

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
(повне найменування інституту, назва факультету)
Інформаційні технології електронних засобів
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

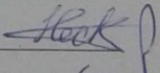
Магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

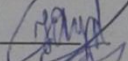
на тему Оптимізація параметрів рупорної антени
з метою забезпечення електромагнітної сумісності

Виконав: студент VI курсу, групи РТ-513
спеціальності (спеціалізації)

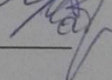
172 Телекомунікації та РТ, Інтел. техн. мігр. Н.
(код і назва спеціалізації, спеціальності)

Кесветаєв К.О. 

(прізвище та ініціали)

Керівник Вурманова Н.І. 

(прізвище та ініціали)

Рецензент Чорнобородов М.П. 

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Радіоелектроніки та телекомунікацій
 кафедра Інформаційних технологій електронних засобів
 ступінь вищої освіти (освітній ступінь) Магістр
 спеціальність Інтелектуальні технології мікростатичної РЕТ
 (код і назва)
 спеціалізація 172 Телекомунікації та РТ
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЕЗ
 К.Т.Н. доц. Шило Т.М. ТШ
 "12" грудня 2018 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кесветаєву Костянтин Олександровичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)

Тема магістерської роботи Оптимізація параметрів рупорної антени з метою забезпечення електромолнотійної сумісності

рівнік магістерської роботи Гришак Н.Т., К.Т.Н. доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "07" листопада 2018 року № 338

Строк подання студентом магістерської роботи 13 грудня 2018

Вихідні дані до магістерської роботи _____

Об'єкт - модель рупорної антени

Матеріал - титан

Частотний діапазон дослідження від 5...15 ГГц.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно зробити) Питання електромолнотійної сумісності

Основні відомості надвисокочастотних антен та способи захисту радіоелектронної апаратури від завад

Аналіз електромолнотійної сумісності в антенній решітці

Екранування одноступінчастої моделі рупорної антени

Охорона праці та безпека у радіолазерних ситуаціях

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Плакат 1 - А1

Плакат 2 - А1

Плакат 3 - А1

Плакат 4 - А1

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконання завдання
1-3	Фурманова Н.І., доц. каф. ТЕЗ	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
4	Біталенко В.В., доц. каф. ЕТІІ	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
5	Коробко О.В., ст. викл. каф. ОП:ИС	23.10.18	<i>[Signature]</i>
Нормоконтр	Яросова Т.А., ст. викл. каф. ТЕЗ		<i>[Signature]</i>

7. Дата видачі завдання 3 вересня 2018 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Прізвище
1	Аналіз конструкцій рундних антен	1 тиждень	
2	Вибір рішень щодо заземлення ЕМС	1 тиждень	
3	Аналіз систем екранування моделі	1 тиждень	
4	Проведення моделювання в скановій системі	1 тиждень	
5	Проведення оптимізації конструкції	2 тижні	
6	Проведення підсилювачів	1 тиждень	
7	Оформлення тези, умітки та графіки	1 тиждень	

Студент

[Signature]
(підпис)

[Signature]
(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи

[Signature]
(підпис)

[Signature]
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 90 с., 23 рисунки, 18 джерел.

Об'єкт дослідження — методи оптимізації рупорної антени з метою забезпечення електромагнітної сумісності.

Мета роботи — визначення небажаного розсіювання НВЧ сигналу та оптимізація конструкції рупорної антени з метою зниження впливу на оператора та оточуюче обладнання.

РУПОРНА АНТЕНА, ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ,
ANSOFT HFSS, ПОЛЕ, СИСТЕМА, АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ,
ОПТИМІЗАЦІЯ

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	1
ЗМІСТ	5
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
1 ПИТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ	9
1.1 Нормативно – правова база України, що стосується електромагнітної сумісності.....	9
1.2 Електромагнітна сумісність в радіоелектронній апаратурі.....	18
1.2.1 Електромагнітна обстановка і параметри ЕМС	20
1.3 Постановка задачі.....	24
2 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ НАДВИСОКОЧАСТОТНИХ АНТЕН ТА СПОСОБИ ЗАХИСТУ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ ВІД ЗАВАД.....	26
2.1 Основні відомості про надвисокочастотні антени	26
2.1.1 Надвисокочастотний діапазон	27
2.1.2 Використання НВЧ-випромінювання.....	28
2.1.3 Огляд конструкцій рупорних антен, призначених для роботи в надвисокочастотному діапазоні	29
2.2 Схемотехнічні способи захисту.....	31
2.3 Конструкційні способи захисту.....	35
3 АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ	45
3.1 Вибір системи автоматизованого проектування.....	45
3.2 Побудова моделі у системі електромагнітного моделювання HFSS.....	47
3.3 Проведення аналізу та оптимізації.....	52

4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕЛІ РУПОРНОЇ АНТЕНИ	62
4.1 Планування моделювання моделі рупорної антени	62
4.2 Визначення витрат на моделювання моделі	65
4.2.1 Розрахунок основної заробітної плати	65
4.2.2 Розрахунок додаткової заробітної плати	66
4.2.3 Відрахування на єдиний соціальний внесок	66
4.2.4 Визначення затрат на матеріали	66
4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання	67
4.2.6 Інші прямі витрати	71
4.2.7 Розрахунок накладних витрат	72
4.3 Розрахунок техніко-економічної ефективності моделі	73
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	75
5.1 Аналіз потенційних небезпек	75
5.2 Заходи з забезпечення безпеки	76
5.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці	78
5.4 Заходи з пожежної безпеки	82
5.5 Заходи забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях	83
ВИСНОВКИ	88
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	89

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЕМС – електромагнітна сумісність.

НВЧ – надвисокі частоти.

РЕА – радіоелектронна апаратура.

РЕЗ – радіоелектронні засоби.

САПР – системи автоматизованого проектування

ВСТУП

Конструювання радіоелектронних апаратів нового покоління потребує від спеціаліста оволодіння системою знань про сучасні методи забезпечення електромагнітної сумісності.

Більшість радіоелектронних пристроїв працюють на надвисоких частотах, тому ця тема електромагнітної сумісності дуже актуальна в ХХІ віці. Проблема забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) радіоелектронних засобів (РЕЗ) виникла з дійсних потреб радіоелектроніки, що розвивається. Першими результатами розв'язання проблеми ЕМС були успіхи по ослабленню впливу ненавмисних електромагнітних завад. Потім проблема ЕМС поширилася на усі види радіоелектронних і електронних засобів. Стало очевидним, що не можна проектувати, конструювати, робити й експлуатувати згадані засоби без урахування забезпечення їх ЕМС. Виявилося, що для подальшого розвитку радіоелектроніки задача забезпечення ЕМС має не менше значення, чим забезпечення апаратурної надійності роботи або мініатюризація тих же засобів. Тому будь-який фахівець в області радіоелектроніки повинний знати принципи забезпечення ЕМС і застосовувати свої знання в цій області при розробці, виробництві й експлуатації засобів. Усе це говорить про те, що проблема забезпечення ЕМС перетворилася в новий самостійний науково-технічний напрямок сучасної радіоелектроніки.

1 ПИТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ

1.1 Нормативно – правова база України, що стосується електромагнітної сумісності

Перш за все слід звернути увагу на те, що в технічній літературі, ДСТУ та Законах України і Постановах Кабінету Міністрів України щодо ЕМС існує ряд визначень та понять щодо ЕМС, які відрізняються не тільки повнотою, але й термінами (завада, перешкода).

Електромагнітна сумісність - здатність радіоелектронних засобів і радіовипромінювальних пристроїв одночасно функціонувати з обумовленою якістю в реальних умовах експлуатації з урахуванням впливу на них ненавмисних радіозавад і не створювати недопустимих радіозавад іншим радіоелектронним засобам і радіовипромінювальним пристроям.

(ЗАКОН УКРАЇНИ “Про радіочастотний ресурс України” (Стаття 1) №1770-III 1 червня 2000 року м. Київ) [1].

Електромагнітна сумісність - здатність радіоелектронних засобів і радіовипромінювальних пристроїв одночасно функціонувати з обумовленою якістю в реальних умовах експлуатації з урахуванням впливу на них ненавмисних радіоперешкод і не створювати недопустимих радіоперешкод іншим радіоелектронним засобам і радіовипромінювальним пристроям.

(МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ НАКАЗ «Про затвердження Правил авіаційного електрозв'язку в цивільній авіації України (Правила, п.1.5) 23.09.2003 № 736)» [2].

Електромагнітна сумісність - здатність обладнання задовільно функціонувати в його електромагнітній обстановці, не створюючи неприпустимих електромагнітних завад іншому обладнанню в цій обстановці.

(КАБІНЕТ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ ПОСТАНОВА «Про затвердження Технічного регламенту з електромагнітної сумісності обладнання» (Технічний регламент) від 29 липня 2009 р. № 785 м. Київ) [3].

Технічний регламент з електромагнітної сумісності обладнання встановлює вимоги стосовно електромагнітної сумісності обладнання, яке виготовляється і використовується на території України або імпортується. Вимоги, встановлені цим Технічним регламентом, обов'язкові для:

виробників, їх уповноважених представників та постачальників, які вводять в обіг обладнання;

центральных органів виконавчої влади з питань технічного регулювання;

центральных органів виконавчої влади з питань стандартизації;

призначених органів з оцінки відповідності.

У цьому Технічному регламенті терміни вживаються у такому значенні:

апаратура — будь-який пристрій або комбінація пристроїв, які здатні створювати електромагнітні завади або на роботу яких можуть вплинути такі завади;

електромагнітна завада — будь-яке електромагнітне явище, що може негативно вплинути на функціонування обладнання. Електромагнітною завадою можуть бути електромагнітний шум, небажаний сигнал або зміни в самому середовищі їх поширення;

електромагнітна обставина — сукупність всіх електромагнітних явищ, наявних у певному середовищі;

електромагнітна сумісність — здатність обладнання функціонувати належним чином у заданих електромагнітних обставинах, не створюючи неприпустимих електромагнітних завад іншому обладнанню;

завадостійкість — здатність обладнання функціонувати належним чином у разі електромагнітних завад;

комплектувальні вироби або вузли — конструктивно закінчені складальні одиниці, які призначені для монтування кінцевим користувачем в апаратуру, здатні створювати електромагнітні завади або на функціонування яких можуть вплинути такі завади;

мобільне обладнання — комбінація апаратури, призначеної для переміщення і використання в різних середовищах;

обладнання — будь-який електричний пристрій або комбінація пристроїв, крім апаратури;

радіообладнання — виріб або відповідний його елемент, що забезпечує зв'язок за допомогою випромінювання та прийому радіохвиль, використовуючи частоти спектра, виділені для наземного та космічного радіозв'язку;

телекомунікаційне термінальне обладнання — виріб, що забезпечує зв'язок, або відповідний його елемент, призначений для з'єднання будь-якими способами, будь-якого роду з інтерфейсами громадських телекомунікаційних мереж (телекомунікаційні мережі, що використовуються цілком або частково для надання загальнодоступних телекомунікаційних послуг).

Інші терміни вживаються у значенні, наведеному в Законах України “Про підтвердження відповідності”, “Про стандарти, технічні регламенти та процедури оцінки відповідності” [4].

Дія Технічного регламенту не поширюється на:

авіаційне обладнання, комплектувальні вироби та пристрої, що використовуються в галузі цивільної авіації;

радіообладнання, що використовується радіоаматорами відповідно до Регламенту радіозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку, за винятком введення його в обіг;

радіообладнання і телекомунікаційне термінальне обладнання;

набори елементів, призначені для радіоаматорського конструювання, а також обладнання, що використовується радіоаматорами.

Обладнання може бути введено в експлуатацію, якщо воно за умови правильного встановлення, обслуговування та використання за призначенням відповідає вимогам цього Технічного регламенту.

Введення в обіг або в експлуатацію на території України обладнання, що відповідає вимогам цього Технічного регламенту, не може бути заборонено або обмежено з причин, пов'язаних з електромагнітною сумісністю.

Обладнання, що експонується та/або демонструється на торговельних ярмарках, виставках та інших подібних заходах і не відповідає вимогам цього Технічного регламенту, повинно бути нанесено маркування, яке свідчить про те, що обладнання не може бути введено в експлуатацію до приведення його у відповідність з вимогами цього Технічного регламенту. Демонстрація такого обладнання можлива лише за умови, що буде вжито адекватних заходів захисту від електромагнітних завад.

Для конкретизації вимог цього Технічного регламенту може розроблятися перелік національних стандартів, добровільне застосування яких повністю або частково сприймається як доказ відповідності обладнання вимогам цього Технічного регламенту (далі — перелік національних стандартів).

Перелік національних стандартів затверджується центральним органом виконавчої влади з питань стандартизації за поданням центральних органів виконавчої влади з питань технічного регулювання.

Обладнання повинно розроблятися і виготовлятися з урахуванням таких вимог:

- електромагнітні завади, які створюються обладнанням, не можуть перевищувати рівня, допустимого для нормального функціонування радіо- та телекомунікаційного або іншого обладнання;

- рівень несприйнятливості апаратури, обладнання до електромагнітних завад, що виникають у ході передбаченої експлуатації, повинен забезпечувати їх належне функціонування.

Відповідність апаратури вимогам цього Технічного регламенту повинна бути підтверджена шляхом проведення процедур, визначених постановою Кабінету Міністрів України від 7 жовтня 2003 р. № 1585 “Про затвердження Технічного регламенту модулів оцінки відповідності та вимог щодо маркування національним знаком відповідності, які застосовуються в технічних регламентах”, (далі — Технічний регламент модулів) [5].

Виробник або його уповноважений представник — резидент може проводити оцінку відповідності обладнання із застосуванням модулів 1 та 1.1

(внутрішній контроль виробництва) згідно з процедурою, зазначеною у Технічному регламенті модулів.

Оцінка відповідності із залученням призначеного органу з оцінки відповідності проводиться згідно з цим Технічним регламентом.

Для оцінки відповідності апаратури, не призначеної для безпосереднього підключення до електромережі, використовується модуль 1 (внутрішній контроль виробництва) відповідно до Технічного регламенту модулів.

Для оцінки відповідності апаратури, призначеної для безпосереднього підключення до електромережі, використовується модуль 1.1 (модифікований модуль 1) відповідно до Технічного регламенту модулів.

Модуль 1.1 застосовується з урахуванням таких додаткових вимог:

призначений орган з оцінки відповідності, обраний виробником, проводить перевірку апаратури через довільні проміжки часу;

для перевірки виробник надає зразок апаратури чи обладнання;

призначений орган з оцінки відповідності досліджує та випробовує зазначений зразок згідно з відповідними стандартами або проводить рівноцінні випробування для перевірки відповідності зразка вимогам цього Технічного регламенту.

Після проведення випробувань призначений орган з оцінки відповідності повинен скласти висновок, який додається до технічної документації апаратури чи обладнання.

Якщо виробник у визначений час не забезпечив надання зразка апаратури чи обладнання призначеному органу з оцінки відповідності, в реєстр вноситься запис про припинення дії декларації про відповідність та інформація про це подається уповноваженому органу виконавчої влади.

У разі коли виробник або його уповноважений представник не впевнений у правильності вибору стандартів чи не застосував їх або застосував частково, для оцінки відповідності він може застосувати модуль 2 у поєднанні з іншими модулями відповідно до Технічного регламенту модулів.

Оцінка відповідності телекомунікаційного обладнання, на яке поширюється дія Закону України “Про телекомунікації” [6], проводиться шляхом застосування модуля 2 у поєднанні з іншими модулями відповідно до Технічного регламенту модулів.

У разі коли апаратуру вводить в обіг постачальник, який не є виробником або його уповноваженим представником, оцінка відповідності проводиться із застосуванням модуля 2 для кожної партії продукції.

Виробник або його уповноважений представник, або постачальник зобов’язані вжити всіх необхідних заходів для гарантування введення апаратури чи обладнання в обіг відповідно до технічної документації та вимог цього Технічного регламенту.

Виробник або його уповноважений представник — резидент можуть застосувати більш складні модулі відповідно до Технічного регламенту модулів.

Технічна документація повинна підтверджувати відповідність апаратури чи обладнання вимогам цього Технічного регламенту. Документація повинна бути складена українською мовою або іншою мовою за погодженням з призначеним органом з оцінки відповідності.

Технічна документація повинна охоплювати всі стадії проектування, виготовлення і застосування апаратури чи обладнання та давати можливість оцінити його відповідність вимогам цього Технічного регламенту.

Обсяг і зміст технічної документації повинні відповідати Технічному регламенту модулів, ДСТУ ISO/IEC 17050-2:2006 і містити:

- загальний опис апаратури чи обладнання;
- технічні умови (за наявності);
- основні конструкторські креслення, схеми елементів, блоків, кіл та описи і пояснення до них;
- перелік стандартів, які були застосовані повністю або частково;

- протоколи випробувань, проведених випробувальною лабораторією під наглядом призначеного органу з оцінки відповідності, якщо під час оцінки відповідності були застосовані стандарти;

- протокол проведення оцінки електромагнітної сумісності, результати конструкторських розрахунків, досліджень і випробувань, проведених випробувальною лабораторією під наглядом призначеного органу з оцінки відповідності, якщо під час оцінки відповідності стандарти не були застосовані або застосовані частково;

висновок призначеного органу з оцінки відповідності у разі застосування процедур, зазначених у цьому Технічному регламенті.

Декларація про відповідність складається українською мовою за формою згідно з додатком і повинна містити:

загальні вимоги до декларації про відповідність, встановлені ДСТУ ISO/IEC 17050-1:2006;

посилання на цей Технічний регламент;

відомості про ідентифікацію апаратури чи обладнання:

найменування і адресу виробника, а в разі потреби найменування і адресу його уповноваженого представника;

посилання на гармонізовані стандарти або рівноцінні вимоги, що підтверджують відповідність апаратури чи обладнання вимогам цього Технічного регламенту;

дату видачі декларації про відповідність;

підпис, прізвище та ініціали особи, що склала декларацію.

На апаратуру чи обладнання, оцінка відповідності якої була проведена з дотриманням вимог пунктів 13—15 цього Технічного регламенту, повинно бути нанесено маркування національним знаком відповідності.

Маркування національним знаком відповідності наносить виробник або його уповноважений представник — резидент.

Якщо виробник не є резидентом і відсутній його уповноважений представник — резидент, маркування національним знаком відповідності

наносить постачальник — резидент, який відповідає за введення в обіг апаратури чи обладнання.

Маркування національним знаком відповідності наноситься відповідно до Правил застосування національного знака відповідності, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 29 листопада 2001 р. № 1599 (Офіційний вісник України, 2001 р., № 49, ст. 2188) [7].

На апаратуру чи обладнання, їх упаковку або інструкцію з експлуатації може бути нанесено будь-яке інше маркування за умови, що воно не погіршить видимість і розбірливість національного знака відповідності.

У разі коли встановлено, що національний знак відповідності застосовують з порушенням, виробник або його уповноважений представник — резидент, або постачальник, що відповідають за введення в обіг апаратури чи обладнання, повинні вжити заходів до усунення порушення, привести апаратуру чи обладнання у відповідність з вимогами цього Технічного регламенту і підтвердити цю відповідність у встановленому порядку. В разі не приведення апаратури чи обладнання у відповідність з вимогами цього Технічного регламенту протягом тривалого часу центральні органи виконавчої влади з питань технічного регулювання в установленому порядку можуть порушити питання про вилучення з обігу такої апаратури чи обладнання, обмеження або заборону вводити в обіг таку апаратуру чи обладнання.

На кожен одиницю апаратури чи обладнання повинно бути нанесено маркування, що дає змогу встановити тип, партію, серійний номер та інші відомості, що її ідентифікують, а також найменування і адреса виробника. У разі коли виробник не є резидентом, наноситься також адреса його уповноваженого представника — резидента, а у разі, коли уповноважений представник виробника не є резидентом — найменування і адреса постачальника — резидента. Така інформація може зазначатися у супровідній документації.

Виробник у супровідній документації зобов'язаний зазначити відомості про всі особливі запобіжні заходи, які необхідно здійснити під час монтування,

встановлення, обслуговування та експлуатації апаратури чи обладнання для того, щоб у разі введення його в обіг гарантувати відповідність вимогам, зазначеним у пункті 9 цього Технічного регламенту.

Якщо оцінка відповідності апаратури чи обладнання вимогам безпечного проживання населення у житлових районах не гарантована, відомості про обмеження застосування повинні зазначатися на самій апаратурі чи обладнанні, а також у разі потреби на їх упаковці та у супровідній документації.

Інформація, необхідна для забезпечення застосування апаратури чи обладнання за призначенням, повинна бути наведена в інструкції з експлуатації.

Оцінка електромагнітної сумісності вважається проведеною у разі дотримання виробником або його уповноваженим представником, або постачальником вимог національних стандартів.

Декларація про відповідність повинна бути зареєстрована в призначеному органі з оцінки відповідності. Умовою реєстрації декларації є відповідність поданої технічної документації, засвідченої виробником, цьому Технічному регламенту. Реєстр декларацій про відповідність веде центральний орган виконавчої влади у сфері технічного регулювання.

Виробник або його уповноважений представник, або постачальник зобов'язані зберігати копію декларації про відповідність разом з технічною документацією протягом не менш як 10 років після останнього випуску апаратури чи обладнання.

Електромагнітна сумісність, або ЕМС, - це здатність радіоелектронних засобів (РЕЗ) і радіовипромінюючих приладів (РВП) спільно і одночасно функціонувати з обумовленою якістю в реальних умовах експлуатації з урахуванням впливу на них ненавмисних радіозавад без створення недопустимих радіозавад іншим РЕЗ і РВП.

Електромагнітна обстановка, або ЕМО – це сукупність електромагнітних полів у певній частині простору, смуги частот та інтервалу часу, що впливають на якість функціонування РЕЗ і РВП.

1.2 Електромагнітна сумісність в радіоелектронній апаратурі

Надійність передачі, прийому і обробки сигналів, що несуть інформацію в радіоелектронній апаратурі, залежить від ступеня її завадозахищеності і визначається в заданих умовах експлуатації дією електромагнітних завад. Електромагнітними перешкодами називаються електромагнітні, електричні і магнітні процеси, створені будь-яким джерелом в просторі або провідному середовищі, які небажано впливають на корисний сигнал або можуть створити такий вплив. У цьому зв'язку під електромагнітною сумісністю радіоелектронних засобів розуміється їх властивість функціонувати з необхідною якістю в реальних умовах експлуатації одночасно з іншими радіотехнічними, електронними та електротехнічними засобами при впливі випадкових електромагнітних завад, не створюючи неприпустимих електромагнітних завад іншим радіотехнічним і електронним засобів. Наведене поняття електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів є загальним і може бути також використано при конструюванні інтегральних мікросхем, мікрозбірок, функціональних вузлів, блоків. Актуальність проблеми електромагнітної сумісності постійно зростає в зв'язку з наступними основними тенденціями розвитку радіоелектроніки:

1) безперервне збільшення радіоелектронних засобів, значне ускладнення їх функцій і складу, що призводить до підвищення рівня ненавмисних електромагнітних завад в навколишньому середовищі (ускладнення електромагнітної обстановки);

2) збільшення випромінюваних потужностей передавачів, що мають крім основного випромінювання та неосновні випромінювання (позасмугових і побічні), які можуть бути заважають для інших радіоелектронних засобів;

3) підвищення чутливості прийомних пристроїв радіоелектронної апаратури, що мають, крім основного, побічні канали прийому;

4) недолік радіочастотних каналів, вільних від перешкод.

При цьому електромагнітні перешкоди слід розглядати як один з видів «забруднення» навколишнього середовища, так як можливості радіочастотного ресурсу, особливо в останні роки, все більше обмежуються. У зв'язку з цим однією з найбільш важливих завдань, що стоять при конструюванні РЕА, є забезпечення умов електромагнітної сумісності як для окремих функціональних вузлів, так і для комплексів апаратури в цілому. Проектування радіоелектронної апаратури з урахуванням вимог забезпечення електромагнітної сумісності дозволяє зменшити вартість, скоротити терміни розробки, виготовлення і наладки і при цьому забезпечити функціонування РЕА без погіршення якісних показників в заданій електромагнітній обстановці [8].

При оцінці електромагнітних завад на будь-якому ієрархічному рівні апаратури необхідно розглядати наступні елементи:

- 1) джерело перешкод;
- 2) середовище поширення перешкод;
- 3) рецептор перешкод, тобто пристрій, що змінює значення своїх параметрів під впливом стороннього електромагнітного обурення.

Для характеристики рецептора вводять уявлення об'його сприйнятливості, під яким розуміється реакція пристрою на електромагнітні перешкоди, які є по відношенню до нього зовнішніми.

Кількісно сприйнятливість може бути виражена через відношення корисний сигнал-зовнішня перешкода. При аналізі електромагнітної сумісності необхідно використовувати саме це поняття, так як відоме уявлення про чутливість відноситься до реакції пристрою на корисний сигнал і кількісно характеризується відношенням сигнал - власний шум пристрою при відсутності зовнішніх перешкод.

Електромагнітні перешкоди можуть утворюватися як всередині радіоелектронної апаратури (внутрішньосистемні перешкоди), так і між радіоелектронними засобами (міжсистемні перешкоди).

1.2.1 Електромагнітна обстановка і параметри ЕМС

Електромагнітна обстановка, в якій функціонують приймальні пристрої тієї чи іншої радіоелектронної системи, характеризується сукупністю електромагнітних випромінювань, що діють на ці пристрої і створюваних радіочастотними генераторами інших систем, електричними пристроями, не призначеними для генерування електромагнітних коливань, джерелами природного походження і т. Д. для опису електромагнітної обстановки не розроблено ще єдиних методів і єдиної системи параметрів. На практиці електромагнітна обстановка оцінюється як для радіоелектронних систем, так і для індивідуальних пристроїв, що входять в ці системи.

У першому випадку зазвичай визначається «зовнішній» по відношенню до даної системи рівень випромінювань в місці її розміщення (зовнішня електромагнітна обстановка). При цьому не враховуються інтенсивність і характер випромінювань, створюваних радіоелектронними засобами самої системи. Перешкоди, що характеризують зовнішню електромагнітну обстановку, створюються, як правило, джерелами, віддаленими від даної радіоелектронної системи на значні відстані. Такі перешкоди вдається досить чітко розділити на регулярні сигнали радіопередавачів і шумоподібні сигнали, що виникають головним чином за рахунок випромінювань різних електричних пристроїв (ліній електропередачі, зварювальних апаратів, систем запалювання автомобільних двигунів і тощо).

Регулярні електромагнітні випромінювання оцінюються шляхом складання спеціальних карт, що характеризують електромагнітну обстановку в даній місцевості. На ці карти наносяться відомості про частоти та рівнях потужності випромінювань всіх застосовуваних у даній місцевості передавачів, тимчасових режимах їх роботи, спектрах сигналів, стабільності частот і ін. Там же вказуються статистичні характеристики нерегулярно виникають радіопередач (наприклад, передач літакових, корабельних та інших рухомих радіостанцій). Такі карти дозволяють прогнозувати можливий рівень перешкод

і раціонально вибирати параметри і регламенти роботи РЕЗ системи. Як правило, вони характеризують електромагнітну обстановку на відносно великих ділянках місцевості.

Рівень шумоподібного фону, що створюється за рахунок випромінювання різних електричних пристроїв, може бути визначений лише статистично і характерний для порівняно невеликих районів, що оточують ту точку, в якій проводилися його вимірювання.

Випромінювання електромагнітного спектра при певних рівнях можуть чинити негативний вплив на організм людини, тварин та інших живих істот, а також несприятливо впливати на роботу електричних приладів. Різні види неіонізуючих випромінювань (електромагнітних полів, ЕМП) надають різну фізіологічну дію. На практиці виділяють діапазони магнітного поля (постійного і квазіпостійного, імпульсного), ВЧ і НВЧ-випромінювань, лазерного випромінювання, електричного і магнітного поля промислової частоти від високовольтного обладнання та ін.

Воно залежить від близькості цієї точки до ліній електропередач, шосе з інтенсивним автомобільним рухом, різним промисловим об'єктам і тощо. У ряді випадків перенесення точки вимірювання на кілька сотен метрів призводить до надзвичайно великої зміни рівня шуму. Інтенсивність шумоподібного фону зазнає різкі добові коливання і істотно залежить від умов погоди і пори року.

В цілому ряді радіоелектронних систем, наприклад в комплексах радіоелектронного обладнання сучасних літаків, перешкоди, створювані засобами самого комплексу, практично повністю визначають умови роботи його приймальних пристроїв. Джерела завад випромінювань розташовуються в таких системах поруч з пристроями, що сприймають перешкоди. Це призводить до необхідності розглядати численні можливі зв'язки між генераторами і прийомними пристроями, антенно-фідерними трактами і тощо. Якщо до того ж врахувати, що при незначних віддаленнях пристрою, що сприймають перешкоди, часто розташовуються в ближній зоні генераторів перешкод, то

стане ясною вся складність аналітичного аналізу внутрішньої електромагнітної обстановки в складних радіоелектронних системах.

При оцінці електромагнітної сумісності РЕЗ доводиться враховувати значне число їх параметрів. Головними з них є:

- енергетичні та спектральні характеристики основних і неосновних випромінювань передавальних пристроїв системи, гетеродинів її приймачів, а також передавальних пристроїв, що визначають зовнішню електромагнітну обстановку;

- реальні чутливості прийомних пристроїв системи за основними і неосновним каналах прийому;

- динамічний діапазон приймальних пристроїв;

- рівень шумових випромінювань в місці розташування приймальних пристроїв;

- коефіцієнти зв'язку між різними елементами (в тому числі між антенами) пристроїв, що випромінюють і сприймають перешкоди.

Зараз є пристрої які працюють на на НВЧ частотах. Це мобільні телефони, Wi-fi роутери, мікрохвильові пічки та інші. Розглянемо детально на яких частотах працюють ці пристрої радіоелектроніки. Мобільний зв'язок здійснюється по стандарту GSM.

GSM (від назви групи Groupe Spécial Mobile, пізніше перейменованій в Global System for Mobile Communications) - глобальний стандарт цифрового мобільного стільникового зв'язку з розділенням каналів за часом (TDMA) і частоті (FDMA).

GSM відноситься до мереж другого покоління (2 Generation) (1G - аналоговий стільниковий зв'язок, 2G - цифровий стільниковий зв'язок, 3G – широкопasmовий цифровий стільниковий зв'язок, комутуруемая багатоцільовими комп'ютерними мережами, в тому числі Інтернет).

Мобільні телефони випускаються з підтримкою 4 частот: 850 МГц, 900 МГц, 1800 МГц, 1900 МГц. Залежно від кількості діапазонів, телефони поділяються на класи і варіацію частот в залежності від регіону використання.

Однодіапазонні - телефон може працювати в одній смузі частот.

Дводіапазонні (Dual Band) - для Європи, Азії, Африки, Австралії 900/1800 і 850/1900 для Америки і Канади.

Трьохдіапазонним (Tri Band) - для Європи, Азії, Африки, Австралії 900/1800/1900 і 850/1800/1900 для Америки і Канади.

Чотирьохдіапазонний (Quad Band) - підтримують всі діапазони 850/900/1800/1900.

У стандарті GSM застосовується GMSK-модуляція з величиною нормованої смуги ВТ - 0,3, де В - ширина смуги фільтра за рівнем мінус 3 дБ, Т - тривалість одного біта цифрового повідомлення.

GSM на сьогоднішній день є найбільш поширеним стандартом зв'язку. За даними асоціації GSM (GSMA) на даний стандарт доводиться 82% світового ринку мобільного зв'язку, 29% населення земної кулі використовує глобальні технології GSM. У GSMA в даний час входять оператори більш ніж 210 країн і територій.

Почнемо з нульової частоти. Від статичного електричного поля така камера захистить повністю - клітина Фарадея. Від постійного магнітного поля не екранує. Якщо ж буде зроблена з феромагнетика (заліза, нікелю та їх сплавів) то від магнітного поля екранує добре, тому що магнітні силові лінії концентруються у феромагнетик. Зміна ЕМ поля наводить в металі змінні струми провідності, звані струмами Фуко. Ці струми створюють зустрічну ЕМ поле - відображену хвилю. Ідеальний провідник (надпровідник) повністю відображає ЕМ хвилю. У реальних провідниках хвиля відбивається в повному обсязі, а частина її проникає в провідник. Глибина проникнення залежить від провідності і магнітної проникності провідника, і частоти поля. Під глибиною проникнення розуміють відстань на якому амплітуда хвилі зменшується в e раз. Цю відстань називають глибиною скін-шару.

На частоті 50 Гц глибина проникнення буде близько 1 см. Довжина хвилі буде близько 6 см. Щоб вплинути на проникнення хвилі шорсткість поверхні (висота нерівностей) повинна бути порядку цього 1 см. При такій шорсткості

опір поверхневого шару буде найбільшим а проникнення глибше. Внаслідок цього, більша частка енергії буде проникати в провідник.

Залежність глибини проникнення від частоти оберненопропорційна кореню квадратному. Наприклад для частоти в сто разів більшою - 5 000 Гц, глибина проникнення буде в 10 разів менше і складе 1 мм.

На частотах GSM зв'язку 1800 МГц довжина хвилі в повітрі становить 16,6 см. Тому всі звичайні металеві предмети (мають шорсткість набагато менше 16 см) будуть дзеркально відображати ці хвилі. У той же час глибина скін-шару складе 1,6 мкм. Це відповідає 6 класу шорсткості в металообробці (наприклад матовий холоднокатаний сталевий лист). При такій шорсткості частка відображеної енергії мінімальна, а частка поглиненої енергії максимальна. Для збільшення коефіцієнта відбиття слід мати більш гладку поверхню - 8 клас (і вище) з відхиленням профілю 0,4 мкм (і менше). А це вже поверхні з дзеркальним блиском, тому що сумірні з діапазоном видимого світла (довжини хвиль 0,38-0,74 мкм). Так вже це збіглося для частот мобільного зв'язку. При подальшому збільшенні частоти глибина скін-ефекту буде зменшуватися, аж до червоної межі фотоефекту. Далі йдуть частоти іонізуючого випромінювання - ультрафіолет, рентген, гамма. У цьому діапазоні проникаюча здатність квантів ЕМ поля наростає зі збільшенням частоти. Таким чином, 10 сантиметрова стінка зі срібла (а ще краще зі свинцю) надійно захистить від більшості видів ЕМ хвиль. До речі, дуже тонка золота фольга пропускає видиме світло, а не відображає і не поглинає його повністю.

1.3 Постановка задачі

Метою магістерської роботи є розробка методики проектування рупорної антени з метою оптимізації екранування її поверхонь шляхом зменшення випромінювання із бокових та задніх граней. Для реалізації мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- огляд конструкцій рупорних антен, призначених для роботи в надвисокочастотному діапазоні;

- аналіз існуючих систем електромагнітного моделювання, вибір САПР для проведення моделювання обраної конструкції;

- моделювання конструкції рупорної антени в обраній САПР;

- проведення моделювання з метою оптимізації конструкції антени;

Аналіз отриманих результатів, визначення рекомендацій щодо внесення змін до конструкції антени з метою зменшення паразитного випромінювання від бічних та задніх граней антени.

2 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ НАДВИСОКОЧАСТОТНИХ АНТЕН ТА СПОСОБИ ЗАХИСТУ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ ВІД ЗАВАД

2.1 Основні відомості про надвисокочастотні антени

В історії розвитку теорії антен можна умовно виділити окремі етапи, відповідні окремим класам антен. У перший період існування радіотехніки, як відомо, використовувалися НДХ і ДХ діапазони хвиль, і антени стосовно довжині хвилі малих розмірів розглядалися за аналогією з коливальними контурами як системи із зосередженими постійними. Такі антени з їх теорією можна умовно назвати «точковими». З середини 20-х років минулого століття радіотехніка перейшла на середні і короткі хвилі. Почали застосовуватися антени, що складаються з вібраторів, довжини яких стали порівнянні з робочою довжиною хвилі, хоча поперечні розміри залишалися малими в порівнянні з нею. На цьому етапі розвитку антени можна умовно назвати «лінійними». Для цього класу антен потрібно розвиток теорії, заснованої на теорії довгих ліній і теорії випромінювання комбінації лінійних струмів. Істотним фактором цього періоду стала можливість створення гостроспрямованого випромінювання. Освоєння НВЧ - діапазону, що почалося в 50-і роки, пов'язане із застосуванням антен, всі три виміри яких великі в порівнянні з довжиною хвилі. Цей клас можна умовно назвати «об'ємними антенами», а їх теорією стала теорія антен НВЧ. Розвиток ракетно-космічної техніки привело до виникнення в 60-х роках електрично скануючих антен, що дозволяють здійснювати швидкий (безінерційний) огляд простору, супровід цілей, виявлення і т.д. Цей етап розвитку привів до появи фазованих антенних решіток (ФАР). Він може бути умовно названий «клас ФАР». Останній період розвитку теорії і техніки антен, який захоплює і наші дні, може бути умовно названий «клас активних антен». Цей період характеризується використанням антенних систем (приймальних і передавальних) з активними елементами, адаптивних антенних систем, багатофункціональних, самоналагоджувальних і ін. В таких системах

одночасно може відбуватися просторово-часова обробка сигналу з метою істотного поліпшення характеристик всієї радіотехнічної системи в порівнянні з застосуванням звичайної ФАР.

2.1.1 Надвисокочастотний діапазон

Частотний діапазон електромагнітного випромінювання (300000 МГц), розташований в спектрі між ультрависокими телевізійними частотами і частотами далекої інфрачервоної області. Цей частотний діапазон відповідає довжинах хвиль від 1 м до 1 мм; тому його називають також діапазоном дециметрових і сантиметрових хвиль. В англійських країнах він називається мікрохвильовим діапазоном; мається на увазі, що довжини хвиль дуже малі в порівнянні з довжинами хвиль звичайного радіомовлення, мають порядок декількох сотень метрів. Так як по довжині хвилі випромінювання НВЧ-діапазону є проміжним між світловим випромінюванням і звичайними радіохвилями, воно має деякі властивості і світла, і радіохвиль. Наприклад, воно, як і світло, поширюється по прямій і перекривається майже всіма твердими об'єктами. Багато в чому аналогічно світлу воно фокусується, поширюється у вигляді променя і відбивається. Багато радіолокаційні антени і інші НВЧ-пристрої являють собою як би збільшені варіанти оптичних елементів типу дзеркал і лінз. У той же час НВЧ-випромінювання подібно з радіовипромінюванням мовних діапазонів в тому відношенні, що воно генерується аналогічними методами. До НВЧ-випромінювання може бути застосована класична теорія радіохвиль, і його можна використовувати як засіб зв'язку, ґрунтуючись на тих же принципах. Але завдяки більш високим частотам воно дає більш широкі можливості передачі інформації, що дозволяє підвищити ефективність зв'язку. Наприклад, один НВЧ-промінь може нести одночасно кілька сотень телефонних розмов. Подібність НВЧ-випромінювання зі світлом і підвищена щільність яку переносять їм інформації виявилися дуже корисні для радіолокаційної та інших областей техніки.

2.1.2 Використання НВЧ-випромінювання

Вивченням хвиль дециметрового-сантиметрового діапазону з практично-наукового інтересу займалися ще до старту Другої світової війни. Саме в той часовий період потрібен був новий ефективний електронний прилад раннього виявлення. Лише після стартував запуск інтенсивних дослідів НВЧ-радіолокації, незважаючи на те, що такий варіант був можливий ще в 1923-му році. Займалась дослідженням Науково-дослідна лабораторія ВМС Штатів. Радіолокація складається з запуску в простір найкоротших, яскравих імпульсів НВЧ-випромінювання. Далі здійснюється реєстрація фрагмента даного випромінювання, яка повернулася від шуканого віддаленого об'єкта - їм є морське судно або літак.

Велике застосування радіохвиль НВЧ-діапазону здійснюється в техніці зв'язку. Всі світові держави мають не просто різними системами військової спрямованості, але і величезною кількістю ліній НВЧ-зв'язку. Так як дані радіохвилі не взаємопов'язані з кривизною Землі - їх поширення здійснюється по прямій, до складу даних ліній зв'язку, найчастіше, входять ретрансляційні станції. Місцем їх установки є вершини пагорбів або радіовежі, які мають інтервали близько 50 км. Призначення антен рупорного типу, встановлених на вежах - прийняття і передача далі таких сигналів. На будь-якій станції (до ретрансляції) відбувається посилення сигналу за допомогою електронного підсилювача. Оскільки даний тип випромінювання допускає прийом і передачу вузької спрямованості, для останньої не потрібно витратити багато електричної енергії. Незважаючи на те, що всі башти, антени, приймачі і передавачі можуть коштувати дуже дорого, в кінці кінців, все це відмінно окупається за допомогою величезної інформаційної ємності НВЧ-каналів зв'язку. Американські міста між собою з'єднує складна мережа - приблизно 4000 НВЧ-ланок ретрансляційного типу. Вони є зв'язковою системою, розташованої від одного берега океану до іншого.

2.1.3 Огляд конструкцій рупорних антен, призначених для роботи в надвисокочастотному діапазоні

В даний час існує багато підприємств, що розробляють НВЧ-антени. Рупорна антена - металева конструкція, що складається з хвилеводу змінного (розширюється) перетину з відкритим випромінюють кінцем. Рупорні антени надзвичайно розповсюджені в області вище 1 ГГц. Такі конструкції забезпечують високий коефіцієнт посилення, низький рівень КСХ, відносно широку смугу пропускання, і не складну технологію виробництва. Як правило, рупорні антени збуджують хвилеводом, приєднаним до вузького кінця рупора. За формою рупора розрізняють Е-секторальні, Н-секторальні, пірамідальні і конічні рупорні антени.

Рупорні антени дуже широкосмугові і дуже добре узгоджуються з живильної лінією - фактично, смуга антени визначається властивостями збудливого хвилеводу. Для цих антен характерний низький рівень задніх пелюсток діаграми спрямованості (до -40 dB) через те, що мало затікання ВЧ-струмів на тінюву сторону рупора. Рупорні антени з невеликим посиленням прості конструктивно, але досягнення великого (> 25 dB) посилення вимагають застосування вирівнюючі фазу хвилі пристроїв (лінз або дзеркал) в розкритті рупора. Без подібних пристроїв антену доводиться робити непрактично довгою.

Їх застосовують як самостійно, так і в якості опромінювачів дзеркальних та інших антен. Рупорну антену, конструктивно сполучену з параболічним відбивачем, часто називають рупорно-параболічною антеною. Рупорні антени з невеликим посиленням через вдалого набору властивостей і хорошою повторюваності часто використовуються в якості вимірювальних.

Існують різні види рупорних антен, що відрізняються загальною формою і внутрішньою конструкцією. Ці властивості визначають розподіл інтенсивності в пучку, ширину смуги частот і крос-поляризацію антени.

Крос-поляризація означає, що електромагнітні поля поляризовані в напрямку, який не відповідає цільовому. Наприклад, ми б хотіли домогтися

вертикальної поляризації полів, а отримали натомість горизонтальну поляризацію.

Розкрив антени з'єднується з хвилеводом, по якому електромагнітні хвилі передаються до антени. Форма рупора визначає призначення антени. Наприклад, секторні рупори (б і в на рис. 2.1), зазвичай використовуються для антен РЛС.

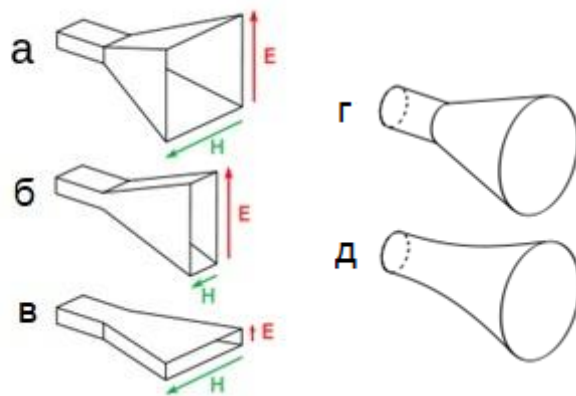


Рисунок 2.1 - Форми рупорів: а) пірамідальний, б) секторний в площині Е, в) секторний в площині Н, г) конічний, д) експонентний.

Пірамідальний рупор - антени в формі чотиригранної піраміди, з прямокутним перетином. Вони є найбільш широко використовуваним типом рупорних антен. Випромінює лінійно-поляризовані хвилі.

Секторальний рупор - пірамідальні рупора з розширенням тільки в одній площині Е або Н.

Конічний рупор - розкрив в формі конуса з круглим перетином. Використовуються з циліндричними хвилеводами для отримання хвилі з круговою поляризацією.

Гофровані рупора - розкривши рупорів з паралельними щілинами або канавки, малої в порівнянні з довжиною хвилі. Канавки покривають внутрішню поверхню рупора, поперек осі.

Рупорні антени часто описуються в наукових роботах різних авторів. Так, в роботі індійських вчених [9] наведена конструкція пірамідальної рупорної антени з прямокутним розкритом для діапазону 8 – 12 ГГц, що має високу спрямованість та відносно малу вагу та габарити.

В роботі [10] запропонована конструкція пірамідальної рупорної антени, що має малі втрати, та призначена для роботи в діапазоні 1 – 8 ГГц.

У статті [11] описується конічна рупорна антена, що має високий рівень придушення бічних пелюстків і використовується в діапазоні 12 – 18 ГГц.

Незважаючи на те, що конструкція рупорної антени була запропонована вже давно, їх популярність серед розробників не згасає. Так, пошук в системі IEEE Xplore Digital Library дає 4425 робіт за напрямком «рупорна антена» лише за останні 20 років.

2.2 Схемотехнічні способи захисту

Вплив електромагнітних імпульсів природного і штучного походження на виробу електронної техніки призводить до зміни їх параметрів як за рахунок безпосереднього поглинання ними енергії, так і за рахунок впливу на них наведених в ланцюгах імпульсів струмів і напруг. Найбільш чутливими до впливу імпульсних напруг і струмів, наведених електромагнітними імпульсами природного і штучного походження на проводах і кабелях, є підключення до них пристрої, в першу чергу, виконані на інтегральних мікросхемах і дискретних напівпровідникових приладах.

Для захисту ланцюгів апаратури від впливу електричних перевантажень можуть застосовуватися різноманітні методи, основними з яких є схемотехнічні. Схемотехнічні методи включають в себе пасивний і активний захист. До пасивного захисту відносять різні фільтри (L-, C-, LC-, RC-фільтри і тощо). До активного захисту - напівпровідникові обмежувачі напруги, розрядники і варистори.

Основним принципом захисту від перенапруги є придушення імпульсної перешкоди, для цього потрібно, щоб захисний пристрій мав час реакції менше тривалості імпульсу перенапруги, поглинало його енергію в кількості, достатній для усунення його впливу на систему, мало залишкову напругу, близьку до номінального значення напруги захищеного ланцюга .

До недавнього часу основним способом захисту було використання в захищеному ланцюгу фільтрів низької частоти (ФНЧ). Цей спосіб має один недолік: ФНЧ являє собою інтегруючий ланцюжок і, відповідно, зменшуючий по амплітуді імпульс, він збільшує його тривалість, тим самим енергія імпульсу залишається без зміни. Сучасні системи захисту доповнюються активними компонентами (напівпровідникові обмежувачі, металооксидні варистори, газорозрядні обмежувачі).

Так як фільтри низької частоти в даному випадку призначаються для силових ланцюгів, то їх в основному будують на елементах, що мають мінімальні втрати активної енергії, тобто на конденсаторах і дроселях. Дані спеціалізовані пасивні електронні компоненти для придушення електромагнітних перешкод на ринок поставляються двома виробниками: Murata і Epcos. Основні технічні характеристики цих електронних компонентів можна почерпнути на їх офіційних сайтах або на сайтах постачальників електронних компонентів.

У порівнянні з іншими класами обмежувачів газорозрядники мають досить високі напруги, велике значення допустимого струму і малі між електродні ємності, що дозволяє їх використовувати для захисту ланцюгів апаратури від ЕМВ штучного і природного походження, коли енергія, що виділяється в обмежувачі, досить велика. Але застосування одних тільки розрядників через значне часу їх спрацьовування (час реакції від сотень наносекунд до мікросекунд) не вирішує проблеми захисту. Величина викиду напруги у розрядників в значній мірі залежить від швидкості наростання фронту впливу імпульсу. При великих швидкостях наростання фронту імпульсу величина викиду напруги може зрости в 5-6 разів у порівнянні зі статичною

напругою виникнення розряду. Цей недолік розрядників в меншій мірі проявляється у варисторів і зовсім відсутня у напівпровідникових обмежувачів напруги.

Основну частку газонаповнених розрядників, присутніх на нашому ринку електронних компонентів, виробляють такі відомі фірми, як Ersos і Vourns, а також ще мало відома на нашому ринку фірма Nenshi. Газоразрядники випускаються в різних конструктивних виконаннях, в тому числі і в SMD корпусах, на широкий діапазон напруг пробою (від 75 В до 4,5 кВ) і високий номінальний імпульсний струм (від 2,5 кА до 20 кА). Параметри типорозмірів корпусів представлені на рис. 2.1. Основні характеристики газонаповнених розрядників фірми Ersos ілюструє рис. 2.2.

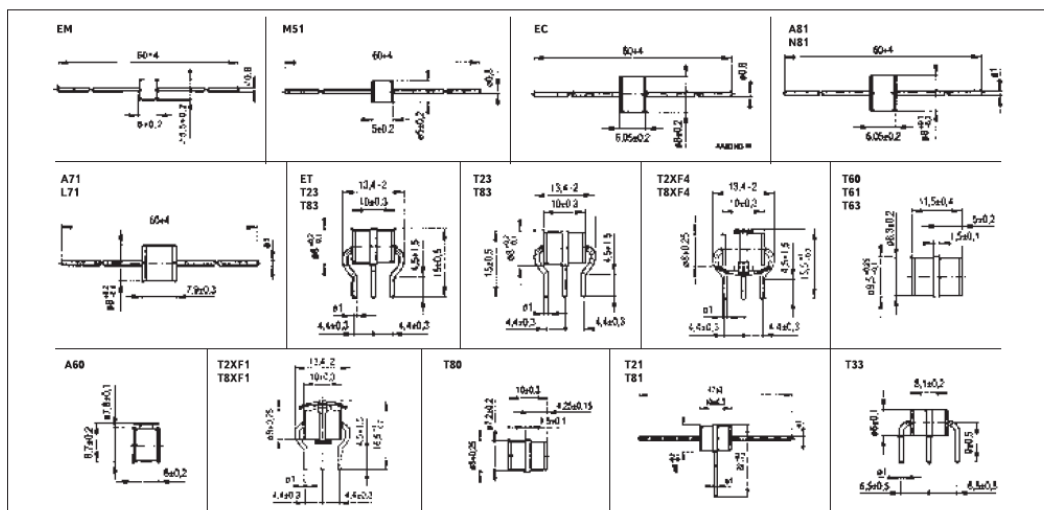


Рисунок 2.1 - Параметри типорозмірів корпусів.

Напр. пробою, В	Конструктив	Двухэлектродные				Трёхэлектродные				Гибридные
		2,5 кА/2,5 А	5 кА/5 А	10 кА/10 А	20 кА/20 А	5 кА/5 А	10 кА/10 А	20 кА/10 А	20 кА/20 А	
75 В	выб.		EC75							
90 В	выб.	EM90X	M51-C90X EC90X	N81-A90X	A81-C90X	ET90X	T81-A90X T83-A90XF1(F4)			
	без выб.		M50-C90X	N80-C90X	A80-C90X	T90-A90X	T30-A90X T80-A90X			
150 В	выб.		EC150X							
230 В	выб.	EM230X	M51-A230X EC230X	N81-A230X	A81-A230X	ET230X	T31-A230X T81-A230X T83-A230XF1 (F4)	T21-A230X T23-A230X (F1/F4)		
	без выб.		M50-A230X	N80-A230X	A80-A230X A83-A230X	T90-A230X(F)	T30-A230X T80-A230X T80-A230XF	T20-A230X (F)		
250 В	выб.				A81-A250X		T83-A250XF4	T21-A250X T23-A250X (F1/F4)		
	без выб.				A80-A250X		T80-A250XF	T20-A250X		
260 В	без выб.								T60-A260X	
270 В	выб.		L71-A270X							
300 В	выб.	EM300X								
350 В	выб.	EM350X	M51-A350X EC350X	N81-A350X	A81-A350X	ET350X	T31-A350X T81-A350X T83-A350XF1 (F4)	T21-A350X T23-A350X (F1/F4)	T61-C350X T63-C350X	T4N-A230X(FV)
	без выб.		M50-A350X	N80-A350X	A80-A350X A83-A350X	T90-A350X(F)	T30-A350X T80-A350X T80-A350XF	T20-A350X	T60-C350X	
400 В	выб.	EM400XG								
420 В	выб.							T23-A420X (F4)		
	без выб.						T30-A420 T80-A420XF	T20-A420X (F)		
470 В	выб.		L71-A470X							
600 В	выб.		M51-A600X EC600X	N81-A600X	A81-A600X	ET600X	T81-C600X		T61-C600X T63-C600X	
	без выб.		M50-A600X	N80-A600X	A80-A600X		T83-C600X		T60-C600X T61-C650X T63-C650X T60-C650X	
650 В	выб.									
800 В	выб.		L71-A800X		A71-H08X					
1000 В	выб.				A71-H10X					
1400 В	выб.				A71-H14X					
1600 В	выб.		A71-H16X							
2500 В	выб.		A71-H25X							

Рисунок 2.2 - Основні характеристики газорозрядників фірми Ерсос

Напівпровідникові обмежувачі напруги та варистори вигідно відрізняються від розрядників тим, що напруга пробою у них нижче напруги обмеження (у розрядників вона значно вище напруги підтримки розряду), тому при застосуванні напівпровідникових обмежувачів захищені ними кола не шунтуються після проходження імпульсу струму перехідного процесу, як це має місце у розрядників. Наявність низької напруги підтримки розряду у розрядників обмежує їх застосування для захисту ланцюгів постійного струму, в яких напруга джерела вище напруги підтримки розряду. Варистори по своїй суті є резисторами з опором, що залежить від прикладеної напруги. При перевищенні напруги вище номінального варистори протягом часу реакції різко зменшують опір, обмежуючи імпульс напруги.

Ефективність обмеження перехідних процесів за допомогою напівпровідникових обмежувачів і варисторів визначається їх динамічним

опором на робочий ділянці вольт-амперної характеристики (чим менше динамічний опір приладу, тим кращими властивостями обмеження він володіє). Наявність у напівпровідникових обмежувачів напруги високого показника не лінійності визначає їх додаткова перевага в порівнянні з варисторами. За значенням допустимого струму напівпровідникові обмежувачі напруги дещо поступаються варисторам.

Варистори більш широко представлені на нашому ринку електронних компонентів. В основному, це тайванські виробники (такі широко поширені типи приладів, як TVR, CNR, FNR, JVR), фірма Epcos (основні конструкційні і електричні параметри варисторів типу SIOV представлені на рис. 2.3).

ВАЗ и графическое обозначение	SMD		Дисковые		Автомобильные			
Тип SIOV -	CN	CU	S	SR	CN..AUTO	CU..AUTO	S..AUTO	SR..AUTO
Импульсный ток (8/20 мкс), кА	1,2		10		1		2	
Поглощаемая энергия, Дж	23		410		12	25		100
Ср. рассеив. мощность, Вт	0,25		1,0		0,03		0,2	
Время срабатывания, мс	< 0,5	< 10	< 25		< 0,5	< 10	< 25	
Диапазон раб. температур, °С	-55...+125	-40...+85	-40...+85		-55...+125	-40...+85	-55...+125	-40...+85
Типоразмер	0603...2220	3225, 4032	S05...S20	1210, 2220	0805...2220	3225, 4032	S07...S20	1210, 1812, 2220
Типовая схема защиты телеком. линий связи	Блочные/монтажные, мощные диски — для тяжелых условий				Разрядные блоки	HiCap		
Тип SIOV -	B25, B30, B40, LS40	B60	B80	P080	E32	SHCV-SR1, SR2		
Импульсный ток (8/20 мкс), кА	40	70	100	100	65	1		
Поглощаемая энергия, Дж	1200	3000	6000	6000	—	12		
Ср. рассеив. мощность, Вт	1,4	1,6	2,0	2,0	—	0,03		
Время срабатывания, мс	< 25	< 25	< 25	< 25	—	< 25		
Диапазон раб. температур, °С	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-25...+60	-40...+85		

Рисунок 2.3 - Основні конструкційні і електричні параметри варисторів типу SIOV.

2.3 Конструкційні способи захисту

Конструкційні способи захисту включають в себе: раціональні конструювання і монтаж, що складаються в скороченні протяжності з'єднувальних ланцюгів, розміщенні найбільш чутливих до електричних

перевантажень елементів далеко від отворів в екранах і тощо; екранування, що є основним способом захисту кабельних ліній зв'язку та мереж електропостачання від дії зовнішніх електромагнітних полів; заземлення апаратури та її окремих вузлів і блоків.

Для зниження рівня перешкод з метою забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів застосовуються такі основні методи: раціональна компоновка (оптимальне просторове розміщення та орієнтація), екранування, фільтрація, заземлення та компенсація.

Ефективним методом зниження рівня інформаційних сигналів є екранування їх джерел, яке полягає в обмеженні поширення електромагнітних хвиль в певну область простору шляхом розсіювання, перевідбиття енергії електромагнітних коливань і перетворення її в теплову енергію в екрануючих матеріалах з резистивними, діелектричними або магнітними втратами [12].

Аналіз існуючих конструкцій екранів електромагнітного випромінювання (ЕМВ) показує, що ефективність екрануючих пристроїв визначається електричними і магнітними властивостями матеріалу екрану, конструкцією екрану, його геометричними розмірами і частотою випромінювання. Ефективні екрани ЕМВ на основі синтезованих водомістких композиційних матеріалів мають невелику вагу і гнучкість, а електромагнітні характеристики конструкцій залежать від властивостей наповнювача. Для придушення електромагнітних каналів витоку інформації, для захисту житлових, промислових і виділених приміщень від електромагнітного забруднення, необхідно створення принципово нових універсальних композиційних покриттів для конструкцій екранів ЕМІ, що послаблюють електромагнітне випромінювання НВЧ-діапазону [13].

При екрануванні ЕМВ використовуються такі особливості поширення хвиль, як поглинання електромагнітної енергії в матеріалі і відображення електромагнітної хвилі від кордону розділу двох середовищ. Поглинання ЕМВ визначається взаємодією електромагнітного поля з речовиною матеріалу. При поширенні ЕМВ на кордоні розділу середовищ, що характеризуються різними

властивостями (наприклад, різне хвильовий опір металу і повітря), електромагнітна енергія частково проходить через них, продовжуючи поширюватися в новому середовищі, і частково відбивається від кордону розділу двох середовищ, причому коефіцієнт відображення залежить від співвідношення хвильових опорів суміжних середовищ. Для придушення електромагнітних каналів витоку інформації застосовуються різні способи екранування на основі матеріалів, пристроїв і конструктивних прийомів, що знижують електромагнітне випромінювання. Важливими чинниками при виборі матеріалу елемента конструкції екрану ЕМВ є гігроскопічність, хімічна стійкість, змочування. Матеріали для виготовлення елементів екрануючих конструкцій повинні мати достатню фізико-механічну і температурну стійкість.

В якості основи для конструкцій екранів ЕМВ широко застосовуються неткані матеріали на основі целюлози, які характеризуються вологовбиранням, повітропроникністю, гігроскопічністю і ін., Що обумовлюється капілярно-пористим колоїдним характером їх структури. Щільність целюлозних матеріалів багато в чому визначається фракційним складом волокон (волокна менших розмірів заповнюють проміжки між великими і тим самим збільшують щільність), в проміжках яких містяться включення повітря і води. Внаслідок цих морфологічних особливостей целюлозні волокнисті матеріали являють собою анізотропні капілярно-пористі системи.

Властивостями гігроскопічності та гідрофільності мають вуглецеві сорбенти, полімери, природні сорбенти, пористі і капілярно-пористі матеріали або їх суміші. Для реалізації поставленої мети в рамках проведених досліджень в якості порошкоподібного наповнювача для синтезу екрануючого композиційного покриття був запропонований природний сорбент - деревне вугілля, що є екологічно чистим мікропористим високовуглецевим продуктом, що утворюється при піролізі деревини без доступу повітря. Деревне вугілля здатний поглинати шкідливі елементи в приміщенні, покращуючи тим самим самопочуття людини.

Питома поверхня 1 г вугілля становить 160 ... 400 м², відношення обсягу пір до обсягу шматка березового вугілля 72%, ялинового - 80%. Вага одного кубічного метра насипного абсолютно сухого вугілля становить: ялинового 100...120 кг; соснового 130...140 кг; березового 175...185 кг; букового близько 195 кг.

При піролізі деревини зберігається структура її провідних тканин, тому в утвореному деревному вугіллі є велика кількість капілярів і пор, що володіють великою сумарною поверхнею, що сприяє його великій адсорбційної здатності. При звичайній температурі деревне вугілля може адсорбувати різні речовини з їх розчинів, а також різні гази, в тому числі інертні. При нагріванні адсорбувати речовини деревне вугілля виділяє їх, знову набуваючи здатність адсорбувати. Щоб збільшити адсорбційну здатність вугілля, його активують нагріванням без доступу повітря.

Деревне вугілля відноситься до малозольних матеріалами через відсутність в ньому сторонніх хімічних домішок. Він має високу теплостійкістю і питомим електричним опором. Після прожарювання вугілля збільшується його електропровідність і за рахунок цього можна отримувати продукти з встановленими діелектричними властивостями.

Діоксид титану (TiO₂) являє собою кристали білого кольору, які при перемішуванні в воді легко пептизуються з утворенням стійких колоїдних розчинів. Здатність TiO₂ легко утримувати водний наповнювач дозволяє використовувати його для виготовлення поглиначів електромагнітного випромінювання, що володіють високою ефективністю. Використання вологовмісту наповнювачів сприяє збільшенню ефективності поглинання електромагнітного випромінювання, завдяки здатності води взаємодіяти з електромагнітним випромінюванням. Використання порошку діоксиду титану в складі екранують покриттів дозволяє отримати величину ослаблення електромагнітної енергії в межах 10,0...18,0 дБ при коефіцієнті відбиття ЕМВ в межах -2,0.-6,0 дБ для діапазону 8...12 ГГц [14,15].

Використання розчинних наповнювачів різних складів (з добавкою хлористого натрію, гліцерину і ін.) дозволяє регулювати значення коефіцієнта відображення для конструкцій з геометричними неоднорідностями в межах -9,0...-21,0 дБ, а для конструкцій з плоскою поверхнею в діапазоні -4,0...-7,0 дБ. Виходячи з довідкових даних, найбільшою енергією гідратації мають солі різних металів. Для стабільного утримання молекул води в якості одного з компонентів розчину був обраний кальцій хлористий CaCl_2 , що представляє собою нетоксичну добре розчинну гігроскопічну сіль лугоземельного металу. Освіта хімічних зв'язків між іонами солі лугоземельного металу і молекулами води призводить до утворення жорстких з'єднань, які перешкоджають випаровуванню молекул води з поверхні і складу порошкоподібного наповнювача, тим самим зберігаючи первинний рівень вмісту вологи композиційного екрануючого покриття.

Крім високих поглинаючих властивостей води, водних розчинів, природних сорбентів в діапазоні НВЧ зниження коефіцієнта відображення досягається також за рахунок формування геометрично неоднорідною поверхні екрану, що призводить до виникнення численних перевідбиттів в обсязі екрану і загасання енергії ЕМІ.

Слід зазначити, що завдання ослаблення електромагнітних перешкод є комплексною і повинна супроводжуватися економічним аналізом. Тому необхідність екранування повинна бути обґрунтована і повинна розглядатися тільки після того, як повністю вичерпані конструктивні рекомендації по оптимальній компоновці проектованої радіоелектронної апаратури. Таким чином, екранування є конструктивним засобом локалізації електромагнітного поля перешкод в межах певного простору і призначене для забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних апаратів, засобів і систем. Екранування застосовується як для окремих елементів, функціональних вузлів, блоків радіоелектронної апаратури, так і радіоелектронних пристроїв в цілому, які можуть бути або джерелами, або рецепторами перешкод.

Крім забезпечення заданої ефективності до екрану можуть пред'являтися додаткові конструктивні вимоги, пов'язані з особливостями проектованої РЕА [16]:

1) екран є зовнішнім кожухом апаратури і, виходячи із загального технічного завдання, при його проектуванні повинні враховуватися вимоги забезпечення нормального теплового режиму, пило- та вологозахищеністю, стійкості до вібраційних і ударних впливів, ергономіки, технологічності РЕА та тощо.;

2) екрануються окремі елементи і вузли апаратури, форма і розміри яких визначають конструкцію екрану. При цьому екран повинен компонуватись в загальному пристрої і забезпечувати мінімальну реакцію на екранований об'єкт, а також нормальний тепловий режим елементів і вузлів РЕА, ремонтпридатність тощо;

3) екран проектується як самостійний пристрій в разі, якщо він призначений для захисту від зовнішніх електромагнітних полів або локалізації випромінювань цілого радіоелектронного комплексу; проведення спеціальних радіотехнічних вимірювань в умовах, близьких до умов вільного простору, а також для налаштування і регулювання апаратури.

Відзначимо, що екранування є одним з ефективних засобів захисту і підвищення стійкості радіоелектронних засобів та апаратури до дії потужного електромагнітного імпульсу, що виникає при атомних і термоядерних вибухах, а також при грозових розрядах.

Електромагнітний екран спотворює поле джерела в захищеній області простору, в результаті ефективність екранування виявляється різною для електричної та магнітної складових поля і залежить від координат точки вимірювання. Однак в теорії електромагнітного екранування з прийнятною для практики точністю реальні конструкції екранів замінюються ідеальними, для яких ефективність екранування визначається однозначно.

Для електромагнітного екрану як лінійної системи справедливий принцип взаємності, згідно з яким ефективність екранування залишається незмінною

незалежно від розташування перешкодо несучого поля всередині або поза екраном. Це положення дозволяє на практиці при визначенні ефективності екранування обмежитися варіантом розташування джерела поля всередині екрану.

Слід зазначити, що електромагнітний екран одночасно з виконанням основної функції - ослаблення перешкод - впливає на власні параметри ланцюгів і контурів екрануючого об'єкта, що пов'язано з перерозподілом електромагнітного поля всередині екрану. Відносні зміни параметрів екрануючих елементів можна врахувати за допомогою коефіцієнтів реакції екрану.

Номінальне значення ефективності екранування розраховується виходячи з необхідного придушення електромагнітних перешкод в РЕА та визначається конкретними умовами проектування апаратури. Виходячи з знайденого значення ефективності екранування і допустимих меж змін параметрів екрануючих елементів, визначаються матеріал, габаритні розміри екрану і умови розміщення елементів всередині його. При цьому необхідно мати на увазі, що ефективність екранування в значній мірі залежить від неоднорідностей і розривів екрану, що виникають за рахунок зварних швів, з'єднань і отворів.

Вибір матеріалу екрану проводиться виходячи із забезпечення заданої ефективності екранування в робочому діапазоні частот при відповідних обмеженнях: вплив на екрануючий об'єкт, масо габаритних параметрів, а також стійкості проти корозії, забезпечення механічної міцності, технологічності конструкції і тощо.

Металеві матеріали, що застосовуються при екранування, випускаються у вигляді листів і сіток (сталь, мідь, алюміній, латунь) і фольги (алюміній, латунь, цинк). Вимогу стійкості проти корозії задовольняють всі названі метали при використанні відповідних захисних покриттів. Найбільш технологічними є конструкції екранів зі сталі, так як при їх виготовленні і монтажі можна широко використовувати зварювання. Товщина сталі вибирається, як правило, виходячи

з призначення конструкції екрана і умов його складання, а також можливості забезпечення суцільних зварних швів при виготовленні. При товщині екрану 1,5-2 мм зварювання виконують на змінному струмі, при товщині 1 мм - на постійному струмі і при товщині 0,8 мм - застосовують газове зварювання. Переваги стали втрачатися при екрануванні елементів і вузлів РЕА, критичних до внесених в них втрат.

Екрани з сіткових матеріалів легкі, простіші у виготовленні, зручні при складанні та експлуатації, світлопроникність і забезпечення полегшеного теплового режиму РЕА. Однак до недоліків сіткових матеріалів слід віднести меншу ефективність екранування в порівнянні з листовими матеріалами, а також невисоку механічну міцність. Для захисту від корозії сіткові екрани слід покривати антикорозійним лаком.

Фольгові матеріали виготовляються товщиною 0,01-0,05 мм. Монтаж фольгових матеріалів досить простий, так як кріплення фольги до основи екрана проходить за допомогою клею.

Металізація поверхонь для забезпечення екранування такими матеріалами, як пластмаса, текстоліт, картон, тканина, дерево, набуває широкого поширення через високу продуктивність способів нанесення покриттів, найбільш універсальним з яких є метод розпилення. Якість покриття визначається в основному шорсткістю поверхні матеріалу - підкладки, яка для кращої адгезії обробляється піскострумним методом. Металізований шар тримається міцно в межах тих механічних навантажень і деформацій, при яких не відбувається руйнування підкладки. При цьому товщина нанесеного шару практично не залежить від виду нанесеного металу, а також визначається властивостями підкладки. Найбільш технологічно цинкове покриття, що забезпечує порівняно високу ефективність екранування і володіє достатньою механічною міцністю. Менш технологічне алюмінієве покриття яке має більшу ефективність екранування. Металізація поверхні може застосовуватися для екранування окремих вузлів РЕА при неметалічних несучих конструкціях, пластмасових корпусах апаратури, кабін, приміщень і тощо. До металізованих

поверхонь можуть припаюватися контакти і клеми для заземлення та підключення різних ланцюгів РЕА.

Скло з струмопровідним покриттям повинне забезпечувати необхідну ефективність екранування при погіршенні їх оптичних властивостей не нижче заданих значень. Найбільшого поширення набули плівки з окису олова, які є хімічно стійкими, механічно міцними і мають хорошу адгезію зі скляною підкладкою. Випускаються промисловістю скла з струмопровідним покриттям мають поверхневий опір, залежне від товщини плівки, не менше 6 Ом при погіршенні прозорості не більше ніж на 20%. Скло з струмопровідним покриттям призначене для установки індикаторних вимірювальних приладів, в оглядових вікнах і шкальних системах РЕА, в екранованих камерах для забезпечення освітленості і тощо. Відзначимо, що для цих же цілей може застосовуватися оптично прозора тонка дротова сітка, що забезпечує краще екранування, особливо на частоті вище 30 МГц.

Спеціальні тканини, що містять металеву нитку, відображають електромагнітні хвилі і призначені для виготовлення спеціальних костюмів для індивідуальної біологічного захисту. Тканина типу РТ виготовляється з капронових ниток, скручених з розплющеної і посрібленою мідним дротом діаметром 35-50 мкм.

Радіопоглинаючі матеріали призначені для зменшення відбиття радіохвиль всередині екрануючих об'єктів (виробничих приміщень, екранованих камер, каркасів передавачів і ін.). Істотне поглинання електромагнітної енергії радіопоглинаючим матеріалом в значній мірі усуває виникнення дифузного поля, послаблює реакцію екрану на екрануючі елементи, полегшує забезпечення біологічного захисту. Радіопоглинаючі матеріали можуть застосовуватися для покриття виробничих приміщень з метою проведення випробувань РЕА в умовах, що наближаються до вільного простору, а також для забезпечення електрогерметичності РЕА, наприклад шляхом покриття повітроводів системи охолодження апаратури. Радіопоглинаючі матеріали виготовляються у вигляді тонких гумових

килимків, гнучких або жорстких листів з поролону або деревних волокон, просочених відповідними складами, а також тонких феритових пластин. Матеріали можуть монтуватися приклеюванням або кріпитися до основи конструкції екрана спеціальними скріпками.

Струмопровідні фарби дозволяють виготовляти екрани на будь-якій основі, а також можуть полегшити монтаж складної конструкції екрану при з'єднанні його листів і елементів між собою. Струмопровідні фарби створюються на основі діелектричного плівкоутворювального матеріалу з додаванням в нього провідних складових, пластифікатора і затверджувача. Як струмопровідних пігментів використовуються графіт, сажа, колоїдне срібло, окису металів, порошкова мідь, алюміній. При цьому найбільш технологічний спосіб нанесення фарби, виготовленої на основі струмопровідного пігменту у вигляді ацетиленової сажі або графіту.

3 АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

3.1 Вибір системи автоматизованого проектування

Розробка сучасних радіоелектронних засобів (РЕЗ), що володіють високими технічними і експлуатаційними характеристиками, неможлива без застосування САПР. Розвиток САПР радіоелектронних засобів дозволяє вирішувати завдання, пов'язані з розробкою РЕЗ з урахуванням електромагнітної сумісності (ЕМС), вимоги до якої постійно посилюються. Оцінка якості електромагнітної сумісності РЕЗ та виявлення джерел небажаних збурень на ранніх етапах розробки виробу дозволяє уникнути повторного проектування і забезпечує підвищення його якості в цілому.

САПР РЕЗ, орієнтовані на аналіз цілісності сигналу і ЕМС (подібні EMC-Engineer, Omega Plus, FIDELITY, ANSYS, EMSight, FDTD) мають обмежені можливості в плані моделювання та оптимізації параметрів складних РЕМ. Аналіз тривимірних металодіелектричних структур зі складною геометрією і матеріальними властивостями за допомогою вищезазначених САПР або неможливий, або вимагає невиправдано великих витрат машинного часу внаслідок застосування класичних методів моделювання (як правило, методу граничних елементів, методу скінченних елементів, методу скінченних різниць та методу моментів).

Найбільш відомі виробники РЕМ з великою номенклатурою проектних виробів мають власні обчислювальні центри, оснащені потужною обчислювальною технікою, і набувають спеціалізовані дорогі САПР (виробниками яких є такі компанії, як Mentor Graphics, Cadence і Zuken). Для великого числа малих виробничих фірм, що спеціалізуються у вузькій області, автоматизованого проектування РЕЗ, з малими обсягами проектних робіт, економічно недоцільно придбання потужного технічного і програмного забезпечення для вирішення своїх завдань, яке в більшості своїй не має

докладної документації російською мовою, що теж істотно обмежує коло користувачів.

Є багато систем автоматизованого проектування (САПР), які використовуються для різноманітних задач таких як: моделювання, проектування, розрахунок теплових режимів, електромагнітної сумісності.

Для більш простого моделювання існує система ELCUT. Вона застосовується для інженерного моделювання електромагнітних, теплових і механічних задач методом кінцевих елементів. Ця система поширена у інноваційних компаніях, промислових підприємствах, конструкторських бюро, тощо. Експериментально застосовуються у навчальних закладах. Вона більш проста у використанні та має невелику вартість. ELCUT є ефективним інструментом, що використовують метод кінцевих елементів для вирішення електромагнітних, теплових і механічних завдань, а також пов'язаних задач. В ньому наведені приклади різних варіантів розрахунків:

Електромагнітне екранування. Аналізуються сферичні екрани з міді і стали. Кожен екран складається з двох півсфер. В результаті рішення задач магнітостатики і магнітного поля змінних струмів в ELCUT визначається ступінь екранування.

Для прикладу наведемо аналіз котушки з феромагнітною серцевиною. Феромагнітна серцевина котушки спотворює сигнали. Необхідно провести гармонійний аналіз вихідного сигналу. Вирішивши завдання нестационарного магнітного поля, можна визначити необхідні величини.

Окрім цього ELCUT пропонує розрахунок потокозчеплення. Потокозчеплення (повний магнітний потік) - фізична величина, що представляє собою сумарний магнітний потік, зчіплюються з усіма витками котушки індуктивності. У загальному випадку пропонує розрахунок потокозчеплення. Потокозчеплення (повний магнітний потік, кожна котушка представлена в площині поперечного перерізу моделі двома блоками - прямий і зворотний провід. Якщо в моделі представлений тільки один з провідників, то другий зворотний провід може трактуватись як розташований симетрично прямому,

або як нескінченно віддалений і тому не надає впливу на розподіл магнітного поля. Для плоскої задачі потокозчеплення і індуктивність обчислюються на один погонний метр осьової довжини, незалежно від обраних одиниць вимірювання довжини.

Перевагою ELCUT є можливість взаємодіяти з наступними засобами розробки: Libre Office, Matlab, Microsoft PowerShell, Microsoft VBscript, Microsoft Visual Basic, Microsoft Visual Studio, Perl, PHP, Python, Ruby.

Для моделювання складніших об'єктів використовується система HFSS.

HFSS (аббревіатура від High Frequency Structural Simulator) - комерційна програма від компанії ANSYS для отримання S-параметрів, створення SPICE-моделей і тривимірного моделювання електромагнітного поля методом кінцевих елементів. Це один з декількох комерційних інструментів, які використовуються для розробки форми антен і складних елементів ВЧ / НВЧ-схем, включаючи фільтри, лінії передач і ін. HFSS використовується при проектуванні вбудованих в кристал пасивних елементів, корпусів інтегральних схем, розводки друкованих плат і біомедичних пристроїв. Ми будемо застосовувати це програмне забезпечення для розрахунку параметрів рупорної антени, так як дані які отримані в неї є дуже точними і наближені до реальності.

3.2 Побудова моделі у системі електромагнітного моделювання HFSS

Антенa - це пристрій, який принципово випромінює електромагнітну енергію нескінченно далеко в простір. Тому конструкція яка випромінює, буде охоплена кордоном, званого кордоном випромінювання.

Рупор - проста антенна структура. Вона складається з базової частини, розширюваного рупора і розкриття. В даному випадку розкриття (растр) має пірамідальну форму. Щоб накреслити цю антену, використовуються кілька корисних команд креслення, для створення тривимірних об'єктів з двовимірних об'єктів, які становлять площини рупора рис. 3.1.

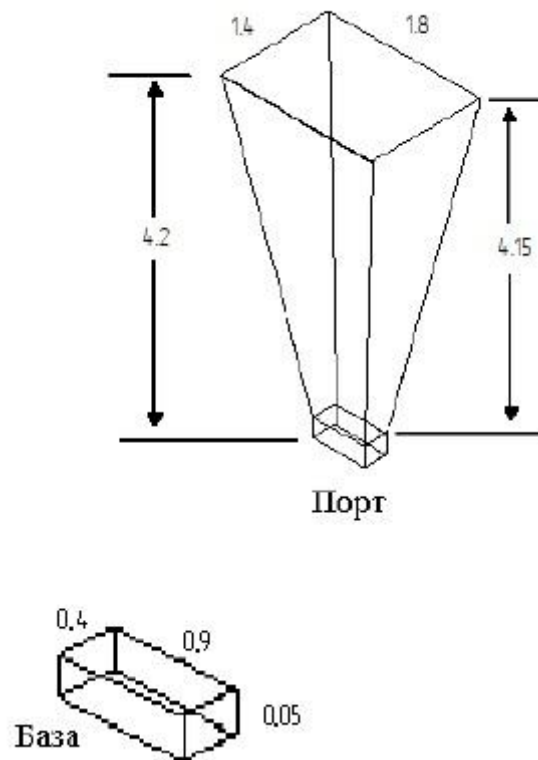


Рисунок 3.1 – Площини рупора

Процес креслення рупорної антени складається з наступних кроків:

1. Креслення тривимірного паралелепіпеда, який представляє собою базу, або горловину рупора.
2. Креслення двовимірного прямокутника, що відображає апертуру рупора.
3. Креслення похилих сторін рупорної антени.
4. Креслення боксу, куди входить антена, на якому буде встановлено гранична умова випромінювання.

Щоб підготуватися до креслення рупора, створимо і назвемо проект, встановимо сітку креслення і одиниці. Щоб створити новий проект:

1. Запустити програму. З'являється вікно менеджера проекту.
2. У списку Projects, натиснути New. З'являється вікно New Project.
3. Надрукувати ім'я gupor в поле New Project.
4. Натиснути ОК.

Файл на ім'я `guroc.hfss` з'являється в директорії Project. після видання завдання в цьому ж корені з'являється папка, де зберігаються рішення завдання. Установки проекту можна зробити окремо для кожного проекту. Для цього в меню вибирається команди General Options, і інші опції, наявні в меню HFSS. У них можна встановити одиниці і інші параметри проекту. На рис. 3.2 показано вікно з одиницями вимірів.



Рисунок 3.2 – Одиниці вимірів

У меню View виберемо команду Grid Setting рис. 3.3

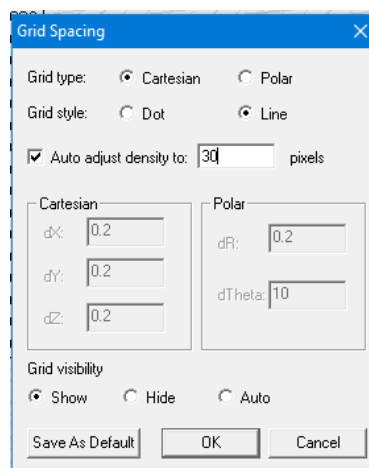


Рисунок 3.3 – Параметри сітки

В даному випадку сітка буде йти через 30 пікселів, що задає таку точність прив'язки курсору при кресленні. У цьому діалозі задається також точність при кресленні кіл (для чого потрібно натиснути кнопку Polar) і встановити точність кута в градусах. Координати об'єктів, з яких складається проект, можна вводити, використовуючи поля введення координат в нижній частині інтерфейсу HFSS. ці координати можуть бути введені в прямокутній системі координат, циліндричній системі координат і сферичній системі координат. Коли встановлена перша точка, координати будуть вводитися за замовчуванням як відносні.

Основа рупора (рис. 3.4) - це паралелепіпед з шириною 0.4 дюйма, довжиною 0.9 дюймів і висотою 0.05 дюймів. Він креслиться як тривимірний бокс, на сторонах якого встановлюються граничні умови, що відображають його металеві властивості.

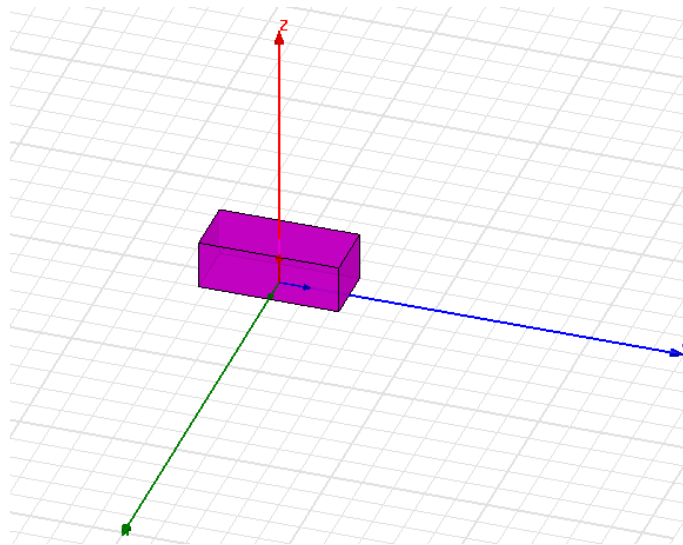


Рисунок 3.4 - Креслення основи рупорної антени

Щоб накреслити його, треба створити тривимірний паралелепіпед і задати його розміри. Для цього:

У меню натиснути команду Draw > Box. Можна також натиснути кнопку з зображенням боксу на інструментальній лінійці інтерфейсу (рис. 3.5).

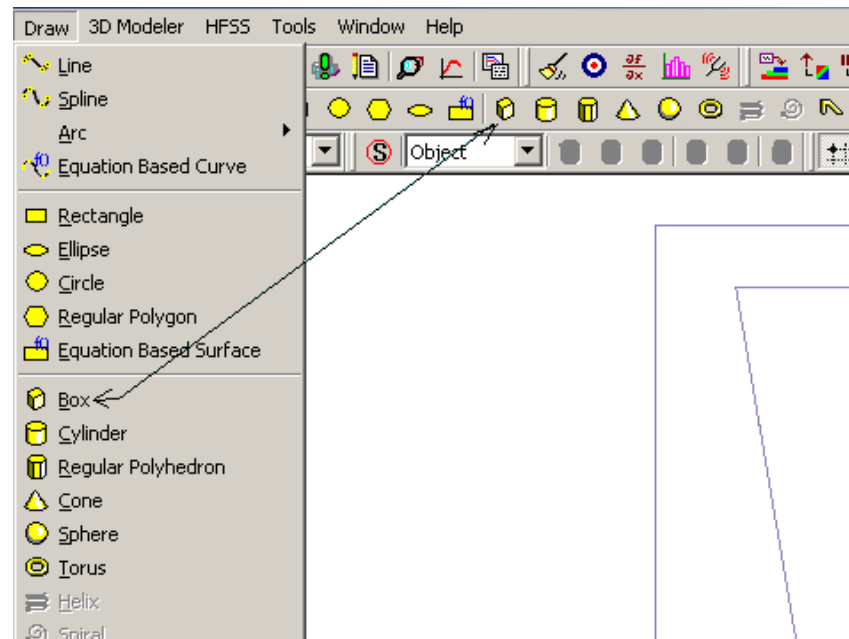


Рисунок 3.5 - Команди для креслення двовимірних і тривимірних примітивів, з яких створюється складний пристрій

Натиснути першу точку в активному вікні креслення. Потім протягнути курсор і клацнути знову, щоб задати протилежний кут боксу.

Креслення бічних стінок рупорної антени виконуємо по команді креслення багатополісників Draw-> Line, вибираючи по черзі всі кути скошеного боку.

Послідовно, операцією Draw-> Polyline, по точкам, використовуючи захоплення курсору до точок прямокутника розкриття, накреслити всі чотири сторони піраміди рупорної антени (рис. 3.6), які матимуть 0,113 in товщину.

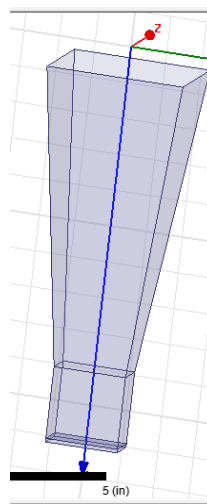


Рисунок 3.6 – Вид рупорної антени

Після побудови моделі рупорної антени треба встановити граничні умови для аналізу. Для цього в дереві проекту (рис. 3.7) вибираємо Boundaries і задаємо граничні умови на антену PerfE1 (ідеальний провідник), на бокс – PerfE2, і на границю випромінювання – Rad1. Потім вибираємо порт (Wave port), та частоту випромінюваного сигналу, яка складає 10 ГГц.

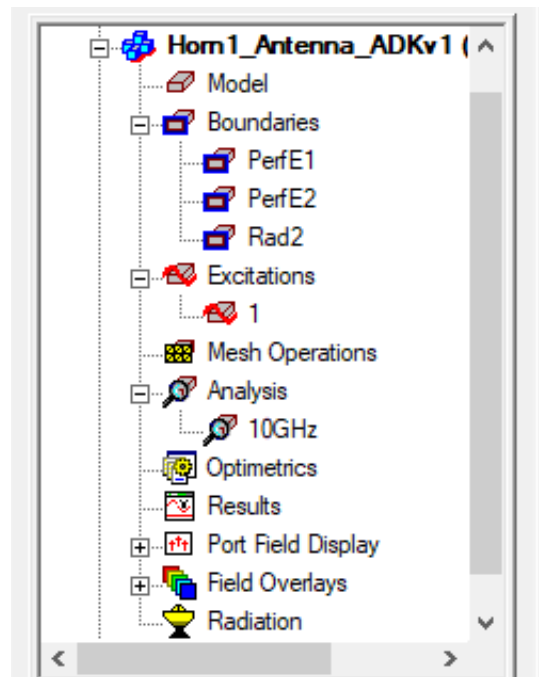


Рисунок 3.7 – Дерево проекту

3.3 Проведення аналізу та оптимізації

Для моделювання об'єктів та проведення аналізу електромагнітної сумісності може використовуватися система HFSS.

HFSS (аббревіатура від High Frequency Structural Simulator) - комерційна програма від компанії ANSYS. ANSYS HFSS володіє декількома вирішувачами (метод кінцевих елементів, метод моментів, гібридні методи, фізична оптика і т.д.) і тому добре підходить для розробки найрізноманітніших ВЧ і НВЧ пристроїв, включаючи антени з урахуванням розташування на платформі.

Наявність такого числа вирішувачів дозволяє йому бути дуже гнучким і в той же час універсальним програмним продуктом [17,18].

Перевагою ANSYS HFSS є те, що він пропонує точне і ефективно автоматичне рішення, що робить його найбільш зручним інструментом для моделювання антен. В ANSYS HFSS можуть бути проаналізовані такі основні характеристики, як зворотні втрати, вхідний імпеданс, посилення, спрямованість і різні поляризаційні параметри. Деякі особливості, такі як можливість накладення 3D поля в дальній зоні на геометрію антени, можуть надати розробнику неоціненну допомогу. За допомогою ANSYS HFSS також можна отримувати електричні і магнітні поля в ближній і дальній зоні, що не так просто зробити прямим вимірюванням. HFSS, в поєднанні з опціональною програмою Optimetrics, дозволяє інженерам проводити параметричні обчислення, аналіз чутливості, статистичний аналіз, а також оптимізацію антени, використовуючи такі методи, як квазі-ньютонівський, пошук за шаблоном, метод послідовного нелінійного програмування, генетичні алгоритми і т.д.

Доступні технології для моделювання антен в ANSYS HFSS. HFSS пропонує наступні методи моделювання та інструменти в залежності від типу завдання, яку необхідно вирішити: метод кінцевих елементів, метод інтегральних рівнянь, фізична оптика, метод Гальоркіна (часова область), інструментарій для розробки антен (Antenna Design Kit), що містить більше 50 стандартних конструкцій антен.

Метод кінцевих елементів - метод наближеного чисельного рішення фізичних завдань. В його основі лежать дві головні ідеї: дискретизація досліджуваного об'єкта на кінцеве безліч елементів і кусково-елементна апроксимація досліджуваних функцій.

Технології міцно увійшли в життя сучасної людини. Їх використання стало невід'ємною частиною життєвого процесу. Зрозуміти і використовувати технічні засоби буває непросто. Метод кінцевих елементів (МКЕ) був створений, щоб спростити використання механізмів. З його допомогою можна

вирішувати рівняння, робити обчислення. Даний метод проходять в вузах, коледжах. Він допомагає розбиратися в питаннях, що стосуються фізики, механіки.

Сутність МКЕ полягає в тому, що він допомагає у вирішенні рівнянь і задач. Це чисельний метод, який можна використовувати в рішенні диференціальних рівнянь. МКЕ допомагає розділити одну функцію на елементи, як представлено на рис. 3.8, і перетворити ці елементи у потрібні форми. Останні носять назву кінцевих елементів (КЕ), а сам процес розбивки - дискретизацією.

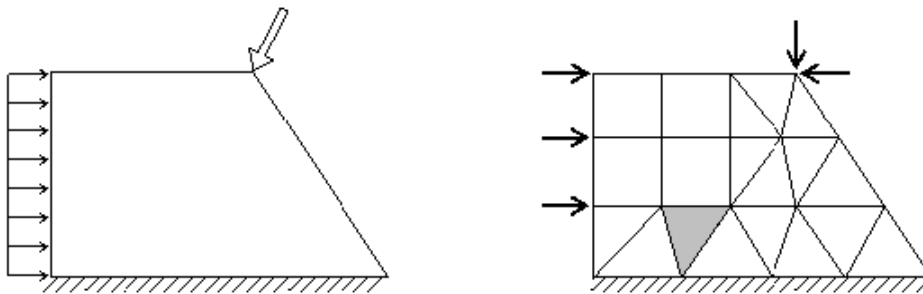


Рисунок 3.8 - Побудова області кінцевих елементів

Перевагами системи є такі можливості: дослідження елементів будь-якої форми, будь-якого виду і походження; вирішення будь-яких завдань і виставлення конкретних умов, алгоритми; рішення конкретних рівнянь, користуючись конкретною ієрархією. Ще однією перевагою є те, що для суміжних елементів можна взяти будь-який матеріал. Головна ідея полягає в тому, що одна область може бути розбита на кілька окремих розділів. У кожному з цих розділів знаходяться окремі величини, які можна порівнювати. Всі величини матимуть спільні вузлові точки. Завдання даного методу: знайти невідомі величини в цих вузлових точках. Метод кінцевих елементів дає можливість рахунку навіть, якщо сітки нерівномірні.

У МКЕ є свої недоліки. Всі обчислювальні системи для програм необхідно складати заздалегідь. Іноді трапляються більш складні завдання і доводиться шукати підходящу для них ЕОМ.

Метод став досить популярним у фізиці і динаміці. Тепер ним користуються для вирішення більшості завдань з фізики і механіки. Він набув широкого поширення, як метод розв'язання диференціальних рівнянь за допомогою численних систем. Вперше даний метод був застосований в 1956 році. М.Тернером, Р.Клафом, Х.Мартіном і Л.Топпом були першими, хто застосував МКЕ в задачах, пов'язаних з плоскою напругою. На сьогоднішній день МКЕ використовується фахівцями в інженерному аналізі.

Метод Гальоркіна (метод Бубнова - Гальоркіна) - метод наближеного розв'язку крайової задачі для диференціального рівняння $L[\psi(x)]=0$. Тут оператор $L[]$ може містити окремі або повні похідні потрібної функції.

Першим кроком в реалізації методу Гальоркіна є вибір набору базисних функцій, які:

задовольняють граничним умовам;

в межі нескінченної кількості елементів базису утворюють повну систему.

Конкретний вид функцій визначається зі специфіки завдання і зручності роботи. Часто застосовуються тригонометричні функції, ортогональні поліноми (поліноми Лежандра, Чебишева, Ерміта і ін.).

Для аналізу електромагнітної сумісності нами була обрана конструкція рупорної антени (рис. 3.9).

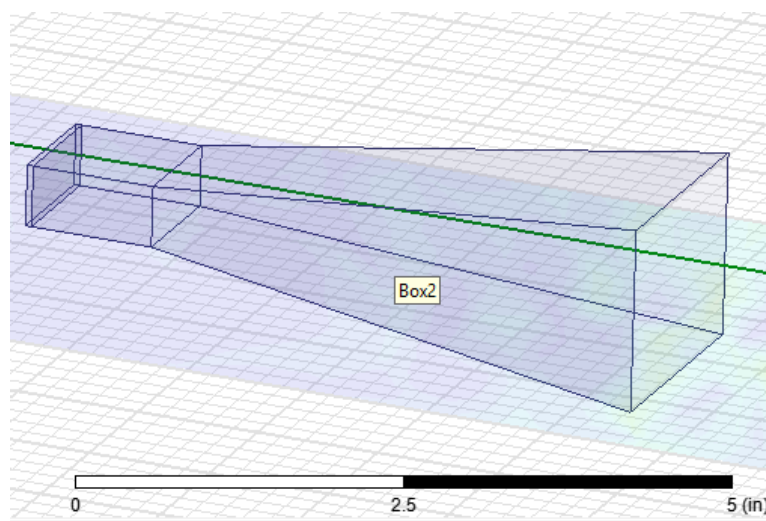


Рисунок 3.9 – Конструкція рупорної антени

Рупорна антена, яка піддавалася дослідженням, є рупорною ґраткою, до складу якої входить пірамідальний рупор з розмірами в розкритті 1,8 x 1,4 дюймів і кутом розкриття $17^\circ 30'$. Товщина стінки рупора 0,05 дюйма. Частота випромінюваного сигналу складає 10 ГГц.

Для побудованої моделі рупорної антени було виконано аналіз спрямованості в діапазоні частот 5 – 15 ГГц. Результат наведено на (рис. 3.10).

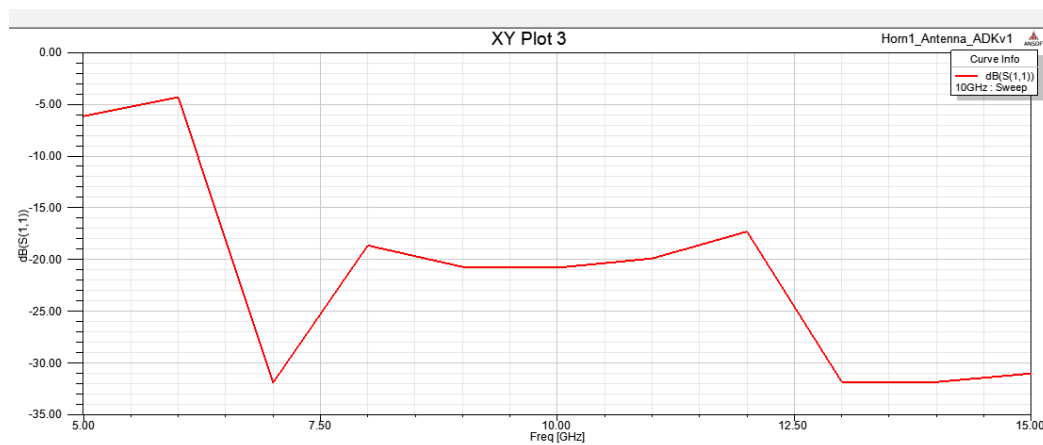


Рисунок 3.10 - Результат спрямованості рупорної антени

Для аналізу випромінювання від рупорної антени в усіх напрямках було вирішено використати додатково елемент у вигляді прямокутного паралелепіпеда з поверхнею у вигляді ідеального провідника, розміри цього бокса $1,8\text{in} \times 1,8\text{in} \times 0,4\text{in}$. На поверхні цього боксу визначався параметр $S(1,1)$, що відповідає розповсюдженню сигналу від рупорної антени. В проєкті для оптимізації ми додали змінну, яка відповідає куту повороту створеного боксу навколо рупорної антени у площині ХУ. В модулі Optimetrics ми створили для початку параметричний аналіз, котрий показує розповсюдження електромагнітного поля в різних точках навколо антени.

З області розрахунку виключаємо простір безпосередньо перед розкритвом антени, оскільки в цьому напрямку розповсюджуються корисний сигнал, а метою нашого дослідження є визначення паразитного випромінювання навколо рупорної антени.

Оптимізація проводилася квазі-ньютоновським методом. Установка оптимізації включає завдання цільової функції, яка включає одну або декілька цілей з урахуванням вагових коефіцієнтів кожної з цілей. Для цього:

1. Вибираємо правою кнопкою миші Optimetrics в дереві проекту, і потім натиснути Add> Optimization (або значок) в впливаючому меню. З'являється діалогове вікно Setup Optimization (рис. 3.10)

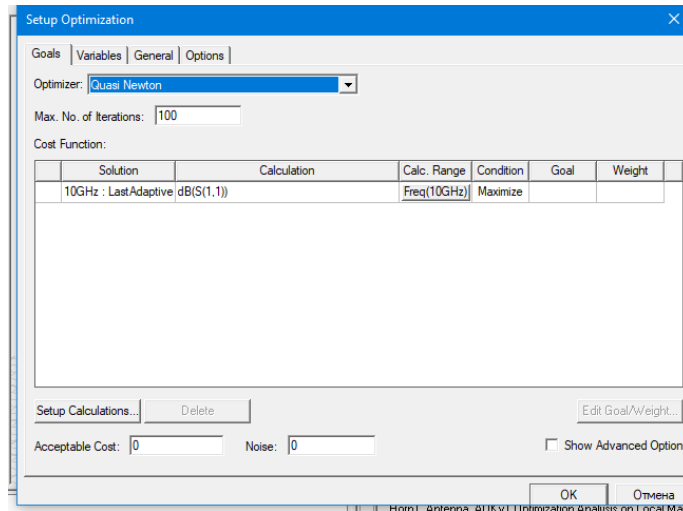


Рисунок 3.10 - Діалогове вікно Setup Optimization

2. У закладці Goal, обираємо Quasi Newton (метод квазі-Ньютона) та опускаємо до списку Optimizer.

3. Вибираємо максимальне число кроків пошуку Max. No. of Iterations = 100.

Коли виконається це число розрахунків цільової функції, оптимізація зупиниться. Інакше HFSS продовжує виконувати ітерації, поки не буде досягнута задана цільова функція, або будуть досягнуті інші обмеження.

4. Знімаємо опцію Save Fields. Нам не потрібні будуть поля, оскільки їх розрахунок не використовуватиметься для включення в цільову функцію. Помилка розрахунку (числовий шум) не істотна під час процесу рішення, тому в даній оптимізації більше підходить метод Quasi Newton. Зауважимо, що значення кута повороту встановлено на 0 deg. Це – поточне значення змінної в номінальному проекті.

Метою оптимізації було визначення розташування бокса, де випромінювання було найсильнішим. Було проведено два оптимізаційних процеси для лівої та правої півплощини вздовж вісі X. Таке рішення було прийняте для зменшення вірогідності виникнення помилки.

В результаті проведення оптимізації були отримані наступні графіки. Найбільші значення параметру $S(1,1)$, були отримані для кутів -30 та 220 градусів (рис.3.11 та рис.3.12). В цих випадках бокс знаходиться в симетричних точках відносно рупорної антени, що свідчить про адекватність запропонованого методу визначення.

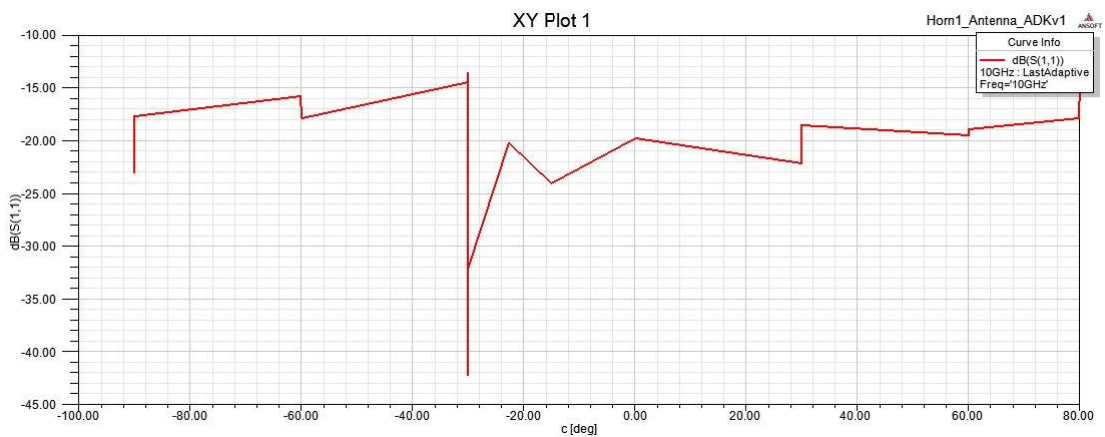


Рисунок 3.11 – Графік розповсюдження параметру $S(1,1)$ при куті -30 °C

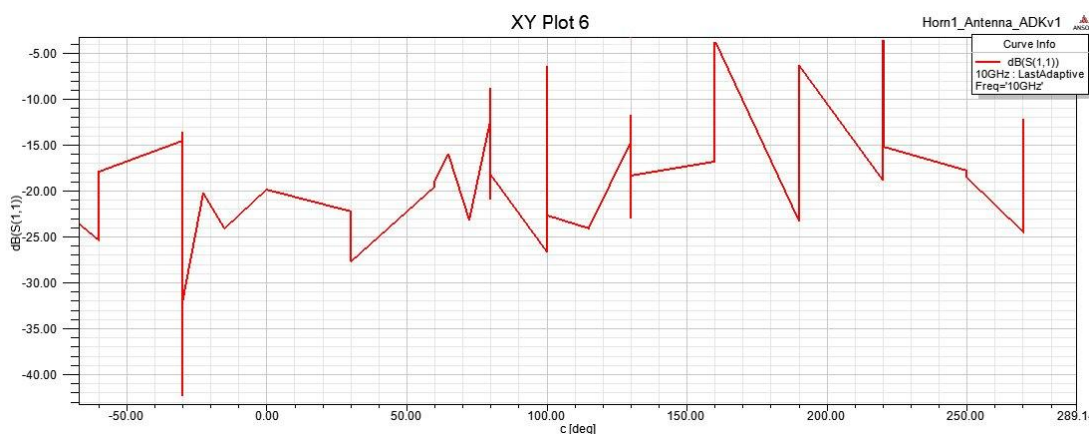


Рисунок 3.12 – Графік розповсюдження параметру $S(1,1)$ при куті 220 °C

На рис. 3.13 та на рис. 3.14 зображено вид зверху цього бокса відносно рупорної антени.

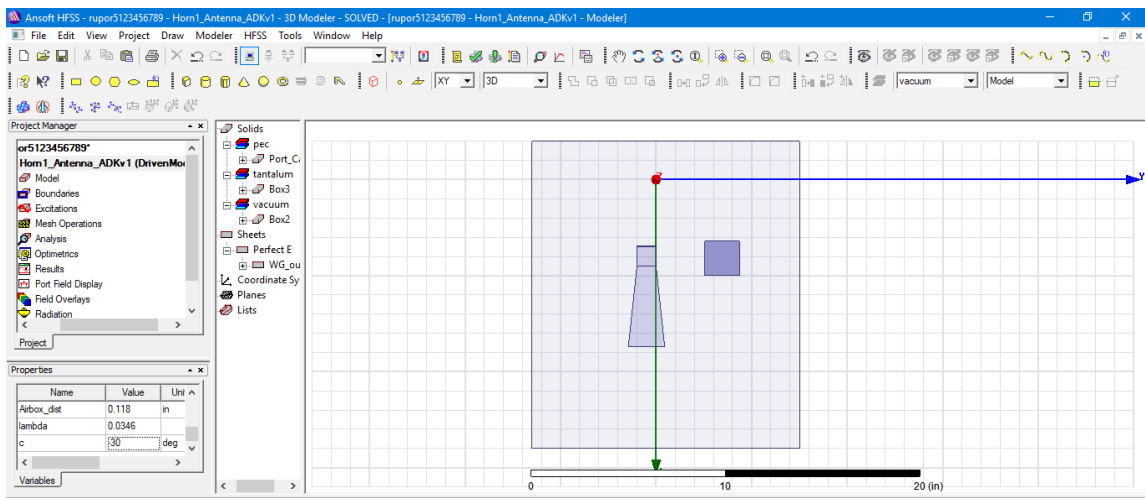


Рисунок 3.13 - Вид зверху цього бокса відносно рупорної антени -30°

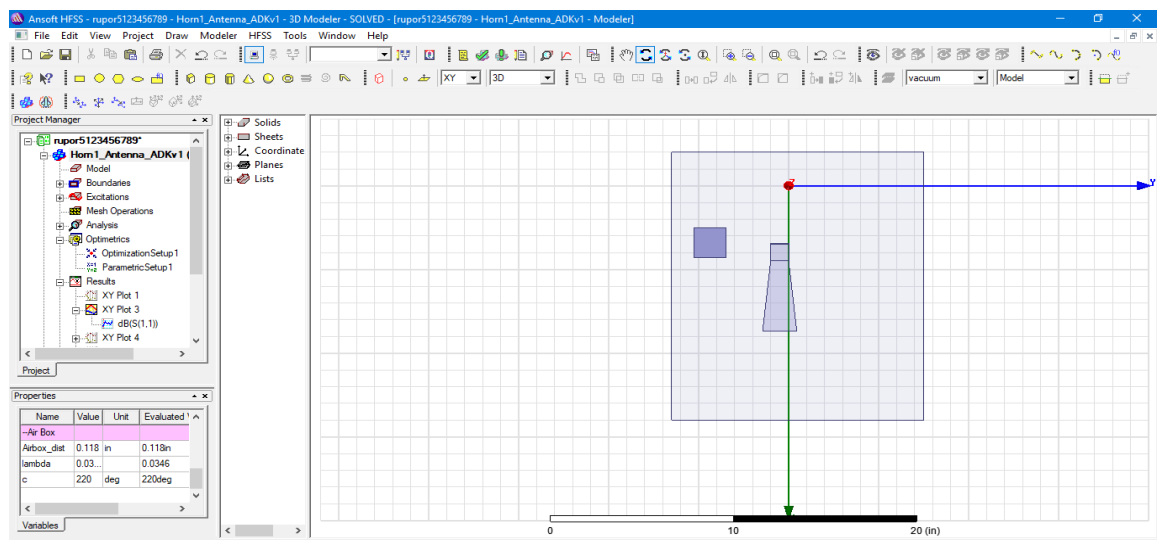


Рисунок 3.14 - Вид зверху цього бокса відносно рупорної антени 220°

На (рис. 3.15 - 3.18) представлено розповсюдження електричної та магнітної складової поля на самому боксі в заданих кутах -30° та 220° .

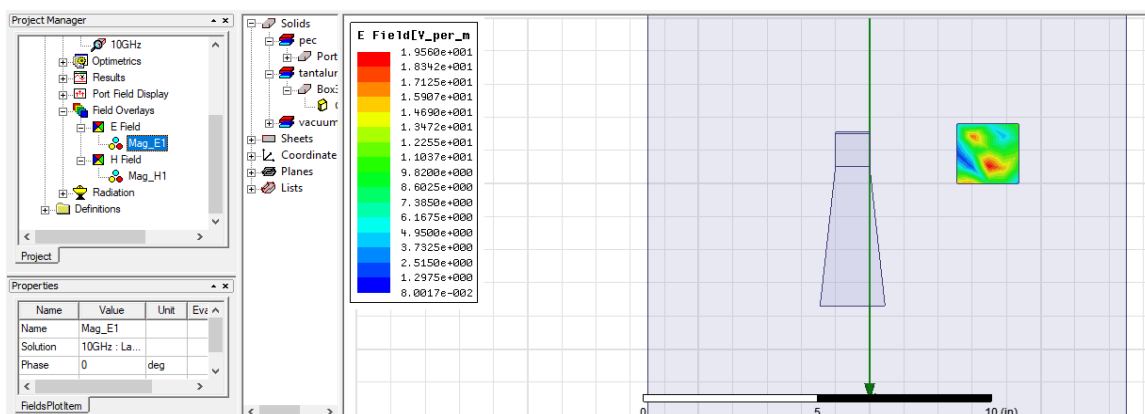


Рисунок 3.15 – Розповсюдження електричної складової поля при куті -30°

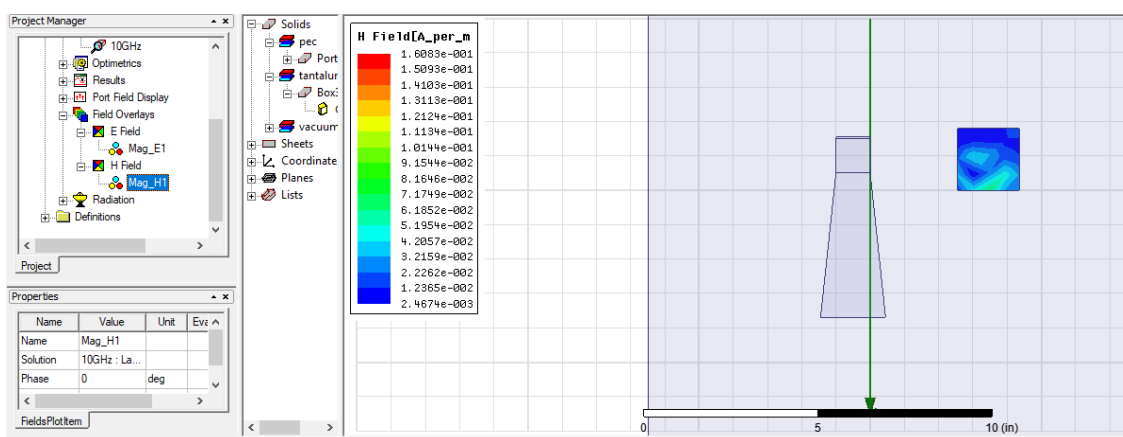


Рисунок 3.16 – Розповсюдження магнітної складової поля при куті -30°

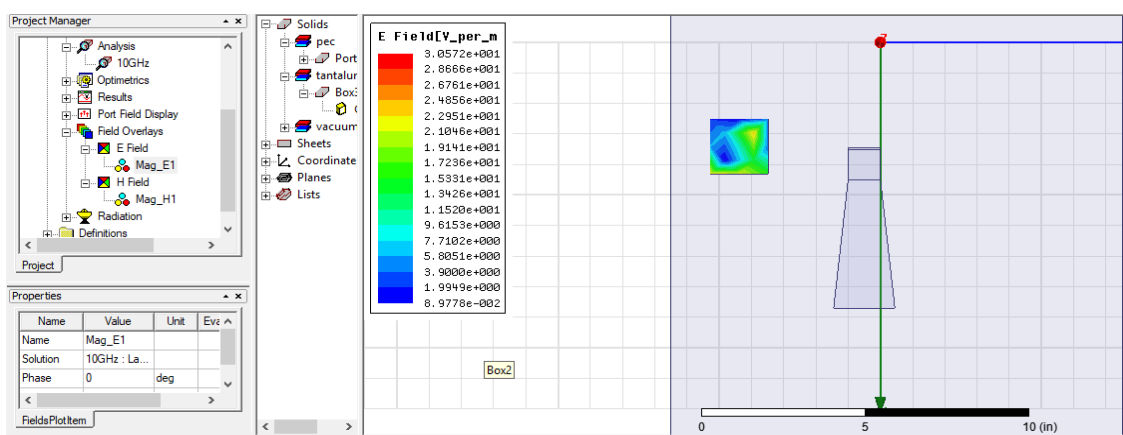


Рисунок 3.17 – Розповсюдження електричної складової поля при куті 220°

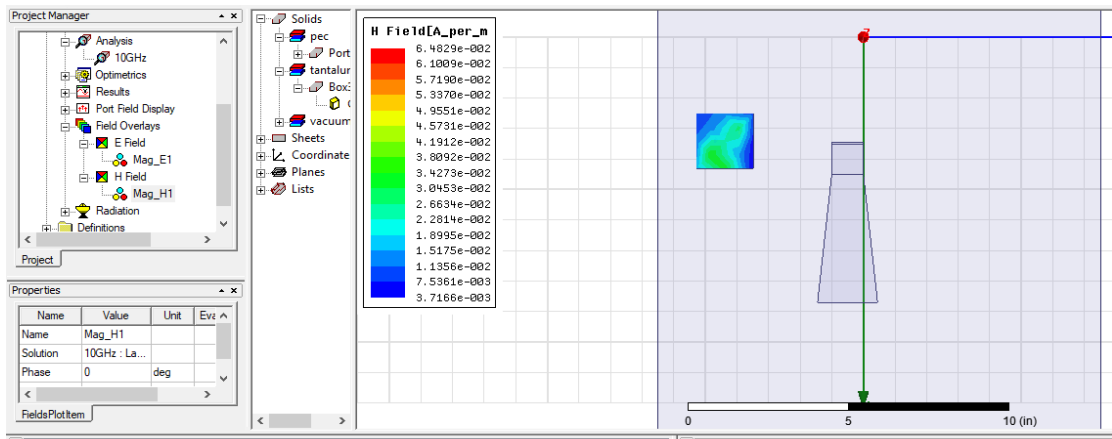


Рисунок 3.18 – Розповсюдження магнітної складової поля при куті 220°

Таким чином, для мінімізації небажаного розповсюдження електромагнітного випромінювання у напрямках, що не співпадають з проєктованим розповсюдженням, необхідно провести заходи для забезпечення електромагнітної сумісності та захисту персоналу при роботі з обладнанням, що містить у своєму складі рупорну антену такої конфігурації.

З цією метою можна використати додаткове екранування областей антени від яких спостерігається найбільше розповсюдження небажаного випромінювання.

4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕЛІ РУПОРНОЇ АНТЕНИ

Розроблена магістерська робота «Оптимізація параметрів рупорної антени з метою забезпечення електромагнітної сумісності» призначена для оптимізації параметрів дослідження електромагнітного випромінювання на ідеальний провідник. Аналіз дозволяє побачити розповсюдження електромагнітного поля на провіднику та коефіцієнт посилення антени і її параметрів, шляхом побудови моделі в програмі для аналізу антен з подальшою оцінкою цих параметрів. Знайдені в результаті аналізу моделі вирішення будуть математично обґрунтованими, що може гарантувати отримання найбільш оптимального результату. Дослідження є теоретичним і проводиться на комп'ютері для вивчення параметрів антени в гігагерцовому діапазоні частот.

4.1 Планування моделювання моделі рупорної антени

Весь комплекс моделювання моделі рупорної антени можна розділити на етапи. Для кожного етапу вказуються трудомісткість, кількість виконавців і тривалість робіт. У моделюванні приймають участь дослідник протягом 2 місяців і консультант протягом 0,25 місяця. Моделювання моделі починається сімнадцятого вересня і повинна бути виконана до шостого листопада 2018 року. Тривалість робіт визначають за формулою 4.1:

$$T_u = \frac{Q}{R}, \quad (4.1)$$

де T_u - тривалість циклу, днів;

Q - трудомісткість, людино-днів;

R - кількість виконавців, чол.

Отримана інформація зведена в табл. 4.1


Таблиця 4.1 - Завдання та обов'язки по моделюванню моделі

Найменування роботи	Трудомісткість		Виконавці	Тривалість, днів
	люд.- дні	%к підсумку		
1. Аналіз предметної області (ПО)	10	12,5	Дослідник Консультант	5
2. Визначення вимог до програмному продукту	10	12,5	Дослідник	10
3. Проектування структури моделі	10	25	Дослідник	10
4. Моделювання моделі у вибраній системі	10	25	Дослідник	10
5. Завдання граничних умов та параметрів моделі	5	12,5	Дослідник	5
6. Аналіз отриманих результатів	10	12,5	Дослідник Консультант	5
Разом	55	100		45

За даними табл. 4.1 складається зведений стрічковий графік планування моделювання моделі, який представляє собою таблицю, в першому стовпці якої розміщені в порядку збільшення термінів початку виконання всі види роботи, а навпаки - календарний період їх виконання. Даний графік наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Зведений стрічковий графік планування моделювання моделі рупорної антени

Найменування робіт	Календарний період, дні								
	17.09-22.09	22.09-27.09	27.09-03.10	03.10-08.10	13.10-18.10	18.10-23.10	23.10-28.10	28.10-01.11	01.11-06.11
1. Аналіз ПО									
2. Визначення вимог до програмному продукту									
3. Проектування структури моделі									
4. Моделювання моделі у вибраній системі									
5. Завдання граничних умов та параметрів моделі									
6. Аналіз отриманих результатів									

 - консультант

 - дослідник

4.2 Визначення витрат на моделювання моделі

Для визначення витрат на моделювання моделі складається калькуляція вартісної вартості робіт, яка включає наступні статті:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- єдиний соціальний внесок (ЄСВ);
- витрати на спеціальне обладнання;
- матеріали і комплектуючі вироби;
- накладні витрати;
- податки.

4.2.1 Розрахунок основної заробітної плати

Витрати за цією статтею складаються з планового фонду зарплати всіх категорій працівників, зайнятих в моделюванні моделі. Розрахунок зарплати ведеться на підставі даних про трудомісткості, представлених в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Розрахунок основної заробітної плати

Посада виконавця	Чисельність, чол.	Місячний оклад, грн.	Кількість місяців роботи	Сума ЗП, грн.
Дослідник	1	3723	2	7446
Консультант	1	4000	0,25	1000
Разом	2			8446

4.2.2 Розрахунок додаткової заробітної плати

Додаткову заробітну плату приймають рівною 10% від основної заробітної плати працівників і розраховують за формулою 4.2:

$$ЗП_{дон} = ЗП_{осн} \cdot 0,1 \quad (4.2)$$

Підставивши величину основної заробітної плати в формулу 4.2, отримуємо:

$$ЗП_{дон} = 8446 \cdot 0,1 = 844,6 \text{ грн.}$$

4.2.3 Відрахування на єдиний соціальний внесок

Вони становлять 22% і беруться від основної та додаткової заробітної плати.

$$ОТ = (ЗП_{осн} + ЗП_{дон}) \cdot 0,22 \quad (4.3)$$

$$ОТ = (8446 + 844,6) \cdot 0,22 = 2043,93 \text{ грн.}$$

4.2.4 Визначення затрат на матеріали

Використовується 3 найменування матеріалів: диск CD-R – 5 грн.; картридж - 50 грн.; папір - 70 грн. (1 пачка).

Витрати на комплектуючі розраховують за формулою 4.4:

$$M = \sum_{i=1}^n (Ц_i \cdot N_i \cdot (1 + K_{м.з.}) - Ц_{io} \cdot N_{io}), \quad (4.4)$$

де M - витрати на покупні напівфабрикати і комплектуючі вироби, грн.;

$K_{м.з.}$ - коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати;

C_i - ціна і-го найменування напівфабрикату і комплектуючого, грн.;

N_i - потреба в і-му напівфабрикаті і комплектуючому;

C_{io} - вартість зворотних відходів і-го найменування комплектуючого, грн.;

N_{io} - кількість зворотних відходів і-го найменування;

n - кількість найменувань напівфабрикатів і комплектуючих.

$$C_{io} = 0; N_{io} = 0; K_{м.з.} = 0,05;$$

$$M = (1 + 0,05) \cdot (5 + 50 + 70) = 131,25 \text{ грн.}$$

Разом, витрати на матеріали становлять 131,25 грн.

4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання

У цю статтю входять витрати на придбання, транспортування, монтаж і налагодження нестандартного обладнання.

Практично, в даному випадку, в цій статті враховуються витрати на оплату машинного часу ЕОМ для моделювання моделі рупорної антени. Для чого необхідно скласти кошторис «витрат на утримання і експлуатацію устаткування» виходячи з якої визначиться вартість одного машино-години роботи ПК, після множення якої на машинний час пішло на моделювання моделі рупорної антени отримаємо витрати на оплату машинного часу.

Амортизаційні відрахування визначають за формулою 4.5:

$$A = \Phi_{\sigma} \cdot \frac{H_a}{100}, \quad (4.5)$$

де Φ_{σ} - балансова вартість обчислювальної техніки, грн. ;

N_a - норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення обчислювальної техніки, для ПК 25%.

Балансова вартість обчислювальної техніки становить 5000 грн.

Отримуємо:

$$A = 5000 \cdot 0,25 = 1250 \text{ грн.}$$

Статтю «Експлуатація обладнання» розраховують підсумовуванням витрат на електроенергію і допоміжні комплектуючі.

$$C_e = N_n \cdot \Phi_{ef} \cdot K_{зв} \cdot K_{зм} \cdot C_e, \quad (4.6)$$

де N_n - номінальна потужність ЕОМ, кВт;

Φ_{ef} - річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ, машино-год;

$K_{зв}$ - середній коефіцієнт завантаження за часом;

$K_{зм}$ - коефіцієнт завантаження по потужності;

C_e - ціна одного кВт-год електроенергії, грн./(кВт-ч).

Номінальна потужність ЕОМ - 0,2 кВт. Річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ становить 1800 годин. Середні коефіцієнти завантаження за часом і за потужністю рівні відповідно 0,9 і 0,6. Ціна однієї кіловат-години електроенергії становить 2,11 грн.

Отримуємо:

$$C_e = 0,2 \cdot 1800 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 2,11 = 410,18 \text{ грн.}$$

Зарплата обслуговуючого персоналу розраховується за формулою 4.7:

$$ЗП_{обсл} = ФЗП_r \cdot (1 + K_{отч}) \cdot \frac{t_{обсл}}{\Phi_{эф.обсл}} \quad (4.7)$$

де $ФЗП_r$ - річний фонд заробітної плати (основної і додаткової) обслуговуючих робітників, грн.;

$K_{отч}$ - коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальне страхування і в інші фонди;

$t_{обсл}$ - час протягом року, необхідне на технічне обслуговування ЕОМ, ч/рік;

$\Phi_{эф.обсл}$ - річний ефективний фонд часу обслуговуючого персоналу, ч/рік.

Місячна заробітна плата обслуговуючого персоналу становить 3723 грн., а річний фонд заробітної плати відповідно дорівнює 44676 грн. Річний ефективний фонд робочого часу обслуговуючого ПК працівника дорівнює 1750 год / рік. На обслуговування одного ПК витрачається по 1 годині на місяць, що в рік становить 12 годин.

$$ЗП_{обсл} = 44676 \cdot (1 + 0,22) \cdot 12 / 1750 = 373,75 \text{ грн.}$$

Стаття «Поточний ремонт обладнання» приймається рівною 3% від балансової вартості обладнання і складає 150 грн.

Стаття «Інші витрати» приймається рівною п'яти відсоткам від суми всіх попередніх статей витрат на утримання і експлуатацію обладнання. Сума всіх попередніх статей дорівнює 2037,61 грн., 5% від суми складають 101,88 грн.

Розраховані статті витрат на утримання і експлуатацію устаткування внесені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 - Кошторис витрат на утримання і експлуатацію устаткування

Найменування статей витрат	Сума, грн.
Амортизація обладнання	1250,00
Експлуатація обладнання (крім витрат на поточний ремонт)	410,18
Заробітна плата основна і додаткова обслуговуючих робітників з ЄСВ	373,75
Поточний ремонт обладнання	150,00
Інші витрати	101,88
Разом	2285,81

Витрати на оплату машинного часу ЕОМ для моделювання моделі і налагодження програмних засобів визначаються за формулою 4.8:

$$C_{mo} = P_{екс} \cdot t_{мо}, \quad (4.8)$$

де C_{mo} - витрати на оплату машинного часу, грн.;

$P_{екс}$ - експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу цієї цифрової ЕОМ, грн. / машино-год.;

$t_{мо}$ - машинний час цифрової ЕОМ для написання і налагодження даного програмного продукту, машино-год.

Експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу використуваної ЕОМ розраховують діленням суми витрат за кошторисом «Витрати на утримання та експлуатацію обладнання (ЕОМ)» (табл. 4.4) на річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ. Річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ дорівнює 1800 годин. В результаті експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу рівні:

$$P_{екс} = 2285,81/1800 = 1,27 \text{ грн./машино-год}$$

ЕОМ експлуатується 45 днів в одну зміну, що становить в сумі 360 годин. Таким чином, витрати на оплату машинного часу складуть:

$$C_{мо} = 1,27 \cdot 360 = 457,2 \text{ грн.}$$

4.2.6 Інші прямі витрати

В інші прямі витрати включаються витрати на яке використовується при розробці системи комерційне програмне забезпечення:

- дольове ПЗ, що використовується постійно при роботі ПК (Windows 10 Professional) - 1150 грн. без НДС;
- цільове ПЗ, що купується для даного конкретного завдання (Ansoft HFSS 14) - 5000 грн. без НДС.

$$S_{\text{доль.ПЗ}} = \frac{C_{\text{ПЗWindows}} \cdot T_{\text{КТС}}}{\Phi_{\text{еф.КТС}} \cdot T_{\text{с.ПЗ}}} \quad (4.9)$$

$$S_{\text{ціль.ПЗ}} = C_{\text{ПЗ A}}$$

де $S_{\text{доль.ПЗ}}$ - витрати на дольове ПЗ при моделюванні розробляється в розрахунку ПЗ, грн .;

$S_{\text{ціль.ПЗ}}$ - витрати на цільове ПЗ, що купується виключно для моделювання в розрахунку ПЗ, грн .;

$C_{\text{ПЗWindows}}$ - ціна ПЗ Windows (без ПДВ), грн;

$C_{\text{ПЗ A}}$ - ціна ПЗ Ansoft HFSS 14 (без ПДВ), грн;

$T_{\text{КТС}}$ - машинний час КТС, необхідне користувачеві для моделювання моделі, машино-год / рік;

$\Phi_{\text{еф.кмс}}$ - річний ефективний фонд часу роботи КТС, машино-год / рік;

$T_{с.ПЗ}$ - термін служби дольової ПЗ, років.

$$S_{дол.ПЗ} = \frac{1150 \cdot 360}{1800 \cdot 5} = 46 \text{ грн.}$$

$$S_{ціл.ПЗ} = 5000 \text{ грн.}$$

$$S_{\Sigma} = 46 + 5000 = 5046 \text{ грн.}$$

4.2.7 Розрахунок накладних витрат

До накладних витрат відносяться витрати на загальне управління і загальногосподарські потреби (заробітна плата апарату управління, канцелярські витрати і т.д.), утримання та експлуатацію будівель. Накладні витрати включаються до вартості моделювання моделі непрямым шляхом - у відсотках до основної заробітної плати розробників. В даному випадку накладні витрати становлять 40% до основної заробітної плати розробників, що складає 3378,40 грн.

Результати визначення витрат на моделювання моделі у вигляді калькуляції кошторисної вартості робіт наведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 - Калькуляція кошторисної вартості робіт з моделювання моделі

№	Найменування статей витрат	Сума, грн.	Питома вага до підсумку, %
1	Основна заробітна плата	8446,00	34,59
2	Додаткова заробітна плата	844,60	3,45
3	ЄСВ	2043,93	8,37
4	Матеріали	131,25	0,53
5	Витрати на спец. обладнання	457,20	1,87
6	Інші прямі витрати	5046,00	20,7
7	Накладні витрати	3378,40	13,83
8	ПДВ (20%)	4069,47	16,66
9	Разом (S_{np})	24416,85	100

4.3 Розрахунок техніко-економічної ефективності моделі

Для теоретичних досліджень у більшості випадків важко чи навіть неможливо розрахувати економічний ефект, тому доцільно визначити їхню техніко-економічну ефективність з урахуванням наступних показників:

- важливості дослідження для народного господарства;
- складності розробки;
- результативності й можливості використання.

Важливість теоретичного дослідження оцінюємо як пошук принципово нових конструктивних і технологічних рішень і ін.

Результативність НДР визначається по повноті рішень поставленого завдання: отриманий результат відповідає планованому, задовільний (часткове рішення) чи негативний.

Аналіз залежності між цими показниками й витратами на їхнє досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко-економічної ефективності теоретичних НДР і визначається за формулою (4.10):

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{B_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}}, \quad (4.10)$$

де $K_{\text{НДР}}$ - рівень ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР):

J^n - важливість роботи;

R - результативність роботи;

T - технічна складність виконання НДР;

$B_{\text{НДР}}$ - витрати на проведення НДР, років;

n - показник використання результатів НДР:

$n = 0$ - результати НДР не використовуються;

$n = 1$ - результати НДР використовуються частково;

$n = 2$ - результати НДР використовуються в дослідно-конструкторських роботах (ДКР);

$n = 3$ - результати НДР можуть бути використані без проведення ДКР.

Для НДР, у яких $V_{\text{НДР}} < 30$ тис. грн. і $t_{\text{НДР}} \leq 2$ років, можна застосовувати такі значення оцінних факторів наведених в табл. 4.6

Таблиця 4.6 – Значення оцінних факторів

Оцінні фактори	J	R	T	C	t_{ϕ}	n
Припустимі значення	2...5	1...4	1...3	-	-	1...8
Прийняті значення	2	1	2	-	-	2

Згідно значень з таблиці оцінних факторів, отримуємо такий вираз:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{2^2 \cdot 1 \cdot 2}{24,41685 \cdot 0,19} = 1,72$$

Таким чином, так як коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР $K_{\text{НДР}} \geq 1$, в нашому випадку рівний $K_{\text{НДР}} = 1,72$, то дослідницька робота вважається ефективною.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Безпека життєдіяльності людини є найважливішим завданням людської цивілізації. Охорона праці має важливе економічне значення — це висока продуктивність праці, зниження витрат на оплату лікарняних компенсацій за важкі та шкідливі умови праці тощо.

На підприємстві електронної промисловості багато уваги приділяється безпеці людини. Коли на підприємстві проводиться удосконалення техніки виникає необхідність удосконалення нормативної документації з безпеки праці та проведення нового інструктажу.

Задача охорони праці - звести до мінімуму імовірність нещасливого випадку чи захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфортних умов при максимальній продуктивності праці.

Дослідження проводяться у приміщенні конструкторського бюро з довжиною 8 метрів та шириною 6 метрів, загальна площа становить 48 м².

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Аналіз потенційних небезпек складається з визначення потенційно небезпечних або шкідливих виробничих чинників, пошуку причин їх появи та з'ясування можливих наслідків впливу на людину. До потенційних небезпек відносять:

- потенційні небезпеки, фізичного характеру механічне травмування, що може бути пов'язано з порушеннями правил охорони праці, зокрема, невикористання спеціальних приладів та запобіжних заходів;

- потенційні небезпеки психофізіологічного характеру, незадовільна організація робочого місця, що може бути пов'язана з недостатнім врахуванням вимог ергономіки, зокрема з нераціональним розташуванням технологічного обладнання та захаращеністю робочої зони або підвищеним

психофізіологічним навантаженням при роботі з персональним комп'ютером через нераціональну організацію робочого часу;

- потенційні небезпеки санітарно-гігієнічного характеру, при визначенні небезпек слід враховувати вплив тільки тих санітарно-гігієнічних чинників, що не відповідають нормам, які визначені у нормативно-правових актах з охорони праці, незадовільний стан повітряного середовища, незадовільний рівень освітленості, підвищений рівень шуму, вібрації, електромагнітних полів або іонізуючих випромінювань не виконання вимог до обладнання і організації робочих місць користувачів ПК та вимог до режиму праці й відпочинку;

- потенційні небезпеки, пов'язані з порушеннями правил пожежної безпеки, коротке замикання, що може призвести до виникнення пожежі, відсутність або неправильний вибір типу та необхідної кількості первинних засобів гасіння пожеж (вогнегасників), несправність електрообладнання;

- потенційні небезпеки, пов'язані з проявом наслідків надзвичайних ситуацій, такі як невідповідність персоналу в умовах надзвичайних ситуацій та інші ситуації.

5.2 Заходи з забезпечення безпеки

Для захисту людей в приміщенні конструкторського бюро встановлено трьохполюсні розетки з нульовим заземленням. Захист від дотику до струмопровідних частин: контроль і профілактика пошкодження ізоляції; використання малих напруг; електричне і механічне блокування, сигналізація та маркування.

Для захисту від ураження електричним струмом при дотику до не струмопровідних частин, на яку перейшла напруга використовують такі заходи: захисне заземлення, захисне занулення, захисне вимкнення.

Для виключення ураження персоналу електричним струмом в проекті передбачено:

організаційні заходи: провести інструктаж згідно вимог НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці», з метою попередження можливих травмувань, з усіма працівниками, прийнятими на роботу, а також у період роботи проводити навчання з питань: охорони праці; надання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків; правилам поведіння при виникненні аварій або навчання з правил електробезпеки, перевірка знань та атестація персоналу на отримання та підвищення групи з електробезпеки.

технічні заходи: електроживлення обладнання ПК здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц. Відповідно до вимог «ПУЕ», електрообладнання в приміщенні з ПК, характеризується як електроустановки до 1000 В, тому згідно вимог глави 1.7 «ПУЕ» та ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление», величина опору контуру захисного заземлення електрообладнання приміщення з ПК не перевищує 4 Ом.

Для приміщення, обладнаного персональними комп'ютерами з візуальними дисплейними терміналами (далі ПК з ВДТ), визначаються ергономічні характеристики моніторів, наприклад, відповідно до вимог розділу «Мінімальні вимоги з охорони праці», директиви ЕС 90/270 ЕЕС виконані основні вимоги до моніторів, які жорстко регламентують безпечні умови роботи і захист здоров'я осіб, що працюють з комп'ютерами:

- символи на екрані чіткі і добре розрізняються;
- зображення позбавлене блимання;
- яскравість та / або контрастність легко регулюються;
- екрани вільні від відблисків і відбиття;
- випромінювання знижені до надзвичайно малих рівнів.

5.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці розробляються відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МІОУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці»).

Проекти підприємств та їх побудова повинні відповідати вимогам «Санітарних норм і правил промислових підприємств» (СН245-7Г) і відповідним «Будівельним норми та правила» (БНіП), ці норми та правила становлять санітарні вимоги до промислових підприємств з урахуванням небезпечних речовин, що виділяються при технологічних процесах та метеорологічних умов. Удосконалення технічних процесів та обладнання з метою зменшення тепла у виробничих приміщеннях; раціональне розміщення технічного обладнання автоматизації дистанційного керування технічними процесами: вентиляція, опалення, кондиціонування повітря, захисні екрани, засоби індивідуального захисту; оздоровлення повітряного середовища, як один з основних напрямків у комплексі заходів.

Оцінка умов праці на робочих місцях, аналіз впливу на працюючих санітарно-гігієнічних чинників і параметрів трудового процесу, передбачених гігієнічною класифікацією проводиться в процесі трудової діяльності. При цьому, оцінюється технічний і організаційний рівень робочого місця та ступінь можливого ушкодження здоров'я.

- Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці для конструкторського бюро обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МІОУ 06.05.2014 р. за № 472/25249, ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми

роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин».

Для забезпечення оптимального рівня параметрів повітряного виробничого середовища використовуємо ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» та ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ.

- Заходи щодо освітленості робочої зони та її забезпечення для конструкторського бюро обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення»);

- Заходи щодо до рівня шуму в робочій зоні (згідно вимог ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку»);

- Заходи щодо виробничих вібрацій (згідно ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» та ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 «ССБП. Вібраційна безпека. Загальні вимоги»);

- Заходи щодо іонізуючих випромінювань і неіонізуючих електромагнітних полів та випромінювання моніторів (згідно МРР II, ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин»);

- Заходи щодо важкості та напруженості праці (у відповідності до «Гігієнічної класифікації праці»);

- Заходи щодо режиму праці та відпочинку при роботі з ПК, згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин»;

Освітлення робочого місця нормується згідно з Державними будівельними нормами України: ДБН В.2.5-28-2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення.

Мінімальна освітленість встановлюється в залежності від розряду виконуваних зорових робіт. Для IV розряду зорових робіт вона складає 300...500 лк.

Для штучного освітлення у приміщенні використовуються люмінесцентні лампи.

Розрахунок штучного освітлення проведемо для кімнати площею 48 м², довжина якої складає 8м, ширина – 6м, висота – 3м.

Скористаємося методом використання світлового потоку. Для визначення потрібної кількості світильників, які повинні забезпечити нормований рівень освітленості, визначимо світловий потік, що падає на робочу поверхню за формулою:

$$\Phi = \frac{E \cdot k_3 \cdot S \cdot Z}{\eta}, \quad (5.1)$$

де: Φ – світловий потік, що розраховується, лм;

E – нормована мінімальна освітленість, лк; $E = 300$ лк;

S – площа освітлюваного приміщення $S = 48\text{м}^2$;

Z – відношення середньої освітленості до мінімальної (зазвичай приймається рівним 1,1... 1,2, в нашому випадку $Z = 1,1$);

k_3 – коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників в процесі експлуатації (його значення залежить від типу приміщення і характеру робіт, що проводяться в ньому, в нашому випадку $k_3 = 1,5$);

η – коефіцієнт використання світлового потоку, (виражається відношенням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп, і обчислюється в долях одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, забарвлення стін і стелі, що характеризуються коефіцієнтами відбиття від стін ($\rho_{\text{ст.}}$) і стелі ($\rho_{\text{стелі}}$)), значення коефіцієнтів дорівнюють $\rho_{\text{ст.}} = 30\%$ і $\rho_{\text{стелі}} = 70\%$.

Обчислимо індекс приміщення за формулою:

$$I = \frac{S}{h(A+B)}, \quad (5.2)$$

де: S – площа приміщення, $S = 48\text{м}^2$;

h – розрахункова висота підвісу, $h = 2,2$ м;

A – довжина приміщення, $A = 8$ м; B – ширина приміщення, $B = 6$ м.

Підставивши значення отримаємо:

$$I = \frac{48}{2,9 \cdot (8+6)} = 1,18$$

Знаючи індекс приміщення I , за таблицею 4 [ДБН В.2.5-28-2006] знаходимо $\eta = 0,46$.

Підставимо всі значення у формулу для визначення загального світлового потоку Φ :

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 48 \cdot 1,1}{0,46} = 51652 \text{ лм}$$

Для освітлення використані люмінесцентні лампи типу ЛПО, світловий потік яких $\Phi = 3200$ лм. Розрахуємо необхідну кількість ламп у світильниках за формулою:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_{\text{л}}}, \quad (5.3)$$

де: N – кількість ламп, що визначається;

Φ - світловий потік, $\Phi = 51652$ лм;

$\Phi_{\text{л}}$ - світловий потік лампи, $\Phi_{\text{л}} = 3200$ лм

$$N = \frac{51652}{3200} = 16$$

В приміщенні використовуються світильники типу ЛПО. Кожен світильник комплектується двома лампами ЛБ-40. Тобто необхідно використовувати 8 світильників по 4 у кожному ряді.

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Комплекс протипожежних заходів для виробничого приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

- Згідно ГОСТ 27331-87 (СТ СЭВ 5637-86) «Пожарная техника. Классификация пожаров» у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класів – П-П_а.

- Обчислювальний центр, згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» відноситься до категорії «П-П_а», а клас можливої пожежі, згідно ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», визначається як А.

- У разі виникнення пожежі у конструкторського бюро, обладнаному ПК з ВДТ для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого – вхідні двері.

- Обладнання, силові та освітленні мережі приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаного ПК з ВДТ відповідають вимогам пожежної безпеки, оскільки виконані відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», та мають ступінь захисту ізоляції

обладнання IP44 яка відповідає класу пожежанебезпечної зони до якої належить приміщення.

- З технічних та організаційних заходів запобігання пожеж в приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ передбачені наступні протипожежні заходи. На силовому обладнанні, силових та освітлювальних колах, згідно вимог пункту 3.1 «ПУЕ», встановлені захисні пристрої, що вимикають джерело живлення від ділянки електричного кола, у якій виникло коротке замикання.

- Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні (конструкторського бюро, дослідницької лабораторії тощо) обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

- Оскільки приміщення конструкторського бюро, що обладнане ПК з ВДТ має площу 48 м^2 , тому відповідно до вимог п. 3.8 розділу «Типові норми належності вогнегасників» ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги» для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м^2 площі приміщення). Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

5.5 Заходи забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях

Згідно з Кодексом цивільного захисту України забезпечення захисту населення і територій від НС покладено на Єдину державну систему цивільного захисту (ЄДСЦЗ), яка є сукупністю суб'єктів забезпечення цивільного захисту, котрі здійснюють реалізацію державної політики у сфері цивільного захисту.

Суб'єктами забезпечення цивільного захисту в межах своїх повноважень є:

- Рада національної безпеки і оборони України;
- Кабінет Міністрів України;
- центральний орган виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту (нині це Державна служба України з надзвичайних ситуацій – ДСНС);
- інші центральні органи виконавчої влади;
- місцеві державні адміністрації;
- органи місцевого самоврядування;
- суб'єкти господарювання;
- громадяни України.

ЄДСЦЗ базується на функціональних та територіальних підсистемах цивільного захисту та їх ланках, підпорядкованих ДСНС. Кожна підсистема має координуючі органи, постійні органи управління, сили та засоби, матеріальні ресурси, системи оповіщення тощо.

Функціональні підсистеми ЄДСЦЗ створюються центральними органами виконавчої влади у відповідній сфері суспільного життя. Перелік центральних органів виконавчої влади, що створюють функціональні підсистеми, визначається Положенням про єдину державну систему цивільного захисту. Територіальні підсистеми ЄДСЦЗ діють в областях, підконтрольних українській владі, та місті Києві.

Ланки територіальних підсистем створюються:

- районними державними адміністраціями – у районах областей, районах міста Києва;
- органами місцевого самоврядування – в обласних центрах, у містах обласного і районного значення.

Таким чином, в Україні реалізований територіально-виробничий принцип цивільного захисту: у кожній територіальній одиниці відповідно до адміністративно-територіального поділу країни (область, район, місто, селище)

є свій територіальний підрозділ ЦЗ. Паралельно в усіх сферах життєдіяльності населення, на кожному виробництві (підприємстві, установі, організації) функціонує відповідний виробничий підрозділ ЦЗ.

Начальником цивільного захисту об'єкта господарювання (підприємства, установи, організації) є перший керівник об'єкта. Він має подвійне підпорядкування: з одного боку – він підзвітний начальнику територіального управління з питань цивільного захисту, на території якого знаходиться його об'єкт; з іншого боку, за виробничим (функціональним) принципом, він підзвітний керівнику свого Міністерства (відомства), який є начальником цивільного захисту в межах свого Міністерства (відомства).

До функцій ДСНС відноситься також:

- впровадження та функціонування системи екстреної допомоги населенню за єдиним телефонним номером 112;
- реалізація державної політики у сфері профілактики травматизму невиробничого характеру, моніторинг стану травматизму невиробничого характеру, його причин та наслідків;
- перевірка організації та стану навчання працюючого персоналу на підприємствах, в установах та організаціях до дій у разі виникнення аварійних ситуацій, аварій, надзвичайних ситуацій техногенного або природного характеру.

ДСНС України очолює Голова, якого призначає на посаду за поданням Прем'єр-міністра України, внесеним на підставі пропозицій Міністра оборони, та звільняє з посади Президент України.

Безпосереднє керівництво територіальними підсистемами та їх ланками покладається на посадових осіб, які очолюють органи, що створили такі підсистеми або ланки. Безпосереднє керівництво функціональними підсистемами покладається на керівників органів, суб'єктів господарювання, що створили такі підсистеми.

Організація заходів цивільного захисту в територіальних підсистемах здійснюється місцевими державними адміністраціями, органами місцевого самоврядування.

Організація заходів цивільного захисту у функціональних підсистемах і забезпечення техногенної та пожежної безпеки у сфері суспільного життя, в якій реалізує державну політику міністерство чи інший центральний орган виконавчої влади, здійснюються підрозділами з питань цивільного захисту, які створюються такими органами у складі їх апаратів.

Існує чотири рівні керування ЄДСЦЗ: державний, регіональний, місцевий, об'єктовий.

Координацію діяльності центральних та місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування у межах ЄДСЦЗ на державному рівні здійснюють:

- Рада національної безпеки і оборони України;
- Кабінет Міністрів України;
- Державна комісія з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій (ТЕБ та НС);
- Спеціальна Урядова комісія з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації (створюється Урядом у разі нагальної потреби при виникненні НС).

На регіональному, місцевому, об'єктовому рівнях координуючим органом ЄДСЦЗ є відповідні комісії з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій (ТЕБ та НС). На державному рівні комісію ТЕБ та НС очолює віце-прем'єр, а на регіональному, місцевому, об'єктовому рівнях – відповідні керівники.

На кожному об'єкті господарювання (підприємстві, установі, організації) створюється система цивільного захисту об'єкта, відповідальність за постійну готовність її сил і засобів несе перший керівник об'єкта – директор, начальник, ректор тощо, який вважається начальником цивільного захисту об'єкта.

Начальник цивільного захисту об'єкта призначає своїх заступників з питань цивільного захисту (одного або декількох), у віданні якого (яких)

знаходяться питання функціонування інженерних комунікацій, матеріально-технічного постачання, евакуації на випадок НС тощо.

При начальникові цивільного захисту об'єкта створюється штаб цивільного захисту об'єкта, склад якого залежить від функціональних особливостей підприємства або установи. У більшості випадків штаб ЦЗ формується із складу посадових осіб, не звільнених від виконання основних обов'язків.

ВИСНОВКИ

У ході магістерської роботи була змодельована модель рупорної антени та оптимізація її параметрів. Проведена оптимізація по переміщенню бокса навколо рупорної антени. Результатом оптимізації є те, що на кутах -30 та 220° коефіцієнт $S(1,1)$ є максимальним. Модель може застосовуватися експериментально для заводів які спеціалізуються на виробництві НВЧ – антен.

Розраховано економічні показники такі як: калькуляція кошторисної вартості робіт з моделювання моделі яка склала 24416,85 грн. та коефіцієнт техніко-економічної ефективності $K_{\text{НДР}} = 1,72$, дослідницька робота вважається ефективною.

Розроблено основні заходи до охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Після закінчення над магістерською роботою можна підвести підсумок і сказати, що змодельована модель може дати уявлення про розповсюдження випромінювання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ЗАКОН УКРАЇНИ “Про радіочастотний ресурс України” (Стаття 1) №1770-III 1 червня 2000 року м. Київ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1770-141>.
2. МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ НАКАЗ «Про затвердження Правил авіаційного електрозв'язку в цивільній авіації України (Правила, п.1.5) 23.09.2003 № 736 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1001-03>.
3. КАБІНЕТ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ ПОСТАНОВА «Про затвердження Технічного регламенту з електромагнітної сумісності обладнання» (Технічний регламент) від 29 липня 2009 р. № 785 м. Київ) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/785-2009-%D0%BF>.
4. Закон України “Про підтвердження відповідності” та “Про стандарти, технічні регламенти та процедури оцінки відповідності” [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3164-15>
5. Кабінет Міністрів України від 7 жовтня 2003 р. № 1585 “ Про затвердження Технічного регламенту модулів оцінки відповідності та вимог щодо маркування національним знаком відповідності, які застосовуються в технічних регламентах ” [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1585-2003-%D0%BF>
6. Закон України “Про телекомунікації” [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1280-15>
7. Кабінет Міністрів України від 29 листопада 2001 р. № 1599 “Правила застосування національного знака відповідності” [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1599-2001-%D0%BF>
8. Пестряков В. Б. Конструирование радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Сош радио, 1969. — 150 с.

9. Arvind Roy, Isha Puri, "Design and Analysis of X band Pyramidal Horn antenna using HFSS", International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE), vol. 4, no. 3, March 2015.

10. Bhanarkar, M.; Waghmare, G.; Navarkhele, V. Analysis of Pyramidal Horn Antenna for J-Band Application. Preprints 2016, 2016070009 (doi: 10.20944/preprints201607.0009.v1).

11. Gurpinder Singh, Deepinder Singh "Design and analysis of conical horn antenna for Ku-band application." International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online): 2319-7064

12. Лопатин А.В., Казанцева Н.Е., Казанцев Ю.Н. // Радиотехника и электроника. 2008. № 5 (53). С. 517-526.

13. Гагулин В.В., Шевчук Ю.А., Корчагина С.К. Радиопоглощающий материал / Патент РФ №2189954.

14. Устименко Л.Г., Владимиров Д.Н., Сергеев М.С. Средство защиты от электромагнитного излучения / Патент РФ № 87046

15. Серебрянников С.В., Китайцев А.А., Чепарин В.П. Композиционный радиопоглощающий материал / Патент РФ № 2380867.

16. Полонский Н. Б. Конструирование электромагнитных экранов для радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Сов. радио, .1079. — 216 с.

17. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи/Сост. Д. Р. Ж. Уайт: Пер. с англ. — В 3-х вып. — М.: Сов. радио, 1977—1679.

18. Банков С.Е., Курушин А.А. Разевиг В.Д. Анализ и оптимизация трехмерных СВЧ структур с помощью HFSS. Под ред. д.т.н., проф. Банкова С.Е. -М., СОЛОН-Пресс, 2004, 208 с.