

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Моделювання засобів поглинання радіовипромінювання для систем захисту інформації

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи РРм-61
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Кузнецов М.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Яськів В.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хвостівська Л.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Дедів Л.Є.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« » 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Кузнецов Михайло Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделювання засобів поглинання радіовипромінювання для систем захисту інформації

Керівник роботи Яськів Володимир Іванович, д.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 01 » грудня 2023 року № 4/7-1135

2. Термін подання студентом завершеної роботи 11 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання, моделювання засобів поглинання радіовипромінювання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина

2. Основна частина

3. Науково-дослідна частина

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

АНОТАЦІЯ

Моделювання засобів поглинання радіовипромінювання для систем захисту інформації // Кваліфікаційна робота магістра // Кузнецов Михайло Миколайович // ТНТУ ім. І.Пулюя, ФПТ // Тернопіль, 2023 // с. - 71, рис. - 19, дод. - 1, бібл. - 14.

Ключові слова: РАДІОДІАПАЗОН, ПОГЛИНАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ.

В роботі проведено проектування та моделювання засобів поглинання радіовипромінювання для систем захисту інформації. Розглянуто основні фізичні принципи поглинання радіовипромінювання в матеріалах. Проаналізовано будову, принципи роботи та способи отримання метаматеріалів, вуглецевих нанотрубок та полімерних матеріалів і особливості їхнього використання для поглинання радіовипромінювання. Встановлено, що застосування метаматеріалів відрізняється ефективністю та низькою собівартістю. Саме цей тип матеріалу використано за основу проектування. Проаналізовано програмні засоби, що можуть бути застосовані для імітаційного моделювання матеріалів, що поглинають радіовипромінювання. Запропоновано варіант виконання поглинаючого матеріалу та досліджено його характеристики.

ANNOTATION

Modeling of means of absorption of radio radiation for information protection systems // Kuznetsov M.M. // TNTU, FPT // Ternopil, 2023 // p. - 71, tabl. - 19, appl. - 1, bibl. - 14.

Key words: RADIO RANGE, ABSORPTION, SIMULATION.

In the master's thesis, the designing and modeling of radio radiation absorption means for information protection systems was carried out. The main physical principles of bending of radio-radiation in materials are considered. The structure, principles of operation, and methods of obtaining metamaterials, carbon nanotubes, and polymer materials and the peculiarities of their use for radio radiation absorption are analyzed. It has been established that the use of metamaterials is effective and low cost. It is this type of material that was used as a design basis. Software tools that can be used for simulation modeling of radio-absorbing materials are analyzed. A version of the absorbing material was proposed and its characteristics were investigated.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	10
1.1 Задача поглинання радіовипромінювання.....	10
1.2 Ефекти від впливу радіовипромінювання.....	12
1.3 Задача розроблення радіоекрануючих та радіопоглинаючих матеріалів.....	13
1.4 Висновки до розділу 1.....	16
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	17
2.1 Функціонування матеріалів, що поглинають радіовипромінювання.....	17
2.2 Застосування метаматеріалу для задачі поглинання радіовипромінювання.....	28
2.3 Вуглецеві нанотруби.....	31
2.4 Застосування полімерних матеріалів.....	37
2.5 Висновки до розділу 2.....	43
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	44
3.1 Аналіз програмних засобів моделювання матеріалів, що поглинають радіовипромінювання.....	44
3.2 Моделювання матеріалів, що поглинають радіовипромінювання.....	45
3.3 Виготовлення матеріалів, що поглинають радіовипромінювання.....	51
3.4 Використання проектованого матеріалу.....	52
3.5 Висновки до розділу 3.....	53
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	54
4.1 Охорона праці.....	54
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	56
4.3 Висновки до розділу 4.....	67

ВИСНОВКИ.....68

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....70

ДОДАТКИ

ВСТУП

Актуальність. З розвитком технологій почали широко використовуватися бездротові мережі обміну даними, що мають низку переваг: бездротова мережа дозволяє скоротити витрати на прокладання кабелю від мережі провайдера до будинку; економія фінансових ресурсів на організацію великої розгорнутої локальної мережі всередині будинку; є оптимальним рішенням у разі неможливості проведення кабельних робіт у будинку через особливості конструкції або з інших технічних причин; відмова від кабельних робіт дозволяє скоротити час з побудови бездротової мережі у кілька разів; можливість зв'язати між собою мережі абсолютно різної конфігурації та на різному обладнанні; організація бездротової мережі є оптимальним рішенням у разі потреби зібрати резервний чи тимчасовий канал зв'язку; все радіообладнання має мобільність і може бути повністю перевезене на нове місце, тоді як проведені кабельні мережі та оптоволокло доведеться залишити в будинку.

У зв'язку з поширенням бездротових комунікацій стали виявлятися певні проблеми при експлуатації, такі, як проблема безпеки передачі даних, проблеми охорони здоров'я, електромагнітної сумісності.

Для вирішення цих проблем можливим є забезпечення ефективного радіопоглинання та/або радіоекранування чи відбивання. Для цього на сьогодні розроблено багато методів, основним із яких є використання спеціальних за структурою, складом та будовою матеріалів, що поглинають радіовипромінювання. В роботі саме і проводиться розробка варіанту такого матеріалу, як засобу поглинання радіовипромінювання для систем захисту інформації.

Мета. Моделювання та проектування засобу поглинання радіовипромінювання для систем захисту інформації. **Задачі:**

- аналіз способів захисту від випромінювання радіодіапазону;

- аналіз особливостей поглинання та екранування радіовипромінювання;
- аналіз матеріалів для поглинання радіовипромінювання;
- моделювання та проектування структури матеріалу для поглинання випромінювання радіодіапазону.

Об'єкт дослідження: процес проектування засобу поглинання радіовипромінювання для систем захисту інформації.

Предмет дослідження: структура матеріалу для поглинання радіовипромінювання.

Наукова новизна. Застосовано метаматеріал для поглинання випромінювання радіодіапазону та проведено моделювання його роботи.

Практичне значення. Можливість створення ефективних систем поглинання радіовипромінювання для захисту інформації.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Задача поглинання радіовипромінювання

Для вимірювання радіочастотного випромінювання розраховують кількість радіочастотної енергії, що поглинається тілом при використанні випромінюючого пристрою.

Відомим є коефіцієнт поглинання ЕМ енергії (SAR) – він показує кількість енергії електромагнітного поля, яке поглинають тканини тіла людини за секунду.

За великим рахунком, за допомогою SAR вимірюють лише величину випромінювання мобільних пристроїв на людину. Цей показник може змінюватися і залежить від способу вимірювання: у Європі його обчислюють для 10 грамів тканин у ватах на кілограм (Вт/кг), США — для 1 грама тканин (теж у Вт/кг).

Показник SAR для мобільних пристроїв вимірюється під час роботи на максимальній потужності. Він залежить передусім від стільникового передавача, який може змінюватися від умов (наприклад, від якості зв'язку — що вона краща, тим менша потужність).

Переважна більшість країн дотримуються рекомендацій експертів із ВООЗ та Міжнародного союзу електрозв'язку (ITU). Вони призначені для забезпечення захисту людей (включно з дітьми) від усіх відомих небезпек для здоров'я.

Відповідно до стандарту ICNIRP 1998 (або ICNIRP 2000), який використовується в 156 країнах, межа радіочастотного випромінювання може бути 2Вт/кг.

Однак 19 країн, включаючи США, Індію та Південну Корею, покладаються на стандарт FCC 1996 — він передбачає межу 1,6 Вт/кг (вимірянний у масі 1 грам).

Деякі країни (наприклад, Канада) поєднують ліміти обох вищеописаних стандартів).

Оскільки SAR вимірюється лише при роботі на максимальній потужності, не варто зіставляти цей показник у кількох смартфонів для оцінки випромінювання у реальних умовах використання. До того ж варто враховувати, що сучасні смартфони постійно намагаються знизити потужність передавача (як мінімум для економії енергії та запобігання мережевим перешкодам), і вони вкрай рідко працюють на максимальній потужності.

Є щонайменше три випадки, коли SAR може ввести в оману при неправильній інтерпретації. Кожен з наступних прикладів передбачає, що модель «А» має значення SAR вище, ніж модель «Б»:

Смартфон «А» може мати більший SAR тільки при максимальному навантаженні, але у всіх інших ситуаціях у моделі «Б» може бути сильніше випромінювання. Таким чином, користувач смартфона "Б" в цілому опромінюється мобільним пристроєм більше, ніж власник гаджета "А".

Телефон «А» може бути ефективнішим при використанні стільникового зв'язку і, відповідно, працювати на меншій потужності за за однакової якості зв'язку.

Смартфон «А» може демонструвати найбільшу потужність за тих умов, у яких власник рідко чи ніколи не використовує його. У той же час модель «Б» може досягати пікової потужності в стандартних для користувача умовах, що постійно піддаватиме його максимальному впливу випромінювання.

З цього виходить, що сертифікаційні організації в різних країнах вимірюють SAR в лабораторних умовах тільки для того, щоб оцінити, чи може смартфон перевищити допустимий поріг випромінювання за будь-якого з можливих сценаріїв використання. Користувач може взагалі ніколи не зіткнутися з такою потужністю, але завдання наглядових відомств — перевірити і переконатися, що смартфон не становитиме небезпеки за жодних сценаріїв

використання.

1.2 Ефекти від впливу радіовипромінювання

Тепловий ефект. Це один із головних ефектів, що викликаються радіочастотним випромінюванням, але він можливий лише у разі сильного впливу. Якщо радіовипромінювання недостатнє, організм сам справляється з усуненням теплового ефекту: при локальному нагріванні додаткове тепло приділяється через кровотік, а при нагріванні всього тіла збільшується приплив крові до шкіри, через що тепло відводиться шляхом потовиділення.

Однак якщо радіочастотне випромінювання досить сильне та терморегуляторна реакція організму порушується, то створюються несприятливі наслідки для здоров'я.

Доведено, що тривала гіпертермія в ділянці очей сприяє розвитку катаракти та інших захворювань очей.

Глибина проникнення. Шкода радіовипромінювання, що завдається живим організмам, безпосередньо залежить від глибини проникнення, на яку впливає частота:

- у мегагерцевому (МГц) діапазоні електромагнітні поля, що використовуються для мовлення методом амплітудної модуляції, проникають у тіло на відстань від 10 до 30 см;
- в діапазоні частот, який використовується в стільниковому зв'язку (близько 1 ГГц), електромагнітні поля проникають у тіло на кілька сантиметрів;
- при частотах понад 10 ГГц, що використовуються у радіолокаційному обладнанні, глибина проникнення становить менше 1 мм;
- на більш високих частотах електромагнітні поля зачіпають лише поверхню шкіри.

Резонанс. Це важливий ефект для оцінки впливу радіочастотного

випромінювання. Має значення розмір людини, оскільки її тіло постає як приймальна антена. Найбільше енергії поглинається у випадку, якщо розмір людини становить приблизно половину довжини хвилі випромінювання.

Також поглинання радіовипромінювання залежить від орієнтації людини на електромагнітному полі. Для дорослих людей частотний діапазон резонансного поглинання становить близько 70 МГц, а для дітей приблизно 100 МГц. Такий діапазон частот використовується для мовлення на дуже високих частотах (ОВЧ).

«Мікрохвильовий слух». Так назвали особливий ефект радіочастотних електромагнітних полів, зроблений короткими потужними сильними імпульсами. За певних умов ці імпульси можна почути як гул чи клацання. Ефект обумовлений тим, що під впливом коротких потужних радіочастотних сигналів ділянки тканини мозку нагріваються, а отже, і розширюються — збуджуються механічні хвилі в тканинах, що лежать у ділянці слуху, і стимулюють внутрішнє вухо.

"Мікрохвильовий слух" не можуть викликати передавачі з радіо, телевізорів або смартфонів. Для його появи потрібна дуже висока енергія одного імпульсу — таку можна отримати, наприклад, у безпосередній близькості до потужних радарних установок.

1.3 Задача розроблення радіоекрануючих та радіопоглинаючих матеріалів

Полімери різного складу та будови використовують для створення великого асортименту матеріалів різного призначення, в тому числі, з регульованими електрофізичними властивостями. При цьому, їх можна застосовувати як електропровідні та магнітодіелектричні матеріали в радіоекрануючих та радіопоглинаючих електромагнітну енергію (ЕМЕ) радіодіапазону покриттях та конструкціях. При контакті електромагнітних хвиль

з радіоекрануючими та радіопоглинаючими матеріалами мають місце процеси відбиття, розсіювання, інтерференції, дифракції та поглинання з перетворенням ЕМЕ за різними механізмами. У полімерних композиціях з електропровідними наповнювачами, електропровідними полімерами із власною провідністю виникає вихрове електричне поле та мають місце втрати ЕМЕ. Вихрові струми Фуко нагрівають матеріали за законом Джоуля-Ленца, перетворюють ЕМЕ на теплову. У полімерних композиціях з магнітними наповнювачами поглинання ЕМЕ квадратично залежить від напруженості магнітного поля та наведення вихрових струмів магнітогістерезисних, діелектричних та магнітних втрат. Поглинання феритами ЕМЕ НВЧ-діапазону засноване на ефектах Фарадея та феромагнітного резонансу.

Ефективність радіоекрануючих ЕМЕ матеріалів, покриттів та конструкцій характеризують коефіцієнтом відбивання R , забезпечуючи мінімальні проходження ЕМЕ за екран.

Ефективність радіопоглинаючих ЕМЕ матеріалів, покриттів і конструкцій пов'язана з максимальним поглинанням і мінімальним відбиттям ЕМЕ від об'єктів.

Необхідна ефективність досягається при використанні результатів аналізу фізичних явищ у матеріалах при дії на них ЕМЕ радіодіапазону; аналізу впливу складу та структури матеріалів на показники їх діелектричних та магнітних властивостей. Матеріали з регульованими діелектричними та магнітними властивостями призначаються для різних галузей техніки.

При розробці систем та способів екранування та поглинання ЕМЕ радіодіапазону, у тому числі ЕМЕ ВЧ та НВЧ частот, використовують теоретичні уявлення та практичну інформацію про взаємодію ЕМЕ радіодіапазону з матеріалами різного складу та будови. Електромагнітні випромінювання характеризуються напруженнями (індукціями) електричного (E) та магнітного (H) полів та їх коливаннями (електромагнітними хвилями). ЕМ

хвилі характеризують частотою коливань.

Радіохвилі є ЕМВ з довжиною хвилі більше 100 мкм (рис. 1.1). Залежно від довжини хвилі різняться методами генерації посилення, випромінювання, поширення. Радіохвилі (103-1012 Гц) ділять на наддовгі (10-30 км), довгі (1-10 км), середні (1000-100 м), короткі (100-10 м) та УКХ ($\lambda < 10\text{м}$), енергія для хвиль з λ 1м-1мм $250 \cdot 1 \text{ еВ}$, метрові, дециметрові, сантиметрові, міліметрові, субміліметрові).

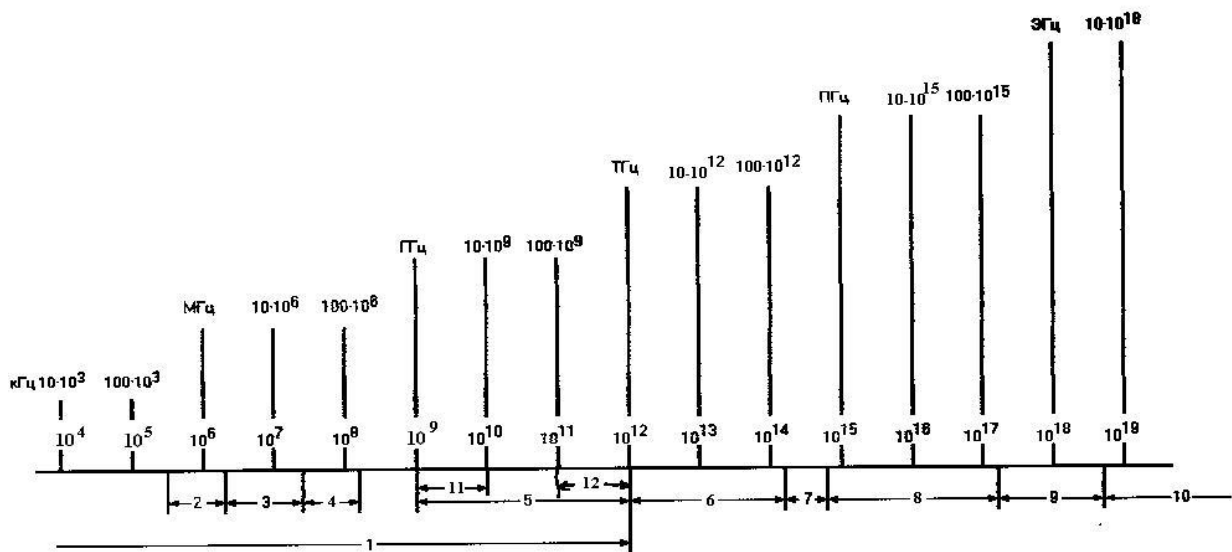


Рис. 1.1. Частотні діапазони електромагнітного випромінювання:

- 1) радіодіапазон; 2) ширококомовний діапазон; 3) короткохвильовий діапазон;
- 1) діапазон відеочастот; 2) діапазон роботи РЛС (НВЧ > 800 МГц, частоти 1-20 ГГц); 3) ІЧ діапазон; 4) оптичний; 5) УФ діапазон; 9) рентген; 10) γ випромінювання; 11) мікрохвильовий; 12) терагерцевий діапазон

Взаємодія ЕМЕ різних частотних діапазонів (рис. 1.1) з матеріалами мають власну специфіку. При розробці радіаційностійких та радіаційноекрануючих матеріалів розглядаються механізми процесів взаємодії матеріалів з іонізуючими хвильовими (рентген, γ - випромінювання) та корпускулярними (нейтрони) компонентами ЕМЕ.

1.4 Висновки до розділу 1

Проаналізовано задачу захисту від радіовипромінювання, зокрема для забезпечення інформаційної безпеки. Розглянуто спосіб оцінювання рівня радіовипромінювання, ефекти від такого випромінювання при впливі на людину, а також задача розроблення радіоекрануючих та радіопоглинаючих матеріалів.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Функціонування матеріалів, що поглинають радіовипромінювання

При розробці екрануючих та поглинаючих ЕМЕ радіодіапазону матеріалів розглядаються механізми процесів взаємодії матеріалів з електричною та магнітною компонентами ЕМ поля радіодіапазону. ЕМ поле радіохвилі, що проходить із зовнішнього простору з хвильовим опором Z_1 описується рівняннями Максвелла, які пов'язують напруженості електричної (E) і магнітної (H) складових ЕМ поля з коефіцієнтами відображення R та поглинання A, B ЕМЕ матеріалом з певними електрофізичними властивостями, показниками його діелектричної/магнітної проникності.

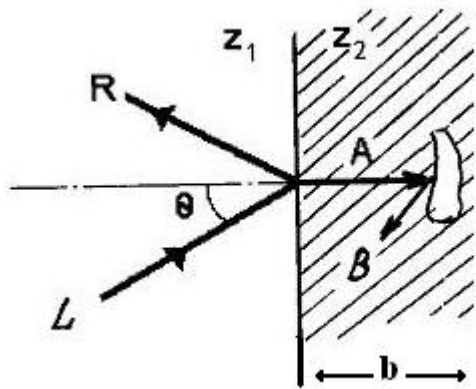


Рис. 2.1. ЕМЕ радіодіапазону на поверхні та в об'ємі матеріалів з хвильовим опором

ЕМЕ радіодіапазону на поверхні та в об'ємі матеріалів з хвильовим опором Z_2 перетворюється завдяки явищам відбиття, розсіювання, інтерференції, дифракції, поглинання ЕМ хвиль. Процеси відбиття, розсіювання перетворюють

потік ЕМЕ певного напрямку в потоки протилежного напрямку при відбитті, в потоки різних напрямів - при розсіянні, дифракції. Величину відбивної здатності матеріалу, напрямок вторинного випромінювання певною мірою визначає інтерференція ЕМ хвиль (повна аналогія оптичної інтерференції). Механізми поглинання ЕМЕ (виникнення вихрових електричних полів, резонансні процеси та ін.) у матеріалах визначаються їх складом. Поглинена ЕМЕ перетворюється на теплову.

Перетворення ЕМЕ, що надходять із зовнішнього простору ЕМ хвиль L при їх контакті з матеріалами визначається сумою

$$L = A + R + B, \text{ дБ} \quad (2.1)$$

де: A – втрати ЕМЕ, обумовлені її поглинанням матеріалом;

R - втрати ЕМЕ, пов'язані з відображенням енергії від поверхонь матеріалу завтовшки b

B - втрати ЕМЕ через внутрішні трансформації в матеріалі;

Основними вимогами до матеріалів, що поглинають радіовипромінювання (МПП) є максимальне поглинання A електромагнітної енергії у визначеному частотному інтервалі та довжин ЕМ хвиль.

При розробці радіо екрануючих матеріалів, головні вимоги до них - забезпечення мінімального проходження ЕМЕ за екран ($L \rightarrow 0$).

При розробці систем та способів, що забезпечують необхідний рівень відображення та поглинання ЕМЕ радіодіапазону з частотами до 10^{-12} Гц є діелектричні, магнітні, радіотехнічні, геометричні параметри матеріалів, покриттів та конструкцій.

Для різних типів матеріалів є розрахунковий апарат, що дозволяє пов'язати їх поглинаючі та екрануючі властивості з їх електрофізичними властивостями.

Поглинання ЕМЕ прямо пропорційне товщині матеріалу «b» і коефіцієнту загасання в цьому матеріалі: $A=b \cdot \alpha$, Непер, або $A = 8,686 b \alpha$, дБ.

Значення коефіцієнтів загасання ЕМЕ для різних типів матеріалів визначаються їх електрофізичними властивостями, наприклад для матеріалів з електропровідними компонентами:

$$\alpha = 2\pi f \sqrt{\epsilon' \mu' \left[-\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{\gamma^2}{\epsilon' \mu'}} \right]}, \text{ Непер/м}, \quad (2.2)$$

де: f -частота ЕМЕ, Гц; $\gamma=1/\rho_v$ – провідність матеріалу, Ом⁻¹·м⁻¹; ρ_v – питомий об'ємний опір, Ом·м; ϵ' і μ' -дійсні частини комплексних діелектричної/магнітної проникності.

При розрахунках враховують коефіцієнт заломлення середовища “n” при $n=\mu'$ матеріали ефективно поглинають ЕМЕ. Степінь відбиття ЕМЕ від матеріалів визначається (відповідно до рівнянь Максвелла) коефіцієнтом відбиття R, який показує величину зменшення потужності потоку ЕМЕ, що падає нормально на границю двох середовищ:

$$R=10 \cdot \lg (1/1-r^2), \quad (2.3)$$

де: r -модуль амплітудного відбиття, $r = f$ (Rвідб), Rвідб - модуль енергетичного коефіцієнта відбиття.

Модуль Rвідб і коефіцієнт R залежать від кута падіння ЕМ хвилі θ : $R\theta = R \cdot (1 - \cos \theta)/(1 + \cos \theta)$. При $\theta \neq 0$ коефіцієнт відбиття $R\theta$ різко зростає. При розрахунках поглинання A та відбиття R значення вхідних опорів середовищ Z коригують з урахуванням кутів падіння хвилі. Коли вектор напруженості \vec{E} паралельний межі поділу середовищ імпеданс $Z_i=1/\cos\theta \cdot Z_1 = \frac{1}{\cos\theta} \sqrt{\frac{\mu_i}{\epsilon_i}}$; коли вектор \vec{H}

перпендикулярний межі поділу середовищ імпеданс $Z_i = \cos \theta \sqrt{\frac{\mu_i}{\varepsilon_i}}$.

Матеріали починають погано поглинати ЕМЕ, відбиваючи щонайменше 2-3%, при кутах $\theta=70-80^\circ$.

Модуль енергетичного коефіцієнта відбиття, що залежить від ε і μ матеріалів $R_{\text{відб}} = \sqrt{\varepsilon/\mu} - 1 / \sqrt{\varepsilon/\mu} + 1$ розраховують також, використовуючи значення хвильового опору матеріалу Z_2 , приймаючи $\sqrt{\varepsilon/\mu} = K = Z_2/Z_1$, де Z_2 - повний хвильовий опір поглинаючого матеріалу, Z_1 - повний хвильовий опір середовища, в якому знаходиться матеріал

$$R_{\text{відб}} = K - 1 / K + 1 = Z_2 - Z_1 / Z_2 + Z_1 \quad (2.4)$$

Оскільки повний хвильовий опір повітря, в якому зазвичай знаходиться поглинаючий матеріал, $Z_1 = 377$ Ом, то $R_{\text{відб}} = Z_2 - 377 / Z_2 + 377$.

Поглинаючий ЕМЕ матеріал буде відповідати своєму призначенню в тому випадку, якщо в ньому відсутнє відображення електромагнітної хвилі від зовнішньої поверхні, а енергія, що проникає всередину такого матеріалу, повністю в ньому поглинеться. Виконання цих умов досягається відповідним підбором електричних і магнітних властивостей матеріалу, насамперед комплексної діелектричної проникності та комплексної магнітної проникності при поступовому переході від слабопоглинаючого середовища до сильно поглинаючого середовища

Додатковим засобом, що підвищує поглинаючу здатність, є оптимізація форми поверхні («архітектури»). Для зменшення відбиття зовнішній поверхні радіопоглинаючого покриття надається рельєфність за рахунок виступів, пірамідальних шипів (рис. 2.2), певних осередків. Розмір кутів при вершинах шипів, особлива форма осередків сот визначають число контактів електромагнітних хвиль з поверхнею. При кожному контакті має місце

поглинання ЕМЕ та зменшення енергії відбитих електромагнітних хвиль. Коефіцієнт відбиття таких поверхонь мало залежить від кута падіння електромагнітних хвиль.

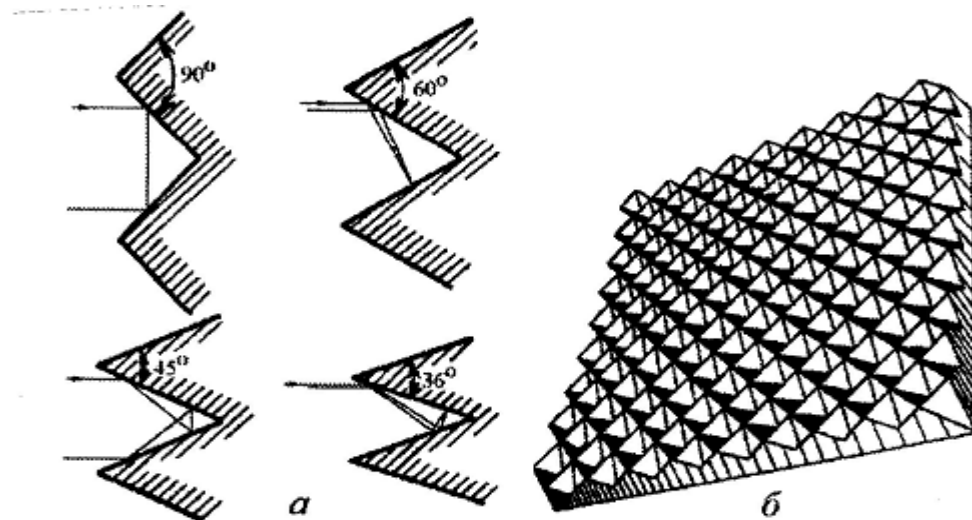


Рис 2.2. Вплив величини кутів рельєфу поверхні поглинаючого матеріалу на число контактів (а) ЕМЕ з ними (при куті 90° -2 контакти, при 60° -3, 45° -4, 36° -5) та варіант (б) «архітектури» поверхні матеріалу.

Удосконалення МПР досягається використанням електроактивних полімерів, нанорозмірних наповнювачів в електропровідних та магнітодіелектричних матеріалах.

Покриття на основі капсульних гелів з поліелектролітів (поліелектролітні гелі-хемомеханічні системи, що змінюють свої розміри та об'єм при проходженні електричного струму, завдяки електроосмотичним процесам) - електроактивних (п'єзоелектричних) полімерів, до яких відносяться полікислоти, поліоснови (полівініламін, полі-4-вінілпіридин), що під впливом ЕМЕ змінюють свій рельєф, забезпечуючи дифузне відображення.

Покриття, сформовані з вертикально орієнтованих вуглецевих нанотрубок (діаметр близько 10нм, довжина 10-100мкм) практично повністю поглинають

ЕМЕ (коефіцієнт відображення видимого діапазону в інтервалі 380-760нм - 0,045%).

Вузькодіапазонні матеріали. Поглинання ЕМ-хвиль певного діапазону проходить у матеріалах інтерференційного типу та матеріалах, що використовують принцип «електричного болота».

Інтерференційний матеріал - поглинач ЕМЕ, що складається з шару діелектрика, накладеного на поверхню конструкції. Поглинання ЕМЕ відбувається в результаті накладання несхожих по фазі коливань та гасіння в результаті резонансу при інтерференції (рис. 6'9). Резонанс досягається завдяки інтерференції хвиль, що відбилися від зовнішньої поверхні та поверхні, на яку нанесено покриття. При цьому відстань між відбиваючими поверхнями (товщина покриття) повинна бути такою, щоб забезпечувалося складання відбитих хвиль з рівними амплітудами в протифазі.



Рис. 2.3 Принцип роботи інтерференційного вузькодіапазонного матеріалу: 1 – шар діелектрика 2 – стінка конструкції.

Вибір товщини h резонансного вузькодіапазонного інтерференційного поглинаючого матеріалу визначається довжиною ЕМ хвиль λ , значеннями ϵ та μ

$$h = \lambda/4\sqrt{\epsilon \cdot \mu} \quad (2.5)$$

Матеріали цього типу, що призначені для поглинання коротких хвиль, можуть бути досить тонкими. Для певної довжини хвилі товщина покриття, величини ϵ і μ повинні мати малі ($\pm 5\%$) відхилення від заданих. Такі матеріали добре працюють лише за нормального падіння хвиль. Багатошарові радіопоглинаючі конструкції, що поглинають більшу частину ЕМЕ перш, ніж вона досягне відбиваючої поверхні (принцип «електричного болота», electric swamp), складаються з почергових шарів діелектрика, який має незначні діелектричні втрати, і шарів з низькою електропровідністю товщиною 0,1 мм за значеннями $\text{tg } \delta_u$ і ρ_s (з 14 до 0,3 кОм/0,24м², розрахунок згідно з теорією передавальних ліній) у міру наближення до відбиваючої поверхні. Товщина радіопоглинаючого багатошарового покриття h пов'язана з λ співвідношенням $h=0,1 \lambda$, (при $\lambda=1\text{ м}$ $f=0,3\text{ ГГц}$, $h=10\text{ см}$). Коефіцієнт відбиття R при куті падіння 80° становить 3%, при куті 0° - близько 1%.

У багатошарових покриттях, що використовують принцип «електричного болота», в якості діелектричної компоненти використовують пінопласти та пінорезини на основі полімерів з високими діелектричними властивостями (полістироли, поліетилен, фторопласти, кремнійорганічні гуми, поліуретани еластичні та жорсткі). Забезпечується і узгодження вхідних опорів (імпедансів Z_1 і Z_2) за рахунок оптимального рельєфу поверхні (перфорація, шипи, коефіцієнт відображення мало залежить від кута падіння, збільшення розсіювання ЕМЕ за рахунок дифракції хвиль, відхилення хвиль, що виникають при їх поширенні в середовищах з різкими неоднорідностями, з перешкодами, що властиво будь-якому хвильовому руху; коли розміри неоднорідностей мають порядок довжини хвилі λ ; спостерігається при поширенні хвиль поблизу країв шипів, крізь вузькі отвори та щілини).

Подібні матеріали і за принципом дії і на вигляд асоціюються з поверхнею болота.

Широкодіапазонні матеріали. Мінімальне відбиття R та максимальне поглинання A енергії ЕМ хвиль широкого діапазону довжини забезпечують покриття та конструкції на основі магнітодіелектричних та електропровідних композицій.

В реальних умовах потрібне поглинання ЕМЕ радіодіапазону різної довжини (частоти), коли вузькодіапазонні інтерференційні та працюючі в ширшому діапазоні покриття, засновані на принципі «електричного болота», навіть за оптимізованих показників ϵ і μ їх матеріалів не є ефективними. Але й термін «широкодіапазонні» досить умовний, оскільки для поглинання енергії радіохвиль низьких, високих та надвисоких частот потрібно провести цілеспрямований вибір складу та співвідношення компонентів поглинаючих матеріалів.

Широкодіапазонні екрануючі та поглинаючі матеріали являють собою композиційні матеріали на основі діелектричних сполучних (полімери, кераміка), струмопровідних та магнітних компонентів (наповнювачі) різної природи (вуглецеві порошки, у тому числі, нанорозмірні, сажі, фулерени, нанотрубки, волокна - у струмопровідних матеріалах, магнітом'які та склоподібні метали, ферити - у магнітодіелектричних матеріалах).

Перетворення ЕМЕ при контакті з діелектриками відбувається за рахунок діелектричних ($\text{tg}\delta_\epsilon$) втрат, інтерференції, дифракції, з наповненими діелектриками та за рахунок магнітних ($\text{tg}\delta_\mu$) втрат. Матеріали повинні мати високі значення $\text{tg}\delta_\epsilon$ і $\text{tg}\delta_\mu$. Для збільшення $\text{tg}\delta_\epsilon$ в діелектрики вводять сажі і спінують у 100-200 разів. Для збільшення $\text{tg}\delta_\mu$, матеріали використовують у вигляді порошків, гранул, заповнюючи ними порожнини конструкцій, комірки сот.

Перетворення ЕМЕ при контакті з магнітодіелектриками відбувається за рахунок наведення розсіяних слабких струмів (вихрові струми Фуко), діелектричних ($\text{tg}\delta_\epsilon$) та магнітних ($\text{tg}\delta_\mu$) втрат.

Для зниження магнітного опору магнітодіелектриків використовують сполучник з високою магнітною проникністю на основі струмопровідних (поліпіроли, поліацетилен) і металовмісних полімерів.

У магнітодіелектриках з магнітомягкими наповнювачами (ферити та інших) мають місце магнітогістерезисті (оцінюються площею, що обмежена кривими петлі гістерезису), резонансні (феромагнітний резонанс при частотах магнітного поля моменту феромагнетика, для НВЧ-феритів ширина інтервалу Δ).

Механізм поглинання ЕМЕ, радіопоглинаючі властивості МПР визначаються діелектричними/магнітними властивостями їх компонентів, механізмом взаємодії з електричними та магнітними полями зовнішнього ЕМ поля, вмістом діелектричних, електропровідних, магнітних компонентів таких композицій конструкцій.

Діелектричні компоненти МПР. Як діелектричні компоненти МПР, покриттів і конструкцій використовують термо- і реактопласти та еласти, пінопласти, піногуми, сфероласти та гуми.

Діелектричні властивості полімерів - сукупність параметрів, що визначають поведінку полімерів в електричному полі. Такими параметрами є електрична міцність $E_{\text{міц}}$, питомий електричний опір (об'ємний ρ_v і поверхневий ρ_s), діелектрична проникність ϵ і діелектричні втрати $\text{tg}\delta_\epsilon$. Ці величини залежить від температури, вологості, частоти і амплітуди напруженості E , тобто величин, що характеризують зовнішнє середовище та умови експлуатації. Діелектричні втрати - частина енергії зовнішнього ЕМ поля, яка незворотно розсіюється у діелектриці.

В електричному полі діелектрики поляризуються. Вектор сили струму, що виникає в діелектриці при додатку напруги, випереджає по фазі вектор напруженості поля (зсув фаз між вектором напруженості і поляризації, що виникає) на кут діелектричних втрат δ . В узагальненій діелектричній проникності ($\epsilon^* = \epsilon' + i\epsilon''$) активна речовинна частина ϵ' обумовлена деформаційною та орієнтаційною поляризацією, ϵ'' (уявна частина) характеризує кінетику процесу встановлення орієнтаційної дипольної поляризації. З макроскопічної точки зору ϵ'' є мірою діелектричних втрат, що забезпечує певний рівень екранування та поглинання електричної складової ЕМ поля, що незворотно перетворюється в діелектриці в тепло.

Параметрами, що визначають ефективність полімерів в екрануючих та поглинаючих ЕМЕ матеріалів, є електричний опір ν , s , $\text{tg}\delta_\epsilon$, ϵ та електрична міцність (забезпечення відсутності пробою після поглинання високоенергетичного ЕМІ).

Параметри покриттів та конструкцій залежать від діелектричних механічних, теплофізичних властивостей полімерів та полімерних композицій, їх тепло-, термо-, вогнестійкості, рівня водопоглинання. Як діелектрики використовують великий асортимент неполярних і полярних полімерів і матеріалів на їх основі.

Питомий об'ємний електричний опір ρ_v неполярних полімерів становить 1000-10000 Г Ом-м (10¹⁷-10¹⁸ Ом-см). Практично немає полімерів, позбавлених полярних груп. При синтезі неполярного полімеру можуть відбуватися заміщення або приєднання (наприклад при окисненні поліетилену), що призводять до появи полярних зв'язків. Крім того, практично завжди існує деяка асиметрія розподілу позитивно та негативно заряджених частинок, що призводить до появи відмінних від нуля дипольних моментів.

Полярні полімери мають питомий об'ємний електричний опір дещо нижчий, ніж неполярні (0,01-100 ТОм·м, або 10¹²-10¹⁰ Ом·см, у склоподібному стані). У полімерів з сильно полярними групами рv може знижуватися до 0,01-1,0 ГОм·м (10¹⁹-10¹¹ Ом·см) при $\epsilon = 15-20$.

Статична діелектрична проникність ϵ неполярних полімерів зазвичай становить при $T < T_c$ 2,0-2,5 до 2,8-4,0; для полярних вона змінюється у межах від 4,0 до 80 залежно від будови полімеру; ϵ'' зменшується із температурою.

При $T > T_c$ ϵ' підвищується до 40-120.

Діелектрична проникність пластиків та еластомерів при кімнатній температурі зазвичай не перевищує 4-7, досягаючи 15-20 лише для полімерів, що включають багато сильно полярних груп у бокових ланцюгах.

Діелектричні втрати ϵ'' - частина енергії зовнішнього електричного поля, яка незворотно розсіюється в діелектрику:

$$\epsilon'' = \epsilon' \cdot \text{tg} \delta_\epsilon$$

$$\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon''$$

Залежно від співвідношення циклічної частоти зовнішнього поля (ω) та часу релаксації (τ) ϵ^* змінюється від ϵ_1 (при $\omega\tau \gg 1$) до ϵ_0 (при $\omega\tau \ll 1$), $\epsilon_1 \rightarrow \epsilon$ у полі гранично високих частот, $\epsilon_0 \rightarrow \epsilon \beta$ низькочастотних та постійних полях. При $\omega\tau = 1$ ϵ є частото залежним та термозалежним і спостерігається значне поглинання енергії поля, що перетворюється на тепло. У цьому випадку $\epsilon^*(\omega, \tau) = \epsilon'(\omega, \tau) - i\epsilon''(\omega, \tau)$. Значення ϵ' неполярних полімерів близькі до квадрата заломлення

світлових хвиль. Значення $\text{tg}\delta_\epsilon$ неполярних полімерів поза межами максимуму становлять $5 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-3}$ і слабо залежать від ω і T . У максимумі значення $\text{tg}\delta_\epsilon$ можуть бути значно вище. Значення $\text{tg}\delta_\epsilon$ полярних полімерів сильно залежить від ω і T , які підвищений рівень обмежує застосування при високих частотах ЕМЕ. Для всіх полімерних діелектриків температурно-частотні залежності ϵ і $\epsilon(\text{tg}\delta)$ обумовлені дипольною природою полімеру або його домішок і релаксаційним характером встановлення поляризації.

2.2 Застосування метаматеріалу для задачі поглинання радіовипромінювання

Інша можливість зниження відбиття ЕМЕ від зовнішньої поверхні ґрунтується на застосуванні матеріалів, у верхніх шарах яких створюються періодичні, так звані кіральні провідні структури, що кооперативно взаємодіють з електромагнітним випромінюванням. Конструкції кожного такого елемента та всього їхнього ансамблю можуть бути найрізноманітнішими. У цьому випадку структури розраховуються таким чином, щоб діаграма спрямованості енергії, що поширюється, була по можливості двовимірною і лежала в площині відбиваючого матеріалу (покриття). При цьому для зниження відбиття від плоских провідних елементів, площа, яку займають такі структури, повинна бути мінімальною. Оскільки така структура, збуджуючись від стороннього джерела, передає накопичену енергію в навколишній простір, то аналогом такої структури може бути антена з великою радіаційною добротністю. Подібні радіопоглинаючі матеріали називаються поверхнями радіопоглинання на основі метаматеріалу.

Метаматеріали є композитами з своєрідними властивостями, якими не володіють природні матеріали. Приклад такої відмінності властивостей показано

на рис. 2.4 та рис. 2.5.

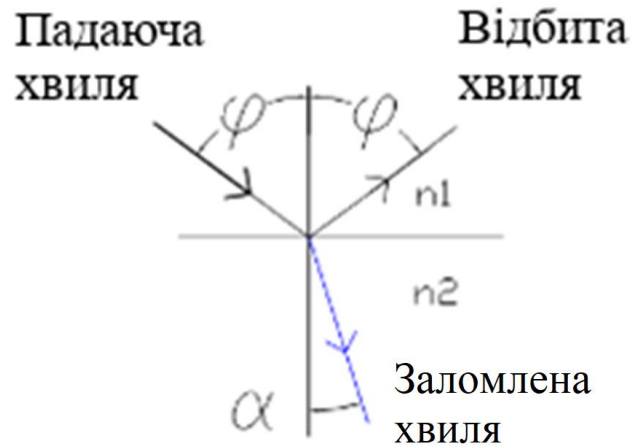


Рис. 2.4. Заломлення ЕМ хвилі у класичному середовищі

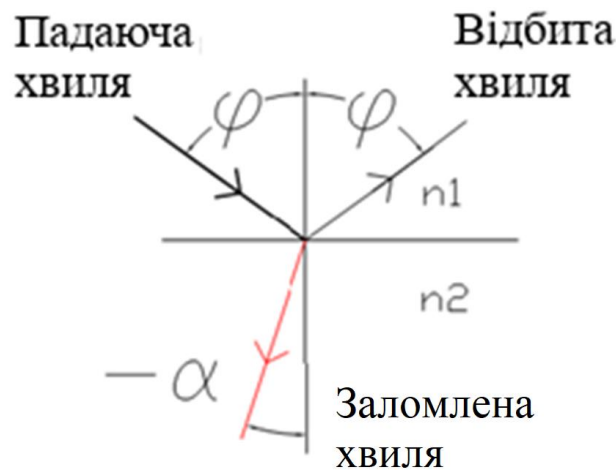


Рис. 2.5. Заломлення ЕМ хвилі в метаматеріалі

Отриманий матеріал відносно вузькосмуговий, хоча він має властивості, які традиційні поглинаючі матеріали не мають. А саме, при низьких частотах діелектрична/магнітна проникності шару малі та шар стає прозорим, що є важливим для вирішення низки задач електромагнітної сумісності.

МПП на основі метаматеріалу (рис. 2.6) являє собою періодичні решітки металевих щілинних розімкнених резонаторів (SRR), виконаних на діелектричній підкладці. Основна властивість МПП на основі метаматеріалу – поглинання

електромагнітних хвиль (ЕМХ) на частотах плазмового резонансу.

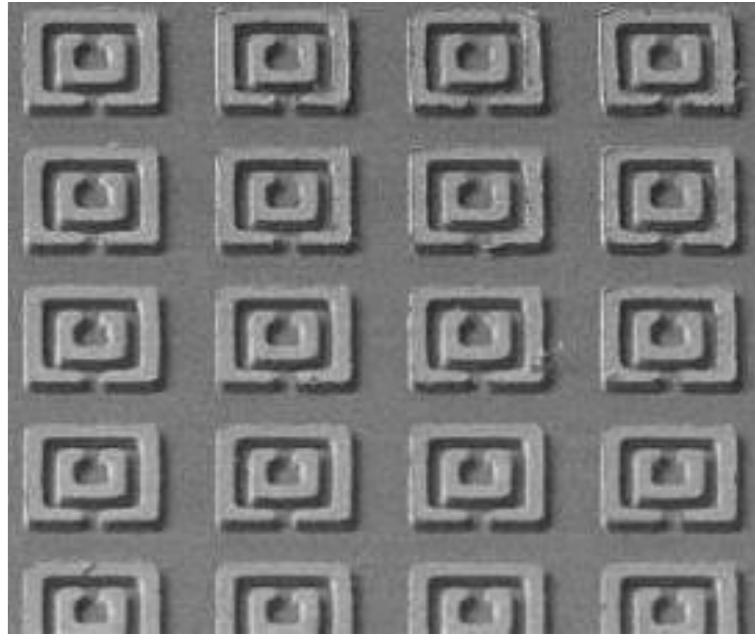


Рис. 2.6. Приклад метаматеріалу

Через такі проблеми, як вузькосмуговість МПР на основі метаматеріалу, залежність коефіцієнта поглинання від кута падіння та поляризації ЕМХ, в даний час ведуться інтенсивні роботи зі створення нових видів широкосмугових радіопоглинаючих матеріалів на основі МПР в інтересах удосконалення антеної техніки, розвитку технологій покращення перешкодозахищеності.

Одне з рішень цієї проблеми - створення двовимірного мікрохвильового поглинача з урахуванням метаматеріалу, електродинамічні властивості якого залежить від поляризації ЕМХ. Радіопоглинаючий матеріал виконаний у вигляді діелектрика завтовшки $h = 1$ мм. На поверхню діелектрика наносяться SRR осередки, що є 4 симетричні відносно центру RSS, кільця з двома щілинами і з металевою смугою поперек кільця з радіусом 2 мм, що забезпечує рівень поглинання не нижче 80% при кутах падіння ЕМХ від 0 до 50° на частоті 9,5 ГГц.

Поляризаційно-незалежний трисмуговий поглинач забезпечує рівень поглинання 99%, 93% і 95% на частотах 4,06 ГГц, 6,73 ГГц, 9,22 ГГц відповідно,

і забезпечує рівень поглинання не нижче 90% при кутах падіння від 0 до 50°. В якості основи був обраний діелектрик з $h = 0,78$ мм та з $\epsilon_r \epsilon_r = 4$. Кожна SRR комірка являє собою три вкладені прямокутні кільця з розмірами 9,6, 7,3 та 5,5 мм.

Двосмуговий поглинач на основі метаматеріалу працює на частотах 8,23 ГГц та 9,12 ГГц. Конструктивними особливостями RSS комірки є пара прямокутних резонаторів з двома щілинами (ширина щілин 2,5 мм) та з розмірами 36 мм x 35 мм кожна. Між резонаторами встановлено діод. При вимкненому режимі діод має великий ємнісний опір, через що резонансна частота знижується. При включеному діоді утворюється індуктивний опір, що підвищує резонансну частоту. Комірки нанесені на діелектрик - FR4 з $h = 2$ мм і з $\epsilon_r \epsilon_r = 4.4$ На зворотній бік діелектрика нанесений металевий екран.

Резонансна частота МПП з урахуванням метаматеріалу залежить від геометричних розмірів кільцевих щілинних резонаторів. Стандартні провідники, якими є метали, не мають еластичності на розтягування, через що неможливо створити радіопоглинаючий матеріал з підстроюванням резонансної частоти.

Вирішенням проблеми вузькосмуговості такого МПП може бути застосування матеріалів, що розтягуються. Прикладом такого матеріалу є провідники з вуглецевих нанотрубок SWNT (single wall carbon nanotubes), іонної рідини та еластичної субстанції, що на вигляд нагадує чорну гуму, полімер можна розтягувати на 134% від первісної форми, а перфоровані листи - в 2.34 рази.

2.3 Вуглецеві нанотруби

Вуглецева нанотрубка (ВНТ) – це циліндр, отриманий при згортанні плоскої гексагональної сітки без швів.

Суть унікальності властивостей ВНТ у особливостях електронної та

атомної структур цих сполук. Якщо в "класичних" плоских ароматичних структурах σ - і π -зв'язки геометрично є ортогональними, в фулеренах – ні. Ця неортогональність і визначає практично все різноманіття та відмінність їх властивостей.

ВНТ мають особливі механічні характеристики. Нанотрубки в 50-100 разів міцніше сталі при у шість разів меншій щільності. Нанотрубки не тільки міцні, а й гнучкі, і нагадують за своєю поведінкою не ламкі соломинки, а жорсткі гумові трубки.

Питання стійкості матеріалу до стиснення було розглянуто у дослідженні, проведеному вченими Політехнічного Інституту Ренслеєра. Як досліджуваний зразок був обраний шматок матриці з'єднаних разом вуглецевих багатошарових нанотрубок площею 2 мм². Вчені піддали його стиску на 25% від початкової висоти, після чого повторили цю операцію 500 разів.

Протягом усього циклу було проведено вимірювання механічних властивостей нанотрубок. Як виявилось, механічні властивості зразка не змінилися. Також залишилися постійними і електропровідні характеристики нанотрубок.

У результаті, вченими було встановлено, що масив пов'язаних нанотрубок має яскраво виражені високоеластичні властивості, тоді як одна нанотрубка такими властивостями не володіє.

Ці властивості нанотрубок можна використовувати для створення гнучких матеріалів, що мають високу зносостійкість при створенні еластичних МПР.

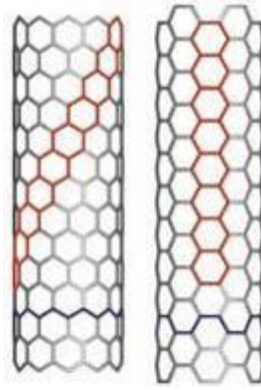


Рис. 2.7. Шов навскіс і вздовж нанотрубки, відповідно

Ще однією унікальною властивістю нанотрубок є квантування електричного опору.

Класичний опір R залежить від розмірів та складу матеріалу резистора і знаходиться за формулою (2.6):

$$R = \frac{\rho L}{S} R = \frac{\rho L}{S}, \quad (2.6)$$

де L - довжина, S - площа поперечного перерізу, ρ - питомий опір матеріалу резистора.

Опір об'єктів квантового світу, таких як вуглецеві нанотрубки, не залежить ні від довжини, ні від матеріалу, з якого вони виготовлені, а визначаються лише двома фундаментальними фізичними константами (e та h) за формулою (2.7):

$$R_0 = \frac{h}{2e^2} = 12,9 \text{ кОм} \quad R_0 = \frac{h}{2e^2} = 12,9 \text{ кОм}, \quad (2.7)$$

де e – заряд електрона, h – постійна Планка. Таким чином, квант електричного опору незмінний і є однаковим для резисторів квантового світу.

Незважаючи на наявність у квантовому провіднику опору, джоулеве тепло

не виділяється при проходженні струму. Така провідність називається балістичною. Випущені електрони не взаємодіють зі стінами нанотрубки. Втрата енергії відбувається лише у місцях контакту. Довжина хвилі об'єкта називається хвилею де Бройля і визначається за формулою (2.8)

$$\lambda = \frac{h}{p} \lambda = \frac{h}{p}, \quad (2.8)$$

де h - стала Планка, p - імпульс об'єкта. При проходженні по нанопровіднику діаметром кілька нанометрів, електрон виявляє хвильові властивості і проходить по вуглецевій нанотрубці так само як світло проходить по світловоду. Тим самим розсіювання джоулевого тепла відбувається лише в місці з'єднання об'єктів квантового світу з об'єктами класичної фізики. Тому щільність струму у провіднику досягає колосального значення – 10^7 А/см². Звичайний провідник при цьому миттєво випарувався б.

Вуглецеві нанотрубки можна отримати лазерним випаровуванням, вуглецевою дугою та хімічним осадженням парів.

Найбільш поширений спосіб отримання нанотрубок – електродугове випаровування графітових електродів. Щоб забезпечити стабільність дуги, зазор між електродами підтримується переміщенням одного або двох електродів. До електродів із вуглецю діаметром 5 - 20 мм, що рознесені на відстань близько 1 мм, в потоці гелію прикладається напруга 20 - 25 В. Атоми вуглецю вилітають з позитивного електрода і утворюють нанотрубки на негативному, при цьому довжина позитивного електрода зменшується. Для отримання одношарових нанотрубок в центральну область позитивного електрода додають невеликі кількості кобальту, нікелю або заліза в якості каталізаторів. Якщо використовувати каталізатори, виходять вкладені чи багат шарові нанотрубки, тобто нанотрубка всередині нанотрубки. Дуговим методом можна отримати

одношарові нанотрубки з розміром січення в 1-6 нм та довжиною близько 1 мкм.

Метод хімічного осадження з парової фази полягає в розкладанні газоподібного вуглеводню, наприклад, метану (CH_4) при температурі 1100°C . При розкладанні газу утворюються вільні атоми вуглецю, що потім конденсуються на більш холодній підкладці, яка може містити різноманітні каталізатори, такі як залізо. Цей процес дозволяє отримувати продукт безперервно і, можливо, є кращим для збільшення масштабів при промисловому виробництві.

Відмінність методів одержання нанотрубок одностінних і багатостінних в тому, що для перших потрібен металевий каталізатор. Механізм росту нанотрубок досі незрозумілий. Так як для росту одношарових трубок необхідний металевий каталізатор, механізм повинен пояснювати роль атомів кобальту або нікелю. Одна з пропозицій, яка називається "механізмом скутера", полягає в тому, що атоми металевого каталізатора приєднуються до обірваних зв'язків на відкритому кінці трубки і оббігаючи її по краю, сприяють захопленню атомів вуглецю з парової фази та їх вбудовуванню в стінку трубки.

Для отримання одностінних вуглецевих нанотрубок лазерним випаровуванням до графіту додають металеві каталізатори: Co і Ni , Co і Pt , Ni і Pt , Cu і Pt . Для отримання одностінних вуглецевих трубок за електродуговим методом анод містить суміш одного і більше порошків металу (Ni , Co , Fe , Mn , Cu , Zn , Cd , Y , Pt , Pd , Ru , Ag , Li , B , Al , In , Si та ін.) При піролізі вуглеводнів, найчастіше ацетилену та етилену, над металевими каталізаторами Ni , Co , Fe , нанесеними на Al_2O_3 або SiO_2 при температурі $500-800^\circ\text{C}$ також утворюються одностінні нанотрубки.

На жаль, жоден із відомих способів синтезу нанотрубок не дозволяє отримати їх у чистому вигляді. Зазвичай при синтезі виходить суміш нанотрубок різних типів з різним характером та величиною електропровідності. Тому стадії виділення та очищення найбільш трудомісткі при отриманні чистих вуглецевих

нанотрубок.

Група з IBM розробила метод відокремлення напівпровідних нанотрубок від металевих. Для поділу змішані пучки нанотрубок осаджують кремнієву підкладку, а потім на ці пучки напилюють металеві електроди. Використовуючи підкладку як електрод, на нього подають невелику напругу зміщення, що замикає напівпровідникові трубки і ефективно перетворює їх на ізолятори. Потім між металевими електродами прикладається висока напруга, що створює великий струм у металевих нанотрубках, що призводить до їх випаровування, після чого на підкладці залишаються тільки напівпровідникові нанотрубки.

Основні домішки вуглецевих нанотрубок - фулерени, вуглецеві частинки та металевий каталізатор. Фулерени відокремлюють ароматичними вуглеводнями. Для видалення частинок каталізатора одностінні нанотрубки обробляють розведеними кислотами (H_2SO_4 , HNO_3 , HCl) і відмивають солі, що утворилися. Найкращому видаленню металів сприяє попередня гідротермальна обробка.

Для видалення вуглецевих частинок графіту та аморфного вуглецю нанотрубки окислюють. Швидкість окислення вуглецевих частинок перевищує таку для нанотрубок, що дає змогу очистити останні від вуглецевих домішок. За такого методу втрачається кілька нанотрубок. Окислення зразків проводять при підвищених температурах у газовій фазі на повітрі або кисні. Можливе окислення в рідкій фазі: концентрованої HNO_3 , сумішах H_2SO_4 і NH_3 або H_2O_2 та інших окислювачах. Окислення видаляє аморфний вуглець та дрібні графітові частинки. При цьому з'являються відкриті кінці нанотрубок і дефекти їх стінок. Також можливе відокремлення вуглецевих частинок від нанотрубок селективною взаємодією останніх з розчинами органічних полімерів, що утворюють стабільні суспензії з одностінними та багатостінними нанотрубками. Частинки аморфного вуглецю випадають в осад. Молекули, що обволікають нанотрубки, можна легко відокремити за допомогою заміни розчинника або м'яким окисленням. Очищення

одностінних нанотрубок вуглецю можна провести мікрофільтрацією. Процес очищення включає утворення суспензії вуглецевих сферичних частинок, наночастинок металевих каталізаторів, наночастинок аморфного вуглецю та одностінних вуглецевих нанотрубок, у водному розчині катіоннообмінних поверхнево-активних речовин з подальшим утримуванням вуглецевих нанотрубок на мембранному фільтр. У цьому випадку не потрібно окислювальної обробки вихідного матеріалу з нанотрубками. За даними спектроскопії комбінаційного розсіювання виходять одностінні вуглецеві нанотрубки з чистотою понад 90 вагових %. При очищенні вуглецевих нанотрубок ексклюзійною колонковою хроматографією як нерухому фазу використовують поліакрилат калію. Після набухання поліакрилату при вакуумному фільтруванні в порах затримуються більші частинки вуглецю та каталізатора, тоді як вуглецеві нанотрубки проходять. Затриманий вуглець окислюють азотною кислотою з утворенням карбоксиамідів у водному середовищі. Широкі перспективи відкриває використання модифікованих нанотрубок, тобто не самих нанотрубок у чистому вигляді, а сполук або композицій з іншими речовинами на основі нанотрубок.

2.4 Застосування полімерних матеріалів

Для тонких вимірювань в ехокамерах використовують складні склади матеріалів та структури поглинаючих екранів.

Для наближення характеристик поглинаючих панелей до характеристик вільного простору ($R \rightarrow 0$ при $Z_2 = Z_1$) передній поверхні поглинаючої конструкції надається форма, що забезпечує збільшення кількості відбиття та поглинання ЕМЕ.

З піно(поро)пластів, пінокераміки виготовляють пірамідальні (висота до 4 м, для 500 МГц більше 1 м, основа до $0,6 \times 0,6$ м, з кутами $30-70^\circ$) шипоподібні

матеріали, що фіксуються на стінках ехокамери (рис 73,1). Шипоподібні матеріали поглинають ЕМ-хвилі, якщо їх напрямок щодо осі пірамід не перевищує 60° . На поверхню внутрішніх порожнин пірамід наносять струмопровідне покриття. Для розширення робочого діапазону частот бічні поверхні мають шипоподібні форми менших розмірів. Висота (і склад) основних пірамід визначає нижню межу частот, що поглинаються, висота менших - верхню.



Рис. 2.8. Поглинаючі панелі

Панелі з $R < 3\%$ при частотах понад 3МГц є системою порожнистих конусів або пірамід (висота 15 см, кут при вершині 24°) з термопластів (наприклад, ПВХ).

На зовнішню поверхню наносять електропровідне покриття, використовуючи емаль з полімерними (наприклад, полістирольними) мікросферами діаметром 3 мм.

Поверхні у вигляді комірчастих структур виготовляють із діелектричних пінопластів. Стінки комірок із струмопровідним покриттям мають характеристики, що забезпечують зростання загасання ЕМЕ зі збільшенням глибини проникнення енергії всередину комірок (на стінки комірок поглинаюче покриття наноситься у вигляді поперечних смуг). На дні комірок знаходяться піраміди (конуси) із поглинаючого матеріалу.

Поглиначі ЕМЕ поглиначі з підвищеними пружно-міцними властивостями складаються зі склопластикових плоских, трубчастих або коміркових елементів (рис. 2.9; 2, 3, 4), орієнтованих паралельно напрямку поширення електромагнітного випромінювання. На зовнішню поверхню цих елементів наноситься провідне покриття, внаслідок чого поверхневий опір зменшується у напрямі поширення ЕМ випромінювання. Простір між елементами заповнюють піно(поро)пластами, композиціями з порожнистими мікрочастинками (сферопластиками). Елементи рознесені на відстань, менше $1/5$ максимальної довжини хвилі випромінювання, що поглинається.

Нанесення провідного шару проводять у різний спосіб, використовуючи порошки вуглецевих матеріалів, карбиду кремнію. Поглиначі забезпечують ослаблення сигналу 30 дБ і більше в широкому діапазоні довжин хвиль. Трубчасті елементи одержують намотуванням. Для захисту поглиначів від впливу довкілля використовуються покриття, товщина яких не перевищує $1/8$ мінімальної довжини хвилі випромінювання, що поглинається. У коміркових елементах з діелектриків бічні площини, паралельні напрямку ЕМХ, покривають шаром поглинаючого матеріалу з великим питомим опором.

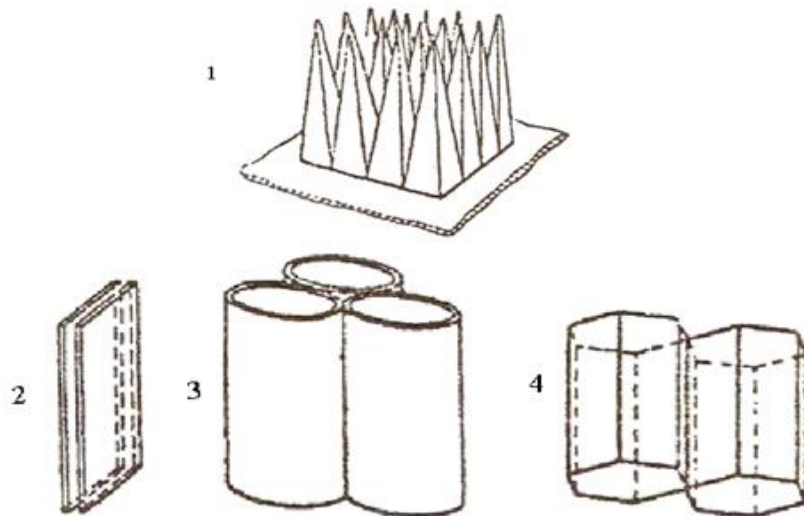


Рис. 2.9. Елементи поверхневих шарів МПР безехових камер:

1) - пірамідальні, 2) - плоскі, 3) - трубчасті, 4) – комірчасті

Узгодження з вільним простором та забезпечення незалежності від поляризації ЕМ-хвилі досягається звуженням стволів сотових комірок, вбудовуванням порожнистих конічних поглиначів, використанням шарів з певним опором, розташованих під кутом один до одного (утворюють своєрідний клин).

Великогабаритні поглинаючі екрани - конструкції з комірками сот, заповненими піно- і сферопластами на основі композицій з електропровідними (сажа, графіт) і феромагнітними (карбонільне залізо, ферити) наповнювачами, концентрація яких для узгодження $Z_1 - Z_2$ поступово зменшується в напрямку поширення ЕМХ.

У широкопasmовому поглиначі радіохвиль сантиметрового діапазону на основу наклеюють діелектричні сотові комірки з покриттям, що включає матеріал з високими втратами. Розміри та взаємне розташування комірок вибираються так, щоб ослаблення спадало до краю по експоненті, а вхідний хвильовий опір поглинача приблизно дорівнював хвильовому опору вільного простору. Для поглинання високих частот застосовують скошені стільникові

комірки. Якщо для просочування клітин використовують розчини з постійною концентрацією домішок, то розміри клітин вибираються різними. При використанні клітин постійних розмірів концентрація домішок змінюється від максимальної в нижньому шарі до мінімальної в зовнішньому шарі.

У поляризовано-незалежних стільникових ("шахтних") поглиначах горизонтально та вертикально поляризовані ЕМХ частотою до 100 МГц поглинаються системою шарів з горизонтально та вертикально розташованими електропровідними та магнітними компонентами.

Поверхня МПР може бути плоскої форми, а наближення показників опору поверхні, наближення вхідних хвильових опорів МПР до хвильового опору середовища (повітря), оптимізація діелектричних і магнітних втрат здійснюється за рахунок складної внутрішньої структури (наприклад, розміщення в об'ємі МПР спеціальних різних форм, вставок, рис. 2.10).

Клиноподібні виступи широкосмугового поглинача, поверхні яких змінюються за експонентним законом мають в одній площині трикутну форму, в іншій - прямокутну (рис. 2.10,2). Виступи заповнені гофрованими (зубчастими) шарами поглинаючого матеріалу, розділеними шарами діелектрика з малим значенням ϵ . Широка смуга частот, що поглинаються, забезпечується поглинанням довгохвильового діапазону клинами, ЕМХ малої довжини - зубчастими внутрішніми шарами.

Одна з конструкцій поглинача складається з низки шарів з узгодженим імпедансом, виконаних з пінорезини з показником заломлення ЕМ випромінювання 1,1. На кожному такому шарі є друковані диски з матеріалу, що поглинає ЕМ випромінювання. Краї кожної групи дисків розташовані так, що разом з кромками інших груп утворюють конусоподібні форми, що поглинають та розсіюють ЕМЕ.

Здатність поглинати ЕМЕ такими конструкціями змінюється лише на 3 дБ при кутах падіння випромінювання до 60° , із зменшенням рівня сигналу на 140 дБ.

Широкодіапазонні матеріали можуть поглинати енергію до 6 Вт/см^3 . При використанні повітряного охолодження потужністю $1,25 \text{ Вт/см}^2$ - температура поглинача сягає 100°C , при $2,5 \text{ Вт/см}^2$ - 150°C , при 3 Вт/см^2 - 200°C .

Як компоненти МПР з робочими температурами до 300°C (короткочасно до 400°C) використовують термостійкі полімери, вище 300°C - кераміки.

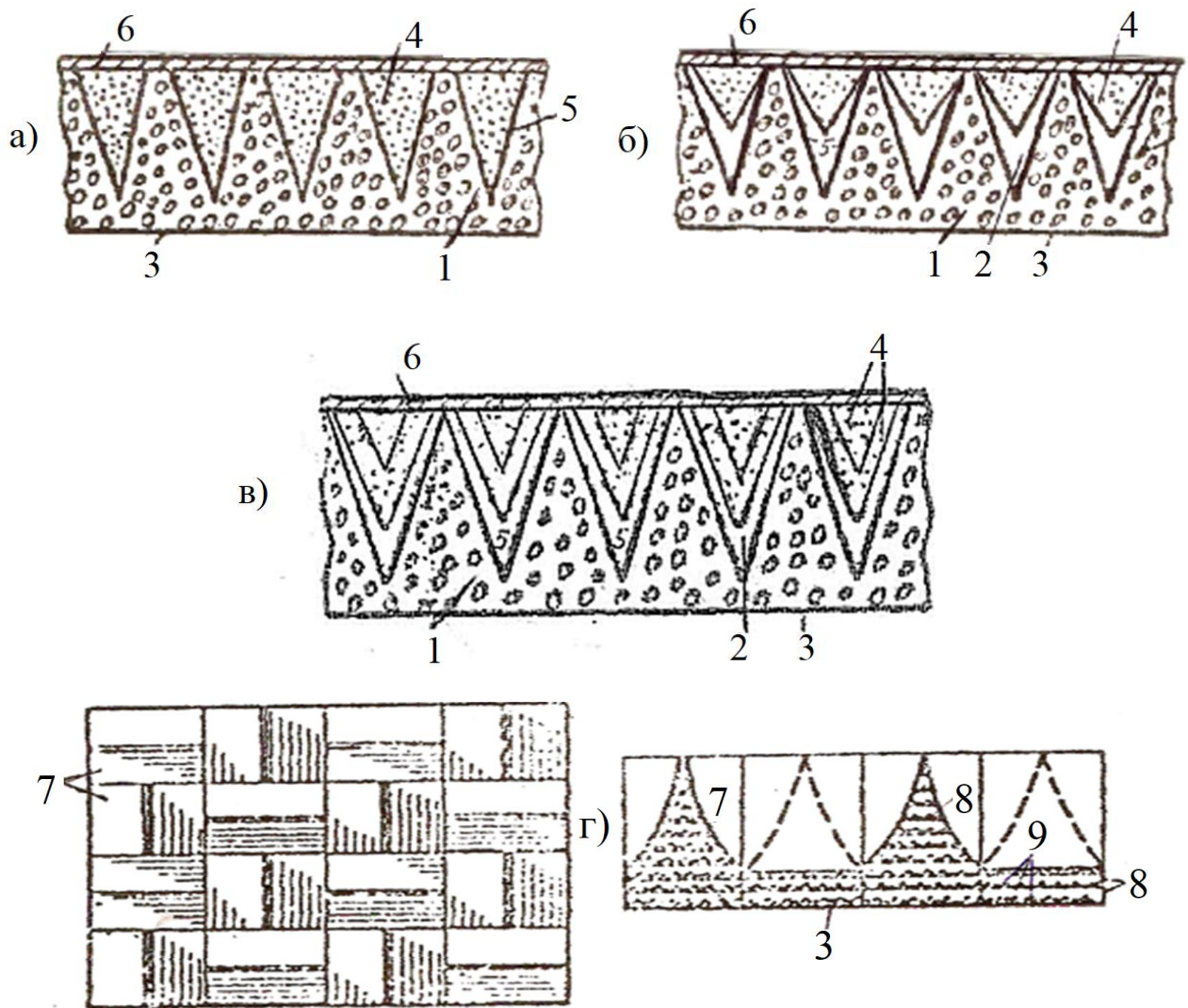


Рис. 2.10. Радіопоглинаючі конструкції з плоскими вхідними поверхнями

На рис 2.10 показано радіопоглинаючі конструкції з плоскими вхідними поверхнями з конічними поглибленнями, заповненими діелектричними вставками (а), з конічними вставками та зазорами в конічних поглибленнях (б), з двома конічними вставками (в), з клиноподібними вставками (г, вид зверху та збоку); 1) блок із фенолоальдегідного пінопласту; 2) конічні заглиблення з струмопровідним покриттям 5; 3) передня поверхня; 4) діелектричні вставки (в "а" - висота шипів 5 см, діаметр основи шипів 2 см, кут при вершині 15 °) з пінопластів з TiO_2 з $\epsilon > \epsilon$ фенолоальдегідного пінопласту; 1) алюмінієвий екран, що відбиває (фольга); 2) клиноподібні елементи з поглинаючого матеріалу; 3) зубчасті гофровані поглинаючі шари; 4) міжшарові діелектричні шари з малими значеннями.

2.5 Висновки до розділу 2

Розглянуто основні фізичні принципи погінання радіоміпромінування в матеріалах, зокрема способи взаємодії таких матеріалів з електричною та магнітною компонентами електромагнітного поля радіодіапазону. Встановлено, що при розробці радіопоглинаючих матеріалів головною вимогою є забезпечення мінімального проходження електромагнітної енергії через такий матеріал.

Розглянуто спосіб оптимізації форми поверхні для підвищення ефективності таких матеріалів. Проаналізовано структуру вузько діапазонних та широкодіапазонних поглинаючих матеріалів та їхні основні типи.

Проаналізовано будову, принципи роботи та способи отримання метаматеріалів, вуглецевих нанотрубок та полімерних матеріалів і особливості їхнього використання для поглинання радіовипромінування.

Встановлено, що застосування метаматеріалів відрізняється ефективністю та низькою собівартістю. Саме цей тип матеріалу використано за основу проектування.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз програмних засобів моделювання матеріалів, що поглинають радіовипромінювання

Проблемна частина досліджень МПР на основі метаматеріалу представляє моделювання їх електродинамічних властивостей з урахуванням крайових ефектів підкладки, взаємодії SRR у решітках. Для цього доцільно застосовувати спеціальне програмне забезпечення, що дозволяє моделювати МПР із негативними значеннями магнітної/діелектричної проникності. За методами аналізу програми поділяються на дві основні групи - що використовують метод кінцевих елементів та метод моментів. Приклад першого методу є програма Ansys ansoft HFSS.

На відміну від HFSS, обчислювальне ядро EMCoS Antenna VirtualLab компанії EMCoS на основі чисельних рішень рівнянь Максвелла, що базується на методі частотних моментів, дозволяє вирішувати два важливі завдання: детальний аналіз характеристик МПР на основі метаматеріалу та оптимізацію геометричних характеристик МПР по заданим вихідним даним. Основною перевагою методу частотних моментів є здатність розрахувати характеристики електромагнітних пристроїв у широкому діапазоні частот з якою завгодно високою роздільною здатністю по частоті, в результаті чого знижується ймовірність втрати гострих резонансних піків, що актуально у зв'язку з вузькосмуговістю МПР.

За основу проектування взято поляризаційно підсилений поглинаючий метаматеріал з широким кутом падіння.

3.2 Моделювання матеріалів, що поглинають радіовипромінювання

У програмі EMCoS VirtualLab була розроблена комп'ютерна модель МПР на основі комірок метаматеріалу, кожна з яких утворена окремим SRR на одній стороні підкладки та рамковим хрестоподібним елементом на іншій стороні. Обидві сторони матеріалу можна побачити на рис. 3.1 та рис. 3.2, відповідно.

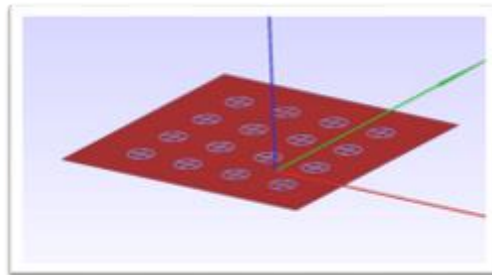


Рис. 3.1. Ізометрія МПР. Лицьова сторона

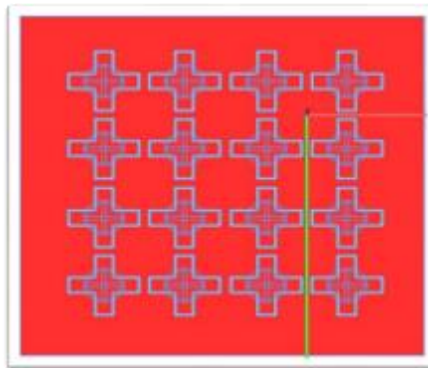


Рис. 3.2. Двовимірна проекція зворотної сторони МПР

Окремий SRR є кільцем з чотирма симетричними вирізами по колу кільця.

Радіопоглинаюча поверхня розміру 2 на 2 елементи являє собою періодичні мідні друковані елементи: кільця з одної сторони та хрести з протилежної, нанесені на діелектрик FR4 з діелектричною проникністю $\epsilon_r = 4.3$, тангенсом кута втрат $\text{tg}\delta = 2 \cdot 10^{-2}$ та розмірами 47x1 ммЗ.

При моделюванні МПР методом моментів у програмі EMCoS VirtualLab

особлива увага приділялася вибору сітки базисних елементів, типу поверхні та способу обчислень. Мішовану на рівносторонні трикутники модель можна побачити на рис. 3.3. Розмір сторони трикутників сітки SRR – 0,5 мм при довжині хвилі 3 см, що забезпечує точність розрахунку, що відповідає вимогам програми EMCoS VirtualLab. Для забезпечення достовірних результатів необхідно, щоб розмір сторони трикутників, на які розбивається модель, не перевищував $1/10$ від довжини хвилі. При ігноруванні цього правила порушується електродинамічна геометрія моделі, з'являються грубіші форми, через що можуть накопичитися похибки. Як метал використовувався ідеальний провідник. Діелектрик задавався як двовірна площина з нанесеним шаром "Finite dielectric substrate" товщиною 1 мм і з сіткою з розміром сторін трикутників 5 мм.

Для діелектрика можна збільшити розмір сторони трикутників. По-друге, лист діелектрика є однорідною структурою без тонких структурних деталей. Уся модель містить 4533 трикутники.

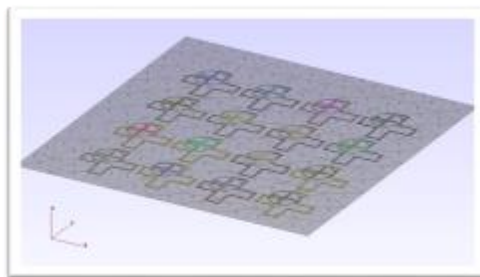


Рис. 3.3. Мешування моделі

При моделюванні як початок координат приймався центр МПР. З дальньої зони на передню поверхню метаматеріалу падає плоска ЕМХ під нормальним кутом. Результат розсіювання відбитої від матеріалу ЕМ енергії у тривимірному просторі можна побачити на Рис. 3.4.

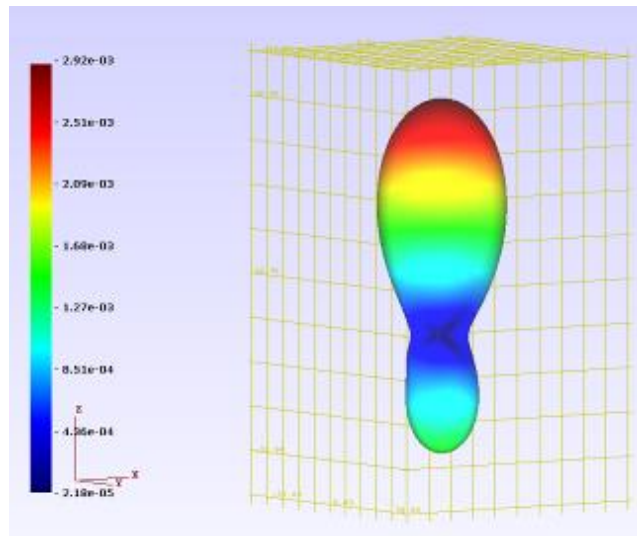


Рис. 3.4. Розсіяння плоскої ЕМХ із дальньої зони на МПР

Як видно на рис. 3.5, найбільш ефективно поглинання досягається при частоті 9,5 ГГц

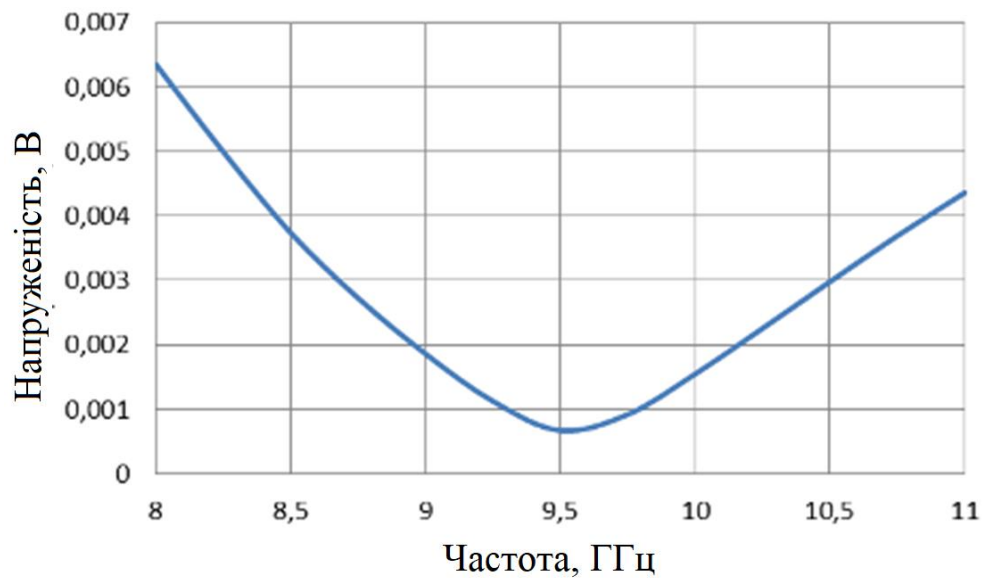


Рис. 3.5. Залежність напруженості розсіяного електричного поля від частоти

Уміння МПР поглинати електромагнітну енергію під різними кутами є одною із значних характеристик.

Поверхня матеріалу опромінюється плоскою ЕМХ лінійної поляризації з дальньої зони під довільним кутом МПР з кроком 5 градусів. Як видно на рис. 3.6, МПР здатний поглинати ЕМХ, що падають не тільки нормально до поверхні, але і під кутом до 80 градусів (рис. 3.12).

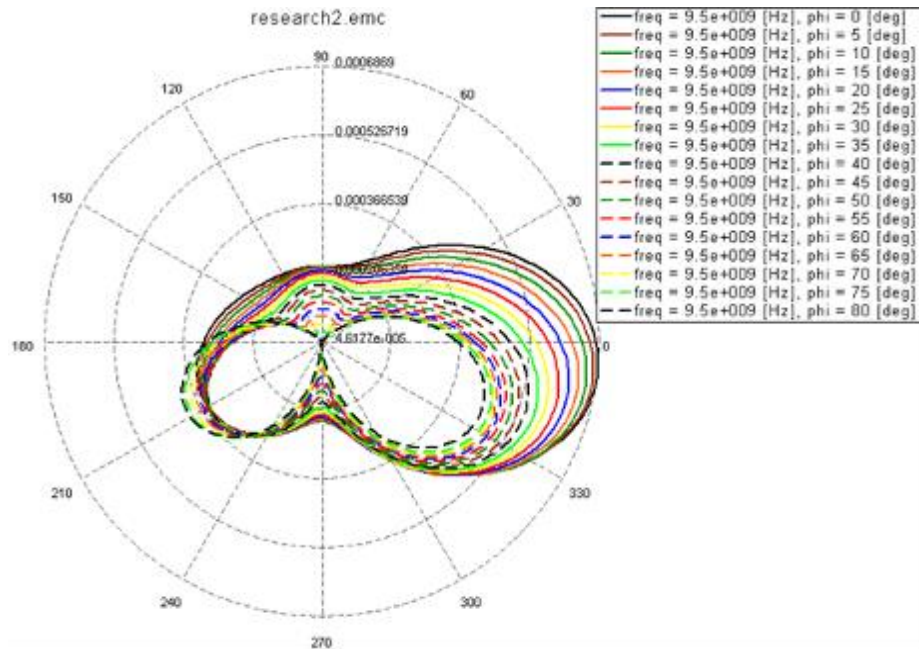


Рис. 3.6. Залежність рівня зворотного розсіювання від кута падіння на частоті 9,5 ГГц

Важливою характеристикою МПР є коефіцієнт поглинання, знаходження якого здійснюється за формулою (3.1).

$$A = 1 - R - T \quad (3.1)$$

де R і T коефіцієнти відбиття та поглинання відповідно, і знаходяться за формулами (3.2) та (3.3).

$$R = \frac{U_R}{U_{\text{пад}}}, T = \frac{U_T}{U_{\text{пад}}}, \quad (3.2)$$

$$T = \frac{U_T}{U_{\text{пад}}}, T = \frac{U_T}{U_{\text{пад}}}, \quad (3.3)$$

де $U_{\text{пад}}$ - напруженість амплітуди падаючої хвилі, U_R напруженість амплітуди відбитої хвилі, U_T - напруженість амплітуди роїденої хвилі.

Як основа була взята модель розміром 4 на 4 елементи. Першим етапом була задача знаходження резонансної частоти, щоб переконатися, що не відбувається зсуву останньої через додавання нових періодичних SRR елементів. Результати можна побачити в таблиці 3.1. Як і у випадку розмірності 2 на 2 елементи, резонансна частота дорівнює 9,5 ГГц.

Другим кроком роботи було обчислення коефіцієнтів відбиття та проходження на частоті 9,5 ГГц при напруженості амплітуди падаючої хвилі $U_{\text{пад}} = 1\text{В}$.

$$R = \frac{0,002923 \text{ В}}{1 \text{ В}} = 0,002923 \quad R = \frac{0,002923 \text{ В}}{1 \text{ В}} = 0,002923 \quad (3.3)$$

$$T = \frac{0,001459 \text{ В}}{1 \text{ В}} = 0,001459 \quad T = \frac{0,001459 \text{ В}}{1 \text{ В}} = 0,001459 \quad (3.4)$$

$$A = 1 - 0,002923 - 0,001459 = 0,995618$$

$$A = 1 - 0,002923 - 0,001459 = 0,995618 \quad (3.5)$$

При порівнянні коефіцієнтів відбиття і поглинання видно, що напруженість амплітуди пройденої хвилі вдвічі нижче амплітуди відбитої хвилі і в 685 разів нижче напруженості амплітуди падаючої хвилі, що підкреслює його властивості як екрануючого матеріалу.

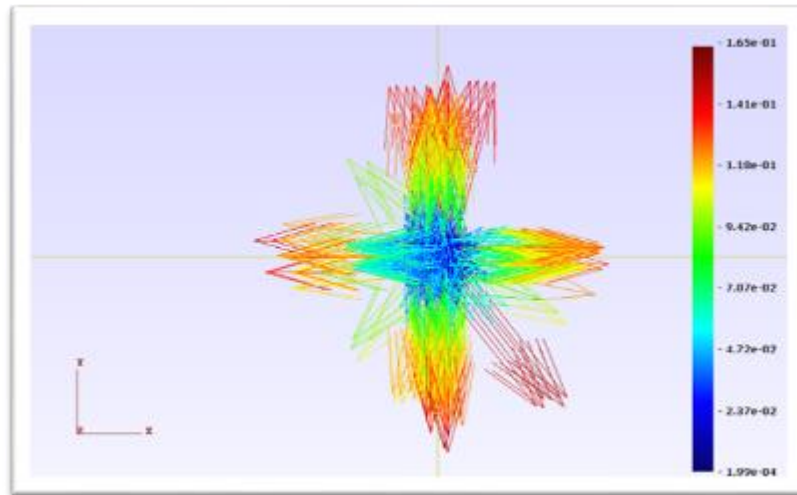


Рис. 3.7. Векторний розподіл струмів на частоті 9.5 ГГц

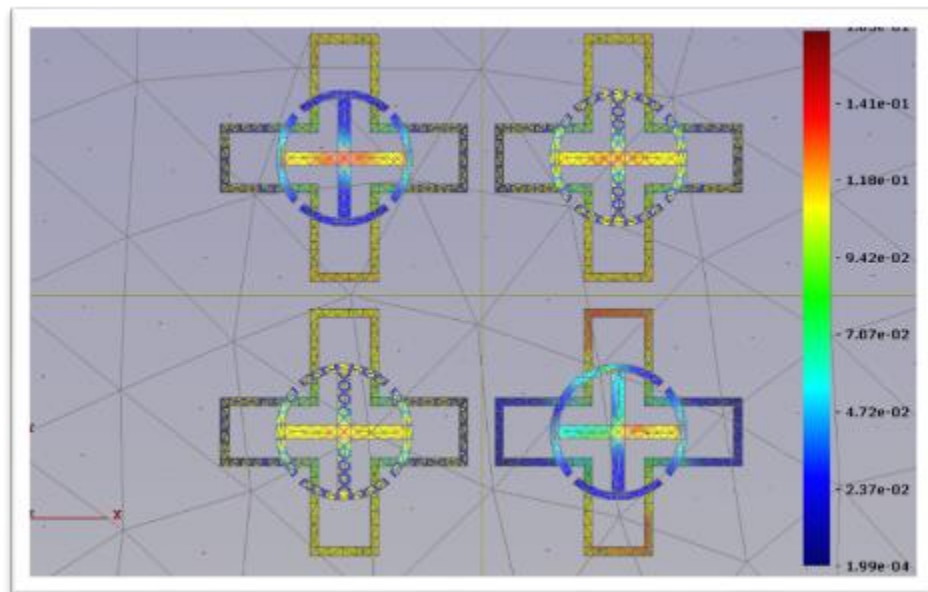


Рис. 3.8. Поверхневий розподіл струмів на частоті 9,5 ГГц

Таблиця 3.1.

Залежність напруженості амплітуди падаючої та пройденної хвилі від частоти

Розмірність 4X4													
Частота, ГГц	8	8,25	8,5	8,75	9	9,25	9,5	9,75	10	10,25	10,5	10,75	11
U при $\theta = 0^\circ$, В	0,025868	0,019918	0,015239	0,011341	0,007951	0,005035	0,002923	0,002964	0,004929	0,007441	0,010131	0,012766	0,015139
U при $\theta = 180^\circ$, В	0,02507	0,019144	0,014432	0,010488	0,007012	0,003914	0,00146	0,002397	0,00496	0,007699	0,010516	0,013239	0,015673

3.3 Виготовлення матеріалів, що поглинають радіовипромінювання

Виготовлений метаматеріал є друкованою платою з особливою геометрією доріжок. Друковані плати виготовляються різними за складністю способами.

Для виготовлення якісного макету плати спочатку необхідно змоделювати шаблон на комп'ютері за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.

Наступним етапом необхідно очистити та знежирити плату, можна заздалегідь вирізати плату за розмірами. Від якості виконання цієї процедури багато в чому залежить якість перенесеного відображення доріжок. Очищується плата дуже дрібним наждачним папером. Знежирюється спиртом, ацетоном чи іншим засобом, потім промивається під проточною водою. Після процедури знежирення торкатися поверхні заготовки не можна.

Намальоване зображення необхідно вивести на друк, попередньо налаштувавши принтер на чітке зображення і відключивши економію тонера. Роздрукувати зображення необхідно на глянцевому папері. Коли все підготовлено, надрукуємо зображення.

Зображення обрізається із запасом на 10.15 мм від розміру плати. Картинка до плати прикладається та фіксується із загнутими краями, за допомогою скотчу зі зворотного боку. Далі відрізається від рулону фоторезиста відповідний за розміром шматок. Фоторезист у рулоні складається із трьох шарів. Тонка глянцева лавсанова плівка, сам фоторезист, і дещо матова поліетиленова плівка. Поліетилен тягнеться, лавсан – ні. Потрібно видалити поліетиленову захисну плівку та накласти фоторезист на плату. Потім затиснувши плівку з платою між шарами паперу, та подати в ламінатор.

Далі — експонування. Фотошаблон притискаємо оргсклом та освітлюється ультрафіолетовою лампою. Необхідно надійно зафіксувати лампу, щоб відстань завжди була стабільною, тоді і результат буде стабільним. Час експозиції складає 20-40 с. Для плат великого розміру необхідне рівномірне засвічення. Після цього

необхідно потримати плату в темному місці протягом 5-10 хвилин. Якщо цього не робити, то на етапі прояву в кальцинованій соді деякі ділянки з тонкими доріжками можуть "відскочити".

Далі слід проявити фоторезист. Проявляємо у 5% розчині кальцинованої соди. Проявочний розчин бажано готувати на дистильованій воді. У розчині незасвічений фоторезист набухає та розчиняється.

Далі плату потрібно витравити. Травлення друкованих плат хлорним залізом є найпоширенішим способом травлення друкованих плат.

Готується розчин хлорного заліза дуже просто – одна частина хлорного заліза на три частини води (хлорне залізо у воду, не навпаки), все це ретельно перемішати. При нанесенні доріжок за допомогою лазерного принтера не рекомендується піднімати температуру понад 50 °С.

Після травлення плату необхідно промити під проточною водою та змити тонер за допомогою бензину, спирту або ацетону. Після цього свердяться отвори потрібного діаметра. І на завершення доріжки необхідно залудити.

3.4 Використання проектованого матеріалу

Для зменшення ризику витоку інформації передбачається наносити МПР на стіни, підлогу та стелю кімнати. Причому через свою малу товщину (1 мм) МПР буде непомітним, що позитивно позначиться з естетичної точки зору. Так як поверхня радіопоглинання на основі метаматеріалу фіксованого розміру має вузьку смугу пропускання, рекомендується нанесення матеріалу в кілька шарів, призначених для екранування приміщення від частот основних стандартів бездротових мереж (GSM, IEEE 802.11).

Головною перевагою цього матеріалу щодо інших радіопоглинаючих матеріалів є ціна.

3.5 Висновки до розділу 3

Проаналізовано програмні засоби, що можуть бути застосовані для імітаційного моделювання матеріалів, що поглинають радіовипромінювання. Застосовано програму EMCoS VirtualLab, а як основний матеріал - поляризаційно підсилений поглинаючий метаматеріал з широким кутом падіння.

Запропоновано варіант виконання поглинаючого матеріалу та досліджено його характеристики. Встановлено, що максимум його поглинання припадає на частоту 9,5 ГГц в широкому діапазоні кутів падіння електромагнітної хвилі. Встановлено, що запропонована структура метаматеріалу є ефективною при поглинанні радіовипромінювання, а шляхом зміни розмірів її провідних елементів можна змінювати значення частотного діапазону поглинання.

Також запропоновано процес та етапи виготовлення такого матеріалу і особливості його практичного використання.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

Електромагнітне випромінювання в оптичній області, що примикає з боку коротких хвиль до видимого світла і має довжину хвиль в діапазоні 200...400 нм, називають ультрафіолетовим випромінюванням (УФВ). Вплив його на людину оцінюють еритемною дією (почервоніння шкіри, що приводить через 48 годин до її пігментації - засмазі).

Проблема ультрафіолетового випромінювання як виробничого та екологічного чинника обумовлена широким використанням джерел постачання в народному господарстві, збільшенням рівнів сонячного випромінювання у зв'язку зі зменшенням озонового шару, зростанням кількості захворювань, зокрема злоякісних і доброякісних пухлин шкіри, та інших порушень стану здоров'я, що викликаються ультрафіолетовою радіацією.

При тривалій відсутності УФВ в організмі розвивається «світлове голодування». Тому воно необхідно для нормальної життєдіяльності людини. Однак, при тривалому впливі великих доз УФВ можуть наступити серйозні поразки очей і шкіри. Зокрема, це може призвести до розвитку раку шкіри, кератитів (запалень рогівки) і помутніння кришталика очей (фотокератиту, який характеризується прихованим періодом від 0,5 до 24 годин). Для профілактики несприятливих наслідків, викликаних дефіцитом УФВ, використовують сонячне випромінювання, влаштовуючи солярії, інсоляцію приміщень, а також застосовуючи штучні джерела УФВ.

На промислових підприємствах джерелами ультрафіолетових випромінювань є дуга електрозварювання, ртутно-кварцові лампи, лазери, інші прилади та установки. Формування й вплив на працюючих оптичного

випромінювання в ультрафіолетовій області відбувається при електрогазозварювальних процесах, на роботах з плазменними технологіями (різка металу, напилювання, наплавлення металу), при використанні різних світильників та випромінювачів з кварцовими, ртутними, галогенними лампами, інших спектральних джерел. У різних галузях економіки та народного господарства широке застосування знаходять такі сучасні технології, як ультрафіолетове сушіння, установки для знезараження повітря, поверхонь та води, різні медичні та інші випромінювачі (перукарське устаткування, манікюрні лампи, солярії та інші).

Професіональному впливу УФВ піддаються електрогазозварювальники, копіювальники друкованих форм, працівники тепличних господарств, медичний персонал (фізіотерапевти, стоматологи, педіатри) та інші працівники, обслуговуючі різні джерела ультрафіолетового випромінювання. З іншого боку, при дорожніх, сільськогосподарських, будівельних та інших видах робіт, виконуваних на свіжому повітрі, відбувається вплив на працюючих природного УФ-випромінювання, як складової сонячної радіації. Окремо слід виділити групу працівників різних професій (звані "прихвачувальники"), які виконують спільні зі зварником роботи з фіксації деталей великогабаритних конструкцій в останній момент накладення первинного шва. Ці роботи виконують самі зварювальники (різних спеціальностей), і працівники інших професій - слюсарі механозбиральних робіт, монтажники та інші. Особливість таких робіт - короткочасність використання зварювальної дуги, її "імпульсний" характер під час "прихвачування" деталей зварювальної конструкції. Зазначені роботи, необхідно виконувати в окулярах із захисними фільтрами.

При впливі надлишкового ультрафіолетового випромінювання можливий розвиток низки захворювань і патологічних станів, насамперед, із боку органу зору, серед яких найчастіше відзначаються катаракта чи помутніння кришталика очі, запалення роговиці (кератит), слизових оболонок (фотоофтальмія). УФ-

переопромінювання може призвести до хвороб шкірних покривів: запальовальне почервоніння шкіри чи еритема, прискорення старіння шкіри, алергічні реакції, пухлини шкіри, в тому числі злоякісні (рак шкіри, меланома).

До засобів колективного захисту від УФВ відносяться різні пристрої (огороджувальні, вентиляційні, автоматичного контролю і сигналізації, дистанційного управління), а також знаки безпеки. Індивідуальний захист від УФВ здійснюють різними екранами: фізичними (у вигляді різних предметів, що поглинають, розсіюють або відображають промені) і хімічними (хімічні речовини та захисні креми, що містять інгредієнти, які поглинають УФВ). Для захисту також використовують виготовлений із тканини (попліну та ін) спеціальний одяг, окуляри із захисними фільтрами. Повний захист від УФВ усіх хвиль забезпечує флінтглас (скло, що містить окис свинцю) товщиною 2 мм. При влаштуванні приміщень враховують, що відображуюча властивість різних оздоблювальних матеріалів для УФВ і видимого світла різна.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Застосування систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення людей у разі їх виникнення на потенційно небезпечних об'єктах

Підстави для проектування

Стаття 53 Кодексу цивільного захисту

На об'єктах підвищеної небезпеки з метою своєчасного виявлення на них загрози виникнення надзвичайних ситуацій та здійснення оповіщення персоналу та населення, яке потрапляє в зону можливого ураження, створюються та функціонують автоматизовані системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення у разі їх виникнення (далі – автоматизовані системи).

На об'єктах з масовим перебуванням людей створюються та функціонують

об'єктові системи оповіщення.

Стаття 16 Положення про організацію оповіщення про загрозу виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій та зв'язку у сфері цивільного захисту, завт. постановою КМУ від 27 вересня 2017 р. № 733

Об'єктові системи оповіщення створюються і функціонують на :

- об'єктах підвищеної небезпеки,
- об'єктах з масовим перебуванням людей,
- в інтернатних закладах (для дітей, осіб з фізичними, психічними, інтелектуальними та сенсорними порушеннями, осіб похилого віку),
- закладах охорони здоров'я, які мають ліжковий фонд,
- пенітенціарних установах,
- на підприємствах, в установах і організаціях УТОСу та УТОГу,
- на інших підприємствах, в установах і організаціях, що надають послуги особам з інвалідністю та маломобільним групам населення, визначених місцевими органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування, або за місцем роботи зазначених осіб,
- на промислових підприємствах,
- вузлових залізничних станціях,
- у шахтах,
- місцях збереження небезпечних речовин, на яких зона можливого ураження у разі загрози виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій не поширюється за їх територію.

Об'єктові системи оповіщення забезпечують оповіщення керівників та інших працівників об'єкта, осіб, які постійно або тимчасово перебувають на території об'єкта або в його охоронних зонах, про загрозу виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій.

Проектування, створення (реконструкція) та забезпечення функціонування об'єктової системи оповіщення здійснюється на підставі рішення керівника

об'єкта з її обов'язковою інтеграцією до відповідної місцевої та територіальної автоматизованої системи централізованого оповіщення.

До складу об'єктової системи оповіщення входять спеціалізовані технічні засоби попередження та інформування населення в місцях масового перебування людей та інші технічні засоби оповіщення.

Згідно з п. 5 розділу II «Правил пожежної безпеки в Україні» (НАПБ А.101-0101-21015), до об'єктів з масовим перебуванням людей відносяться об'єкти з постійним або тимчасовим перебуванням на них 100 і більше осіб або такі, що мають хоча б одне окреме приміщення з одночасним перебуванням 50 осіб.

Вимоги до джерел первинної інформації

Як джерела первинної інформації (ДПІ) на виробничому майданчику можуть використовуватися автоматичні датчики (первинні перетворювачі) чи існуючі контрольно-вимірювальні прилади промислової автоматики виробничому майданчику.

Засоби вимірювальної техніки, які застосовують як ДПІ, повинні мати достатню для реєстрування значень параметрів чутливість – не гірше ніж 0,05 від граничних значень.

Межа допустимої відносною основної похибки засобів вимірювальної техніки повинна бути не більше ніж $\pm 25\%$.

Під час проектування місць встановлення автоматичних датчиків-газоаналізаторів необхідно керуватися вимогами ВСН 64-80.

Ступінь захисту ДПІ обрати відповідно до вимог ПУЕ

Зони контролю, вид ДПІ, контрольовані параметри та режим інформування СРВНСО обслуговуючого персоналу зазначений у розділі інформаційне забезпечення.

Вимоги до складових СРВНСО

СРВНСО повинна бути створена на базі сучасних апаратно-програмних засобів та мати такі базові зв'язані блоки (підсистеми) відповідно до вимог ДБН

В.2.5-76:2014 та СОУ МНС 75.2-00013528-003:2011, а саме:

- джерела первинної інформації, у т.ч. ручні сповіщувачі;
- моноблоки збирання даних та керування засобами сповіщення СОЛА (виробник НВФ "Інтелект", Україна);
- трансляційну мережу з кінцевими технічними засобами оповіщення;
- пульт керування СРВНСО на базі ПО СОВАЛАЙЗЕР (виробник НВФ "Інтелект", Україна);
- канали зв'язку, інтерфейси.

СРВНСО повинна бути підключена до пульта централізованого спостереження (ПЦС) для забезпечення віддаленого цілодобового нагляду за її технічним станом, а також для прийняття від СРВНСО та передавання (ретрансляції) тривожних сповіщень про загрозу або виникнення НС до систем вищого рівня реагування.

СРВНСО повинна бути підключена до ПЦС <https://yoopl.net> (виробник НВФ "Інтелект", Україна).

Вимоги до ручних сповіщувачів

Сповіщення про виявлення обслуговуючим персоналом небезпеки виникнення НС може забезпечуватися за допомогою застосування засобів ручного сповіщення (РС). РС використовуються як додаткові ДПІ.

При проектуванні необхідно врахувати наступне:

- РС установлювати на висоті 1,4 \pm 0,2 м біля основних виходів з потенційно небезпечної дільниці, складу, цеху;
- передбачити захист РС від несанкціонованого включення;
- відстань від ручного сповіщувача до кнопок та перемикачів електричних апаратів установлюють не менше ніж 0,5 м; до обладнання, що не містить небезпечних чинників, - 1,5 м, а до обладнання з небезпечними чинниками - 5 м;

- рівень освітленості у місцях встановлення РС та знаків, що вказують на місця їх розташування, має бути не менше ніж 10 лк;
- кольорове оформлення РС виконати відповідно до п. 7.4.2 Правил. Використовувати жовтий сигнальний колір.
- ступінь захисту ручних оповіщувачів обирають відповідно до вимог НАОП 40,1-1.32-01;
- ручні оповіщувачі мають бути захищеними від несанкціонованого включення.

При необхідності, передбачити установку знаків з написом "ТРИВОГА!" та стрілкою, що вказує на розміщення конкретного РС. Знаки виконати відповідно до ДСТУ ISO 6309:2007.

Вимоги до моноблоків СОЛА

Центральною підсистемою СРВНСО має бути моноблок СОЛА (виробник НВФ "Інтелект", Україна) або група таких пристроїв, що з'єднанні в мережу та виконують функції зазначені в СОУ МНС 75.2-00013528-003:2011 таких пристроїв як: комунікаційні пристрої, пульти керування зональним оповіщенням, пристрої оповіщення.

Моноблок(и) СОЛА повинні:

- діагностувати працездатність своїх складових частин та складових СРВНСО, у тому числі перемикачі електроживлення з основного джерела на резервне і навпаки, визначати працездатність каналів зв'язку з ДПІ, ліній трансляції.
- збирати дані від ДПІ щодо поточного стану джерел небезпеки виробничого майданчику;
- обробляти отриману інформацію, передавати її на пульт керування СРВНСО, інформувати респондентів щодо результатів оброблення інформації;
- приймати та виконувати команди, що надходять від пульта керування СРВНСО та з автоматизованого робочого місця оперативного чергового

територіальної автоматизованої системи централізованого оповіщення, відповідно до типового проекту регіональна автоматизована система централізованого оповіщення.

- формувати архівний журнал.
- включати (відключати) звукові, світлові оповіщувач, інформаційні табло, виконавчі пристрої тощо згідно закладеного алгоритму, транслявати через мовні оповіщувачі інформаційні та тривожні ЗПМ, а також оперативні мовні повідомлення, що надходять з мікрофону пульта керування АСРВО, автоматизованого робочого місця оператора територіальної автоматизованої системи централізованого оповіщення;

- зберігати в енергонезалежній пам'яті: налаштування КП, номери телефонів респондентів, ЗПМП, архівний журнал.

Моноблок(и) СОЛА повинні включати в себе:

- Програмований логічний контролер з пристроєм постійного енергонезалежного збереження інформації про діяльність СРВНСО.

- Модемний пристрій для оповіщення респондентів каналами зв'язку та зв'язку з сервером моніторингу.

- Блок інтерфейсів (модулі вводу/виводу, перетворювачі інтерфейсів тощо).

- Блок живлення з акумуляторними батареями.

- Джерело заздалегідь підготовлених мовних повідомлень (джерело ЗПМП).

- Блок зонального оповіщення (трансляції)

Модемний пристрій

Модемний пристрій повинен виконувати такі функції:

- оповіщати респондентів за списком оповіщення за допомогою СМС та голосового дзвінка;

- проводити реєстрацію результатів оповіщення (підтвердження респондентами факту прийому мовних повідомлень);

Блок зонального оповіщення

Блок зонального оповіщення моноблоку СОЛА повинен забезпечувати трансляцію спеціальних мовних повідомлень (далі трансляція) через трансляційну мережу в одній або декількох зонах оповіщення, а саме:

- Трансляція повідомлень повинна проходити в автоматичному режимі після відповідної команди системи, не залежно від присутності диспетчера
- Повинна бути передбачена можливість примусового включення /виключення трансляції диспетчером (відповідальною особою).
- Усі повідомлення, що автоматично відтворюються у разі тривоги, повинні бути ясними, короткими, однозначними, заздалегідь підготовленими (записаними в джерело ЗПМП). Усі інші повідомлення, наприклад, обідня перерва, початок або кінець робочого дня, повинні за своїм оформленням відрізнятися від повідомлення про тривогу, причому сигнал тривоги повинен мати вищий пріоритет;
- Перед повідомленням рекомендовано передбачити передачу сигналу залучення уваги;
- Тривалість повідомлення повинна бути більше 30 с (включно з сигналом привернення уваги). Інтервал часу між повторами повідомлень про тривогу не повинен перевищувати 30 с, а в разі, якщо використовується сигнал, що заповнює паузу, схожий на умовний сигнал, то період паузи повинен перевищувати 10 с;
- При введенні стану стан тривоги повинно відбуватися автоматичне відключення всіх аудіовходів за винятком мікрофонів для передавання повідомлень і пристроїв (або рівноцінний мовний генератор) передавання повідомлення про тривогу;

- У розпорядження диспетчера (відповідальної особи) повинен бути один або більше мікрофонів. Ці мікрофони повинні бути підключені таким чином, щоб була можливість трансляції тільки оголошень або вказівок (тільки для аварійних ситуацій); доступ до "аварійного" мікрофона повинен бути можливий тільки вповноваженому персоналу.

Вимоги до трансляційної мережі

Для своєчасного оповіщення працюючого персоналу та відвідувачів виробничого майданчику про виникнення надзвичайної ситуації необхідно створити трансляційну мережу.

Трансляційна мережа повинна задовольняти наступним вимогам:

- Рівень звукового тиску сигналу тривоги «Увага всім!», що відтворюють акустичні системи (АС), повинен бути вищий на 15 дБА рівня шуму у прогнозованій зоні ураження, але не перевищувати 120 дБА в містах перебування людей.

- Рівень звукового тиску сигналів мовного оповіщення повинен бути не менше ніж на 15 дБА вище рівня постійного шуму та не менше ніж на 5дБА вище рівня максимального шуму у будь-якій точці зони оповіщення.

- Загальний рівень звукового тиску, отриманий в результаті складання шумів навколишнього середовища з акустичними сигналами від усіх працюючих технічних засобів оповіщення, не повинен перевищувати 120 дБА в будь-якій точці зони оповіщення.

- Вимірювання рівнів звукового тиску виконується на висоті 1,5 м. від рівня підлоги з використанням А-зваженого фільтра (дБА) з часовою характеристикою F (швидко);

- У приміщеннях, де рівень постійного шуму може перевищувати 100 дБА, необхідно додатково встановлювати світлові оповіщувачі.

- У приміщеннях, де персоналом підприємства використовується шумозахисне спорядження для ослаблення рівня шуму навколишнього

середовища, це ослаблення враховується згідно з технічними даними шумозахисного спорядження. Для компенсації рівня ослаблення необхідно відповідне збільшення рівня звукового тиску сигналу оповіщення. У цих зонах необхідно додатково встановлювати світлові оповіщувачі.

- Якщо в одному приміщенні встановлено два, або більше звукових оповіщувачів, їх сигнали повинні бути синхронними.

- У приміщеннях, де рівень постійного шуму перевищує 105 дБА, необхідно використовувати лише візуальні оповіщувачі.

- При розрахунку рівнів звукового тиску оповіщувачів та гучномовців необхідно враховувати, що різке збільшення рівня звукового тиску більше ніж на 30 дБА порівняно з рівнем постійного шуму навколишнього середовища може привести до раптового та небезпечного переляку людей.

- Трансляційна мережа повинна бути розділена на зональні системи оповіщення. Включення всіх зональних систем може реалізовувати загальнооб'єктову систему оповіщення.

- Акустичні системи (АС) повинні рівномірно розміщуватися по зонам трансляції з метою виключення зон з підвищеним або недостатнім рівнями звуку.

- Трансляційну мережу СРВНСО можуть бути інтегровані внутрішні радіотрансляційні мережі та інші мережі мовлення, наявні на підприємстві (за умови забезпечення надійності оповіщення).

- У будівлі необхідно встановити, як мінімум, дві АС, навіть якщо рівень звукового сигналу, що рекомендується, можна забезпечити одною. Якщо між встановленими АС та приміщенням знаходиться декілька дверей, АС встановлюються в кожному приміщенні, щоб забезпечити гарантоване оповіщення персоналу.

- Висота розміщення настінних АС повинна бути не менш 2,3 метри від рівня підлоги і не менш 0,2 м від стелі.

АС повинні задовольняти наступним вимогам:

- АС не повинні мати регуляторів гучності й повинні підключатися до мережі без рознімних пристроїв.

Вимоги до пультів керування СРВНСО

Пульти керування повинен бути створений на базі комп'ютера з монітором та блоком безперебійного живлення. На комп'ютері повинне бути встановлене спеціалізоване програмне забезпечення ПО СОВАЛАЙЗЕР виробництва НВФ "Інтелект".

Загальні вимоги до пульта керування:

Пульти повинен реалізувати людиномашинний інтерфейс взаємодії з диспетчером. Для реалізації людиномашинного інтерфейсу у пульта повинні бути органи керування (пристрої введення даних), що можуть бути представлені у вигляді функціональних або алфавітно-цифрових клавіатур, різних видів маніпуляторів (наприклад, "миша", світлове перо, сенсорний пристрій вказування).

Обов'язковими є органи управління для ручного запуску/зупинення систем оповіщення про НС або її загрозу. Органи управління пульта повинні відповідати ДСТУ ІЕС 60447.

Пульти керування СРВНСО повинен виконувати такі функції:

- інформувати диспетчера СРВНСО стосовно досягнення граничних значень параметрами, що контролюють;
- відображати на екрані план (схему) з місцем розташування відповідного ДПІ та одночасно відтворювати тривожний звуковий сигнал;
- здійснювати інформаційну підтримку дій диспетчера у разі наявності на ПНО загрози виникнення або виникнення НС, відображаючи при цьому відповідні картки аварії, які визначають на підставі отриманих від ДПІ даних та необхідної додаткової інформації;
- за командою диспетчера СРВНСО формувати для передавання до АСЦС (ПТО) сповіщення щодо виникнення НС, загрози НС (або відсутності

небезпеки) разом з ідентифікатором картки ПНО та ідентифікатором картки можливої аварії(НС);

- автоматично формувати (у разі відсутності реагування диспетчера на сигнали про досягнення параметрами критичних значень або спрацювання ручних сповіщувачів) та передавати до АСЦС(ПТО) відповідне сповіщення разом з ідентифікаторами картки ПНО та картки аварії за найгіршим сценарієм розвитку НС;

- за командою диспетчера СРВНСО формувати та передавати на всі КП або вибраній КП команди включення гучномовного оповіщення та оповіщення респондентів каналами зв'язку;

- контролювати працездатність складових СРВНСО, каналів зв'язку, КП та їх складових;

- реєструвати в архівному журналі інформацію, що надходить від складових СРВНСО та щодо дій диспетчера АСРВО із зазначенням дати та часу реєстрації.

- інформувати диспетчера у разі відсутності зв'язку з будь-яким компонентом СРВНСО протягом певного часу, але не більше ніж 60 с.

Вимоги до каналів зв'язку, інтерфейсів

Канали зв'язку між СРВНСО, їх складовими та суміжними системами організують з урахуванням забезпечення їх функціонування протягом часу, необхідного для виявлення НС, інформування та оповіщення, виконання невідкладних заходів щодо ліквідування НС та їх наслідків, перш за все - евакуювання людей із зони НС.

Для інформаційного обміну із суміжними системами використовують не менше ніж два канали зв'язку.

Для забезпечення надійного функціонування СРВНСО необхідно безперервно контролювати працездатність каналів зв'язку між складовими СРВНСО та із суміжними системами, а також передбачити їх дублювання.

Як базові можуть бути використані інтерфейси для провідного зв'язку Ethernet та RS-485, для мобільного зв'язку GSM/GPRS/EDGE.

Як базове обладнання можуть бути використані модеми, мережеві карти та інше обладнання, що підтримують зазначені вище інтерфейси.

Оповіщення керівного складу підприємства про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій проводиться через канали телефонної лінії та Інтернет.

4.3 Висновки до розділу

В розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» описано вплив ультразвуку на організм людини, також застосування систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення людей у разі їх виникнення на потенційно небезпечних об'єктах.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано задачу захисту від радіовипромінювання, зокрема для забезпечення інформаційної безпеки. Розглянуто спосіб оцінювання рівня радіовипромінювання, ефекти від такого випромінювання при впливі на людину, а також задача розроблення радіоекрануючих та радіопоглинаючих матеріалів.

Розглянуто основні фізичні принципи поглинання радіоміпромінювання в матеріалах, зокрема способи взаємодії таких матеріалів з електричною та магнітною компонентами електромагнітного поля радіодіапазону. Встановлено, що при розробці радіопоглинаючих матеріалів головною вимогою є забезпечення мінімального проходження електромагнітної енергії через такий матеріал.

Розглянуто спосіб оптимізації форми поверхні для підвищення ефективності таких матеріалів. Проаналізовано структуру вузько діапазонних та широкодіапазонних поглинаючих матеріалів та їхні основні типи.

Проаналізовано будову, принципи роботи та способи отримання метаматеріалів, вуглецевих нанотрубок та полімерних матеріалів і особливості їхнього використання для поглинання радіовипромінювання.

Встановлено, що застосування метаматеріалів відрізняється ефективністю та низькою собівартістю. Саме цей тип матеріалу використано за основу проектування.

Проаналізовано програмні засоби, що можуть бути застосовані для імітаційного моделювання матеріалів, що поглинають радіовипромінювання. Застосовано програму EMCoS VirtualLab, а як основний матеріал - поляризаційно підсилений поглинаючий метаматеріал з широким кутом падіння.

Запропоновано варіант виконання поглинаючого матеріалу та досліджено його характеристики. Встановлено, що максимум його поглинання припадає на частоту 9,5 ГГц в широкому діапазоні кутів падіння електромагнітної хвилі.

Встановлено, що запропонована структура метаматеріалу є ефективною при поглинанні радіовипромінювання, а шляхом зміни розмірів її провідних елементів можна змінювати значення частотного діапазону поглинання.

Також запропоновано процес та етапи виготовлення такого матеріалу і особливості його практичного використання.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lucrative Communications Degree Opportunities // American communication journal. - [Електронний ресурс]. Режим доступу - <http://www.webcitation.org/6AKceBiVr>.
2. Лагарьков О.М., Кисіль В.М., Саричев О.К., Семененко В.М. ЕЛЕКТРОФІЗИКА ТА ЕЛЕКТРОДИНАМІКА МЕТАМАТЕРІАЛІВ // ТЕПЛОФІЗИКА ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР, 2010, том 48, № 6, с.1031-1048.
3. Agranovich V. M., Gartstein Yu. N. Spatial Dispersion and Negative Refraction of Light // Phys. Usp. 2006. V.49. P.1029.
4. Богущ В.А., Борботько Т.В., Гусинський О.В. та ін Електромагнітні випромінювання. Методи та засоби захисту. / Мн.: Бестпринт, 2003р, 173с.
5. Veselago V. G. Electrodynamics of Substances with Simultaneously Negative Electrical and Magnetic Permeabilities // Sov. Phys. Usp. 1968. V.10. P.509.
6. Engheta Nader Metamaterials: Physics and Engineering Explorations. - Wiley & Sons. - P. xv, 240-256.
7. Zhu B., Wang Z., Yu Z, Zhang Q., Zhao J., Feng Y., Jiang T. Planar metamaterial micro-wave Absorber for all Wave Polarizations // Chin. phys. lett., Vol.26, No 11, p. p.1-4, 2010
8. Shen X., Cui T, Jumming Z, Ma H., Jiang W., Li H. Polarization-insensitive triple-band metamaterial absorber with wide incident angle // Progress in electromagnetics research, PIER 101, 2010
9. Zhu B., Huang C., Feng Y., Zhao J., Jiang T. Dual band switchable metamateria electro-magnetic absorber // Progress in electromagnetics research, vol.24, 121-129, 2010

10. Veselago V., Braginsky, L, Shklover V., and Hafner C., Negative relative index materials // Journal of computational and theoretical nanoscience, Vol.3, 1-30, p. p.1-30, 2006

11. Zhu B., Wang Z., Huang C., Huang Y., Feng Y., Zhao J., and Jiang T. Polarization insensitive metamaterial absorber with wide incident angle // Progress in electromagnetics research, PIER 101, p. p.99-103, 2010

12. Stretchy, High-Quality Conductors // MIT Technology Review. - [Електронний ресурс]. Режим доступу - <http://www.technologyreview.com/news/410604/stretchy-high-quality-conductors/>

13. Техноекоелогія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник / В.С. Стручок, – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2022. – 150 с.

14. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної бо та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

15. Дозорський В.Г., Дозорська О.Ф., Дедів Л.Є., Дедів І.Ю., Паньків І. М., Яворська Є.Б. Структура системи відбору біосигналів для задачі відновлення комунікативної функції людини. Вісник Хмельницького національного університету: технічні науки. – Хмельницький: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету". – 2019. - №2(271) – с. 183-186.

16. Хвостівська Л.В., Осухівська Г.М., Хвостівський М.О., Шадріна Г.М., Дедів, І. Ю. Розвиток методів та алгоритмів обчислення періоду стохастичних біомедичних сигналів для медичних комп'ютерно-діагностичних систем. Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування. /Категорія В/ 2019. Вип. 79. С. 78-84. doi: 10.20535/RADAR.2019.79.78-84.

17. Дозорська О.Ф., Яворська Є.Б., Дозорський В.Г., Дедів Л.Є. і Дедів І.Ю. Метод виявлення ознак основного тону в структурі електроміографічних

сигналів для задачі компенсації порушеної комунікативної функції людини», Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування, (81), с. 56-64. doi: 10.20535/RADAP.2020.81.56-64.

18. Дедів І.Ю. Структурний синтез вібромасажної апаратури / О.В. Гевко, В.Г. Дозорський, Л.Є. Дедів, І.Ю. Дедів, О.Ф. Дозорська // Перспективні технології та прилади, № 20, Луцьк, 2022. – с. 23-31.

19. Mathematical and Algorithmic Support of Detection Useful Radiosignals in Telecommunication Networks. L. Khvostivska, M. Khvostivskyu, V. Dunets, I. Dediv. CEUR Workshop Proceedings. 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2022 Ternopil 22- 24 November 2022. Том 3309, с. 314-318.

20. Дедів І.Ю., Сверстюк А.С., Дедів Л.Є., Дозорський В.Г., Хвостівський М.О. Математичне моделювання, методи та програмне забезпечення опрацювання дихальних шумів у комп'ютерних аускультативних діагностичних системах: наукова монографія. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. 126 с. ISBN 978-617-574-219-8.

21. Дедів Л.Є., Сверстюк А.С., Дедів І.Ю., Хвостівський М.О., Дозорський В.Г., Яворська Є.Б. Математичне та комп'ютерне моделювання електрокардіосигналів у системах голтерівського моніторингу: наукова монографія. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. 120 с. ISBN 978-617-574-218-1.

22. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dunets V., Dediv I. (2023) Matematychnе, alhorytmichne ta prohramne zabezpechennia synfaznoho vyivlennia radiosyhnaliv v elektronnykh komunikatsiinykh merezhakh iz zavadamy [Mathematical, algorithmic and software support of synphase detection of radio signals in electronic communication networks with noises]. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol. 111, no 3, pp. 48-57 [in Ukrainian].

23. Dozorskyi V., Dediv I., Sverstiuk S., Nykytyuk V., Karnaukhov A. The Method of Commands Identification to Voice Control of the Electric Wheelchair. Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. P.233-240. ISSN 1613-0073. CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine.

24. Liliya Khvostivska, Iryna Dediv, Mykola Khvostivskyy, Leonid Dediv. Computer Tool for generating of Test Radio Signals for verification of the Radio Computer Systems Software. ADVANCED APPLIED ENERGY and INFORMATION TECHNOLOGIES 2021. Proceedings of the International Conference (Ternopil, 15-17 of December 2021.) / Ministry of Education and Science of Ukraine, Ternopil Ivan Puluj National Technical Universtiy [and other.]. – Ternopil : TNTU, Zhytomyr : «Publishing house “Book-Druk”» LLC, 2021. – P.200-205.

ДОДАТКИ

УДК 621.39: 535

Б.В. Галенда, М.М. Кузнєцов, Л.Є. Дедів, к.т.н., доц.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ЗАДАЧА РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ОБМІНУ ДАНИМИ З ВІДКРИТИМ КАНАЛОМ

B.V. Galenda, M.M. Kuznetsov, L.E. Dediv, Ph.D., Assoc. Prof.

THE TASK OF DEVELOPING DATA EXCHANGE SYSTEM WITH OPEN CHANNEL

З кінця минулого століття спостерігається помітний прогрес елементної бази пристроїв оптичного діапазону. Як наслідок, почали швидко розвиватися і деякі технічні програми. Насамперед це стосується атмосферних оптичних ліній зв'язку (АОЛЗ), як систем з відкритим каналом обміну даними. Такі незаперечні переваги АОЛЗ, як велика інформаційна ємність, малі габарити та вага апаратури, відсутність взаємних перешкод та необхідності отримувати дозвіл на використання радіочастот, можливість організації зв'язку на території, де недоступний або не виправданий радіо- та оптоволоконний зв'язок, відносно низька вартість, швидкість розгортання зв'язку, простота обслуговування, призвели до того, що АОЛЗ зайняли певне місце серед інших систем передачі інформації.

Питання безпеки для радіосистем, де перехоплення не становить проблеми, вирішується шляхом застосування різних методів шифрування даних. Для оптичних систем навіть саме перехоплення та виділення інформації є дуже складним завданням. Насправді, далеко не завжди можна ввести у канал зв'язку напівпрозоре дзеркало непомітно від користувача. Окрім цього, отримані відомості потрібно ще розшифрувати. Абсолютного захисту від несанкціонованого доступу не існує - теоретично можна перехопити та "виділити" інформацію, передану будь-яким із відомих на сьогоднішній день способом. Однак, системи оптичного зв'язку в цьому плані є перспективнішими в порівнянні із іншими типами каналів передачі даних. В цьому плані такі системи реалізуються у вигляді складних радіо оптичних систем шляхом поєднання оптики, електроніки та радіофізики.

Формування та загальний розвиток радіооптики багато в чому визначається інформаційними завданнями - завданнями спостереження та вимірювання, завданнями передачі, прийому та обробки великих масивів інформації при забезпеченні високої швидкодії. Клас інформаційних радіооптичних систем поєднує різноманітні та численні лазерні системи, особливістю яких є використання оптичного випромінювання як носія інформації. Прикладами подібних систем є системи лазерної локації та навігації, системи оптичного зв'язку, лазерної далекометрії, лазерного зондування, лазерні вимірювальні системи та сенсорні системи, лазерні системи бачення, системи лазерної та волоконно-оптичної гіроскопії, лазерної інтерферометрії, лазерної спектроскопії, лазерної голографії та багато інших.

В дослідженнях проводиться проектування системи обміну даними, в якій каналом передачі є відкритий простір, а в якості джерела оптичного випромінювання використовується CO₂-лазер. При цьому можливим стає реалізація методу електронної перебудови довжини хвилі випромінювання CO₂-лазера для підвищення надійності та достовірності передавання даних у відкритому каналі та адаптації самого процесу обміну даними до атмосферних впливів шляхом корекції довжини хвилі випромінювання.