 (2 години)
Тема лекції: **Визначення власного місцезнаходження
радіопеленгатора (рухомого)**

План лекції

1. Склад супутникових навігаційних систем.
2. Загальна структура глобальної системи супутникової навігації (ГССН).
3. Принцип дії ГССН

Зміст лекції

1. Глобальні системи супутникової навігації GPS і ГЛОНАСС надають споживачу (при наявності у нього спеціального обладнання) точні дані про його місцезнаходження, швидкість пересування і час. Кожен штучний супутник Землі (ШСЗ) випромінює кодовані сигнали на частотах $L_1 = 1575,42$ МГц (точний і грубий коди) і $L_2 = 1227,60$ МГц (код для воєнних цілей).

У програмний спосіб вона визначає псевдодальності до кожного ШСЗ і методом трилатерації визначає просторову точку розміщення РП.

2. До структури ГССН надходять:

- космічний сектор,
- сектор управління і контролю,
- сектор споживача.

Космічний сектор ГССН складається з 21- го робочого ШСЗ та 3-ох резервних. Навігаційна апаратура споживача з будь-якої точки земної поверхні повинна одночасно «бачити» не менш чотирьох ШСЗ.

Сектор управління і контролю складається з наземної станції, центра управління і контролю, кількості земних станцій завантаження оновленої інформації на супутники.

Сектор споживача складається з спеціальних радіоприймальних пристроїв обладнання обробки результатів вимірювань. Містить у своєму складі цифрову топографічну карту.

3. Сигнал ШСЗ GPS у вигляді псевдовипадкових кодів випромінюється на частотах L_1 і L_2 . Грубий код повторюється кожну мілісекунду. Інтервал точного коду складає 266,4 доби і розбивається на тижневі інтервали.

У програмний спосіб апаратура споживача визначає псевдодальності до кожного ШСЗ і методом трилатерації визначає просторову точку розміщення РП на поверхні Землі.

Лекція № 13 (2 години)

Тема лекції: **Методи вимірювання частоти при ефірному контролі радіовипромінювань**

План лекції

1. Методи контролю частоти
2. Технічна реалізація методів.

Зміст лекції

1. Методи контролю частоти зводяться до порівнювання невідомої частоти з еталонною. Їх підрозділяють на такі:

- фільтрові,
- дискримінаційні,
- інтерференційні,
- цифрові,
- з застосуванням швидкого перетворювання Фурь'є (ШПФ).

2.1. Фільтровий метод зводиться до пошуку в панорамному приймачі з послідовним або паралельним аналізом такого фільтру, який у деякий момент часу оказується налаштованим на частоту сигналу, який досліджується. Максимальна похибка не перевищує половини смуги пропускання фільтру.

2.2. Метод частотного дискримінатора припускає перетворення відхилення частоти в постійну напругу, пропорційну цьому відхиленню. В дискримінаторі застосовують пару розстроєних резонансних контурів.

2.3. Метод інтерферометра (накладання) заснований на порівнюванні фаз прямого та відбитого від узгодженого навантаження вимірювального тракту сигналів. Частота визначається різницею фаз обох сигналів, яка виникає на звісному відрізку лінії затримки.

2.4. Цифровий частотомір є радіоприймальним пристроєм, в якому вхідний формувач перетворює сигналив короткі імпульси під час переходу через «нуль». Ці імпульси поступають на схему збіжності, яка відкривається стробом на час вимірювання. Вимірювальна частота визначається відношенням кількості коротких імпульсів до довжини стробу.

2.5. Метод ШПФ реалізується з застосуванням відповідного алгоритму, реалізованого у вигляді перетворювача ефірного сигналу в спектр (аналізатор ШПФ). Частота радіосигналу оцінюється за максимальним спектральним складником.

Лекція № 14 (2 години)
Тема лекції: Методи вимірювання займаної смуги частот

План лекції

1. Визначення ширини займаної смуги частот (ШЗСЧ) і умови її вимірювання.
2. Метод за критерієм відношення потужностей (Метод $\beta/2$).
3. Метод за критерієм X дБ.

Зміст лекції

1. ШЗСЧ є смугою, за нижньою та верхньою границями якої зосереджено $\beta/2$ процента середньою потужності випромінювання. Як правило, $\beta = 1,0$ %.

Причинами, що утруднюють процедуру вимірювання ШЗСЧ, є такі:

- можливий низький рівень випромінювання, яке необхідно виділити з множини інших електромагнітних полів,
- можливі викривлення сигналу у процесі їх поширення у точку нагляду,
- постійна часу контрольного обладнання перевищує величину, яка пов'язана з швидкістю передавання інформації.

2. За допомогою аналізатора спектру на спектрограмі виявляються дві граничні частоти. Їх значення залежать від форми обвідної спектра – поблизу від них обвідна змінюється майже за лінійним законом (в дБ на одиницю частоти). Програмним шляхом визначається потужність сигналу між ними.

Ті самі частоти можна визначити шляхом ітерацій граничних частот, доки ця процедура не вплине на результат інтегрування спектральної густини сигналу, тобто – на його середню потужність. Виявлені частоти вважають границями ШЗСЧ.

Реалізація метода потребує достатньо високого значення відношення $\frac{\text{сигнал}}{\text{завада}}$ в антені аналізатора спектра.

3. Метод базується на вимірюванні ширини смуги частот на рівні $X = -26$ дБ відносно нульового рівню, який визначається максимальним значенням спектральної складової сигналу.

Вимірювання ШЗПЧ можна здійснювати шляхом послідовного або паралельного аналізу (з застосуванням одного налаштованого смугового фільтру або декількох смугових фільтрів)

Граничні частоти визначаються на спектрограмі ефірного сигналу наочно або у програмний спосіб (в автоматичному режимі).