

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Радіотехнічний факультет
Кафедра радіотехнічних систем

«До захисту допущено»
Зав. кафедри
_____ С.Я. Жук
« » червня 2023 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньою програмою «Радіотехнічні інформаційні технології» за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: " Радіолокаційні системи охорони техногенних споруд на воді "

Виконав:
студент IV курсу, групи РТ-91
Назаров Іван Сергійович

Керівник: доцент, к.т.н. Чмельов Вячеслав Орійович



Рецензент: к.т.н., доц. каф. Адаменко Юлія Федорівна

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут/факультет радіотехнічний

Кафедра радіотехнічних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) 172 Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

С.Я. Жук

(підпис) (ініціали, прізвище)

« » квітня 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Назаров Іван Сергійович

1. Тема проекту «Радіолокаційна системи охорони техногенних споруд на воді»,

керівник проекту доцент, к.т.н. Чмельов Вячеслав Орійович,

затверджені наказом по університету від «30» травня 2023 р. № 2061-с

2. Строк подання студентом проекту 16 червня 2023 року

Вихідні дані до проекту: $R_{\max} = 700$ м – максимальна дальність, $\Delta r = 20$ м - роздільна здатність, $\beta = 15$ – область обзору по азимуту, $\epsilon = 45^\circ$ – кут місця, $P_{\text{хт}} = 1 \cdot 10^{-5}$ – імовірність хибної тривоги, $P_{\text{вв}} = 0.9$ -імовірність вірного виявлення, $K_{\text{ш}} = 3$ - коефіцієнт шумів, $I_{\text{нт}} = 20$ – кількість накопичання сигналів за один цикл вимірювання

3. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити): про-
вести аналіз завдання; оглянути існуючі рішення; розробити структурну та

принципову електричну схему; обрати елементну базу; розробити корпус пристрою; проаналізувати працездатність.

4. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): схема, структурна, схема електрична принципова, складальне креслення друкованого вузла, друкована плата, кресленик вигляд загальний, презентація.
5. Дата видачі завдання 17 квітня 2023 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Узгодження ТЗ з керівником	17.04.21 — 20.04.21	Виконано
2	Огляд аналогів на ринку	21.04.21 — 30.04.21	Виконано
3	Аналіз ТЗ	01.05.21 — 11.05.21	Виконано
4	Розробка структурної і принципової схеми	12.05.21 — 15.05.21	Виконано
5	Проектування електронного модуля	16.05.21 — 22.05.21	Виконано
6	Розрахунок працездатності пристрою	23.05.21 — 28.05.21	Виконано
7	Виконання графічних матеріалів	29.05.21 — 01.06.21	Виконано
8	Підготовка до презентації	02.06.21 — 19.06.21	Виконано

Студент

_____ Іван НАЗАРОВ
(підпис)

Керівник проекту

 _____ Вячеслав ЧМЕЛЬОВ
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект складається з пояснювальної записки обсягом 68 сторінок, містить 40 рисунків, 6 таблиць, 5 додатків та 20 посилань.

Мета даного проекту: Розроблення та дослідження радіолокаційної системи, призначеної для охорони техногенних споруд, розташованих на воді. Основним призначенням приладу є виявлення появи об'єкту на воді з можливістю визначення його швидкості та напрямку руху і передачі відповідних даних за допомогою РЛС. У проекті був проведений огляд аналогів, обрано тип конструкції та елементну базу. Розроблено антену, друковану плату і корпус.

Пристрій призначений для монтажу на балки мосту та самого приладу в кімнату диспетчера. РЛС та сам пристрій зв'язані оптичним зв'язком.

Ключові слова: Радіолокаційна система, гідроелектростанція, фазована антена решітка, патч – антена, діаграма спрямованості.

ANNOTATION.

The diploma project consists of an explanatory note of 68 pages, contains 40 figures, 6 tables, 5 appendices and 20 references.

The purpose of this project: Development and research of a radar system designed to protect man-made structures located on water. The main purpose of the device is to detect the appearance of an object on water with the ability to determine its speed and direction of movement and transmit the relevant data using radar. The project involved a review of analogues, selection of the type of construction and element base. The antenna, printed circuit board and housing were developed.

The device is designed to be mounted on the bridge girders and the device itself in the dispatcher's room. The radar and the device itself are connected by optical communication.

Keywords: Radar system, hydroelectric power plant, phased array antenna, patch antenna, radiation pattern.

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: "Радіолокаційна системи охорони техногенних
споруд на воді"

Київ – 2023 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	3
ВСТУП	4
Розділ 1. Підходи з організації радіомоніторингу зони контролю техногенних споруд.....	6
1.1 Радіолокаційні системи у складі комплексу охорони важливих об’єктів	6
1.2 Теоретичні засади побудови сучасних РЛС.....	15
1.3 Особливості функціонування радіолокаційних систем контролю водного простору.	22
Розділ 2. Розробка радіолокаційної системи охорони техногенних споруд на воді.....	28
2.1 Методи огляду простору радіолокаційними засобами.	29
2.2 Побудова структурної схеми РЛС.....	36
РОЗДІЛ 3. Розробка підсистем радіолокаційної системи охорони техногенних споруд.....	42
3.1 Розробка антенної системи з заданими характеристиками випромінювання електромагнітної енергії.....	42
3.2 Визначення типу радіолокаційного сигналу зондування простору	49
3.3 Проектування підсилювача проміжної частоти.....	53
3.4 Проектування блоку РЛС з формування візуального сигналу тривоги.	56

					<i>РТ91.468332.001 ПЗ</i>		
<i>ЗМ.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розробив</i>	<i>Назаров І.С.</i>				<i>Радіолокаційна системи охорони техногенних споруд на воді</i>	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>
<i>Перевірів</i>	<i>Чмельов В.О.</i>						<i>1</i>
<i>Н. Контр.</i>						<i>РТ-91 РТФ</i>	
<i>Затвердив</i>							

ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	66
ДОДАТОК А.....	69
ДОДАТОК Б.....	74
ДОДАТОК В.....	77
ДОДАТОК Г.....	79
ДОДАТОК Д.....	81

					PT91.468332.001 ПЗ	Лист
						2
Зм.	Лист	№ док.им.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ГЕС — Гідроелектростанція

БПЛА — Безпілотний літальний апарат

РЛС — Радіолокаційна станція (система)

ППО — Протиповітряна оборона

ФАР — Фазована антенна решітка

ДС — Діаграма спрямованості

ФНЧ — Фільтр низьких частот

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						3
Зм.	Лист	№ док.им.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Охорона техногенних об'єктів, таких як мости, нафтопроводи, гідротехнічні споруди та інші, є вкрай важливим завданням у сучасному світі. Воно не тільки забезпечує безпеку людей і навколишнього середовища, а й запобігає можливим економічним втратам, пов'язаним із пошкодженням цих об'єктів.

Радіолокаційні системи охорони техногенних споруд на воді є ефективним інструментом у цій галузі. Вони дають змогу виявляти можливі загрози, як-от великі судна, льодові утворення, стихійні лиха тощо, на ранніх етапах і вживати необхідних заходів для їх запобігання.

Однак, для того щоб радіолокаційна система охорони техногенних споруд на воді працювала ефективно, необхідно правильно розробити її основні параметри. У цьому процесі необхідно враховувати безліч чинників, як-от топологію водної поверхні, метеорологічні умови, особливості радіочастотного спектра та інші. У цій роботі ми розглянемо основні параметри радіолокаційної системи охорони техногенних споруд на воді та розглянемо, як вони впливають на її роботу.

Мета роботи: Розроблення основних параметрів радіолокаційної системи, призначеної для охорони техногенних споруд, розташованих на воді.

Часткові завдання, які необхідно виконати, щоб досягти мету:

1. Аналіз радіолокаційних систем у складі комплексу охорони важливих об'єктів.
2. Аналіз теоретичних засад побудови сучасних РЛС.
3. Аналіз особливостей функціонування радіолокаційних систем контролю водного простору.
4. Аналіз методів огляду простору радіолокаційними засобами.
5. Аналіз основних параметрів РЛС контролю водної поверхні.
6. Побудова структурної схеми РЛС.
7. Розробка антенної системи з заданими характеристиками випромінювання електромагнітної енергії.

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						4
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

8. Визначення типу радіолокаційного сигналу зондування простору.
9. Проектування окремого блоку РЛС.
10. Проектування підсилювача проміжної частоти.

Методи та інструменти розрахунків та дослідження:

Системний аналіз технічних рішень розробки існуючих радіолокаційних систем, порівняльний аналіз методів огляду простору типів радіолокаційних сигналів, класифікація радіолокаційних систем за функціональним призначенням. Застосовувалося спеціальне програмне забезпечення Matchad, Matlab, Altium designer, Solid Works, Multsim в студентських та демонстраційних версіях.

Очікувані результати: дана система має два блоки РЛС та систему вмикання сигналу тривоги для оператора РЛС уразі виявлення об'єкта який рухається в сторону водної споруди. В РЛС використовується прямокутний радіоімпульс, з них формується пачка радіоімпульсів. РЛС здійснює неперервний огляд зони контролю без сканування. Для типової - міст на кожному опорі поставлено просту надійну герметичну РЛС без механічних частин. В результаті побудовано інтегральне радіолокаційне поле моніторингу зони контролю декількох РЛС з перекриванням діаграм спрямованості. Розроблені основні параметри уніфікованої радіолокаційної системи, які у сукупності формують радіолокаційний комплекс огляду надводного простору навколо техногенної споруди.

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лист	№ док.им.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ПІДХОДИ З ОРГАНІЗАЦІЇ РАДІОМОНІТОРИНГУ ЗОНИ КОНТРОЛЯ ТЕХНОГЕННИХ СПОРУД

1.1 Радіолокаційні системи у складі комплексу охорони важливих об'єктів

Радіолокаційні системи є невід'ємною частиною комплексу охорони важливих об'єктів і мають велику актуальність нині. Це пов'язано з тим, що в умовах сучасної загрози безпеці, коли можливі напади терористів, злочинних елементів та інших ворожих угруповань, забезпечення безпеки об'єктів стає завданням першорядної важливості.

Радіолокаційні системи дають змогу виявляти порушників на значній відстані від об'єкта, що охороняється, що дає можливість оперативно реагувати на будь-які можливі загрози. Крім того, такі системи дають змогу контролювати повітряний простір, що також є важливим для забезпечення безпеки об'єктів [1].

Радіолокаційні системи можуть бути різних типів: земні, морські, повітряні, космічні тощо. У складі комплексу охорони важливих об'єктів можуть використовуватися як стаціонарні, так і мобільні радіолокаційні системи, які можуть працювати як в автономному режимі, так і в складі єдиної системи управління.

Однією з переваг радіолокаційних систем є їхня здатність працювати за будь-яких погодних умов, зокрема й за умов обмеженої видимості, коли звичайні засоби виявлення та спостереження можуть бути неефективними.

Таким чином, радіолокаційні системи мають велику актуальність у складі комплексу охорони важливих об'єктів і є необхідним засобом гарантування безпеки в умовах сучасної загрози безпеці [2].

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

Один із таких випадків стався в Затоці Одеської області 2022 року, коли було здійснено атаку на міст через річку Дністер. 26 квітня, 2, 10, 12, 17, 30 травня з боку окупантів були нанесені ракетні удари по мосту через Дністровський лиман [3].

Унаслідок інцидентів міст було частково зруйновано, а рух по ньому було перекрито на тривалий час, але деякі ракети наше ПВО змогли сбити. Якби на мосту були встановлені радіолокаційні системи, наші б захисники змогли б сбити ще більше крилатих ракет та захистити цей стратегічний об'єкт.

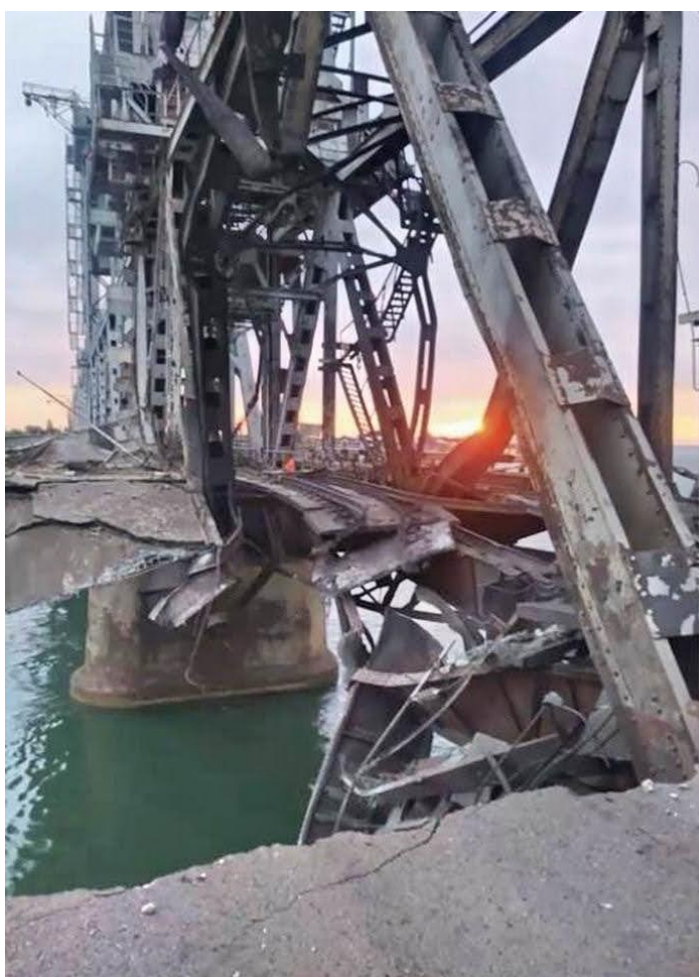


Рис. 1.1 - міст у Затоці після численних атак і влучань

Також можна сказати про атаку беспілотниками-камікадзе 11 лютого 2023 року. На рисунку видно, що БПЛА влучила по мосту, але якоїсь шкоди завдати мосту не змогла [4].

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		



Рис. 1.2 - Міст у Затоці в час влучання безпілотної камери-камікадзе

Через ці факти впливає висновок, що такі важливі стратегічні об'єкти повинні мати радіолокаційні засоби контролю руху на воді. В приклад можу поставати РЛС “Барсук - А”. Він може автоматично виявити людину, наземний та надводний транспортний засіб [5].

Також можна сказати, що якщо є потреба охорони мостів, то і ГЕС теж потрібні такі системи.



Рис. 1.3 – РЛС “Барсук – А”

Охорона гребель ГЕС в Україні є дуже важливим питанням, оскільки безпека цих об'єктів безпосередньо пов'язана з безпекою життя і здоров'я людей, а також з працездатністю енергетичної системи країни.

Греблі ГЕС в Україні - це великі гідротехнічні споруди, які призначені для виробництва електроенергії та забезпечення водопостачання населення і

промисловості. Вони мають складну інфраструктуру і є одними з найбільш великих і відповідальних об'єктів енергетичної інфраструктури країни.

Охорона гребель ГЕС містить у собі низку заходів, спрямованих на забезпечення безпеки цих об'єктів. Одним із важливих аспектів охорони є контроль за доступом на територію ГЕС і до самих гребель. Для цього зазвичай використовують системи відеоспостереження, датчики руху та інші засоби технічної безпеки.

Важливим елементом охорони гребель ГЕС є також контроль за станом і технічним обслуговуванням обладнання. При цьому використовуються різні системи моніторингу, включно з дистанційним спостереженням, системи автоматизованого контролю та діагностики [2].

Крім того, існує низка профілактичних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки гребель ГЕС, таких як навчання персоналу, проведення тренувальних навчань і симуляцій можливих аварійних ситуацій.

Серед типів радіолокаційних систем, які можуть використовуватися на ГЕС, можуть бути такі:

1. Радари для вимірювання витрати води і контролю рівнів води в резервуарах і каналах
2. Радари для виявлення перешкод у руслах річок і озер
3. Радари для виявлення птахів та інших тварин, які можуть створювати загрозу для роботи ГЕС
4. Радари для виявлення повітряних цілей і контролю повітряного простору над ГЕС [1].

Всі ці радари можуть бути інтегровані в єдину систему управління і контролю робіт ГЕС для забезпечення безпечної та надійної роботи цих об'єктів.

Наприклад візьмемо Савранську ГЕС. Це мала гідроелектростанція, що знаходиться на річці Південний Буг біля смт Саврань Одеської області України [6].

Так як, я не маю інформацію про захист цієї греблі, то надам приклад, як можна її захистити.

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						9
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		



Рис. 1.4 – Савранська ГЕС

Існує низка радіолокаційних систем, які можуть використовуватися для захисту Савранської ГЕС в Україні. Ці системи допомагають забезпечити безпеку на території ГЕС, виявити можливі загрози і швидко реагувати на них. Деякі з них можуть включати в себе:

1. Радари контролю повітряного простору - ці системи забезпечують виявлення літальних апаратів, як малих, так і великих, включаючи безпілотні літальні апарати (БПЛА) або дрони. Це допомагає запобігти можливим атакам на ГЕС з повітря.
2. Радари для виявлення перешкод на поверхні води - такі системи дають змогу виявити плавучі об'єкти, наприклад, судна, які можуть становити загрозу для ГЕС.
3. Радари для виявлення перешкод на землі - це можуть бути різні радари, наприклад, стаціонарні або рухомі, які допомагають виявити можливі загрози на території ГЕС.
4. Радари контролю погодних умов - такі системи можуть використовуватися для виявлення несприятливих погодних умов, таких як сильний вітер, грози, сильний дощ і снігопади. Це дає змогу вжити заходів для запобігання можливих аварій на ГЕС.
5. Радари контролю зон безпеки - це можуть бути різні системи, наприклад, радари для контролю зон безпеки на в'їздах і виїздах, контролю периметра території, що охороняється, тощо [8].

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

Всі ці радари можуть бути інтегровані в єдину систему управління і контролю Савранська ГЕС і швидке реагування на можливі загрози. Також, таким же способом можна контролювати Київську, Каневську, Дніпровську ГЕС, мости через Дніпро та інші [6].



Рис. 1.5 – Каневська ГЕС



Рис. 1.6 – Київська ГЕС

Пошкодження цих ГЕС може призвести до різних потенційних лих. Ось кілька можливих наслідків:

1. Повені: Пошкодження ГЕС може призвести до викиду величезного об'єму води з резервуара, що спричинить повені вниз по річці Дніпро. Це може призвести до затоплення прилеглих територій, будинків, підприємств та інфраструктури, а також до втрати життів і пошкодження сільськогосподарських угідь.
2. Збиток для довкілля: У разі пошкодження ГЕС може статися витік нафтопродуктів або інших небезпечних речовин, які можуть негативно позначитися на навколишньому середовищі та водних екосистемах. Це може призвести до забруднення води, знищення риби та інших водних організмів, а також до довгострокового збитку для природи.
3. Проблеми з енергопостачанням: Пошкодження гідроелектростанцій може призвести до перебоїв в енергопостачанні. ГЕС відіграють важливу роль у виробництві електроенергії, тому їхнє вимкнення може призвести до зниження або повного припинення постачань електрики в

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						11
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

регіоні, що спричинить проблеми для жителів, підприємств і громадських служб.

4. Економічні втрати: Пошкодження ГЕС може спричинити значні економічні втрати. Це може бути пов'язано з руйнуванням будівель та інфраструктури, збитками для сільськогосподарського сектору, втратою робочих місць і зниженням виробництва електроенергії, що призведе до економічних труднощів для регіону.
5. Соціальні наслідки: Втрата життів, руйнування будинків і вимушена евакуація людей через повені або інші наслідки пошкодження ГЕС можуть призвести до соціальних проблем.

Також треба згадати про мости, наприклад візьмемо мости у Дніпрі. Пошкодження їх може призвести до серйозних наслідків і потенційних лих. Ось кілька можливих сценаріїв:

1. Проблеми з транспортною інфраструктурою: Мости є ключовими елементами транспортної інфраструктури, що забезпечують шлях через річку. Пошкодження мостів може призвести до повного або часткового блокування транспортного сполучення. Це може спричинити затори, перемикання руху на інші маршрути, затримки в доставці вантажів і підвищене навантаження на інші дороги та мости.
2. Економічні втрати: Пошкодження мостів у Дніпрі може призвести до значних економічних втрат. Відсутність доступу до ключових районів і підприємств може призвести до зниження виробництва, втрати доходів і погіршення ділової активності в регіоні. Крім того, ремонт і відновлення мостів вимагають значних фінансових і часових витрат.

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						12
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

3. Відрив від громадських послуг: Мости в Дніпрі пов'язують різні райони і забезпечують доступ до громадських послуг, таких як медичні заклади, школи, торгові центри та державні установи. Пошкодження мостів може призвести до ускладнень в отриманні доступу до цих послуг для місцевого населення.
4. Безпека та рятувальні операції: Пошкоджені мости можуть становити загрозу для безпеки людей. Можливі обвалення, що може призвести до травм і втрати життів. Крім того, у разі надзвичайних ситуацій, таких як пожежа або стихійні лиха, пошкоджені мости можуть ускладнити проведення рятувальних операцій та евакуацію людей.
5. Вплив на туризм і розвиток: Мости в Дніпрі часто є визначними пам'ятками і приваблюють туристів. Пошкодження мостів може знизити привабливість регіону для туристів і негативно позначитися на розвитку туристичної індустрії та економічному потенціалі регіону [2].

У разі пошкодження мостів у Дніпрі важливо швидко та ефективно реагувати, проводити необхідні ремонтні роботи та вживати заходів для мінімізації негативних наслідків для населення та економіки регіону.



Рис. 1.7 –Дніпровська ГЕС

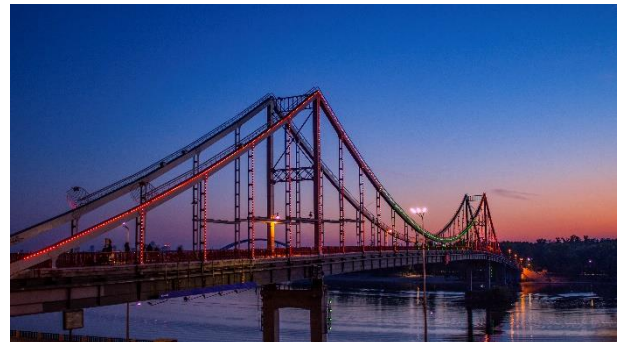


Рис. 1.8 –Парковий міст через Дніпро

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						13
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

Через це можна зробити такий висновок:

Охорона ГЕС в Україні має велику важливість для забезпечення безпеки національного енергетичного комплексу та збереження довкілля. ГЕС - це важливі об'єкти енергетичної інфраструктури, які забезпечують стабільність енергопостачання та виробляють електроенергію для тисяч підприємств та домогосподарств. Однак, разом з цим, ГЕС також можуть стати об'єктом терористичних атак або кібернетичних нападів, що може призвести до серйозних наслідків для економіки та безпеки населення.

Тому важливість охорони ГЕС полягає у забезпеченні захисту об'єктів від можливих загроз, вчасної реакції на можливі аварійні ситуації та швидкого відновлення роботи ГЕС у разі їх виникнення. Для цього необхідно використовувати сучасні технології та системи, такі як радіолокатори, відеоспостереження, системи контролю доступу та інші, щоб забезпечити максимальний рівень безпеки та ефективного контролю на території ГЕС.

Висновуючи, можна сказати, що охорона ГЕС є надзвичайно важливою для енергетичної стабільності та безпеки національної економіки України. Це вимагає використання сучасних технологій та систем, які забезпечать ефективний контроль та захист від можливих загроз.

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						14
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

1.2 Теоретичні засади побудови сучасних РЛС

Виконання окремого завдання радіолокаційного спостереження, наприклад виявлення цілі або вимірювання дальності до неї, здійснюється за допомогою однойменних радіолокаційних пристроїв - радіолокаційного детектора або радіолокаційного вимірювача дальності відповідно. Сукупність радіолокаційних пристроїв, призначених для розв'язання якогось спільного завдання, наприклад забезпечення перехоплення повітряної цілі або ураження наземної цілі тощо, називається радіолокаційною системою (РЛС), або радіолокатором. Технічна реалізація такої системи зазвичай іменується радіолокаційною станцією, а в англomовній літературі - радаром.

Джерелом інформації про ціль у радіолокації слугує радіолокаційний сигнал. Залежно від способів формування радіолокаційного сигналу розрізняють такі типи РЛС, або методи радіолокації.

1. Активні РЛС, або активний метод радіолокаційного спостереження. За цього методу за допомогою РЛС формується радіосигнал, який випромінюється в напрямку на ціль (зондувальний сигнал). У результаті взаємодії зондувального сигналу з ціллю утворюється відбитий сигнал, який надходить на вхід приймача РЛС і потім обробляється в даному пристрої з метою вилучення інформації про спостережувану ціль. Цей метод радіолокаційного спостереження набув найбільшого поширення в сучасних РЛС. Необхідно зауважити, що під час використання активного методу пристрій формування радіосигналу (передавач) і приймач РЛС перебувають в одній точці простору.

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						15
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

2. Активні РЛС з активною відповіддю. Як і в попередньому випадку, за допомогою РЛС формується радіосигнал, який випромінюється в напрямку на ціль (зондувальний сигнал). Однак радіолокаційний сигнал формується не внаслідок відбиття випромінюваних електромагнітних коливань ціллю, а завдяки перевипромінюванню їх за допомогою спеціального пристрою, іменованого відповідачем-ретранслятором. Цей метод широко використовується в системах визначення державної приналежності спостережуваних об'єктів, управління повітряним рухом, а також у радіонавігаційних системах.
3. Напівактивний метод радіолокації, або напівактивні РЛС. Під час використання цього методу радіолокаційний сигнал формується, як за активного методу, шляхом відбиття зондувальних електромагнітних коливань від цілі. Але передавальний пристрій (передавач РЛС) і пристрій, що приймає відбиті сигнали (приймач РЛС), рознесені в просторі. Цей метод, наприклад, широко використовується під час наведення керованих ракет класу "повітря - повітря" на повітряні цілі, які уражаються.
4. Пасивна радіолокація, або пасивний метод радіолокаційного спостереження, заснований на прийомі власного радіовипромінювання цілей. Відмінною особливістю таких систем є наявність у їхньому складі тільки приймального пристрою. Відсутність необхідності формування зондувального коливання робить такі системи високозавадозахищеними. Такі РЛС широко застосовують під час пеленгації радіовипромінювальних систем противника, наприклад РЛС, що входять до системи управління ППО протиборчої сторони [8].

Таким чином, радіолокаційні системи можуть бути активними, напівактивними, активними з активною відповіддю і пасивними. Крім того, всі наявні РЛС можна розділити на такі основні групи.

До першої групи входять РЛС класу "повітря - повітря", основним завданням яких є виявлення, вимірювання координат і параметрів руху повітряних цілей. До даних РЛС відносяться, наприклад, радіолокаційні станції перехоп-

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						16
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

лення і прицілювання, що встановлюються на літаках-винищувачах, або авіаційні РЛС дальнього радіолокаційного виявлення повітряних цілей.

Другу групу складають РЛС класу "повітря - поверхня". Ці РЛС служать для отримання радіолокаційного зображення земної поверхні або інформації про координати і параметри руху наземних цілей. До цих систем належать, наприклад, РЛС огляду Землі, які забезпечують отримання радіолокаційного зображення поверхні Землі та інформації про координати і параметри руху наземних цілей. До цієї групи входять також і РЛС, що забезпечують радіолокаційну розвідку наземних об'єктів і спостереження малорозмірних наземних цілей.

До третьої групи входять РЛС класу "поверхня - повітря", основним завданням яких, як і радіолокаторів першої групи, є виявлення, вимірювання координат і параметрів руху повітряних цілей. Однак місцем встановлення таких систем є або поверхня Землі, або об'єкти наземної та морської техніки (рухомі або стаціонарні). Типовим представником таких систем є РЛС виявлення, що входять до систем управління повітряним рухом або протиповітряної оборони країни, а також РЛС, покликані для спостереження за метеорологічною обстановкою.

Четверту групу складають РЛС класу "поверхня - поверхня", основним завданням яких є виявлення, вимірювання координат і параметрів руху наземних цілей або повітряних об'єктів під час переміщення останніх по поверхні Землі. Типовим представником таких систем є, наприклад, РЛС огляду льотного поля, які входять до систем керування рухом літаків під час рулювання їх льотним полем.

З наведених прикладів РЛС заявлених класів випливає, що на першому місці в назві класу стоїть слово, що позначає місце встановлення радіолокатора, а на другому - слово, що визначає об'єкт, за яким працює РЛС. Зокрема, наприклад, якщо йдеться про клас РЛС "поверхня - повітря", то це означає, що РЛС розташована на земній поверхні, а об'єктами її спостереження є повітряні цілі [1].

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						17
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

Крім зазначених, існує ще одна група РЛС, які будуються за багатофункціональним принципом і об'єднують у собі розв'язання завдань, наприклад, тих, що покладаються як на радіолокаційні системи класу "повітря - повітря", так і на системи класу "повітря - поверхня". Інакше кажучи, ці РЛС об'єднують у собі функції радіолокаторів різних класів. Такими, наприклад, є бортові РЛС, що встановлюються на сучасні винищувачі.

Водночас необхідно зазначити, що, незважаючи на проведений вище поділ РЛС на класи, існують спеціальні РЛС, які будують для розв'язання специфічних завдань, і під цей поділ на класи вони не підпадають. Наприклад, РЛС, що розв'язують задачі діагностики стану організму людини або спостереження об'єктів, прихованих за перешкодами, або спостереження космічних об'єктів тощо. Але загалом наведена класифікація дає змогу розділити всі наявні РЛС за функціональним призначенням.

Таким чином, радіолокаційні системи поділяються на п'ять великих класів: РЛС класу "повітря - повітря", РЛС класу "повітря - поверхня", РЛС класу "поверхня - повітря", РЛС класу "поверхня - поверхня" і багатофункціональні РЛС.

РЛС (радіолокаційні системи) можуть працювати в різних діапазонах радіочастот, які визначаються вимогами до конкретних завдань, які ці системи повинні виконувати [8].

Основні діапазони РЛС систем:

1. Діапазон дуже високих частот (VHF, 30-300 МГц) - використовується для радіолокаційного виявлення і контролю повітряного простору, а також для зв'язку на великих відстанях.
2. Діапазон ультракоротких хвиль (UHF, 300-1000 МГц) - застосовується для радіолокації наземних і повітряних об'єктів, а також для зв'язку на середніх відстанях.

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						18
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

3. Діапазон надвисоких частот (SHF, 1-10 ГГц) - використовується для радіолокаційної розвідки, виявлення і визначення місця розташування об'єктів, а також для зв'язку на невеликих відстанях.
4. Діапазон екстремально високих частот (EHF, 30-300 ГГц) - застосовується для радіолокації високоточних об'єктів, таких як супутники, дослідження атмосфери і космічних об'єктів.

Крім того, існують також системи РЛС, що працюють в інших діапазонах частот, такі як лазерні та інфрачервоні РЛС. Залежно від завдання і вимог до системи, вибирається відповідний діапазон радіочастот, який забезпечує оптимальну ефективність роботи системи [8].

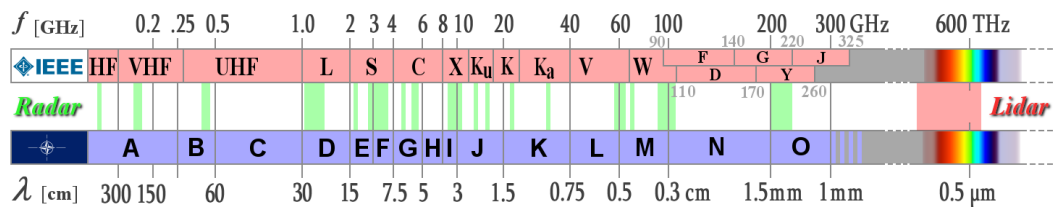


Рис. 1.9 – Діапазони частот і довжин хвиль, що використовуються в радіолокації

РЛС виконують низку різноманітних завдань, які залежать від їхнього призначення і конкретних вимог до системи. Основними завданнями РЛС систем є:

1. Виявлення об'єктів - РЛС використовують для виявлення різних об'єктів, таких як повітряні та морські судна, безпілотні літальні апарати, ракети, метеорологічні балони і навіть птахи.
2. Визначення координат і траєкторій об'єктів - РЛС дають змогу визначати координати об'єктів та їхні траєкторії руху, що дає змогу здійснювати наведення зброї, переслідування і відстеження об'єктів.

3. Ідентифікація об'єктів - РЛС можуть визначати тип об'єкта, його розміри, швидкість та інші характеристики, що дає змогу ідентифікувати об'єкт і ухвалювати рішення про подальші дії.
4. Попередження про аварійні ситуації - РЛС можуть використовуватися для запобігання аварійних ситуацій, таких як зіткнення повітряних суден або падіння великих предметів.
5. Розвідка і спостереження - РЛС можуть використовуватися для збору інформації про район спостереження, наприклад, про погодні умови, зміни в географії місцевості тощо.
6. Радіолокаційна протидія - РЛС використовуються для виявлення і придушення радіолокаційних систем противника.
7. Зв'язок - РЛС можуть використовуватися для передавання та приймання інформації на різних дистанціях, що робить їх невід'ємною частиною систем зв'язку у військових і цивільних сферах [1].

Сучасні тенденції розвитку РЛС систем пов'язані зі збільшенням їхніх функціональних можливостей, підвищенням точності та швидкості роботи, зменшенням розмірів і ваги, а також збільшенням дальності виявлення та визначення координат об'єктів.

Одним із напрямів розвитку є створення багатофункціональних РЛС систем, які об'єднують у собі кілька видів РЛС і дають змогу виконувати одразу кілька завдань, як-от виявлення і наведення на ціль, визначення характеристик руху тощо.

Також існує тенденція до використання більш високочастотних діапазонів радіохвиль, що дає змогу збільшити роздільну здатність РЛС і зменшити розміри антен.

Ще одним напрямком розвитку РЛС систем є створення більш ефективних систем придушення завад, які дають змогу точніше і швидше виявляти об'єкти в умовах поганої видимості або пригнічувати сигнали противника.

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						20
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		



Рис. 1.10 – Модель нового “Мінерал - У”

Також останніми роками активно розвивається технологія адаптивних РЛС систем, які дають змогу змінювати параметри роботи РЛС у реальному часі залежно від умов і завдань, що підвищує їхню ефективність і точність.

Загалом, сучасні тенденції розвитку РЛС систем спрямовані на збільшення їхніх можливостей, підвищення надійності та точності роботи, а також на створення більш універсальних і адаптивних систем, здатних виконувати безліч завдань у різних умовах [16].

1.3 Особливості функціонування радіолокаційних систем контролю водного простору.

РЛС (радіолокаційна станція) для водного транспорту є важливим навігаційним обладнанням для виявлення інших суден і визначення їхньої відстані та напрямку руху.

Існує кілька типів РЛС для водного транспорту, кожен з яких має свої особливості та застосування. Одним із найпоширеніших типів є РЛС із круговим оглядом, який сканує весь горизонтальний кут навколо судна і відображає інформацію на екрані управління. Це дає змогу капітану судна отримати попередження про об'єкти, що наближаються, такі як інші судна або берегові перешкоди.

Також існує РЛС, яка використовує технологію зворотного розсіювання, щоб виявити предмети, як-от крижину або плаваючий контейнер, який не може бути виявлений за допомогою звичайної радіолокації.

Крім того, для навігації на мілководді, де глибина може бути змінною і непередбачуваною, існують РЛС, які здатні вимірювати глибину води і попереджати про мілководдя, що наближаються.

Загалом, РЛС для водного транспорту є важливим інструментом для безпечного та ефективного плавання [2].

В приклад можу поставити такі РЛС водного транспорту:

1. РЛС "Граніт" - універсальна морська РЛС дальнього виявлення, яка використовується на кораблях і підводних човнах. Ця РЛС може виявляти інші судна на відстані до 400 км і має можливість виявлення літаючих об'єктів.
2. РЛС "Посейдон" - РЛС дальнього виявлення, яка використовується на великих морських суднах і берегових станціях. Вона може вияв-

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						22
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

ляти інші судна на відстані до 300 км і має можливість виявлення літаючих об'єктів.

3. РЛС "Паллада" - РЛС малої потужності, що використовується на невеликих судах і катерах. Вона може виявляти інші судна на відстані до 20 км.
4. РЛС "Кліпер" - РЛС середньої потужності, що використовується на судах і яхтах. Вона може виявляти інші судна на відстані до 40 км.
5. РЛС "Амур" - РЛС, яка використовується для навігації на річках і каналах. Вона може виявляти інші судна на відстані до 10 км і має можливість виявлення берегових об'єктів [1].

Морська радіолокація - це спосіб виявлення об'єктів на морській поверхні, під морською поверхнею і в повітрі за допомогою радіолокаційних систем. Морська радіолокація широко використовується в морському транспорті, морському і підводному будівництві, океанографії, геологічних дослідженнях і військових операціях.

Системи морської радіолокації можуть бути дальньої, середньої та ближньої дії залежно від дальності виявлення об'єктів. Деякі з типів морської радіолокації включають:

Океанографічна радіолокація - використовується для дослідження морської поверхні і підводної геоморфології. Ця система виявляє топографію морської поверхні, глибину і структуру морського дна.

Навігаційна радіолокація - використовується для визначення відстані, напрямку і швидкості руху об'єктів на морській поверхні. Ця система допомагає в навігації суден і підводних човнів.

Радіолокаційна система управління трафіком суден - використовується для виявлення і відстеження суден на морській поверхні, контролю і управління рухом суден, а також для запобігання зіткненням [2].

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						23
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

Радіолокаційна система виявлення поверхневих цілей - використовується для виявлення суден, льоду та інших об'єктів на морській поверхні.

Радіолокаційна система виявлення підводних цілей - використовується для виявлення підводних об'єктів, таких як підводні човни і мінні поля.

Радіолокаційна система виявлення повітряних цілей - використовується для виявлення повітряних об'єктів, таких як літаки і вертольоти.

Залежно від специфічних завдань і вимог, системи морської радіолокації можуть відрізнятися за частотою випромінювання, потужністю, роздільною здатністю, швидкістю повторення та іншими характеристиками.

Морська радіолокація має свої особливості порівняно з радіолокацією на суші. Ось деякі з них:

1. Сильний вплив морського клімату. Хвилювання, дощ, туман, сніг, крижані утворення та інші атмосферні умови можуть впливати на якість сигналу морської радіолокації.
2. Зміна середовища поширення сигналу. Сигнал морської радіолокації може відбиватися від різних об'єктів на морській поверхні, таких як судна, лід, буї тощо. Це може викликати спотворення в сигналі і ускладнювати процес його інтерпретації.
3. Різні типи цілей. У морській радіолокації можуть виявлятися різні типи цілей, включно з поверхневими і підводними об'єктами, а також повітряними цілями. Кожен тип цілі має свої особливості, і вимагає спеціальних методів виявлення і відстеження.
4. Використання радіолокаційних систем на судах. Багато суден мають власні радіолокаційні системи для виявлення інших суден і запобігання зіткненням. Це може призвести до виникнення перешкод і взаємних втручань у роботі систем [2].

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						24
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

5. Конкуренція за використання частот. У зв'язку з обмеженістю доступних частот для використання в морській радіолокації, може виникати конкуренція за доступ до них між різними системами.
6. Простір обмежений з низу площиною, Поверхня як правило коливається і дає завади роботі РЛС.

Усі ці особливості можуть впливати на ефективність і точність роботи морської радіолокації. Тому розробка і використання морської радіолокації вимагає глибоких знань про морське середовище і технології радіолокації, а також високої кваліфікації фахівців [2].

В приклад можу поставити такі системи морської радіолокації:

1. Система радіолокаційного виявлення та відстеження суден (АРПА) - використовується для відстеження руху суден на морі та запобігання зіткненням.
2. Система ідентифікації автоматичної ідентифікації (AIS) - дає змогу суднам обмінюватися інформацією про своє положення, курс, швидкість та інші дані.
3. Радіолокаційний альтиметр - використовується для вимірювання висоти над поверхнею моря, що дає змогу суднам і літакам визначити своє положення.
4. Радіолокаційний глибиномір - використовується для вимірювання глибини води в морі, що дає змогу суднам та іншим судновим об'єктам уникати небезпечних ділянок.

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						25
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

5. Система виявлення нафтових розливів - використовується для виявлення нафтових розливів на морі за допомогою радіолокаційних датчиків, щоб вчасно вживати заходів щодо їх ліквідації.
6. Система виявлення льоду - використовується для виявлення льоду на морі та визначення його розташування, що дає змогу суднам уникати небезпечних зон [1].

Це тільки кілька прикладів систем морської радіолокації, їх багато більше, і вони всі відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки та ефективності морського транспорту і діяльності.

Також, розберемо, як приклад, РЛС “Дельта-М” для берегової охорони:



Рис. 1.11 – РЛС “Дельта - М” для берегової охорони

РЛС “Дельта-М” - це радіолокаційна станція, призначена для забезпечення берегової охорони та нагляду над прибережними водами. Вона широко використовується в морській і прибережній сферах, таких як морські порти, прибережні зони та інші об'єкти інфраструктури [17].

РЛС "Дельта-М" оснащена передовими радіолокаційними технологіями і здатна виконувати завдання виявлення, ідентифікації та відстеження об'єктів

					<i>РТ91.468332.001 ПЗ</i>	Лист
						26
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

повітряного і морського простору. Вона може виявляти і відстежувати як об'єкти, що летять низько, як-от кораблі і катери, так і повітряні цілі, включно з літаками і вертольотами.

Ось деякі особливості та можливості РЛС Дельта-М:

1. Дальність виявлення: РЛС Дельта-М здатна виявляти об'єкти на значній відстані. Залежно від умов експлуатації та характеристик цілей, дальність виявлення може досягати декількох десятків кілометрів.
2. Висока роздільна здатність: РЛС Дельта-М може надавати високу роздільну здатність, що дає змогу визначати характеристики цілі, як-от розмір, швидкість і напрямок руху.
3. Відстеження декількох цілей: Система здатна одночасно відстежувати і супроводжувати кілька цілей, забезпечуючи повну ситуаційну обізнаність про рухомі об'єкти в прибережних зонах.
4. Ідентифікація об'єктів: РЛС Дельта-М має можливість ідентифікувати типи об'єктів, використовуючи базу даних цілей, що дає змогу розрізняти дружні та ворожі судна.
5. Висока стійкість до перешкод: РЛС має алгоритми фільтрації та придушення перешкод, що дає змогу зменшити вплив небажаних віддлуння і перешкод від поверхні води або місцевості.
6. Інтеграція з іншими системами: РЛС "Дельта-М" може бути інтегрована з іншими системами спостереження і зв'язку для обміну інформацією та координації дій з іншими системами [17].

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						27
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОХОРОНИ ТЕХНОГЕННИХ СПОРУД НА ВОДІ

Для досягнення мети роботи щодо визначення основних параметрів РЛС, дипломний проект будемо проводити за наступними етапами:

1. Вибір типовго моста як об'єкта охорони техногенної споруди на воді. Проведення аналізу та вибору такого об'єкта, який буде репрезентативним для дослідження інтегрального радіолокаційного поля.
2. Проектування РЛС без механічних частин з високим ступенем захисту від негативного впливу оточуючого середовища. Розробка простої і надійної радіолокаційної системи, яка буде встановлена на кожній опорі моста. Гірметичність РЛС забезпечить захист від впливу зовнішніх чинників, таких як атмосферні опади і волога.
3. Розрахунок діаграми спрямованості типової антени. Використовуючи математичні моделі та симуляції, проведення розрахунків діаграми спрямованості для типової антени, яка буде використовуватися в гірметичній РЛС. Дана діаграма повинна бути оптимізована для забезпечення перекриття зони контролю моста при установці декількох РЛС.
4. Створення інтегрального радіолокаційного поля. Розміщення декількох РЛС на опорах моста з урахуванням оптимальної діаграми спрямованості та перекриття зони контролю. Взаємодія і координація між РЛС повинні бути забезпечені для ефективного збору та аналізу даних.
5. Моніторинг та аналіз даних. Збір та аналіз радіолокаційних даних, отриманих від кожної РЛС. Оцінка стану моста, виявлення можли-

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						28
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

вих дефектів або проблем, а також вжиття відповідних заходів з обслуговування і ремонту на основі отриманої інформації.

2.1 Методи огляду простору радіолокаційними засобами.

Зона огляду РЛС - область простору, в якій виконується радіолокаційний огляд. Радіолокаційним оглядом називається періодичне опромінення всіх точок заданої області простору і приймання сигналів від цілей, що знаходяться там.

Характеристики радіолокаційного огляду залежать від виду діаграми спрямованості антени РЛС і закону зміни її положення в просторі, за якими найбільшою мірою забезпечуються задані тактико-технічні вимоги [8].

РЛС (радіолокаційна станція) являє собою систему, що використовує радіохвилі для виявлення і відстеження об'єктів у просторі. Огляд простору РЛС може здійснюватися за допомогою різних методів:

1. Секторний огляд: У цьому методі використовується антена з широким променем, яка охоплює певний сектор простору. Шляхом зміни напрямку і ширини променя здійснюється огляд простору всередині сектора.
2. Круговий огляд: У цьому методі антена РЛС обертається навколо себе, забезпечуючи повний круговий огляд простору. У міру обертання антени, вона сканує всі напрямки навколо себе.
3. Гвинтовий огляд: У цьому методі антена РЛС рухається гвинтовою траєкторією, обертаючись навколо вертикальної осі й одночасно рухаючись у горизонтальному напрямку. Це дає змогу забезпечити повне покриття простору з більш рівномірним розподілом випромінюваної енергії.
4. Спіральний огляд: У цьому методі антена РЛС рухається спіральною траєкторією, починаючи з деякої центральної точки і розширюючись у міру руху. Це дає змогу забезпечити огляд простору всередині заданої області [9].

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						29
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

5. Конічний огляд: У цьому методі антена РЛС формує конічний промінь, який повертається по заданій траєкторії навколо осі. Такий огляд дає змогу виявляти і відстежувати об'єкти всередині конуса.
6. Пилоподібний огляд: У цьому методі антена РЛС переміщається горизонтальною площиною з пилоподібною траєкторією, здійснюючи повторювані сканування в заданому кутовому діапазоні. Це дає змогу виявляти об'єкти в цьому діапазоні і сканувати його знову в циклічному режимі [9].

В роботі пропонується, для моніторингу простору навколо об'єкта охорони, застосувати інтегроване радіолокаційне поле, яке складається з декілька секторів огляду окремими РЛС, з діаграмами спрямованості, що перекриваються.

Інтегральне радіолокаційне поле, формується 4-5 РЛС, кожна РЛС охоплює заданий сектор простору, приблизно 20-30 градусів за азимутом. Кожна РЛС працює в черговому режимі спостереження, і здійснює моніторинг свого сектору, виявляючи об'єкти в ньому і надає інформацію про дальність, швидкість та напрям руху виявлених об'єктів.

Основні параметри та характеристики інтегрального радіолокаційного поля включають:

1. **Зона огляду:** Кожна РЛС охоплює заданий сектор простору шириною приблизно 20-30 градусів за азимутом. У сукупності, всі РЛС формують задану конфігурації загального радіолокаційного поля, яке покриває простір навколо об'єкта охорони.
2. **Формування сектора огляду:** Сектор огляду формується за допомогою параметрів антенної системи кожної РЛС. Відсутність механічних елементів для обертання антен, відсутність необхідності у фазованих антенних решітках (ФАР) для електронного сканування забезпечують простоту, надійність роботи РЛС, та економічно обгрунтовану доцільність їх застосування [8].

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						30
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

3. **Можливість формування різних конфігурацій:** Використовуючи різні типи антен, можна формувати потрібну конфігурацію радіолокаційного поля. РЛС типові, прості у використанні та відносно недорогі, а також взаємозамінні, що дає змогу сформувати поле охоронних зон різної конфігурації, залежно від потреб.
4. **Контроль вертикальної площини:** Важливим аспектом є можливість контролю вертикальної площини, звідки можуть наблизитися безпілотні літальні апарати (БПЛА) та інші об'єкти. Параметри антенної системи та діаграма спрямованості антени РЛС визначають її здатність контролювати вертикальну область [8].

Усі ці параметри і характеристики інтегрального радіолокаційного поля, включно з його зоною огляду і можливістю контролю вертикальної площини, визначаються діаграмою спрямованості антен та іншими характеристиками РЛС. Діаграма спрямованості антени відіграє вирішальну роль у формуванні та функціонуванні комплексної радіолокаційної системи.

В першій ілюстрації видно саму РЛС систему в розкритому виді. Це загальний вид нашого проекту:

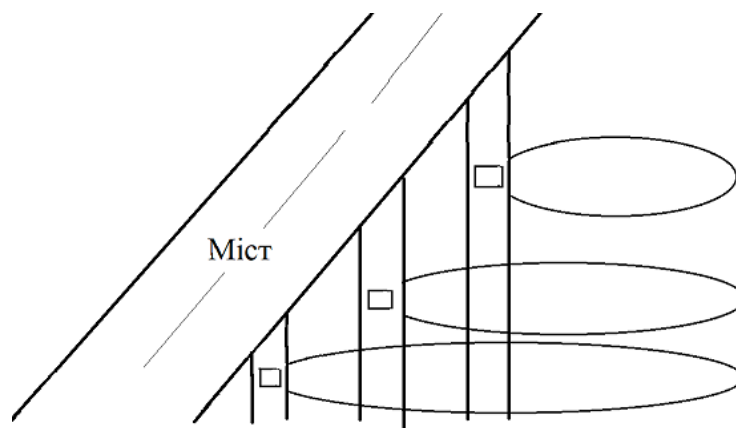


Рис. 2.1 – Загальна ілюстрація РЛС системи

На другій ілюстрації бачимо, що РЛС працює у вертикальній площині, тобто зможе відсканувати літаючі та підводні транспорти чи дрони. Також, вважаємо, що є сліпа зона.

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

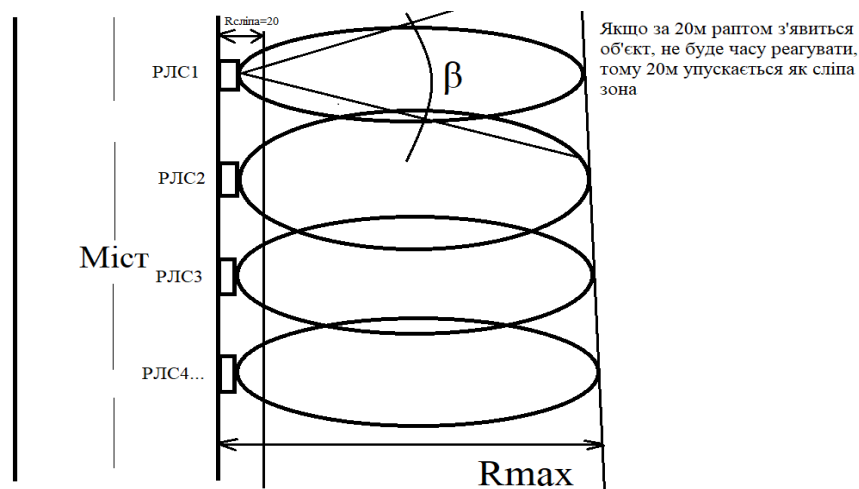


Рис. 2.2 – Інтегроване радіолокаційне поле в горизонтальній площині
На третій ілюстрації видно, що РЛС також працює у горизонтальній площині і також зможе виявити ворожі об'єкти.

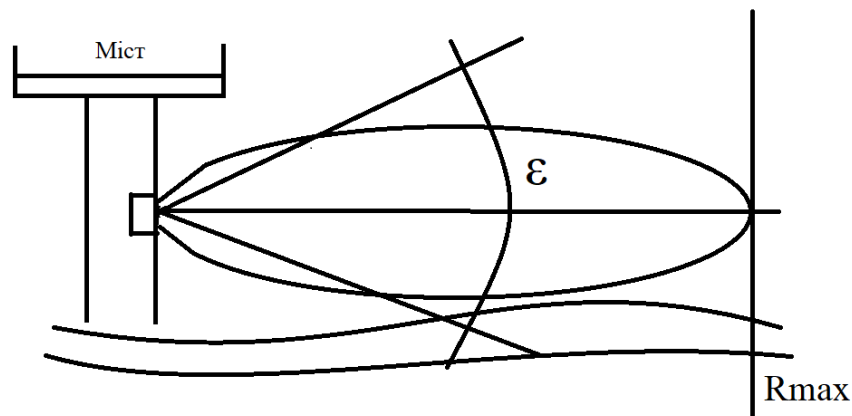


Рис. 2.3 – Радіолокаційне поле в вертикальній площині

2.2 Основні параметрів РЛС контролю водної поверхні

Проведемо аналіз тактико-технічних характеристик РЛС, параметри якої необхідно визначити.

Основні параметри:

$R_{\max} = 700$ м – максимальна дальність приймача,

$\Delta r = 20$ - роздільна здатність,

$\Delta \beta = 15$ - роздільна здатність по азимуту,

$\epsilon = 15^\circ$ – кут місця,

$P_{\text{хт}} = 1 \cdot 10^{-5}$ – імовірність хибної тривоги,

Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата

РТ91.468332.001 ПЗ

Лист

32

$P_{\text{вв}} = 0.9$ -імовірність вірного виявлення,

$K_{\text{ш}} = 3$ - коефіцієнт шумів,

$T_0 = 290$ – температура в Кельвінах,

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість світла,

$h = 0.85$ – коефіцієнт використання поверхності антени

$k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ – стала Больцмана

$Int = 20$ – кількість накопичання сигналів за один цикл вимірювання [9].

Визначимо ширину спектру сигналу, період повторення зондуючого сигналу та величину стиснутого імпульсу. Це зроблено для того щоб розуміти яка:

1. Роздільна здатність: Зондувальний сигнал у радіолокаційній системі використовується для вимірювання відстані до цілі та визначення її положення. Ширина спектра сигналу пов'язана з його тривалістю і впливає на роздільну здатність системи. Чим вужча ширина спектра, тим краща роздільна здатність і можливість виявлення близько розташованих цілей.
2. Дальність виявлення: Період повторення зондувального сигналу визначає максимальну дальність виявлення цілей. Що більший період повторення, то більший час на приймання й оброблення ехосигналів, що дає змогу виявити цілі на великих відстанях.
3. Відношення сигнал/шум: Величина стисненого імпульсу пов'язана з енергією зондувального сигналу, яка впливає на відношення сигнал/шум (SNR). Більш високе SNR дає змогу краще виявляти і розрізняти слабкі цілі на тлі шуму.
4. Опір перешкодам: Зондувальні сигнали з вузькою шириною спектра і високою величиною стисненого імпульсу мають кращі властивості

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						33
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

опору перешкодам, як-от перешкоди від інших джерел сигналів або відбиття від навколишніх об'єктів [1].

$$T_{\Pi} = \frac{2 \cdot R_{\max}}{c} = 4.667 \cdot 10^{-6} \text{ с} - \text{період повторення зондуючого сигналу.}$$

$$t_i = \frac{2 \cdot \Delta r}{c} = 1.337 \cdot 10^{-7} \text{ с} - \text{тривалість сигналу.}$$

$$\Delta f = \frac{1}{f} = 7.5 \cdot 10^6 \text{ Гц} - \text{ширина спектру сигналу [9].}$$

Дізнаємося потрібне відношення сигнал/шум SNR. Це зроблено для того щоб розуміти яка оцінка якості сигналу, виявлення та вимірювання сигналів.

$$q = 2 \cdot \left(\frac{\ln \left(\frac{1}{P_{xt}} \right)}{\ln \left(\frac{1}{P_{\text{ВВ}}} \right)} - 1 \right) = 216.543 - \text{відношення сигнал/шум в разях}$$

$$10 \cdot \log(q) = 23.355 \text{ дБ [9].}$$

Саме головне це коефіцієнт сигнал/шум до обробки в ОФ та чутливість приймача. Це дізнається для того щоб оцінити якість сигналу до обробки, визначити здатності виявлення та оптимізувати процеси обробки.

$$D_0 = \frac{t \cdot c}{2} = 20 \text{ м} - \text{сліпа зона.}$$

$$q_1 = \frac{q}{\ln t} = 10.827 \text{ рази.}$$

$$10 \cdot \log(q_1) = 10.345 \text{ дБ} - \text{Коефіцієнт сигнал/шум при накопиченні.}$$

$$N_0 = K_{\text{ш}} \cdot \Delta f \cdot T_0 \cdot k = 9.005 \cdot 10^{-14} \text{ Вт.}$$

$$P_{\text{prmin}} = \frac{q_1}{2} \cdot N_0 = 4.875 \cdot 10^{-14} \text{ Вт} - \text{чутливість приймача [1].}$$

Визначимо коефіцієнт підсилення типової антени (G_1), імпульсну потужність передавача, та середню потужність. Це зроблено для того, щоб можна було розрахувати дальність виявлення різномірних об'єктів.

$$G_1 = 22.61 \text{ дБ}$$

$$P_{\text{пер}} = \frac{R_{\max}^4 \cdot (4 \cdot \pi)^3 \cdot P_{\text{prmin}}}{G^2 \cdot 1 \cdot \lambda^2} = 7.731 \text{ Вт імпульсна потужність передавача}$$

$$P_c = \frac{P_{\text{пер}} \cdot t}{T_{\Pi}} = 0.221 - \text{середня потужність передавача}$$

Ефективна площа розсіювання:

$$\text{Катер} - \sigma_{\text{ц1}} = 1 \text{ м}_{\text{КВ}}$$

$$\text{Водний дрон} - \sigma_{\text{ц2}} = 0.1 \text{ м}_{\text{КВ}}$$

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		34

Потенційний небезпечний об'єкт на воді – $\sigma_{ц3} = 0.01 \text{ м}_{\text{кв}}$

Дальність виявлення:

$$\text{Катер} - \sqrt[4]{\frac{P_{\text{пер}} \cdot (G^2 \cdot \sigma_{ц1} \cdot \lambda^2)}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot P_{\text{прmin}}}} = 700 \text{ м}$$

$$\text{Водний дрон} - \sqrt[4]{\frac{P_{\text{пер}} \cdot (G^2 \cdot \sigma_{ц2} \cdot \lambda^2)}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot P_{\text{прmin}}}} = 393.639 \text{ м}$$

$$\text{Потенційний небезпечний об'єкт на воді} - \sqrt[4]{\frac{P_{\text{пер}} \cdot (G^2 \cdot \sigma_{ц3} \cdot \lambda^2)}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot P_{\text{прmin}}}} = 221.359 \text{ м [9].}$$

Ці результати вказують на потенційні можливості РЛС у виявленні небезпечних об'єктів на воді. Дальність виявлення РЛС у цьому разі становить 700 метрів для катера, 393.639 метрів для водного дрона і 221.359 метрів для потенційно небезпечного об'єкта на воді.

Для безпеки важливо враховувати сліпу зону РЛС, яка в даному випадку становить 20 метрів. Це означає, що об'єкти, які перебувають на відстані менше 20 метрів від РЛС, можуть бути непомітними для системи.

Використовуючи ці дані, РЛС може виявляти катери, водні дрони та потенційно небезпечні об'єкти на воді на значній відстані, що дає змогу оперативного реагування та вжиття заходів безпеки.

Однак слід пам'ятати, що ефективність виявлення залежить від різних чинників, таких як погодні умови, розмір і тип об'єктів, а також ефективність самої РЛС. Також важливо враховувати, що ці результати можуть бути наближеними і можуть варіюватися в різних умовах експлуатації та з використанням різних типів РЛС [8].

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						35
Зм.	Лист	№ док.им.	Підпис	Дата		

2.3 Побудова структурної схеми РЛС

Радіолокаційна станція (РЛС) є складною системою, яка використовується для виявлення, визначення координат, висоти, швидкості та інших параметрів цілей шляхом відбиття радіохвиль від цих об'єктів. Типова схема РЛС включає такі складові елементи:

1. **Антенa:** Вона відповідає за випромінювання радіохвиль у простір і приймання відбитих сигналів від об'єктів. Антенa може мати різні форми і конфігурації, залежно від типу РЛС (наприклад, параболічна антенa для РЛС із фіксованим масивом, фазовий масив антен для активної фазової РЛС тощо).
2. **Передавач:** Його завдання полягає в генерації імпульсів радіочастотної енергії, які потім передаються через антену. Передавач може складатися з генератора сигналів, модулятора і підсилювача потужності.
3. **Приймач:** Цей елемент приймає відбиті сигнали від об'єктів, які потрапляють на антену. Приймач зазвичай містить підсилювач сигналу, детектор, фільтри та інші компоненти для обробки й аналізу вхідного сигналу.
4. **Сигнальний процесор:** Його завданням є обробка та аналіз сигналів, які надходять від приймача. Сигнальний процесор виконує такі операції, як фільтрація шуму, виявлення цілей, визначення їхніх координат, швидкості тощо. Він також може використовувати алгоритми обробки сигналів для поліпшення якості інформації про цілі.

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						36
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

5. Дисплей: Цей елемент відображає інформацію про виявлені цілі, їхні координати, швидкість та інші параметри. Дисплей може бути представлений у вигляді монітора, на якому відображаються графічні дані, або індикаторної панелі з числовими значеннями.
6. Керуюча система: Вона відповідає за управління роботою РЛС. Керуюча система може включати комп'ютер, програмне забезпечення для обробки даних, а також інтерфейси для взаємодії з оператором [10].

Це загальна типова схема РЛС, але в реальності конкретна конфігурація може відрізнятися залежно від вимог і завдань, які має вирішувати РЛС.

Тому, як на приклад, проаналізуємо типічну структурну схему радіолокатора

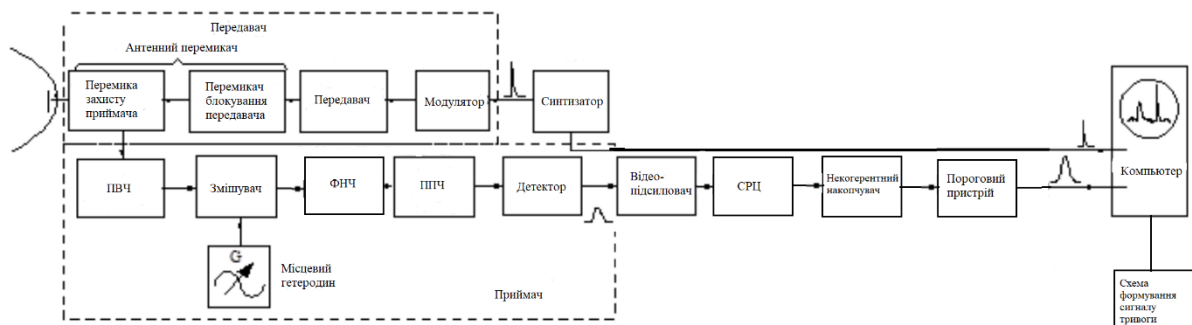


Рис. 2.4 – Структурна схема радіолокатора

де:

ПВЧ – підсилювач високої частоти;

ФНЧ – фільтр низьких частот;

ППЧ - підсилювач проміжної частоти;

СРЦ - селектор рухомих цілей [1].

Синхронізатор - генерує послідовність імпульсів, що задають час, із частотою, що дорівнює частоті повторення імпульсів. Ці імпульси вмикають модулятор і початок розгортки індикатора.

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						37
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

Модулятор - керує потужним генератором - передавачем, який виробляє прямокутний відеоімпульс, що вмикає магнетрон на час, що дорівнює його тривалості;

Передавач - це може бути магнетрон або інший активний прилад, здатний генерувати синусоїдальні коливання потрібної частоти та амплітуди, причому СВЧ-радіоімпульс, який виробляють (на кожен сигнал модулятора), повинен мати достатню крутість фронтів і тривалість, що задається модулятором. Для типового РЛ, призначеного для виявлення звичайного літака на дальності 700 м, характерні типові потужності до 10 Вт, тривалість імпульсу кілька мікросекунд і частота повторення імпульсів - кілька сотень імпульсів на секунду.

Модульований НВЧ-радіоімпульс, що генерується передавачем, каналізується передавальним трактом до антени, яка випромінює його в простір. Зазвичай, як було зазначено раніше, для передавання і приймання застосовується спільна антена. На час передачі приймач вимикається за допомогою швидкодіючого перемикача (для запобігання ушкодження великою потужністю). Після випромінювання зондувального імпульсу перемикач захисту приймача знову приєднує приймач до антени.

Під час приймання перемикач блокування передавача, який не впливає на передавання сигналу від передавача до антени протягом передавальної частини робочого циклу станції, забезпечує каналізацію прийнятого сигналу до приймача. За відсутності перемикача блокування передавача частина прийнятої потужності розсіювалася б у передавачі і буде втраченою. Перемикачі захисту приймача і передавача разом утворюють антенний перемикач. У РЛС із роздільними антенами він може бути відсутнім [10].

РЛ-приймач зазвичай супергетеродинний. Як УВЧ, що є першим каскадом приймача, може слугувати малошумний параметричний підсилювач. У РЛС сантиметрового діапазону УВЧ зазвичай відсутній, а замість нього стоїть змішувач. За допомогою змішувача і гетеродина НВЧ-сигнал перетворюється на сигнал ПЧ, оскільки в цьому діапазоні легше сконструювати вузько-смуговий підсилювач із високим коефіцієнтом посилення. Огинаюча імпульс-

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						38
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

сної модуляції НВЧ-коливань виділяється детектором і посилюється відеопісилювачем до рівня, необхідного для роботи цифрових пристроїв.

Блок СРЦ (селективний радіоцифровий перетворювач) є однією з важливих складових структурної схеми радіолокаційної системи (РЛС). Він відіграє ключову роль у процесі обробки сигналів, отриманих від антени РЛС.

Функція блоку СРЦ полягає в перетворенні аналогового радіочастотного сигналу, отриманого з антени, в цифрову форму. Це необхідно для подальшого оброблення й аналізу сигналу в цифровому вигляді з використанням сучасних алгоритмів оброблення сигналів.

Блок некогерентного накопичення є важливою складовою структурної схеми радіолокаційної системи (РЛС). Його основна функція полягає у збільшенні відношення сигнал/шум (ПЗШ) шляхом накопичення потужності відлуння-сигналу від цілі та придушення шуму і перешкод.

Структурна схема блоку некогерентного накопичення зазвичай містить кілька ключових компонентів. Вхідний сигнал, отриманий після проходження через блок СРЦ (селективний радіоцифровий перетворювач) і процесу оброблення сигналу, надходить на вхід блоку некогерентного накопичення.

Основний елемент блоку некогерентного накопичення - це накопичувач (інтегратор) з фіксованим або змінним часом інтегрування. Накопичувач накопичує енергію сигналу, отриманого від цілі, протягом певного часу. При цьому, оскільки шум і завади є стохастичними і некорельованими, їхня енергія не накопичується і залишається відносно постійною.

Блок Порогового пристрою є важливою частиною структурної схеми радіолокаційної системи (РЛС). Його основне завдання полягає в опрацюванні відлуння-сигналів, отриманих від об'єктів у зоні огляду РЛС, і ухваленні рішення про наявність або відсутність цілей [9].

Пороговий пристрій виконує функцію обробки сигналів, що подаються на вхід від приймача РЛС. Він приймає відлуння-сигнали, які зазвичай подаються у вигляді слабких спотворених імпульсів, і аналізує їх на предмет наявності цілей. Для цього застосовуються алгоритми порогового оброблення,

які дають змогу відокремити сигнали, що відповідають цілям, від фоновому шуму і перешкод.

У блоці Порогового пристрою здійснюється встановлення порога виявлення, який визначає мінімальну амплітуду сигналу, необхідну для його подальшої обробки. Якщо амплітуда сигналу перевищує встановлений поріг, то його вважають досить сильним для подальшого аналізу і передають на наступний етап обробки. В іншому разі, сигнал вважається шумом або перешкодою та ігнорується [10].

В індикаторний блок подаються також синхронізуючі імпульси.

Визначаючи напрямок антени, можна отримати інформацію про кутові координати цілі, що дає змогу розмістити відбитий сигнал на екрані ЕПТ належним чином і визначити координати цілі.

Графіки, що пояснюють імпульсний метод роботи РЛС, мають вигляд, наведений на рисунку [9].

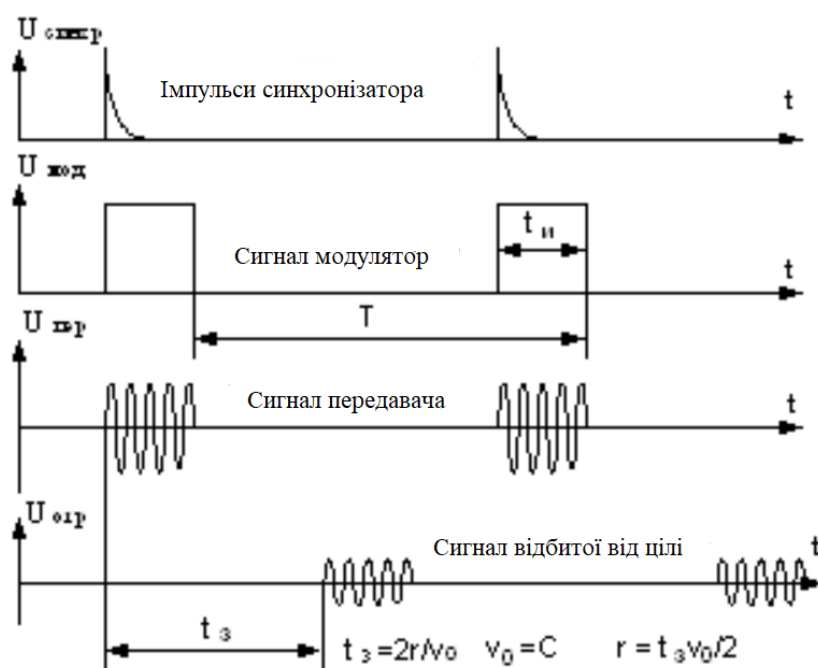


Рис. 2.5 – Графіки, що пояснюють імпульсний метод роботи РЛС

Однією з особливостей РЛС є наявність інтегрального накопичувача, який підвищує відношення сигнал/шум (С/Ш). Інтегральний накопичувач є пристроєм, який накопичує й аналізує енергію сигналу в часі, що дає змогу

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						40
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

збільшити чутливість РЛС до слабких сигналів. Це особливо корисно під час виявлення та відстеження цілей із низькою відбивною здатністю або під час роботи в умовах підвищеного шуму.

Компонентами РЛС є ФАР (фазований антенний гратчастий радіатор) і елементи патч-антени. ФАР складається з безлічі антенних елементів, які працюють у синхронізації, щоб створити вузький і спрямований промінь радарного випромінювання. Це забезпечує точність і високу роздільну здатність під час сканування у вертикальній і горизонтальній площинах. Елементи патч-антени являють собою плоскі антени, які також здатні забезпечити точний напрямок променя і ефективне випромінювання та приймання сигналу.

Простота роботи РЛС полягає в тому, що вона може бути встановлена на балках моста. Це означає, що РЛС може бути розміщена на високих структурах, як-от мости, що дає змогу забезпечити виявлення і спостереження в широкій області простору. Балки моста забезпечують стабільну платформу для встановлення РЛС і мінімізують вібрації та тряску, які можуть впливати на її роботу.

Загалом, РЛС є потужним і ефективним інструментом, що має високу роздільну здатність і здатність виявляти об'єкти з низькою відбивною здатністю або в умовах підвищеного шуму. Вона забезпечує сканування у вертикальній і горизонтальній площинах і може бути встановлена на балках моста для забезпечення широкого охоплення і стабільності роботи [9].

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОХОРОНИ ТЕХНОГЕННИХ СПОРУД

3.1 Розробка антенної системи з заданими характеристиками випромінювання електромагнітної енергії.

Почнемо з розробки антенної системи. Візьмемо за основу ФАР, елементи якої будуть патч-антени. Розробимо патч-антену використавши розширення в Matlab, яке називається Antenna Designer [18].

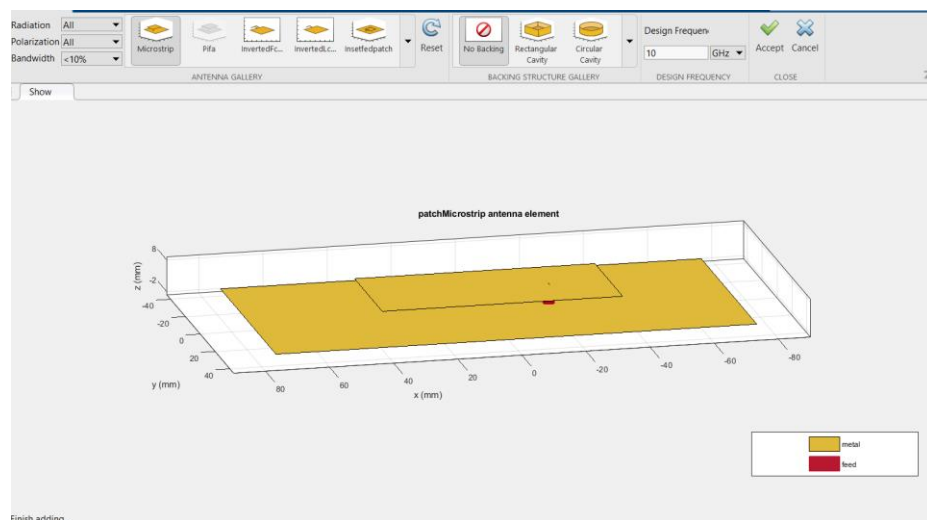


Рис. 3.1 – Патч-антена

Налаштуємо її. Пропускна здатність буде $< 10\%$, також частота = 10 ГГц.

Налаштувавши її, натискаємо на кнопку “Асерт”. Отримаємо нашу змодельовану патч-антену. Також маємо модель, азимутальну модель та схему висот [13].

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						42
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

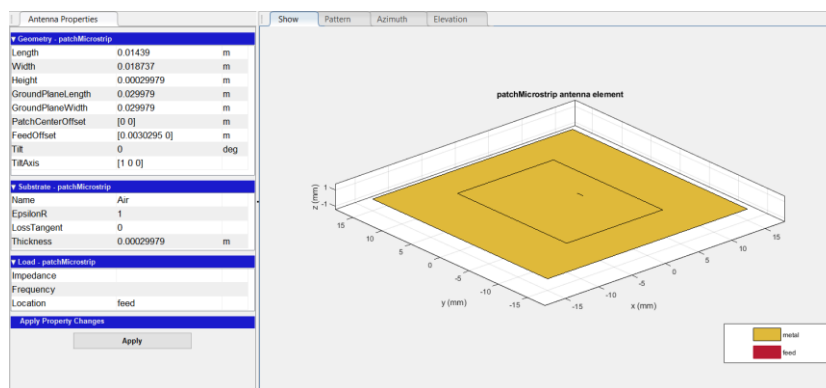


Рис. 3.2 – Змодельована патч-антена

Маємо 3-D модель патч-антени зі всіма її розмірами. Перейдемо безпосередньо до моделі.

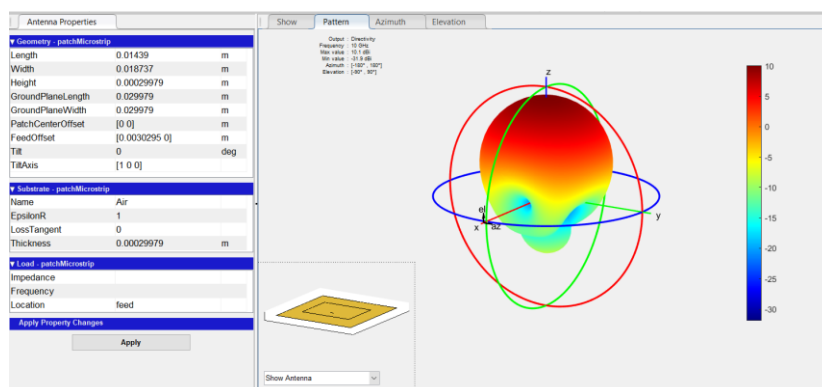


Рис. 3.3 – Модель патч-антени

Як бачимо максимальне підсилення такої антени становить практично 10 дБ. Як на мене результат непоганий. Переходимо до азимутальної моделі та схеми висот [13]:

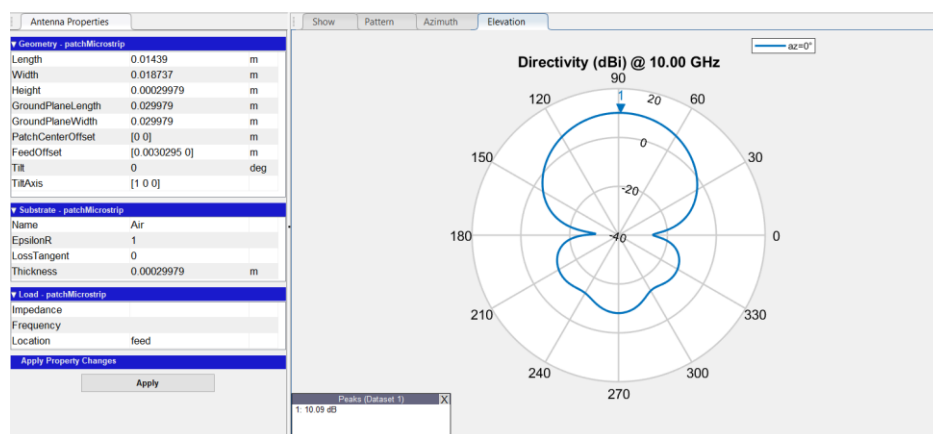


Рис. 3.4 – Діаграма спрямованості антени в азимутальній площині

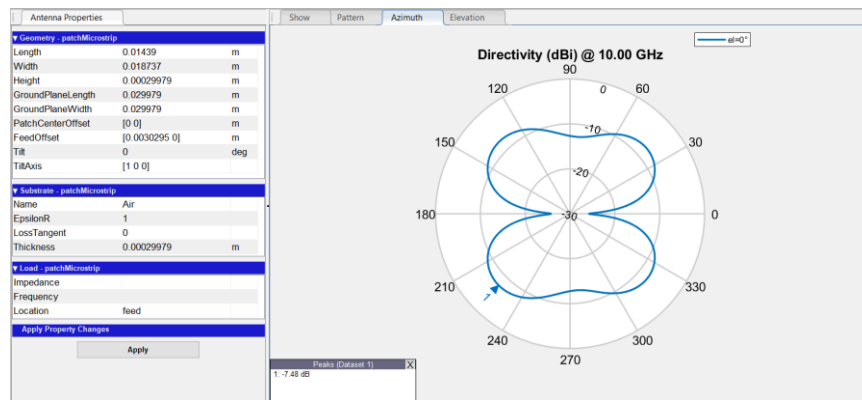


Рис. 3.5 – Діаграма спрямованості антени у вертикальній площині

Як бачимо, по азимуту підсилення не більше ніж 8 дБ, також к вертикальній площині не більше 10.5 дБ. Ширина ДС в азимутальній площині складає 120 градусів [18].

Для забезпечення необхідної топології радіолокаційного поля РЛС застосовується ФАР. Розробимо її використавши розширення в Matlab, яке називається Sensor Array Analyzer [13].

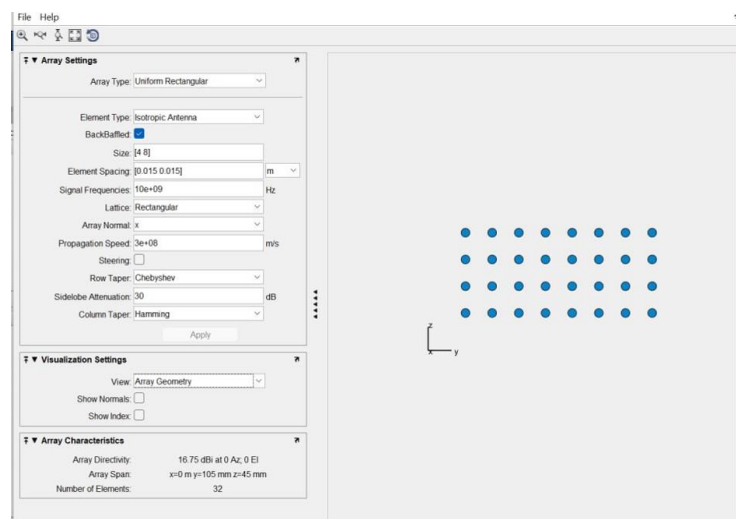


Рис. 3.6 – ФАР 4x8

Застосуємо несиметричну ФАР для того, щоб по азимуту були визначені сектори, а в вертикальній площині перекривало усі кути. Усі інші характеристики можна побачити на ілюстрації [19].

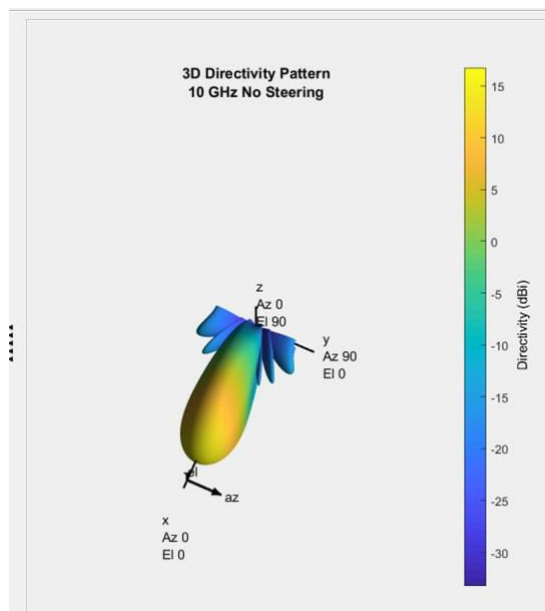


Рис. 3.7 – Діаграма спрямованості ФАР 4x8

По діаграмі спрямованості бачимо, що все таки по азимуту в нас є сектора, а в вертикальній площині перекриваються всі кути. Як на мене непоганий результат. Перейдемо до графіків азимутального зрізу та зрізу висоти [19]:

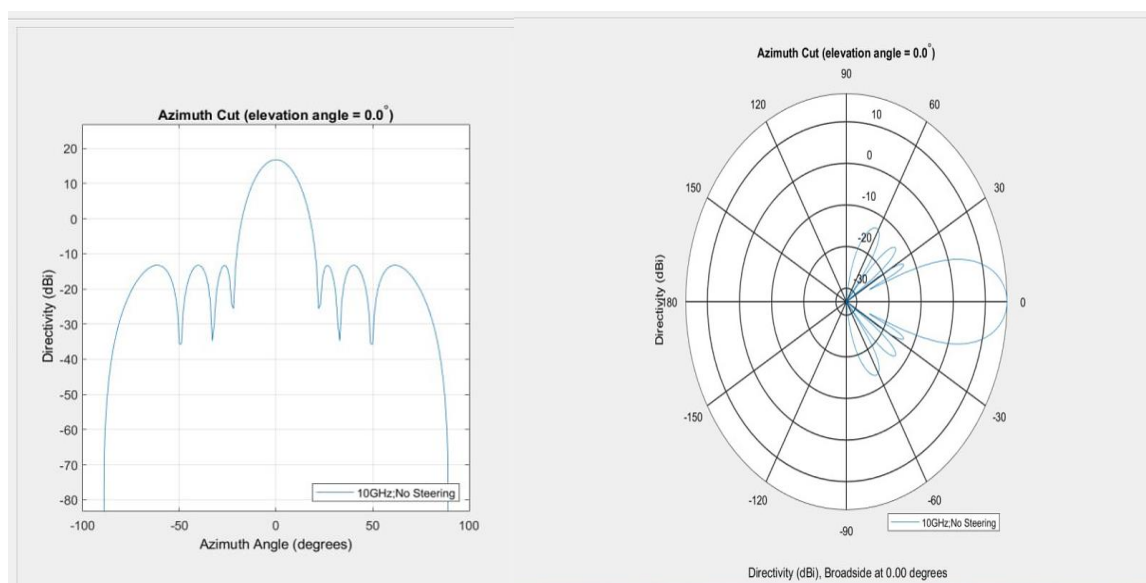


Рис. 3.8 – Азимутальний зріз ФАР 4x8

Зм.	Лист	№ док.им.	Підпис	Дата

РТ91.468332.001 ПЗ

Лист

45

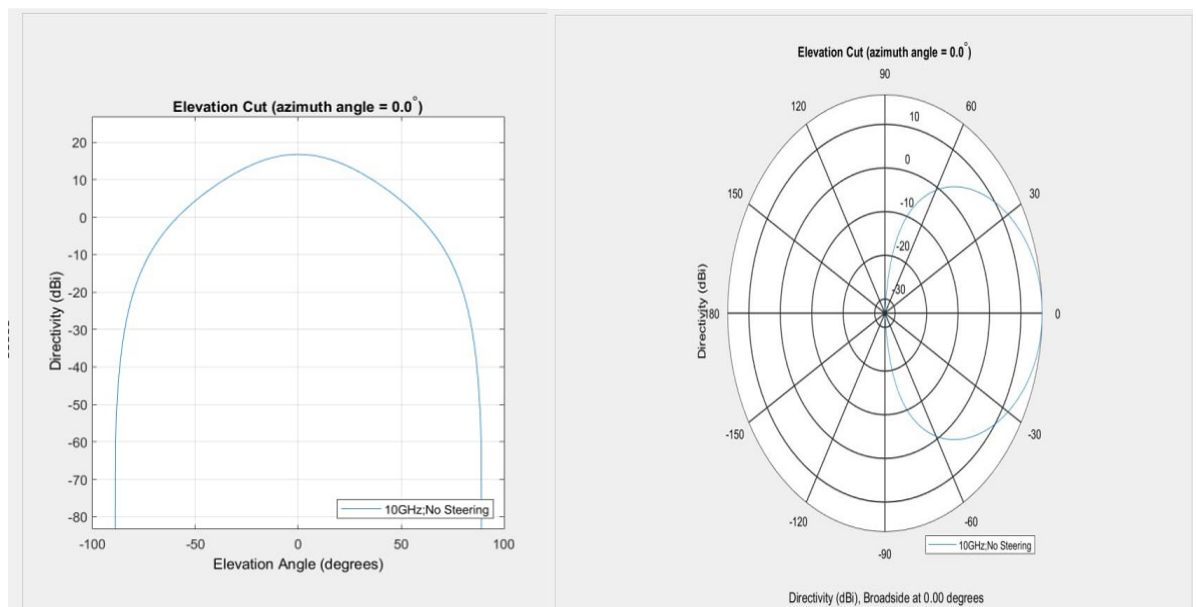


Рис. 3.9 – Зріз висот ФАР 4х8

Зробимо такий самий розрахунок як і в пункті 2.2, але з підсиленням антени 16.75 дБ. Ширина ДС в азимутальній площині 20 градусів, а в вертикальній 70 градусів [14].

Дальність виявлення:

$$\text{Катер} - \sqrt[4]{\frac{P_{\text{пер}} \cdot (G^2 \cdot \sigma_{\text{ц1}} \cdot \lambda^2)}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot P_{\text{прmin}}}} = 258.51 \text{ м}$$

$$\text{Водний дрон} - \sqrt[4]{\frac{P_{\text{пер}} \cdot (G^2 \cdot \sigma_{\text{ц2}} \cdot \lambda^2)}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot P_{\text{прmin}}}} = 145.371 \text{ м}$$

$$\text{Потенційний небезпечний об'єкт на воді} - \sqrt[4]{\frac{P_{\text{пер}} \cdot (G^2 \cdot \sigma_{\text{ц3}} \cdot \lambda^2)}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot P_{\text{прmin}}}} = 81.748 \text{ м}$$

Для альтернативи, візьмемо ФАР на 2х6. Різниця її з попередній ФАР в тому що, в неї пелюстка ширше [14].

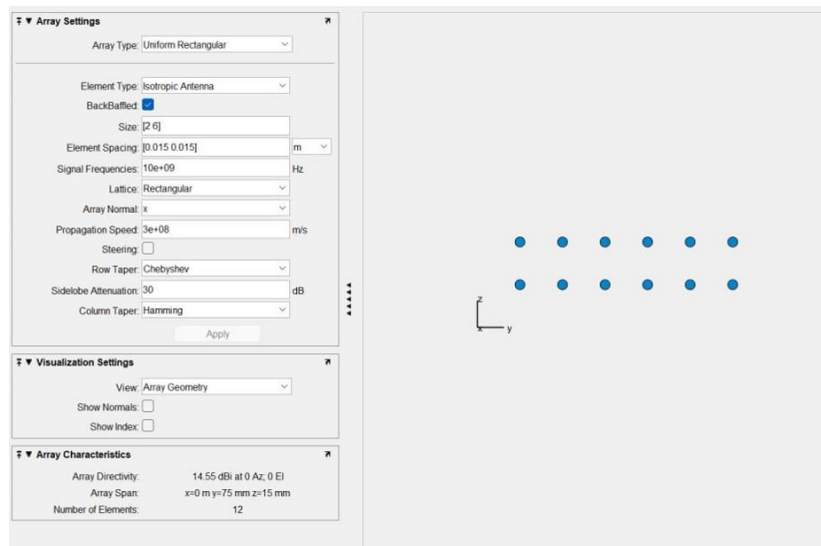


Рис. 3.10 – ФАР 2х6

Така ж сама не симетрична ФАР, тільки 2х6. Усі інші характеристики можна побачити на ілюстрації. Тепер перейдемо до графіків азимутального зрізу та зрізу висоти [14]:

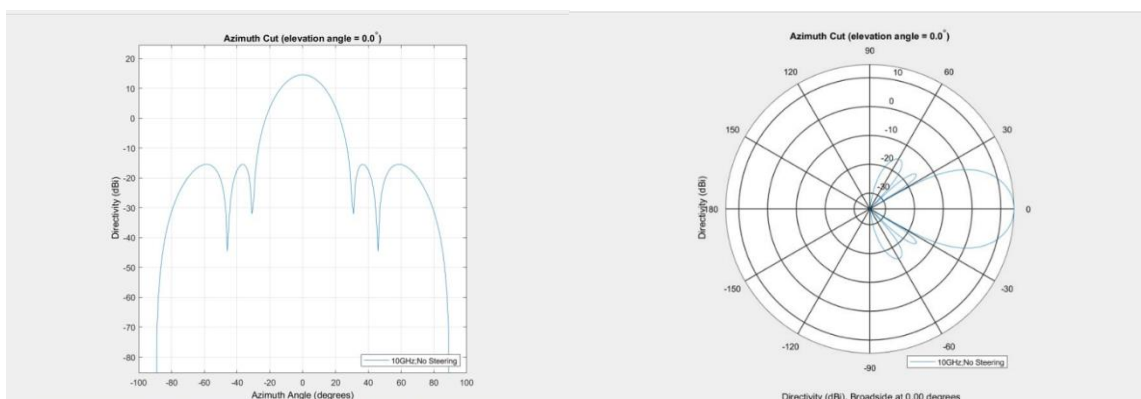


Рис. 3.11 – Азимутальний зріз ФАР 2х6

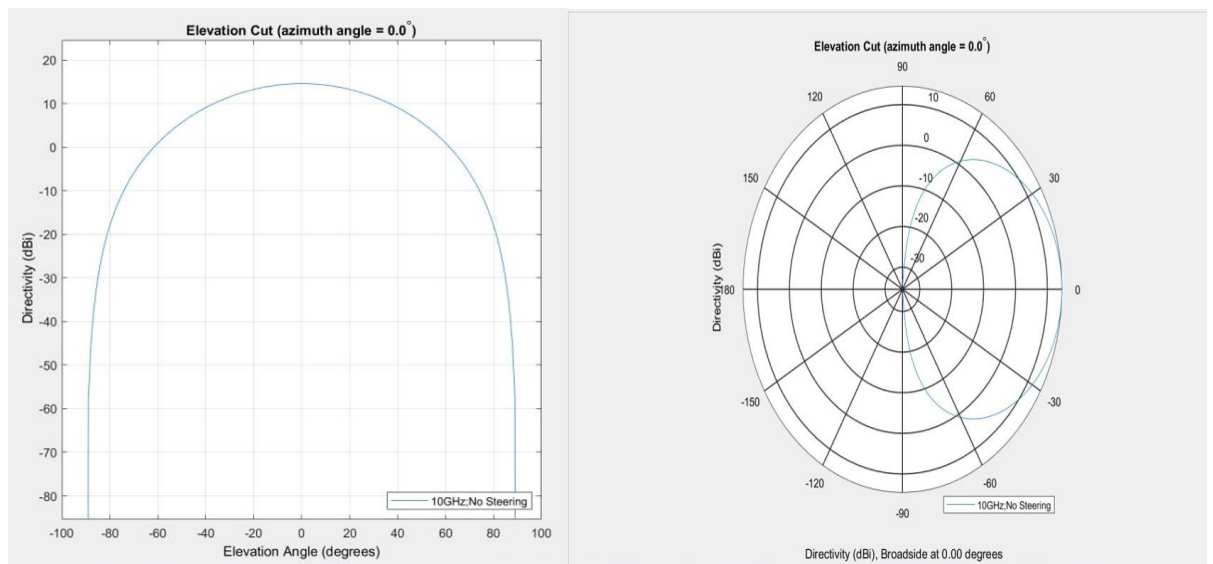


Рис. 3.12 – Зріз висот ФАР 2х6

Зробимо такий самий розрахунок як і в пункті 2.2, але з підсиленням антени 14.55 дБ, ширина ДС антени в азимутальній площині складає 14 градусів, а в вертикальній площині 80 градусів [14].

Дальність виявлення:

$$\text{Катер} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{пер}} \cdot (G^2 \cdot \sigma_{\text{ц1}} \cdot \lambda^2)}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot P_{\text{прmin}}}} = 391.297 \text{ м}$$

$$\text{Водний дрон} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{пер}} \cdot (G^2 \cdot \sigma_{\text{ц2}} \cdot \lambda^2)}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot P_{\text{прmin}}}} = 220.042 \text{ м}$$

$$\text{Потенційний небезпечний об'єкт на воді} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{пер}} \cdot (G^2 \cdot \sigma_{\text{ц3}} \cdot \lambda^2)}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot P_{\text{прmin}}}} = 123.739 \text{ м}$$

З цього всього ми можемо зробити висновок, що коефіцієнт підсилення антени більше, тому дальність більше, але ДС антени вужча, тому, щоб перекрити усю ширину перед мостом, РЛС потрібно більше. Відповідно для кожної ситуації підбираємо конфігурацію РЛС (їх кількість та тип антени) [19].

3.2 Визначення типу радіолокаційного сигналу зондування простору

Радіолокаційні системи використовують різні типи сигналів для передавання та приймання інформації. Один із поширених типів сигналів, що використовуються в РЛС, - це прямокутні радіоімпульси.

Прямокутний радіоімпульс - це імпульс із прямокутною формою огинаючої. Він характеризується швидким наростанням амплітуди до максимального значення, потім утримує це значення протягом певного часу (тривалості імпульсу), а потім швидко падає до нуля. Тривалість імпульсу - це час, протягом якого імпульс залишається на максимальному рівні.

Під час формування пачки радіоімпульсів у РЛС прямокутні імпульси повторюються з певною частотою повторення. Це дає змогу збільшити енергію, передану в напрямку цілі, і поліпшити роздільну здатність і дальність виявлення. Пачка радіоімпульсів може складатися з декількох десятків або сотень імпульсів.

Однак складні сигнали з великою тривалістю мають деякі недоліки. Велика тривалість імпульсу призводить до збільшення часу, протягом якого РЛС перебуває в режимі передавання, і, отже, в цей час вона не здатна виявляти об'єкти поблизу свого випромінювального антенного променя. Ця область, в якій РЛС тимчасово "сліпа" для виявлення, називається сліпою зоною. Під час сліпої зони РЛС не може виявляти або вимірювати відстань до об'єктів, що перебувають у цій області.

Таким чином, під час вибору типу сигналу в РЛС існує компроміс між тривалістю імпульсу, енергією, роздільною здатністю і сліпою зоною. Коротші імпульси забезпечують кращу роздільну здатність, але вимагають більшої енергії для досягнення необхідної дальності виявлення. Довші імпульси можуть збільшити дальність виявлення, але за рахунок збільшення сліпої зони [20].

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						49
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

З вище сказаного, мій вибір припав на прямокутний радіоімпульс, у якого кількість накопичення сигналів за один цикл вимірювання, тобто пачка імпульсів, дорівнює 20.

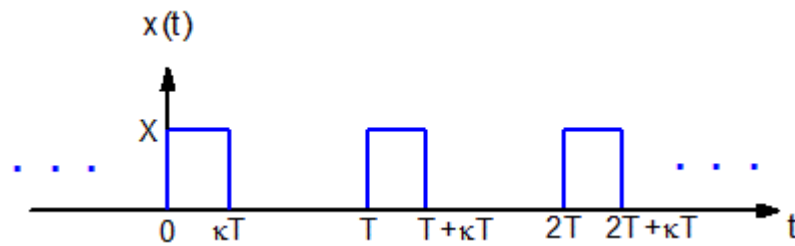


Рис. 3.13 – Прямокутний радіоімпульс

Формулу прямокутного радіоімпульсу, використовуваного в радіолокаційних системах (РЛС), можна подати так:

$$x(t) = A \cdot \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) \cdot e^{-j2\pi f_0 t}$$

де:

1. $x(t)$ – амплітуда радіоімпульсу в момент часу.
2. A – амплітуда імпульсу.
3. T – тривалість імпульсу.
4. f_0 – несуча частота радіоімпульсу.
5. $\text{rect}(x)$ - функція прямокутного вікна, визначена як:

$$\text{rect}(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } |x| \leq \frac{1}{2} \\ 0, & \text{інакше} \end{cases}$$

Побудова спектра прямокутного радіоімпульсу пов'язана із застосуванням перетворення Фур'є. Для нашого випадку можна застосувати перетворення Фур'є прямокутного вікна, яке має вигляд [20]:

$$\text{react}(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \text{react}(t) \cdot e^{-j2\pi f t} dt = T \cdot \text{sinc}(fT)$$

де:

$\text{sinc}(x)$ – функція sinc, визначена як:

$$\text{sinc}(x) = \frac{\text{sinc}(\pi x)}{\pi x}$$

Тепер, застосовуючи це до нашої формули для радіоімпульсу, можна отримати спектр:

$$X(f) = F\{x(t)\} = F\{A \cdot \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) \cdot e^{-j2\pi f_0 t}\}$$

Де $F\{x(t)\}$ позначає оператор перетворення Фур'є. Перетворюючи кожен елемент у цій формулі, ми можемо отримати спектральне представлення радіоімпульсу. Однак, для точної побудови спектра потрібен більш докладний опис тимчасових і частотних характеристик сигналу, таких як обвідна, тривалість імпульсу, спектральна ширина і т.д. Це дає змогу отримати більш точне уявлення спектра радіоімпульсу в РЛС. [11]

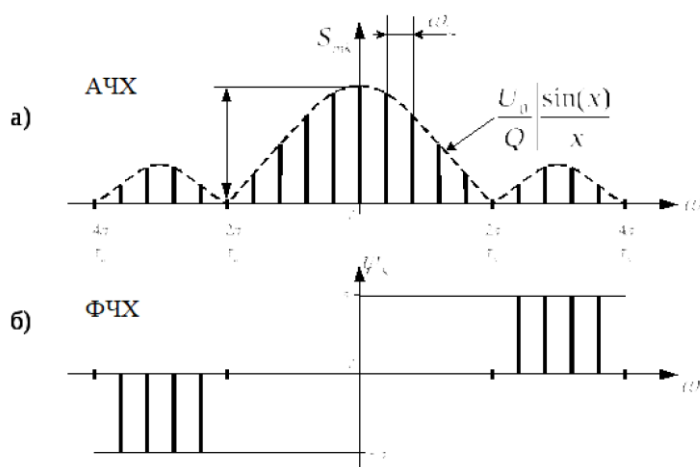


Рис. 3.14 – Спектр прямокутного радіоімпульсу

Автокореляційна функція прямокутного радіоімпульсу використовується для оцінювання його схожості з собою за різних затримок часу. Для прямокутного радіоімпульсу, його автокореляційна функція може бути виражена так:

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot x(t - \tau) dt$$

де:

1. $R(\tau)$ - автокореляційна функція радіоімпульсу при затримці часу.
2. $x(t)$ - формула прямокутного радіоімпульсу.

Автокореляційна функція дає змогу оцінити, наскільки схожі сигнали за різних затримок часу. Максимальне значення автокореляційної функції зазвичай відповідає затримці часу, що відповідає вихідному сигналу [20].

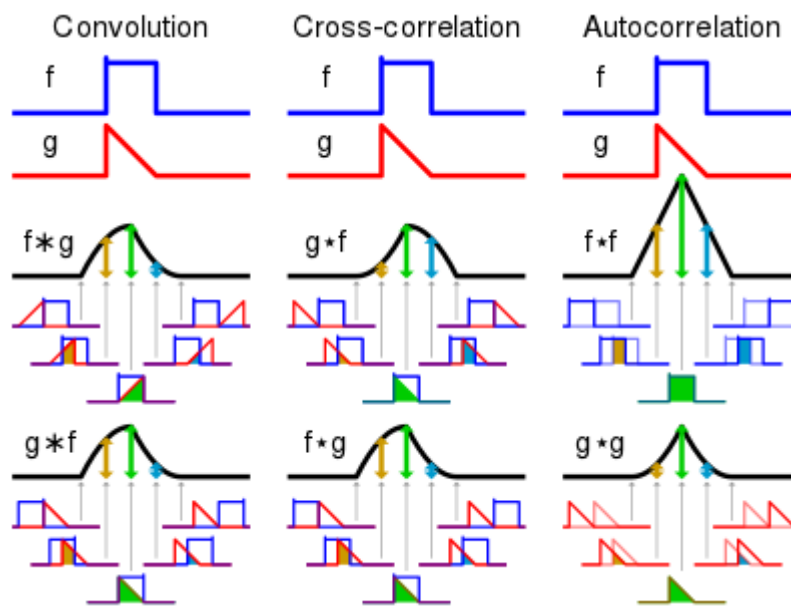


Рис. 3.15 – Автокореляційна функція прямокутного радіоімпульсу

Використовується оптимальний фільтр для обробки прямокутного радіоімпульсу РЛС, які забезпечує узгоджену обробку радіолокаційного сигналу і оптимізує (підвищує) співвідношення сигнал/шум на виході. Загалом, оптимальний фільтр забезпечує ефективне опрацювання прямокутного радіоімпульсу в РЛС, мінімізуючи спотворення та завади і забезпечуючи високу точність і якість роботи системи [12].

3.3 Проектування підсилювача проміжної частоти.

Почнемо з проектування підсилювача проміжної частоти. Навіщо він потрібен? Він виконує кілька важливих функцій:

Посилення сигналу: ППЧ підсилює слабкі радіочастотні (RF) сигнали, які отримано після проходження через антену РЛС, після застосування різних пристроїв таких як, фільтри та змішувачі. Посилення сигналу на цьому етапі дає змогу компенсувати втрати, що виникають у процесі проходження сигналу по антенно – фідерному тракту примача.

Загалом підсилювач проміжної частоти в РЛС відіграє важливу роль у посиленні, фільтрації, детектуванні та обробці радіочастотного сигналу, що сприяє підвищенню чутливості та точності системи [21].

Проміжна частота в нас буде 433 МГц. Тому, на мою думку, найкращий резистор буде КТ976. Це кремнієвий n-p-n, який зможе дати частоту в 1 ГГц [22].

Параметри транзистора КТ976

Таблиця 3.1

I_K , max, А	$I_{K\text{ и, max}}$, А	$U_{KЭ0}$ гр, ($U_{KЭR}$ max,) В	$U_{пит}$ max, В	$U_{ЭБ0}$ max, В	(P_{Kmax}), P_K ср max, Вт	T_K , °С	$T_{п}$ max, °С	T_K max, °С	$h_{21Э}$
			28	50	4	75	40	85	

Продовження таблиці 3.1

$U_{KЭ}$ ($U_{KБ}$), В	I_K , А	$U_{KЭ}$ нас, В	$I_{KБ0}$, МА	$f_{гр}$, МГц	$P_{вых}$, Вт	f , МГц	$K_{ур}$, дБ	F , МГц	C_K , пФ
			60	750	60	1000	2	1000	70

Перейдемо до проектуванні самої схеми, будемо використовувати для цього програмне забезпечення під назвою Multisim [24]:

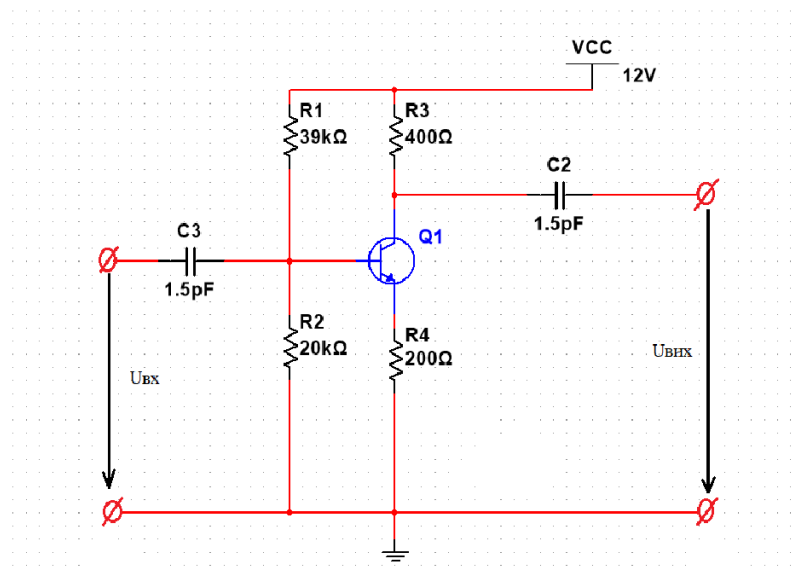


Рис. 3.24 — Підсилювач проміжної частоти

$$R_{\text{вх}} = [(r_e) \cdot (1 + \beta)] \parallel R1 \parallel R2 ;$$

$$I_{\text{б}} = \frac{U_{\text{б}} - U_{\text{бе}}}{(R3 + r_e) \cdot (1 + \beta)} , \text{ де } U_{\text{б}}$$

фіксується підбором номіналів резисторів дільника R1 і R2 , $I_{\text{делТ}} = (3...10) I_{\text{б}} ;$

$$U_{\text{К}} = E_{\text{К}} - I_{\text{К}} \cdot R3 ;$$

$$R_{\text{вих}} = R3 \parallel \frac{r_e + r_{\text{к}}}{1 + \beta} ;$$

$$K_u \approx \frac{R3}{r_e + R4}$$

де:

$E_{\text{К}} = 12 \text{ В}$ – напруга живлення;

$I_{\text{К}} = 10 \text{ мА}$ – початковий струм колектора;

$K_u = 2$ – коефіцієнт підсилення каскаду;

$\beta(h21_e) = 100$ – коефіцієнт передачі струму;

$I_{\text{б}} = 0.1 \text{ мА}$ – струм бази;

$U_{\text{К}} = 8 \text{ В}$ – напруга на колекторі;

$U_{\text{б}} = 2.57 \text{ В}$ – напруга на базі;

$U_e = 1.97 \text{ В}$ – напруга на емітері;

$R_{\text{вх}} = 8 \text{ кОм}$ – вхідний опір;

$R_{\text{вих}} = 400 \text{ Ом}$ – вихідний опір;

Зм.	Лист	№ док.им.	Підпис	Дата

PT91.468332.001 ПЗ

Лист

54

R1-R4 – резистори;

C1-C3 – конденсатори;

Q1 – кремнієвий транзистор КТ976 [23].

Як бачимо, в нас є підсилювач проміжної частоти по схемі із загальним емітером. Дане схемотехнічне рішення дає змогу здійснювати регулювання посилення каскаду в широких межах, не змінюючи при цьому режим транзистора за постійним струмом.

Тож, можемо підвести підсумки. Було розроблено ФАР, з елемента патч-антени. Також був визначений тип радіолокаційного сигналу зондування простору та його розрахунки, визначено спектр та автокореляційну функцію та визначено оптимальний фільтр для сигналу і підсилювач проміжної частоти. Також був розроблений сам пристрій системи вмикання сигналу тривоги для оператора РЛС уразі виявлення об'єкта який рухається в сторону водної споруди.

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						55
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

3.4 Проектування блоку РЛС з формування візуального сигналу тривоги.

Для виготовлення друкованої плати системи вмикання сигналу тривоги для оператора РЛС уразі виявлення об'єкта який рухається в сторону водної споруди вибирається комбінований позитивний метод. Для друкованої плати обирається склотекстоліт фольгований мідною електролітичною фольгою, двосторонній FR-4 35/35-1,5. Сам пристрій буде мати оптичний зв'язок з РЛС, тобто одна система не буде впливати на іншу.

Маємо принципову схему пристрою:

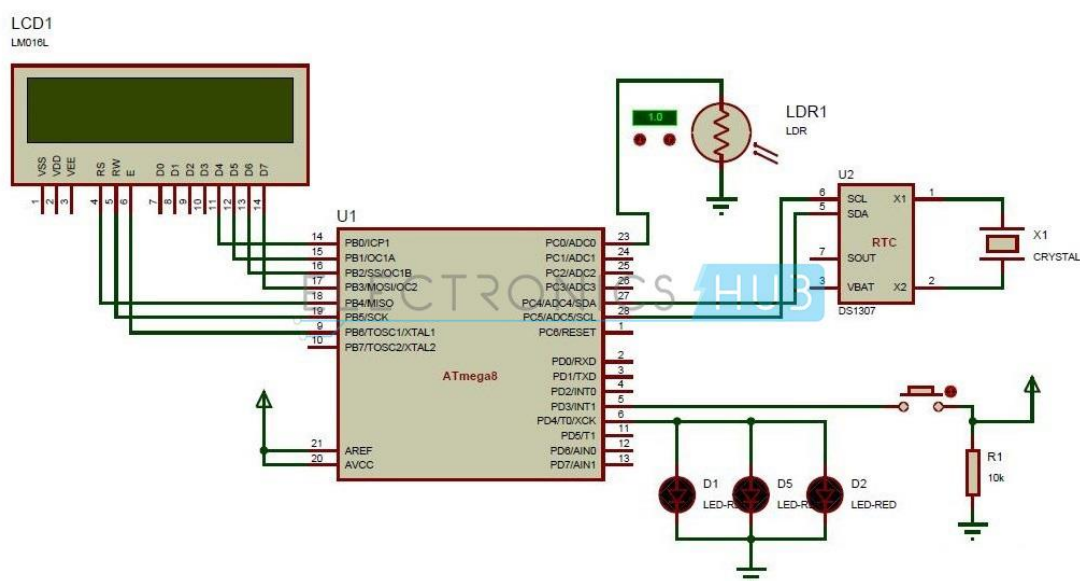


Рис. 3.16 – Принципова схема блоку системи вмикання сигналу тривоги.

З огляду на елементну базу обираємо тип ДП:

Клас С - змішана: монтовані в отвори і поверхнево монтовані компоненти

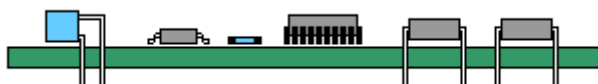


Рис. 3.18 – Тип ДП

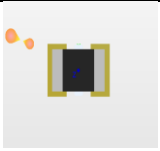
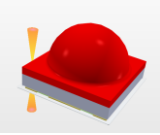
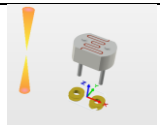
Оскільки схема, відповідно за завдання, має невелику кількість елементів, як поверхневого монтажу, так і вивідні, то дана плата орієнтовно матиме

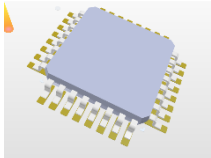
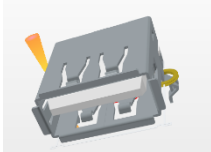
					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		56

односторонній монтаж та два шари металізації, тож її доцільно виготовляти комбінованим позитивним методом, тобто дозволяє відтворювати більш тонкі провідники за рахунок меншої товщини металу, що витравлюється. Товщина використовуваних у цьому методі фоторезистів визначається лише тим, що товщина рельєфу повинна бути більшою за товщину металізації, що на-рощується в цьому рельєфі.

Для визначення площі плати треба розрахувати мінімальну площу, що відповідає загальній площі всіх елементів кожної сторони, тобто елементів поверхневого монтажу та вивідних елементів окремо. Тож розрахуємо площу всіх елементів.

Таблиця 3.2

Назва	Позначення на ДП	Кількість	3D footprint	Загальна площа, мм ²
ЧІП резистор 0,125 Вт,	R1	1		14.452
PIR sensor ЕКМВ13011 13К	B1	1		123.81
Кнопка KLS7-PBS- 013 Push Button Switch Series	SB1	1		120.64
Світлодіод 2.85 В 350мА	HL1-HL3	3		43.908
Фоторезис- тор PGM5659D	R2	1		4.652

Годинник реального ча- су/календар DS1307ZN+	DA1	1		102.581
Мікроконт- ролер ATmega8A- AU	DD1	1		111.134
USB 2.0 (5V)	X1	1		244.656
LCD 1602 LM016L 16x2 (по мо- жливості)	HG1	1		70.158
Сумарна площа				836

Визначивши встановлювану площу кожного ЕРЕ, визначається необ-
хідна площа для їх встановлення визначається за формулою:

$$S = S_{\text{мг}} + 1,5S_{\text{сг}} + 3S_{\text{кг}} + S_{\text{д}}$$

де:

$S_{\text{мг}}$ – площа малогабаритних ЕРЕ;

$S_{\text{сг}}$ – площа середньогабаритних ЕРЕ;

$S_{\text{кг}}$ – площа крупногабаритних ЕРЕ;

$S_{\text{д}}$ – площа допоміжних зон;

$S_{\text{о}}$ враховуючи площу крипільних отворів, площа яка підпадає під край
плати також враховуються конструктивні особливості пристрою, допоміжна
зона складає порядку 2728 мм²:

$$S = (HL + R1 + R2) + 3 \cdot (X1 + SB1 + B1 + DD1 + DA1 + HG1) + m3 = 2728 \text{ мм}^2$$

Перейдемо до розрахунків діаметра монтажних отворів та розмірів контактних майданчиків:

Таблиця 3.3

Тип лінії	Напруга, В	Струм, А	Ширина провідника, мм		Зазор, мм
			в широкому	у вузькому	
Силова	5	1.5	2.143	2.143	0.35
Сигнальна	5	$3.6 \cdot 10^{-6}$	0.4	0.18	0.35

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу за формулою:

$$Dk = Dv + 0,3 ,$$

де Dk — розміри контактних майданчиків;

Dv — розміри виводів.

Таблиця 3.4

Назва елемента	Dv	Dk
R1	1,3x0,55	1.6x0,85
DA1		0.45x1.45 за Datasheet
DD1		0.3x1.4 за Datasheet

Розрахуємо діаметри отворів для вивідних елементів за формулою:

$$Do = Dv + 0,2 ,$$

де Do — розміри отворів для вивідних елементів.

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для вивідних елементів за формулою:

$$Dk = Do + 2/3Do$$

Таблиця 3.5

Назва елемента	D_v	D_o	D_k
R2	0,5	0.7	1,2
B1	0.5	0.7	1.2
SB1,HL1,HG1(роз'ємний ва- ріант)	0.5	0.7	1.2
X1	0.5	0.7	1.2

Тепер переходимо до трасування плати та моделювання плати в розмі-
рі:

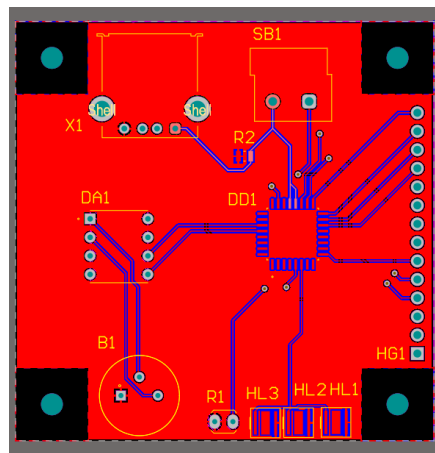


Рис. 3.18 — Трасування у верхньому шарі

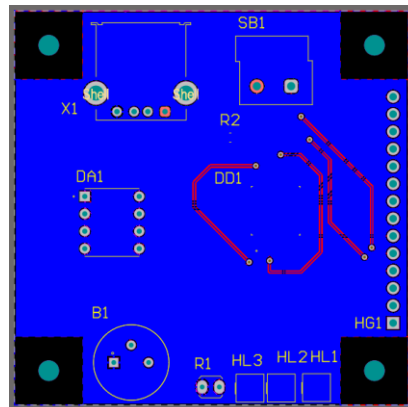


Рис. 3.19 — Трасування у нижньому шарі

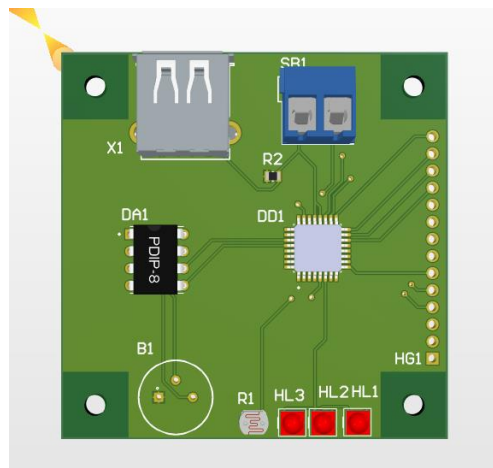


Рис. 3.20 — Готова печатна плата пристрою

При розробці корпусу було прийнято до уваги вимога наявності отвору для живлення, кнопки, фоторезистора, трьох світлодіодів та PIR sensor. Також, був розроблений принцип кріплення верхньої та нижньої кришки за допомогою силіконового прозорого клею T-7000.

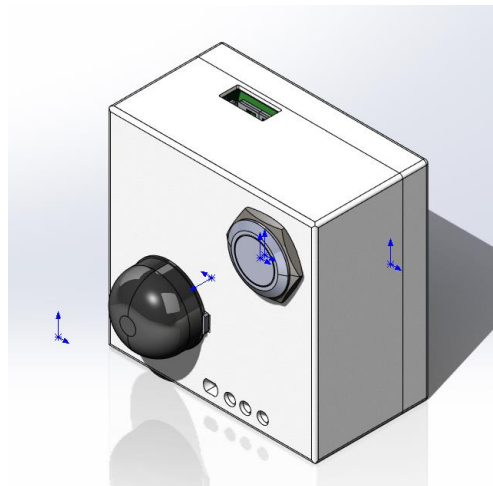


Рис. 3.21 — Ізометричний вид зібраного корпусу з платою

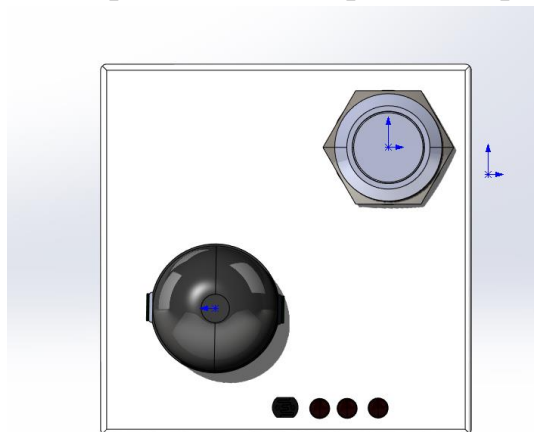


Рис. 3.22 — Вид зверху зібраного корпусу з платою

Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата

PT91.468332.001 ПЗ

Лист

61

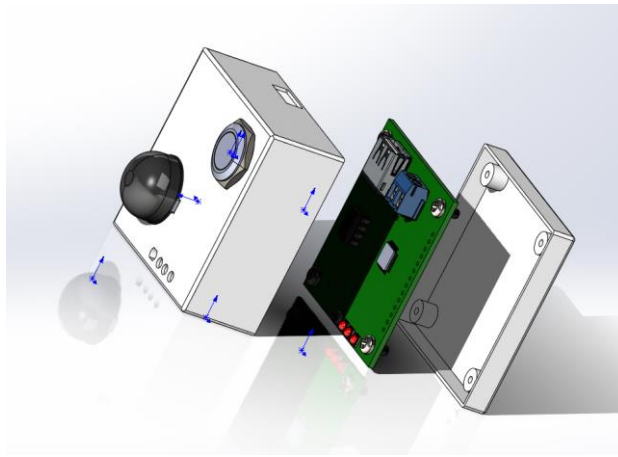


Рис. 3.23 — Ізометричний вид у розібраному стані

Перейдемо до розрахунків надійності пристрою:

$$P(x) = 0,5 \left\{ \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{1-x}{v\sqrt{2x}} \right) \right] + e^{\frac{2}{v^2}} \left[1 + \operatorname{erf} \left(-\frac{1+x}{v\sqrt{2x}} \right) \right] \right\}$$

Де $P(x)$ – ймовірність безвідмовної роботи;

$\operatorname{erf}(x)$ – функція інтеграла помилок;

v – коефіцієнт варіації ($v = 1$).

Формула для експлуатаційної інтенсивності відмов ЕК:

$$\lambda_p = \lambda_0 K_1 K_2 K_3$$

де λ_p – експлуатаційна інтенсивність відмов ЕК;

λ_0 – початкова середньостатистична інтенсивність відмов ЕК;

K_1 – функція температури та коефіцієнта навантаження

K_2 – рівень механічних експлуатаційних впливів (вібрацій та ударів);

K_3 – відносна вологість у внутрішньому об'ємі РЕА.

Розрахунки починаємо з визначення розрахункової інтенсивності ЕРЕ λ_p ,
далі визначаємо середній наробіток до відмови, розв'язуючи рівняння:

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{T_0}{2\pi t_b^3} \exp \left(\left\{ -\frac{(t_b - T_0)^2}{2t_b T_0} \right\} \right)}$$

де T_0 – середній наробіток до відмови

t_b – тривалість випробувань ($t_b = 3 \cdot 10^4$)

Визначивши T_0 приймають $T_0 = \mu$ задають необхідний час роботи t , а показники надійності ЕРЕ визначають в залежності від параметра $x = t/\mu$ та коефіцієнта варіації v

Інтенсивність відмов резисторів:

$$\lambda_p = \lambda_0 K_p K_R$$

де λ_0 взято з таблиці ;

K_R – коефіцієнт, що враховує номінальний опір

Інтенсивність відмов мікросхем:

$$\lambda_p = \lambda_0 K_{C,T} K_{\text{корп}}$$

де λ_0 взято з таблиці;

$K_{C,T}$ – Коефіцієнт режиму, що враховує складність інтегральних мікросхем та температуру навколишнього середовища;

K_U – коефіцієнт, що враховує вплив максимальних значень напруг живлення ; $K_u = 1$

$K_{\text{корп}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу корпусу інтегральних мікросхем ($K_{\text{корп}} = 3$ для пластмасових корпусів)

Інтенсивність відмов діодів та діодних збірок:

$$\lambda_p = \lambda_0 K_p K_\phi K_{S1}$$

де λ_0 взято з таблиці;

K_p - коефіцієнт режиму роботи пристрою, що залежить від навколишньої температури та навантаження по струму; взято з таблиці;

K_ϕ - коефіцієнт, що враховує функціональне призначення пристрою взято з таблиці;

K_{S1} - коефіцієнт, що враховує відношення робочої напруги до максимально допустимої по ТУ ; взято з таблиці;

Результати розрахунків зведено в таблицю 3.5.

Таблиця 3.6

Назва і тип елемента	$\lambda_0 * 10^6$ 1/год					$\lambda_p * 10^6$ 1/год	Кількість N, шт	T0 (T0=μ)	x	P(x)
		K _p	K _ф	K _{S1}	K _T					
Діоди	0,1	0,09	1,5	0,7		0,01	3	13430 9	0,07 446	0,99 996
Резистори	0,04					0,04	2	86380, 8	0,11 577	0,99 92
Мікросхеми	0,019				0,8 9	0,05	3	43606 0	0,02 293	1
сума						0,1		21890 0	0,07 1	0,99 7

Сумарна ймовірність безвідмовної роботи при (t=10000 год): P=99,7%

Отже отримавши результати підрахунків маємо те, що пристрій має більше 99.7% ймовірності безвідмовної роботи протягом 10000 годин. Пристрій задовільняє умові технічного завдання.

ВИСНОВКИ

1. В данному дипломному проекті була розроблена РЛС для охорони техногенних споруд на воді. За основу взяли міст, на якому прикріплені ФАР, з елементами патч-антени, до балок. Також було розроблено систему вмикання сигналу тривоги для оператора РЛС уразі виявлення об'єкта, який рухається в сторону водної споруди та підсилювач проміжної частоти.

2. Були розглянуті основні принципи охорони техногенних споруд, тобто ГЕС, мости, тощо.

3. В якості антени було обрано ФАР, з елементами патч-антени, 2х6 або 4х8 (залежно від ситуації). Коефіцієнт підсилення становить для ФАР 2х6 14.55 дБ та для 4х8 - 16.75 дБ. Таке рішення було прийнято оскільки вони не мають механічних елементів для обертання антени, не потрібні ФАР для електронного сканування. Формування сектору огляду за рахунок параметрів антенної системи. Зміна типів антен можна формувати потрібну конфігурацію поля. РЛС типові прості і дешеві, взаємно замінні, і набір потрібної кількості формують будь яку конфігурації зони охорони.

4. Зроблено підсилювач проміжної частоти. Проміжна частота становить 433 МГц. Його основна мета - підсилення слабких сигналів, перетворених на проміжну частоту, перед тим як вони зазнають подальшої обробки.

5. Виконано розробку блоку системи вмикання сигналу тривоги для оператора РЛС уразі виявлення об'єкта, який рухається в сторону водної споруди, визначені його параметри, створено 3-Д модель та креслення вигляду загального.

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						65
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Теорія радіолокаційних систем (видання друге): підручник/ Б.Ф. Бондаренко, В.В. Вишнівський, В.П. Долгушин та іню; за заг.ред. С.В. Ленкова. – К. Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2011.- 383с.
2. Теорія радіолокаційних та радіонавігаційних систем : навч. посіб. для студ. внз за напрямком "Радіотехніка" / Я. І. Лепіх ; Одеська нац. морська акад. Одеса : Екологія, 2008. -224 с.
3. Як виглядає міст у Затоці після численних атак і влучань:
<https://bilyayivka.city/articles/215720/yak-viglyadaye-mist-u-zatoci-pislya-chislennih-atak-i-vluchan-foto>
4. Обстріл моста біля Затоки 11 лютого 2023 року:
<https://www.stopcor.org/ukr/section-suspilstvo/news-obstril-mosta-bilya-zatoki-zaluzhnogo-turbuyut-morski-droni-armii-rf-scho-vidomo-11-02-2023.html>
5. РЛС “БАРСУК-А”: <http://ust.com.ua/ru/item/rls-barsuk-a/>
6. Список гідроелектростанцій України:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Список_гідроелектростанцій_України
7. Прокопенко І.Г. Статистична обробка сигналів: навч. посіб. МОНУ/ І.Г. Прокопенко. — К.: НАУ, 2011. — 220 с.
8. Основи теорії радіотехнічних систем: Навч. посібник. – Львів: Видавництво Національного Університету Львівська політехніка, 2005. -240 с.: іл. ISBN 966-553-439-4.
9. Методи та засоби обробки сигналів. Навчальний посібник./ Г. Д. Братченко, Б. В. Перелигін , О. В. Банзак, Н. Ф. Казакова, Д. В. Григор’єв — Одеса: Типографія-видавництво «Плутон», 2014. — 452 с.
10. Методи безпечної обробки інформації у багатопозиційних системах радіолокації. Монографія / Ігор Пархомей, Валерій Козловський, Сергій Гнатюк, Мирослав Рябий ; Національний авіаційний університет., Київ: Центр учбової літератури, 2018. - 230 с.

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						66
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

11. Чесановський І. І. Підвищення завадостійкості обробки сигналів в некогерентних радіолокаційних системах / Чесановський І. І., Іванов А. В., Гурман І. В. // Вісник НТУУ «КПІ». Радіотехніка, радіоапаратобудування : збірник наукових праць. – 2013. – № 54. – С. 68–74. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/7174>

12. Реутська, Ю. Ю. Моделювання радіолокаційного сигналу на основі аналізу роботи імпульсно-доплерівського радару в заводській обстановці / Реутська Ю. Ю. // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи» : матеріали конференції, 10-16 березня 2014 р., м. Київ / НТУУ «КПІ», РТФ. – Київ: НТУУ «КПІ», 2014. – С. 177-179.

13. MATLAB and Simulink for Signal Processing [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.mathworks.com/solutions/signal-processing.html>. — Дата доступу: 06.06.2023.

14. Spencer, Jonathan Cullinan, "A Compact Phased Array Radar for UAS Sense and Avoid" / Brigham Young University - Provo , 2015.-96p.

15 Інформатика. Основи програмування та алгоритми: мова програмування С. Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», 126 «Інформаційні системи та технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.В. Вишневий, П.Ю. Катін, Є.В. Крилов. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,21 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 221 с.

16. Мінерал-У: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Мінерал-У>

17. РЛС «Дельта-М»: https://uk.wikipedia.org/wiki/РЛС_«Дельта-М»

18. Патч-антена: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Патч-антена>

19. Фазована антенна решітка:

https://uk.wikipedia.org/wiki/Фазована_антенна_решітка

20. А.М. Гуржій, В.В. Самсонов, Н.І. Поворознюк "Імпульсна та цифрова техніка", "Компанія СМІТ", Харків, 2005:

<https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/13833/1/5.pdf>

21. Підсилювачі проміжної частоти: <https://studfile.net/preview/8951209/>

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						67
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

22. Транзистор КТ976: https://prom.ua/ua/p1546027565-tranzistor-kt976a-2t976a.html?utm_source=google_pmax&utm_medium=cpc&utm_content=pmax&utm_campaign=Pmax_cpa_1_50_elektrooborudovanie&gclid=CjwKCAjwhJukBhBPEiwAniIc-NUujgKWvftY3piGkTwt3LNsOYPqh_sKMNwlLaWwDXDPgq4WkB3F0iBoCMxEQAvD_BwE

23. Підсилювальні пристрої: http://radio-vtc.inf.ua/doc/less3_2.htm

24. МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО» В. Й. Котовський, Т. В. Семікіна, Н. В. Слободян, А.В. Немировський, В. А. Клименко, ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/46176/1/Osnovy_elektroniky_L_P_2021.pdf

					РТ91.468332.001 ПЗ	Лист
						68
Зм.	Лист	№ доким.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

ПОГОДЖЕНО

Керівник дипломного проекту

Чмельов В.О.



ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри

С.Я. Жук

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ДИПОМНИЙ ПРОЕКТ

«Радіолокаційна системи охорони техногенних споруд на воді»

1 НАЗВА І ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

Назва дипломного проекту “Радіолокаційна системи охорони техногенних споруд на воді”

Підставою для виконання є завдання, видане кафедрою радіотехнічних систем від «17» квітня 2023р.

2 МЕТА ВИКОНАННЯ І ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКЦІЇ

Розробка пристрою виявлення об’єктів на воді які рухаються в сторону техногенної споруди, що охороняється. Пристрій може зчитувати швидкість об’єктів та відстань до них.

3 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

3.1 Вимоги призначення

- Напруга живлення 220 В.
- Максимальний струм 5 А.
- Номінальний струм 0,9 А.

3.2 Вимоги до надійності

Час безвідмовної роботи 10000 годин з моменту початку експлуатації.

3.3 Вимоги до конструкції

Зовнішньо прилад виглядає в формі прямокутної коробки. Знизу розташоване рухоме кріплення, для фіксації на поверхні техногенної споруди, і орієнтації антенної системи таким чином, щоб охопити всю зону контролю, яку хоче охороняти користувач. Пристрій живиться від напруги 220В.

3.4 Вимоги до уніфікації та стандартизації

Використовується уніфікована та стандартизована елементна база та матеріали.

3.5 Вимоги до дизайну і ергономіки

Пристрій повинен мати невеличкі габарити, аби його можна було встановити або розмістити на опорах моста або на визначених місцях греблі. Дизайн приладу мінімалістичний, захисного кольору, щоб не виділявся і був

мало помітним. Потрібно забезпечити максимальну вологостійкість шляхом захисту елементів від потрапляння вологи , а також щоб на роботу приладу не впливала перешкоди від джерел тепла.

3.6 Вимоги до експлуатації, зручності технологічного обслуговування та ремонту

Технічне обслуговування проводити при необхідності, у випадку виведення зі строю елементів пристрою, ремонт виконується спеціалістами.

3.7 Транспортування і зберігання

Умови транспортування виконується згідно ГОСТ 23216-78.

3.8 Утилізація приладу

За ГОСТ 30773-2001 утилізацією приладу займається сам виробник.

4 ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ ТА МАТЕРІАЛІВ

Потрібно вибрати термостійкий та вологостійкий матеріал, який буде підходити для експлуатації при умовах підвищеної вологості та температури.

5 ВИМОГИ ДО МАРКУВАННЯ, ПАКУВАННЯ ТА КОНСЕРВАЦІЇ

Маркування: нанести логотип назви фірми виробника на нижню частину приладу. Також нанести маркування на всі елементи керування та індикації ,а також попереджувальні написи поруч з елементам живлення.

Пакування: прилад потрібно загорнути в бульбашку плівку і помістити в картонну коробку для транспортування.

Консервація: не потрібна.

6 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Оформлення документації оформлюється згідно ДСТУ 3008:2015.

Склад конструкторської документації:

1. Текстова документація (пояснювальна записка, специфікація на пристрій).
2. Графічна документація загальним обсягом не менше 3 аркушів А1 (кресленник вигляд загальний, схема електрично принципова, модуль електронний).

7 ОРІЄНТОВНИЙ ЗМІСТ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

Титульний лист

Завдання на дипломний проект

Зміст

Вступ

1. Огляд існуючих рішень. Аналіз технічного завдання
2. Вибір та обґрунтування схемотехнічного рішення
3. Проектування електронного модуля
4. Проектування корпусу приладу
5. Розрахунки, що підтверджують працездатність

Висновки

Додаток А: Технічне завдання

Додаток Б: Специфікація ЕМ

Додаток В: Специфікація пристрою

Додаток Г: Перелік елементів

Додаток Д: Відомість дипломного проекту

8 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

Дипломний проект виконується в 8 етапів

Таблиця А.1 — Етапи дипломного проекту

№	Назва етапу	Термін виконання	Форма звітності
1	Огляд існуючих рішень	17.04 — 20.04	Розділ 1
2	Аналіз технічного завдання	21.04 — 30.04	Розділ 1
3	Обґрунтування та вибір схеми	01.05 — 11.05	Розділ 2
4	Вибір та обґрунтування елементної бази	12.05 — 15.05	Розділ 3
5	Проектування приладу	16.05 — 22.05	Розділ 3
6	Розрахунки, що підтверджують працездатність	23.05 — 28.05	Розділ 4
7	Охорона праці	29.05 — 01.06	Розділ 5
8	Оформлення документації	02.06 — 19.06	Креслення і додатки

9. ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ І МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬСЯ ПІД ЧАС ЗАКІНЧЕННЯ ЕТАПІВ І ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ В ЦІЛОМУ

Матеріали, які являються проміжними, подаються в вигляді розділів дипломного проекту на перевірку в зазначені терміни. Після закінчення виконання дипломного проекту, цей проект представляється і захищається комісією.

Виконавець:

_____Іван НАЗАРОВ

Керівник:



Вячеслав ЧМЕЛЬОВ

ДОДАТОК Б

Специфікація електронного модуля

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.		
				<u>Документація</u>				
A4			PT91.468332.001 ЕЗ	Схема електрична принципова				
A4			PT91.468332.001 ПЕ	Перелік елементів				
A3			PT91.403179.001 СК	Складальний кресленик				
				<u>Деталі</u>				
		1	PT91.758724.001	Друкована плата	1			
				<u>Інші вироби</u>				
		2		PIR sensor EKMB1301113K	1	B1		
		3		Годинник реального часу/календар DS1307ZN+	1	DA1		
		4		Мікроконтроллер АТmega8A-AU	1	DD1		
		5		LCD 1602 LM016L 16x2	1	HG1		
		6		Світлодіод 2.85 В 350mA XTEAR-00-0000-000000N02-STAR Cree	3	HL1,HL2,HL3		
		7		Фоторезистор PGM5659D	1	R1		
		8		ЧІП резистор 0,125 Вт, корпус 0805 RC0805FR-100R RC0805FR-10KR	1	R2		
		9		Кнопка KLS7-PBS-013 Push Button Switch Series	1	SB1		
		10		WR-COM USB 2.0 Horizontal 61400416021	1	X1		
				PT91.468332.002				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.				Дата	
Розроб.		НазаровІ.С.			Друкований вузол	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		ЧмельовВ.О.					1	2
Реценз.						РТФ.гр.РТ91		
Н.Контр		ПіддубнийВ.О.						
Затверд.		ЧмельовВ.О.						

[illegible]

ДОДАТОК В

Специфікація пристрою

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A3			PT91.403179.001 СК	Складальний кресленик	1	
A4			PT91. 468332.001 ПЗ	Пояснювальна записка	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
A4		1	PT91.468332.002	Друкований вузол	1	
				<u>Деталі</u>		
A3		2	PT91.468332.001	Корпус	1	
A3		3	PT91.468332.002	Кришка	1	
				<u>Інші вироби</u>		
		4		Гвинт М3х6 ISO 7045	4	
					1	
				<u>Матеріали</u>		
		5		Клей силіконовий Т-7000 15мг	1	
				PT91.468332.002		
Зм.	Арк	№ докум.	П	Д		
Розробив		Назаров І.С			Система вмикання тривоги	Лім.
Перевір.		Чмельов. В. О.				Арк.
Т.конт		Піддубний В. О.				1
Н.конт						1
Затверд.		Чмельов. В. О.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, РТФ

ДОДАТОК Г
Перелік елементів

[illegible]

ДОДАТОК Д

ВІДОМІСТЬ ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	РТ91.468332.001 ПЗ	Пояснювальна записка	68	
3	A3	РТ91.468332.001 ВЗ	Кресленик вигляд загальний	1	
4	A4	РТ91.468332.001 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
5	A3	РТ91.403179.001 СК	Складальний кресленик модулю електронного	1	
6	A3	РТ91.758724.001	Кресленик друкованої плати	1	

				ДП РТ91.468332.001		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Назаров І.С.			Розробка основних параметрів радіолокаційної системи охорони техногенних споруд на воді	Лист	Листів
Керівн.	Чмельов В.О.				1	1
Н/контр.					КПІ ім. Ігоря Сікорського РТФ, РІ-71	
Зав.каф.						