

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет
Кафедра радіотехнічних систем**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Сергій ЖУК

«__» _____ 2023 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньою програмою «Радіотехнічні інформаційні технології»

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: «Радіолокаційна система контролю вільної залізничної колії для
безпечного руху поїзду»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи РТ-91
Кондрацька Вікторія Денисівна



Керівник:


к.т.н., доцент
Чмельов Вячеслав Орійович



Рецензент:

к.т.н., доцент
Адаменко Юлія Федорівна

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

Студент (-ка) _____


Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет
Кафедра радіотехнічних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Радіотехнічні інформаційні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій ЖУК

«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Кондрацька Вікторія Денисівна

1. Тема проєкту «Радіолокаційна система контролю вільної залізничної колії для безпечного руху поїзду»,

керівник проєкту Чмельов Вячеслав Орійович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «30» травня 2023 р. № 2061-с

2. Термін подання студентом проєкту 17 червня 2023 року

3. Вихідні дані до проєкту:

РЛС: частота 77 ГГц; максимальна дальність до цілі 250 метрів; ймовірність вірного виявлення 0,9; ймовірність хибної тривоги 10^{-5} ; умови експлуатації: У1 (ГОСТ 15150–69), В5 (ГОСТ 16019–2001).

Бездротова аудіосистема: схема електрична принципова; умови експлуатації: У1 (ГОСТ 15150–69), В5 (ГОСТ 16019–2001).

4. Зміст пояснювальної записки: провести аналіз технічного завдання, розглянути сучасні підходи, визначення структури РЛС, розрахунок основних параметрів РЛС, дослідження якості роботи, розробка пристрою.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): схема електрична принципова, складальне креслення друкованого вузла, друкована плата, складальне креслення пристрою, презентація.

6. Дата видачі завдання 15 квітня 2023 р.

Календарний план

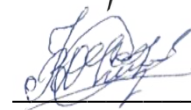
№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Узгодження ТЗ з керівником	17.04.23 – 20.04.23	Виконано
2	Огляд сучасних підходів	21.04 – 30.04.23	Виконано
3	Визначення структури РЛС	01.05.23 – 10.05.23	Виконано
4	Розрахунок основних параметрів РЛС	11.05.23 – 16.05.23	Виконано
5	Дослідження якості роботи	17.05.23 – 23.05.23	Виконано
6	Аналіз ТЗ	24.05.23 – 29.05.23	Виконано
7	Розробка пристрою	30.05.23 – 10.06.23	Виконано
8	Виконання графічних матеріалів	11.06.23 – 16.06.23	Виконано

Студент



Вікторія КОНДРАЦЬКА

Керівник



Вячеслав ЧМЕЛЬОВ

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт складається з пояснювальної записки обсягом 83 сторінок, містить 49 ілюстрацій, 7 таблиць, 9 додатків та 25 посилань.

Метою дипломного проєкту є визначення основних параметрів РЛС забезпечення безпеки руху поїздів, яка забезпечить безпечну експлуатацію залізничної інфраструктури та безпеку людей.

Для досягнення поставленої мети було розглянуто сучасні підходи для забезпечення безпеки руху залізничного транспорту, досліджено проблеми пов'язані з виявленням потенційних небезпек на залізничній колії, проаналізовано засоби технічного контролю щодо безпеки шляху, де буде рухатись поїзд, вивчено теоретичні підходи побудови РЛС контролю зони безпеки, визначено структуру РЛС, розраховано основні параметри РЛС, розглянуто підсистему цифрового оброблення сигналів, оцінено якість роботи РЛС та розроблено багатопозиційну аудіосистему для оповіщення сигналу тривоги.

Ключові слова: РЛС попередження зіткнення, виявлення, FMCW, аудіосистема, сигнал тривоги.

ANNOTATION

The diploma project consists of an explanatory note of 83 pages, 49 illustrations, 7 tables, 9 appendices and 20 references.

The purpose of the thesis project is to determine the main parameters of the train traffic safety radar, which will ensure the safe operation of railway infrastructure and the safety of people.

To achieve this goal, modern approaches to ensuring the safety of railway transport were considered, problems related to the identification of potential hazards on the railway track were investigated, technical control means for the safety of the track where the train will move were analysed, theoretical approaches to the construction of a safety zone control radar were studied, the structure of the radar was determined, the main parameters of the radar were calculated, the digital signal processing subsystem was considered, the quality of the radar was evaluated, and a multi-position audio system for alerting was developed.

Keywords: Collision warning radar, detection, FMCW, audiosystem, signal warning.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проєкту

на тему:

Радіолокаційна система контролю вільної залізничної колії для
безпечного руху поїзду

Київ — 2023 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	9
ВСТУП	10
1 ДОСВІД РОЗРОБКИ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ РУХУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ	12
1.1 Сучасні підходи для забезпечення безпеки руху залізничного транспорту	12
1.2 Проблеми, пов'язані з виявленням потенційних небезпек на залізничній колії.....	17
1.3 Засоби технічного контролю щодо безпеки шляху, де буде рухатись потяг	19
2 ОСНОВИ ПОБУДОВИ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ НЕБЕЗПЕЧНОЇ ЗОНИ	24
2.1 Теоретичні основи РЛС контролю зони безпеки.....	24
2.2 Структурна схема РЛС, яка виконує функції моніторингу безпеки руху.....	29
2.3 Розрахунок основних параметрів РЛС безпечного руху	32
2.3.1 Аналіз роботи рупорної антени.....	43
3 ВДОСКОНАЛЕННЯ РЛС КОНТРОЛЮ ЗОНИ БЕЗПЕКИ ДЛЯ ЗАЛІ- ЗНИЧНОГО РУХУ.....	48
3.1 Підсистема цифрового оброблення сигналів РЛС	48
3.2 Розроблення антенної системи РЛС безпеки руху поїздів.....	51
3.3 Розробка багатопозиційної аудіосистеми для оповіщення сигналу тривоги	54

					РТ91.464421.001 ПЗ				
<i>ЗМ. Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Радіолокаційна система контролю вільної залізничної колії для безпечного руху поїзду			<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Кондрацька</i>						7	84	
<i>Перевірів</i>	<i>Чмельов</i>			РТ-91 РТФ					
<i>Н. Контр.</i>									
<i>Затвердив</i>	<i>Чмельов</i>								

3.3.1 Аналіз технічного завдання	54
3.3.2 Вибір елементної бази	55
3.3.3 Опис схеми	58
3.3.4 Проектування друкованої плати	59
3.3.5 Обґрунтування конструкції пристрою	61
3.3.6 Розрахунки надійності	63
3.3.7 Розрахунки стійкості до динамічних та механічних впливів ...	65
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	69
Додаток А.....	72
Додаток Б	77
Додаток В	78
Додаток Г	79
Додаток Ґ.....	80
Додаток Д.....	81
Додаток Е	82
Додаток Є	83
Додаток Ж.....	84

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

РЛС	—	Радіолокаційна система
ETCS	—	European Train Control System
GSM-R	—	Global System for Mobile Communications-Railway
RBC	—	Центр радіоблокування
PTC	—	Positive Control System
АЛС	—	Автоматична локаційна сигналізація
FMCW	—	Frequency Modulated Continuous Wave
ЕПР	—	Ефективна площа розсіювання
ПЧ	—	Проміжна частота
ЛЧМ	—	Лінійна частотна модуляція
МШП	—	Малощумлячий підсилювач
ГКН	—	Генератор керованої напруги
ФНЧ	—	Фільтр низьких частот
ПНЧ	—	Підсилювач низьких частот
АЦП	—	Аналого-цифровий перетворювач
ЦОС	—	Цифрова обробка сигналів
BT	—	Bluetooth
ФАР	—	Фазова антенна решітка
ДС	—	Діаграма спрямованості
PCB	—	Printed circuit board
ЕБ	—	Елементна база
ДП	—	Друкована плата
ЦАП	—	Цифро-аналоговий перетворювач

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

РТ91.464421.001 ПЗ

Лист

9

ВСТУП

Радіолокація є невід'ємною частиною сучасного світу. Своє застосування знайшла у багатьох сферах нашого життя, починаючи від повсякденних цивільних потреб до військових застосувань. За допомогою РЛС можна виявляти та відстежувати об'єкти та цілі, вимірювати відстань, швидкість та напрямок руху та багато іншого.

Застосування радіолокаційних систем є особливо актуальним у залізничній сфері. Їх активно використовують в системах для безпечного руху поїзду, що дозволяє забезпечити ефективну детекцію, ідентифікацію та моніторинг руху поїздів. Також такі системи використовують для попередження зіткнень, щоб уникнути можливих аварійних ситуацій, бо безпека є найголовнішим пріоритетом.

Метою дипломного проєкту є визначення основних параметрів РЛС забезпечення безпеки руху поїздів, яка гарантуватиме надійну експлуатацію залізничної інфраструктури та безпеку людей.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати низку завдань:

1. Розглянути сучасні підходи для забезпечення безпеки руху залізничного транспорту.
2. Дослідити проблеми пов'язані з виявленням потенційних небезпек на залізничній колії.
3. Проаналізувати засоби технічного контролю щодо безпеки шляху, де буде рухатись поїзд.
4. Вивчити теоретичні підходи побудови РЛС контролю зони безпеки.
5. Визначити структуру РЛС, яка виконує функції моніторингу безпеки руху.
6. Розрахувати основні параметри РЛС безпечного руху.
7. Розглянути підсистему цифрового оброблення сигналів РЛС.
8. Провести дослідження якості роботи розробленої РЛС.

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

РТ91.464421.001 ПЗ

Лист
10

9. Розробити багатопозиційну аудіосистему про оповіщення сигналу тривоги.

У ході виконання данного проєкту було використано системний підхід до аналізу досвіду побудову аналогічних РЛС, компаративний аналіз варіантів технічних рішень та програмне забезпечення, як Mathcad, MATLAB, Altium Designer, SolidWorks в студентських та демонстраційних версіях. Їх застосування дозволяє проводити розрахунки, моделювання, аналіз та побудову необхідних складових, що допоможуть в реалізації РЛС безпеки руху поїздів.

По закінченню розрахунків основних параметрів РЛС, ми повинні отримати оптимальний радар, який буде виявляти перешкоди на залізничній колії з високою точністю та дальністю дії, тим самим гарантуючи безпеку руху поїздів. Використання такої системи контролю вільної залізничної колії буде збільшувати ефективність залізничного процесу.

					<i>PT91.464421.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

1 ДОСВІД РОЗРОБКИ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ РУХУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

1.1 Сучасні підходи для забезпечення безпеки руху залізничного транспорту

Безпека руху залізничного транспорту є одним із найважливіших аспектів для забезпечення безпечних та ефективних перевезень, як пасажирського, так і вантажного типу. Відповідно до того, що постійно збільшується потреба в будь-яких перевезеннях, зростають і вимоги до швидкості та надійності таких перевезень. Сьогодні можна побачити, що такі вимоги потребують сучасних та інноваційних технологій.

Системи безпеки руху поїздів, які включають автоматизацію (система управління рухом, сигналізація, гальмування) та контроль швидкості, допомагають уникнути аварійних ситуацій. На прикладі деяких систем розглянемо, як саме вони діють та працюють для забезпечення безпеки руху поїздів.

Компанія Bosch розробила систему попередження про небезпеку зіткнення залізничного транспорту з перешкодами на колії. Для цього в систему включено радар, радіусом дії до 160 метрів та відеокамеру для виявлення цілей перед поїздом (автомобілі, автобуси, інший залізничний транспорт, статичні перешкоди). Високопродуктивний блок управління обробляє інформацію, отриману від датчиків, базуючись на таких змінних, як швидкість. Якщо система зафіксує скорочення відстані до об'єкта, тобто сягає небезпечного рівня, вона подає водію візуальний і звуковий сигнал. Датчики системи працюють в будь-який час доби та за будь-яких погодних умов. Такий комплекс значно підвищує безпеку пасажирів, водіїв та вантажу під час руху [1]. Вигляд системи попередження про небезпеку від компанії Bosch зображено на рисунку 1.1.

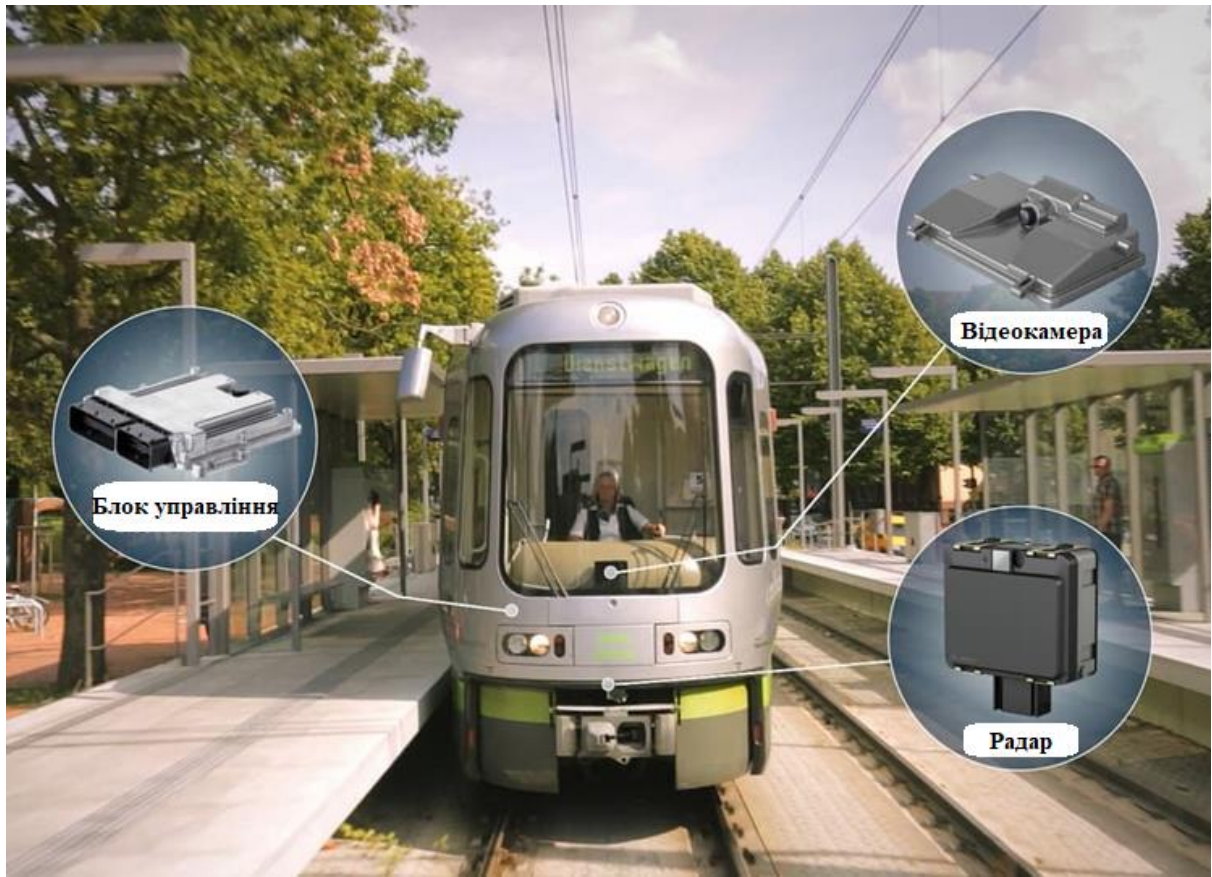


Рисунок 1.1 — Розміщення системи попередження про небезпеку на трамваї

Також, одними з найважливіших систем є ті, що контролюють і регулюють швидкість поїздів. Наприклад, система European Train Control System (ETCS) використовується для автоматичного контролю швидкості. Ця система базується на комунікації між поїздами та інфраструктурою залізниці. Дана система поділяється на рівні та має відповідно до цього режими роботи.

Рівень 1 (див. рис. 1.2) передбачає, що цю систему встановлюють на колії та на борту потягу. Відбувається точкова передача даних від колії до поїзда, і навпаки, через Eurobalises. Eurobalise це такий варіант баліз (електронний пристрій), який встановлюється на колії залізниці, з метою передачі інформації поїзду або системі керування рухом поїздів. За допомогою отриманих даних у будь-який час розраховується максимальна швидкість і крива гальмування. Для того, щоб зупинений поїзд міг рухатись, існують оптичні сигнали, які показують дозвіл на рух.

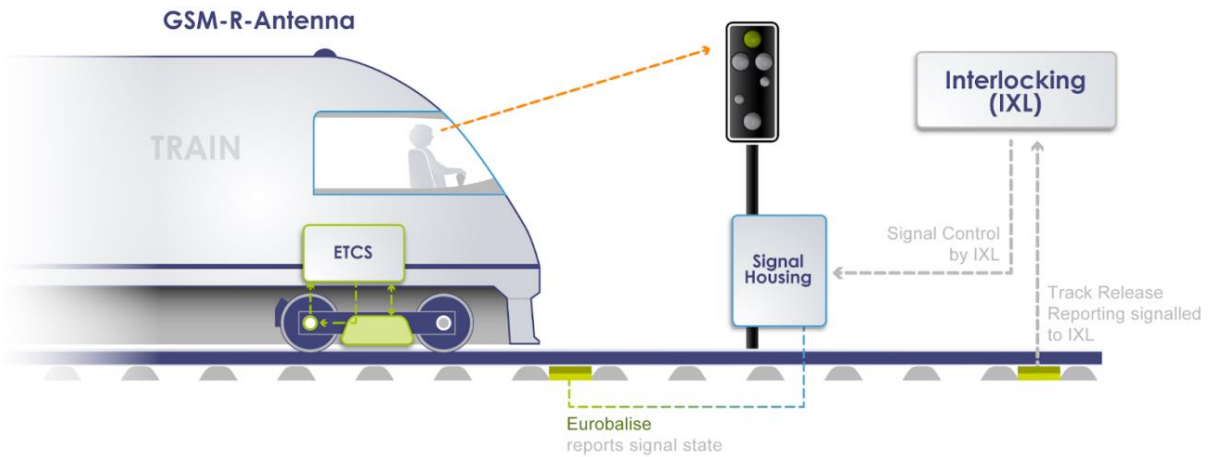


Рисунок 1.2 — Схема ETCS рівня 1

Рівень 2 (див. рис. 1.3) представлений системою на основі Global System for Mobile Communications — Railway, яка відображає сигналізацію та органи руху в кабіні. Поїзд безперервно надсилає дані в центр радіоблокування (RBC), щоб повідомити про своє точне місцезнаходження та напрямок. Євробалізи використовуються як пасивні позиціонуючі маяки. Потяги уточнюють своє положення за допомогою додаткових датчиків, таких як акселерометр, одометр або радар. Бортовий комп'ютер постійно стежить за даними і максимально допустимою швидкістю.

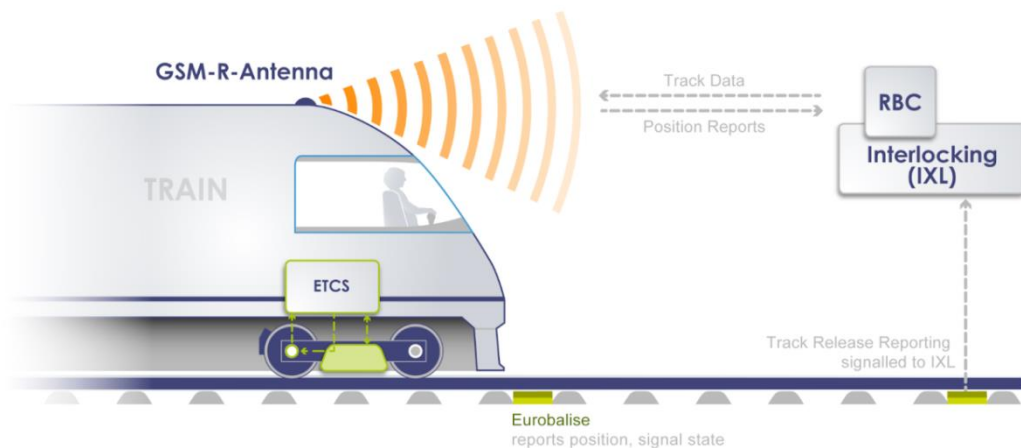


Рисунок 1.3 — Схема ETCS рівня 2

Рівень 3 (див. рис. 1.4) — це радіосистема без будь-якого колійного обладнання. RBC безперервно отримує місце розташування кожного поїзда та в

будь-який час обчислює найменші можливі відстані поїздів. Передаючи сигнал позиціонування, визначається точка на маршруті, яку поїзд безпечно звільнив. Наступному поїзду вже надається дозвіл на рух до цього моменту. На даний час система цього рівня перебуває на стадії стандартизації [2].

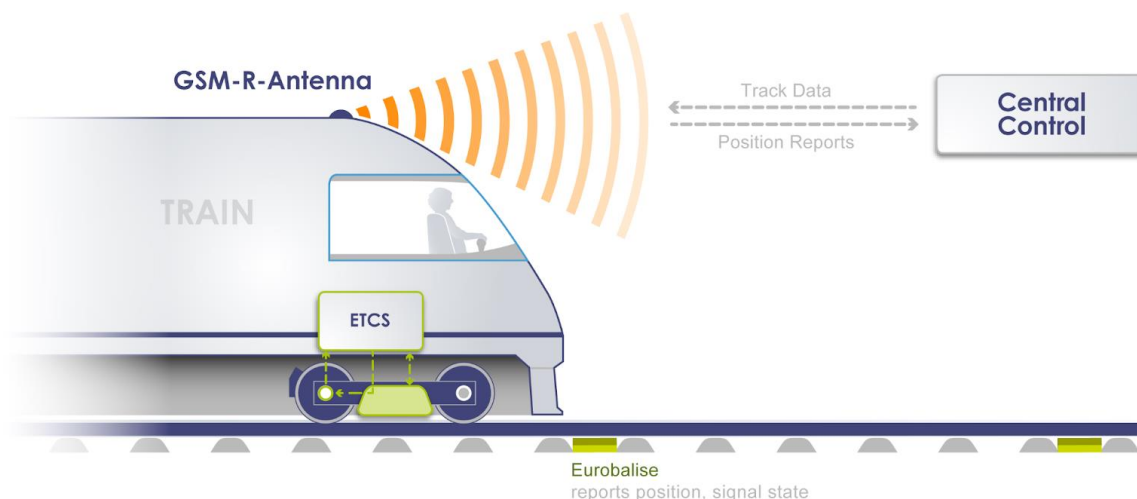


Рисунок 1.4 — Схема ETCS рівня 3

Сучасні системи моніторингу руху поїздів надають інформацію про розташування та швидкість. Наприклад, система Positive Train Control (PTC), яка призначена для запобігання зіткненням поїздів з іншими поїздами, сходженням з рейок через надмірну швидкість, несанкціонованого руху поїздів на ділянках колій, де проводяться ремонтні роботи та руху через стрілочний перевід, що встановлений в неправильному положенні. Така технологія розроблена для автоматичної зупинки до того, як відбудуться нещасні випадки чи аварії, що пов'язані з помилкою людини. PTC використовує поєднання систем глобального позиціонування, засобів радіозв'язку та бортових датчиків для постійного моніторингу швидкості та розташування поїздів в реальному часі (див. рис. 1.5). Системи PTC визначають точне місцезнаходження, напрямок і швидкість залізничного транспорту, попереджають операторів поїздів про можливі проблеми і наслідки та безпечно зупиняють поїзд, якщо оператор не вживає заходів. Саме таку систему для підвищення безпеки та ефективності вантажних залізниць використовує США [3].

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT91.464421.001 ПЗ

Лист
15

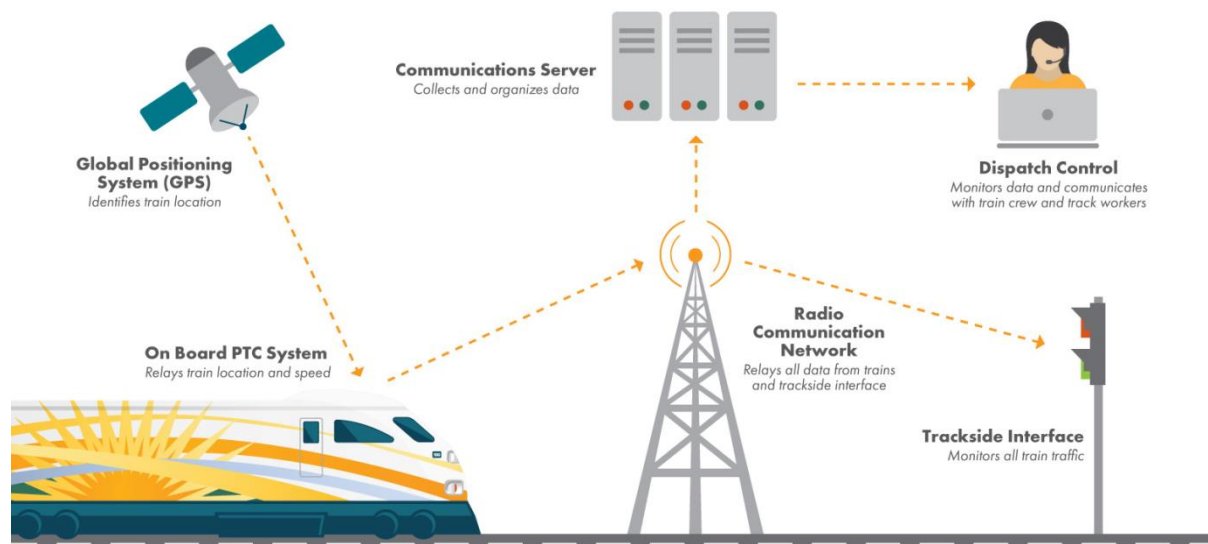


Рисунок 1.5 — Схема РТС

Однак, забезпечення безпеки не обмежується тільки технологіями. Важливим аспектом є також правильне навчання та підготовка персоналу до подібних ситуацій, бо в подібних ситуаціях потрібно швидко та чітко приймати рішення для запобігання небезпек. Відповідно, напрямки навчання персоналу наступні:

1. Підготовка з теоретичного боку забезпечення: працівники повинні добре розумітися на основних принципах та правилах, щодо регуляції руху, сигналізації, правил руху, процедур екстреного реагування та взаємодії з іншими членами екіпажу. Тобто, вони повинні ознайомитись з встановленими та впровадженими нормами та стандартами.

2. Підготовка з технічного боку забезпечення: персонал повинен бути ознайомлений та підготовлений до роботи з технічним обладнанням, включаючи системи керування, сигналізацію, гальмування та електричні системи. Також потрібно знати та вміти обслуговувати та перевіряти пристрої, для знаходження та усунення несправностей обладнання.

3. Підготовка та навчання на симуляторах: даний тип навчання дозволяє персоналу отримати практичний досвід та відпрацювати різні сценарії подій та екстрені ситуації, що можуть виникнути.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

1.2 Проблеми, пов'язані з виявленням потенційних небезпек на залізничній колії

Потенційні проблеми (або надзвичайні ситуації) можуть бути природного і техногенного характеру та ті фактори, що їх викликають можуть класифікуватися за різними ознаками [4].

Згідно з українським законодавством, надзвичайну ситуацію можна вважати як порушення нормальних умов життя та діяльності людей на певній території, або об'єкті [4].

Відповідно, для виявлення потенційних небезпек та надзвичайних ситуацій на залізничній колії, їх необхідно попередити шляхом інтегрування технологій, які будуть забезпечувати завчасне визначення та індикацію небезпеки, що наближається, але такі системи також мають свої проблеми.

Основними проблемами є:

1. Візуальний огляд об'єкта: даний процес проводиться працівниками залізничної компанії. Проте цей процес може вимагати значних зусиль через велику кількість колійних миль, які потрібно перевірити. Крім того, погодні умови, висока швидкість поїздів та інші фактори можуть ускладнювати виявлення потенційних проблем. Також під час візуального огляду працівники перевіряють наявність дефектів на рейках. Через погіршення стану залізничного обладнання можуть виникати небезпеки для руху поїздів, оскільки знижується міцність та стійкість самих рейок. Однак, виявлення цих дефектів може бути складним, оскільки вони можуть бути приховані під шарами бруду, снігу або бути невеликого масштабу. Такий метод, як візуальний огляд може бути недостатньо ефективними для точного виявлення таких проблем.

2. Сторонні предмети на залізничній колії: такі предмети, як каміння, сміття, дерева, чи бетонні блоки можуть заважати нормальному та безпечному руху поїздів. Вони можуть потрапити на колію або під час природних катастроф, або через технічні проблеми. Наприклад, каміння чи бетонні блоки, можуть перекривати оглядові канали або заважати передачі сигналів. Це

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

PT91.464421.001 ПЗ

Лист
17

впливає на вчасне виявлення проблем і може призвести до затримок або аварій на залізничній колії.

3. Обмежений огляд: через велику кількість та відстань самих колій, огляд залізничних трас може займати великий обсяг часу. Також операторам, що обслуговують залізничне обладнання можуть бути доступні лише обмежені точки огляду, особливо на ділянках, що проходять через важкодоступні місця, такі як ліси або гірські райони.

4. Погодні умови: такі умови, як сніг, дощ, туман або спека можуть ускладнювати виявлення потенційних проблем. Такі погодні негоди можуть змінювати видимість та стан залізничної інфраструктури.

5. Відсутність автоматизованих систем: брак автоматизованих систем виявлення потенційних небезпек на залізничній колії може ускладнювати процес руху поїздів або призводити до аварій. Застосування новітніх технологій, таких як датчики контролю швидкості, гальмування, відеоспостереження, системи машинного навчання та штучного інтелекту, може значно полегшити виявлення проблем та забезпечити більш точну та ефективну систему контролю стану залізничної колії. Існує багато прикладів, де застосування таких автоматизованих систем могло б врятувати людські життя. Наприклад, впровадження РТС в усіх залізницях США. Кроком до цього стало сходження з рейок поїзда Amtrak у Каліфорнії, у результаті якого загинули та отримали поранення люди [5].

6. Великий обсяг інформації: залізниця – це складна система. Це є великим викликом для людей, встигати орієнтуватися, особливо при відсутності автоматизованих систем контролю.

7. Людський фактор: цей фактор може включати в себе такі аспекти, як недостатня підготовка персоналу, втома, недостатня увага, недоцільні дії та інше. Все це може призвести до потенційних небезпек та аварій на залізничній колії. Застосування автоматизованих систем контролю та безпеки на залізницях також може допомогти зменшити вплив людського фактору шляхом

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

PT91.464421.001 ПЗ

Лист
18

зменшення залежності від людських дій та прийняття рішень. Також потрібно пам'ятати і про пішоходів. Вони можуть створювати небезпеку як для себе, так і для поїздів. Люди, зазвичай, звикли порушувати правила, а тому перетинають колію у невстановленому для цього місці. Вони можуть переходити в заборонених місцях, ігнорувати світлофори чи сигнали від машиністів. Це може призвести до аварій.

7. Перетин залізничних переїздів за допомогою автотранспорту: даний перетин відбувається за строго відведеними правилами, але деякі водії можуть їх порушувати, складаючи потенційну небезпеку на колії. Наприклад, водій ігнорує опускання шлагбаума чи заборону руху на світлофорі. Це створює серйозну небезпеку для самого водія, пасажирів машини чи потягу, а також працівників цього поїзду. Оскільки швидкість руху поїздів буває досить великою, то часу реакції водіїв чи машиністів буде недостатньо для своєчасного реагування.

З наведених вище проблем виявлення потенційних небезпек можна зробити висновок, що для вирішення цих питань доцільно залучати сучасні технології. На даний час існує деякий брак автоматизованих комплексів, які б дозволяли в повній мірі виявляти потенційні небезпеки та заздалегідь про них попереджати.

Також, необхідно пам'ятати, що подібні датчики та комбіновані системи повинні забезпечувати високу надійність та швидкодію, оскільки від них може залежати життя не тільки екіпажу залізничного транспорту, але й пасажирів.

1.3 Засоби технічного контролю щодо безпеки шляху, де буде рухатись потяг

Засоби технічного контролю допомагають забезпечити безпечний рух поїздів. Це є однією з найважливіших задач для залізничного транспорту. Усі без винятку, пасажирські чи вантажні, поїзди мають проходити

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

PT91.464421.001 ПЗ

Лист
19

обов'язковий технічний контроль. Це допоможе виявляти та фіксувати несправності в системі, щоб уникнути аварій в майбутньому.

Найголовнішими засобами, які розглядаються, є сигнальна система та регулярне технічне обслуговування.

Оскільки кожен з цих засобів відіграє важливу роль, тому розглянемо детальніше кожен із них.

Сигнальна система представляє собою зорові чи звукові засоби, що допомагають забезпечувати чітку організацію руху поїздів. Зорові сигнали можна відрізнити за кольором, формою, положенням. Це світлофори, прапорці, щити, автоматична локомотивна сигналізація та інші сигнальні знаки. Також їх всіх можна поділити за часом застосування, тобто у денний та нічний час. А для звукових сигналів використовують свистки, сирени, гудки, які відрізняються кількістю та тривалістю, при цьому попереджаючи, бо несуть різну інформацію. Розглянемо деякі з них [6].

Сигнальні знаки встановлюють на стовпах, а на електрифікованих ділянках залізниць допускається їх встановлення на опорах контактної підвіски. Місце та порядок встановлення визначається та затверджується спеціальною комісією та начальником залізниці [6].

Всі ці різні види світлофорів розташовуються вздовж шляху поїздів. Щоб відрізнити один від іншого, вони мають різні кольори, такі як червоний, жовтий та зелений. Наприклад, червоний сигнал означає зупинку потягу, жовтий — готовність до зупинки, а зелений — дозвіл на рух. Відповідно, є різні комбінації цих кольорів, що і відповідають різним функціям. Світлофори контролюються централізованою системою та можуть бути автоматичними або контрольованими диспетчером [7].

Регулярне технічне обслуговування необхідно для підтримання та забезпечення цілісності залізничних колій. Мета його проведення — це виявлення потенційних проблем та дефектів, та їх своєчасне усунення.

					<i>РТ91.464421.001 ПЗ</i>	Лист
						20
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Один з найважливіших напрямків технічного обслуговування — це перевірка стану колії.

Також важливо пам'ятати про стрілочні переводи. Вони допомагають поїздам змінювати напрям свого руху на розгалужених і перегонних ділянках. Під час огляду перевіряється робота механізмів, наявність візуальних пошкоджень або зносу, що також впливають на правильну роботу.

Окрім того, регулярному обстеженню підлягає інфраструктура, така як мости, переїзди та тунелі.

Багато залізничних шляхів оснащені відеосистемами, що використовуються для спостереження, запису та моніторингу ситуацій, які відбуваються на колії або поблизу залізничної інфраструктури. Їх розміщують в стратегічних місцях, вздовж шляху поїздів та на переїздах. Також відеокамери встановлюють на самі поїзди для моніторингу шляху поїзду по самій колії. В такому разі можна виявити потенційні небезпеки, що знаходяться безпосередньо на колії, по якій рухається поїзд. Відеокамери можуть бути стаціонарними або рухомими, а також мати функцію панорамного огляду. Тобто використання відеокамер забезпечує усю залізничну інфраструктуру системою моніторингу. Головний блок управління та спостереження може розташовуватися в центральному пункті сполучення усіх залізничних шляхів, де оператори в режимі реального часу відстежують події, що відбуваються вздовж залізничних шляхів. За допомогою великої кількості камер, оператори отримують багато інформації та на її основі можуть моніторити потоки транспорту, людей, виявляти незвичайну активність чи небажане втручання або присутність певних об'єктів на коліях, а також слідкувати за рухом поїздів. Камери відеоспостереження можна використовувати і для аналізу інцидентів, проведення розслідувань та покращення систем безпеки. Потрібно також зазначити, що відеосистеми можуть бути поєднані з іншими технічними засобами, такими як датчики руху, сигналізації, гальмування. Це дозволяє автоматично виявити небезпеку та застосувати негайні заходи безпеки.

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

PT91.464421.001 ПЗ

Лист
21

Потрібно пам'ятати, що велику роль в залізничній діяльності відіграють саме радіолокаційні системи. Вони використовуються, в основному, для вимірювання відстані, швидкості та розташування поїздів вздовж залізничного шляху. Одним з основних напрямків використання РЛС на залізничних коліях є виявлення потенційних небезпек на шляху поїзду, таких як автомобілі, пішоходи або сторонні предмети. Такі системи використовують радарні сигнали для виявлення рухомих чи нерухомих об'єктів. Якщо радар виявляє перешкоду на шляху, система контролю потягу, якщо вона автоматична, може активувати сигнали попередження для машиністів, які в свою чергу повинні зупинити рух або прийняти інші заходи безпеки для уникнення небезпеки. Також радари використовують для контролю швидкості. Принцип полягає в наступному: радар виявляє рух об'єкта, використовуючи принцип доплерівського ефекту і визначає його швидкість. Радар посилає радіосигнал на потяг, потім отримує відбитий сигнал. Аналізуючи зміну частоти радіосигналу (зсув частоти) в порівнянні з частотою самого радара, він може визначити швидкість з якою рухається потяг [8]. Застосування доплерівського ефекту дозволяє забезпечити ефективний контроль залізничного транспорту.

Ще одним важливим технічним засобом контролю та безпеки на залізничних коліях є автоматична локаційна сигналізація (АЛС). Вона використовується для точного визначення положення поїзда на шляху та передачі отриманої інформації машиністу та диспетчерському центру. Дана система працює на основі передачі інформації між блоком управління, що встановлений на поїзді, та центральним блоком управління рухом поїздів. АЛС призначена для оповіщення машиністів про сигнал світлофора, до якого наближається потяг [9]. При використанні такої системи ми отримуємо зниження ризиків виникнення аварій та людських помилок, оскільки маємо контроль швидкості потягу. Візуальний вигляд даної системи зображено на рис. 1.6.

					<i>РТ91.464421.001 ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		22



Рисунок 1.6 – Автоматична локомотивна сигналізація

Отже, засоби технічного контролю є невід’ємною частиною забезпечення безпеки руху поїздів. Вони дозволяють швидко виявляти та усувати можливі проблеми, забезпечуючи потяг, персонал, пасажирів та вантаж надійністю перевезення. Ефективне використання таких засобів допоможе зменшити ризики аварій та підвищить безвідмовний та безпечний рух поїздів по залізничній колії.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТ91.464421.001 ПЗ

Лист
23

2 ОСНОВИ ПОБУДОВИ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ НЕБЕЗПЕЧНОЇ ЗОНИ

2.1 Теоретичні основи РЛС контролю зони безпеки

На даний час радіолокаційні системи набувають великого значення для отримання різноманітної інформації про стан, швидкість та дальність до цілі. Для різних цілей використовуються різні РЛС. Наприклад, такі системи, як «Борсук-А» та «Лис-2М» призначені для стеження за бойовими переміщеннями особового складу та техніки. Тобто їх використовують для автоматичного виявлення об'єктів, навіть в умовах відсутності видимості та в будь-який час доби. Радіус дії «Лис-2М» сягає 12 кілометрів. Об'єкт відображається на спеціальному рідкокристалічному дисплеї, при цьому визначається його швидкість руху та дальність [10]. Вигляд цієї РЛС представлений на рис. 2.1:



Рисунок 2.1 — Візуальний вигляд РЛС «Лис-2М»

РЛС «Борсук-А» може передавати інформацію на відстань до 1 кілометра (дальність виявлення людини). Щойно об'єкт з'являється в радіусі дії, на

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТ91.464421.001 ПЗ

Лист
24

моніторі одразу відображається позначка цілі. Все це супроводжується звуковим сигналом [11]. Вигляд цієї РЛС представлений на рис. 2.2:



Рисунок 2.2 — Візуальний вигляд РЛС «Борсук-А»

Якщо розглядати сучасні РЛС, то найбільш актуальними можна вважати малогабаритні радіолокаційні системи ближньої дії (Frequency-Modulated Continuous Wave). Дані радары широко застосовуються в різних сферах життєдіяльності людини: в транспортних засобах, задачах неінвазивного вимірювання, моніторингу повітряного простору, прибережній навігації, тощо [12]. Розробка таких РЛС привертає велику увагу провідних компаній, оскільки вони мають великий потенціал розвитку для контролю руху безпілотних літальних апаратів (БПЛА), для охорони об'єктів критичної інфраструктури та військових об'єктів.

Одним з прикладів застосування таких РЛС є розробка радару RPG-FMCW-94 від компанії RPG-Radiometer Physics GmbH (див. рис. 2.3), що працює на частоті 94 ГГц та має роздільну здатність до 1 метра. Цей радар був розроблений для дослідження атмосфери [13].

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT91.464421.001 ПЗ

Лист
25



Рисунок 2.3 — RPG-FMCW-94 від компанії RPG-Radiometer Physics GmbH

Основне призначення FMCW радару полягає у вимірюванні дальності та швидкості цілі за допомогою частотно-модульованого безперервного сигналу, відомого як проміжна частота. Цей сигнал модулюється за допомогою затримки поширення та частоти Доплера [14]. Це дозволяє забезпечити виявлення цілей з високою точністю.

До основних переваг FMCW-радіолокаторів перед звичайними радарами, можна віднести:

- 1) одночасне вимірювання відстані до цілі та її радіальної швидкості;
- 2) забезпечення високої точності вимірювання дальності;
- 3) відсутність сліпої зони навколо розташування радіолокаційної станції;
- 4) можливість вимірювати дуже малі відстані до цілі;
- 5) висока роздільна здатність по дальності;
- 7) надійність РЛС, що забезпечується стійкістю до фізичних впливів;
- 8) низька собівартість, в порівнянні з іншими [12].

Використання радарів FMCW має кілька переваг, пов'язаних з їхніми апаратними та програмними характеристиками. З боку апаратного забезпечення, одна з переваг пов'язана з їх фізичними характеристиками, завдяки використанню простих твердотільних приймачів, що дозволило створити

					PT91.464421.001 ПЗ	Лист
						26
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

РЛС міліметрового діапазону, які працюють на більш високих частотах. Ці частоти (77 – 81 ГГц) зараз є частиною нормативно закріпленого широкосмугового діапазону (75 – 110 ГГц), який часто називають надширокосмуговим діапазоном ближнього радіусу дії. З точки зору програмного забезпечення, перевага полягає в тому, що радіолокатор FMCW може використовувати швидке перетворення Фур'є як основний корелятор для точного виявлення декількох об'єктів на основі їхніх тонів у частотній області [14].

Основною ідеєю будь-якого FMCW радара є сигнал. В нашому випадку, це синусоїдальна хвиля зі значення частоти, що лінійно змінюється з часом, як показано на рис. 2.4:

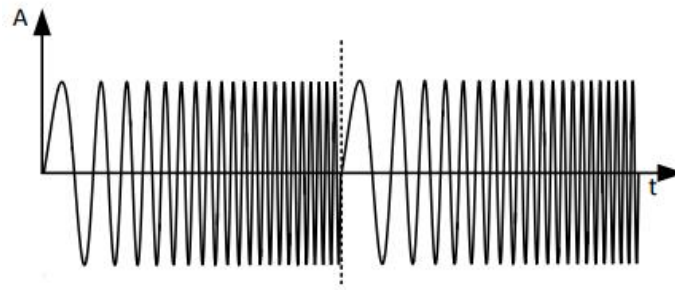


Рисунок 2.4 — Лінійна зміна сигналу представлена в амплітудно-часовій області

Характеристика лінійної зміни сигналу створює частоту пилкоподібного типу, як показано на рис. 2.5:

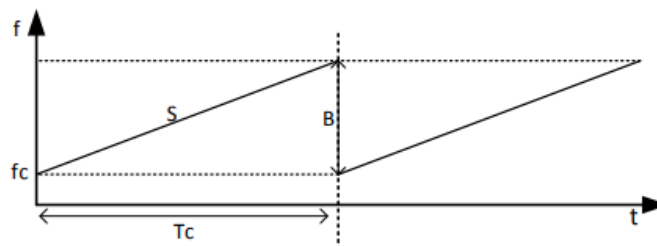


Рисунок 2.5 — Лінійна зміна сигналу представлена в частотно-часовій області

Отже, можна побачити, що кожен сигнал описує чотири важливі характеристики. Це початкова частота, смуга частотної розгортки, яка представляє

собою частотний інтервал між значеннями почату та кінця зміни частоти, тривалість ЛЧМ та швидкість зміни частоти на одиницю часу [14,15].

Розглянемо відправлені та прийняті частоти (див. рис. 2.6):

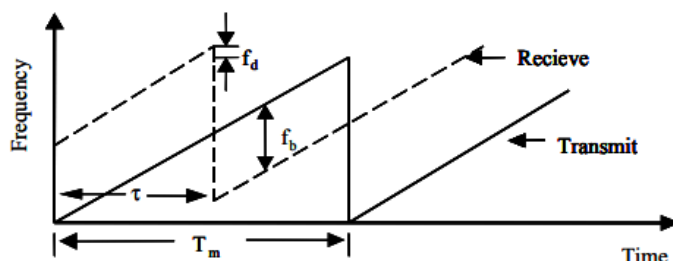


Рисунок 2.6 — Відправлені та прийняті частоти як функція часу

Сигнал випромінюється передавальною антеною і відбивається від поверхонь об'єктів у зоні контролю. При взаємодії з об'єктами виявлення відбувається ефект Доплера, який змінює частоту відбитого сигналу. За допомогою аналізу зміни частоти ми можемо визначити відстань до небезпеки, а також її швидкість.

Співвідношення між смугою пропускання, часом модуляції, різницевою частотою та часом проходження називається рівнянням FMCW:

$$\frac{f_p}{\tau} = \frac{B}{T} \quad (2.1)$$

де f_p — різницева частота; B — смуга пропускання; τ — тривалість проходження; T — період модуляції.

Дальність до цілі визначається через різницеву частоту і розраховується за формулою:

$$\tau = \frac{2 \cdot \Delta r}{c} \quad (2.2)$$

$$f_p = \frac{2 \cdot \Delta f \cdot \Delta r}{c \cdot T} \quad (2.3)$$

де τ — тривалість проходження сигналу; Δr — роздільна здатність по дальності, c — швидкість розповсюдження світла; T — період модуляції; Δf — ширина спектру [15].

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT91.464421.001 ПЗ

Лист
28

2.2 Структурна схема РЛС, яка виконує функції моніторингу безпеки руху

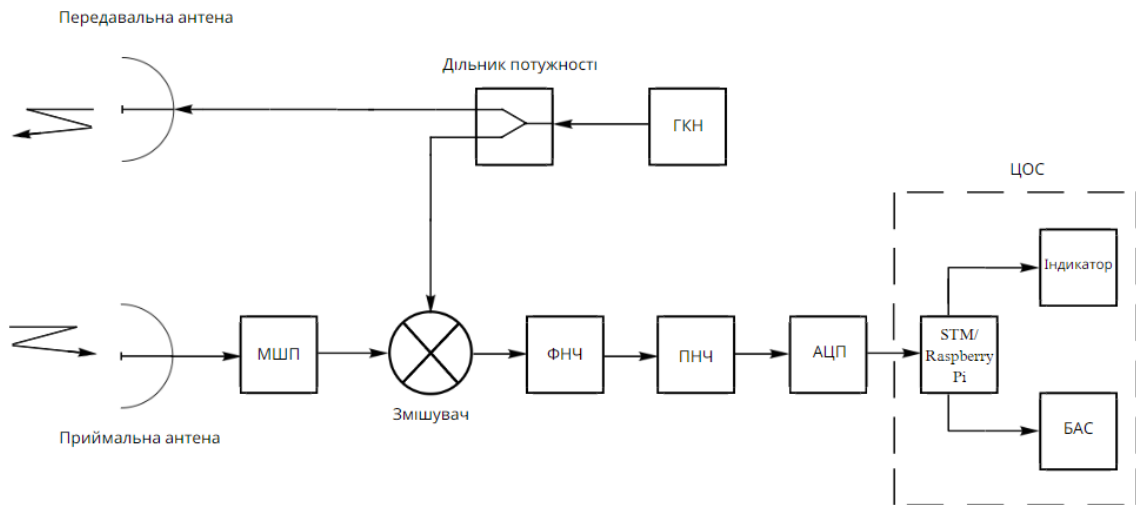


Рисунок 2.7 — Структурна схема РЛС на основі FMCW радару

ГКН — генератор керованої напруги;

МШП — малошумлячий підсилювач;

ФНЧ — фільтр низьких частот;

ПНЧ — підсилювач низької частоти;

АЦП — аналого-цифровий перетворювач;

ЦОС — цифрова обробка сигналів;

STM — мікроконтролер STM32F411;

БАС — бездротова аудіосистема для оповіщення сигналу тривоги.

На рис. 2.7 наведена стандартна структурна схема FMCW радару. Відповідно до представленої схеми, можна описати загальні етапи роботи даного радару наступним чином. Спочатку генератор керованої напруги (ГКН) генерує сигнал зі змінною частотою. Сигнал проходить через дільник потужності,

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT91.464421.001 ПЗ

Лист

29

який виконує функцію розподілу потужності між різними компонентами системи радару. Цей компонент важливий для забезпечення оптимального рівня потужності для різних функцій радару, наприклад для передавання сигналу, оброблення відбитого сигналу, та обробки даних.

Цей сигнал подається на передавальну антену, яка випромінює сигнал у напрямку перешкоди. Приймальна антена отримує відбитий від перешкоди сигнал. Далі він надходить на малошумлячий підсилювач. Його основним функціональним завданням є підсилення слабкого радіосигналу, що надходить з приймальної антени з мінімальним додаванням шуму в сигнал, що приймається. Він необхідний з урахуванням того, що у радарних системах, сигнал що отримується від приймальної антени має дуже низький рівень потужності. Якщо при подальшій обробці сигналу в системі радару виявиться що шум, який додано після підсилення дуже великий, то загальне співвідношення сигнал-шум може стати неприйнятним, що призведе до великого погіршення якості та точності отриманих результатів.

Після малошумлячого підсилювача (МШП), який використовується для підсилення слабкого вхідного сигналу, сигнал, за допомогою ча, змішується з оригінальним, щоб згенерувати проміжну частоту, яка є різницею між частотами вхідного сигналу та сигналу генератора.

Далі, сигнал проходить на фільтр низьких частот (ФНЧ), який потрібен, щоб усунути будь-які високочастотні шуми. Підсилювач низької частоти (ПНЧ) потрібен, щоб забезпечити підвищення амплітуди сигналу від приймальної антени для подальшого аналізу та обробки.

Наступним етапом сигнал оцифровується за допомогою АЦП (аналого-цифровий перетворювач). Це дозволяє отримати цифрові дані з аналогових даних, які можуть бути оброблені та використані для визначення відстані, швидкості та інших параметрів об'єктів, що перебуватимуть у зоні дії радару [14].

Блок ЦОС приймає цифровий сигнал від АЦП і виконує обробку цього

					РТ91.464421.001 ПЗ	Лист
						30
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

сигналу. В нашому проєкті блок ЦОС містить мікроконтролер STM32F411, який і буде виконувати цю задачу. Далі оброблений цифровий сигнал подається на індикатор, що буде відображати швидкість та дальність на моніторі. Це можуть бути числові значення, графіки залежності та інші параметри, які дозволять контролювати ситуацію на залізничній колії. В свою чергу до мікроконтролера підключаємо модуль Bluetooth (BT) до відповідного порту. Відтворення сигналу тривоги для попередження про небезпеку буде виконувати бездротова аудіосистема. Реалізувати це можна запрограмувавши мікроконтролер, програмний код якого буде мати відповідні команди для активації цієї системи.

Або для оброблення сигналів ми будемо використовувати Raspberry Pi — мікрокомп'ютер. На нього ми встановлюємо програмне забезпечення для аналізу сигналів в середовищі MATLAB, підключаємо модуль АЦП та BT. Оброблені сигнали з АЦП будуть аналізуватися та виводитися на монітор для контролю параметрів, у разі отримання сигналу, при обробці якого можна побачити, що на колії присутня перешкода, модуль BT відправить сигнал для передачі на бездротову аудіосистему для оповіщення сигналу тривоги.

Детальну інформацію про бездротову аудіосистему для оповіщення сигналу тривоги зазначено в 3 розділі пункт 3.3.

Приймальна та передавальна антени є рупорними антенами кінцевого типу.

Реальний вигляд FMCW радару представлений на рис. 2.8:

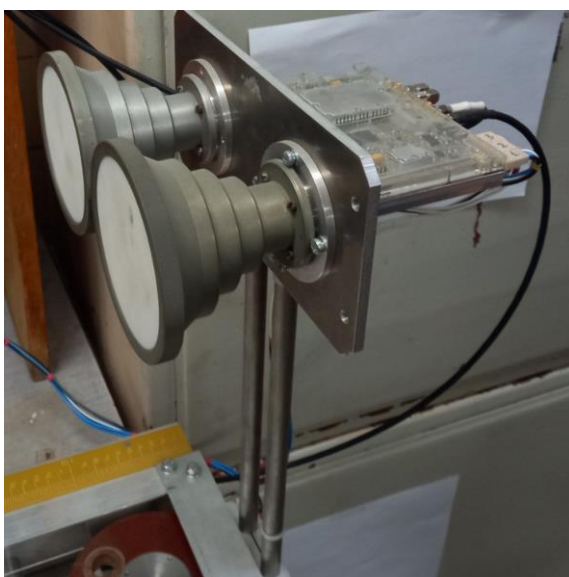


Рисунок 2.8 — Розроблений прототип FMCW радару

2.3 Розрахунок основних параметрів РЛС безпечного руху

Для визначення основних параметрів РЛС потрібно задати початкові дані, опираючись на те, як саме ми будемо її використовувати, в нашому випадку для виявлення перешкод на залізничній колії.

Параметр R_{\max} — максимальна відстань на якій радар може визначати ціль. Її величину можна обґрунтувати визначивши гальмівний шлях потягу. Він може варіюватись від декількох факторів: швидкість поїзду, тип гальмівної системи, стан колії, реакція машиніста та інші умови. Зазвичай для оцінки цього шляху нам потрібно знати скільки пройде поїзд після початку гальмування до повної зупинки, і відстань на якій зупиниться потяг після активації гальм і є значенням, що ми шукаємо. Але, як зазначалось раніше, великий вплив понесуть фактори:

- чим вища швидкість, тим більше потрібно часу і відстані для зупинки;
- якщо колія має нерівності або пошкодження, це впливає на збільшення гальмівного шляху;

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT91.464421.001 ПЗ

Лист
32

— різні типи гальм (пневматичні, електричні, динамічні) забезпечують високу ефективність гальмування, але при цьому мають складнощі в управлінні або несуть велике навантаження на систему;

— чим швидше зреагує машиніст, тим швидше зупиниться потяг перед перешкодою і тому можливо уникнути аварії.

Щоб визначити відстань, потрібно мати значення середнього гальмівного шляху. В середньому такий шлях займає 180 метрів, а середня швидкість потягу (електрички) при цьому 60 км/год [16]. Спираючись на те, що перешкода на колії може бути рухома і буде рухатись назустріч потягу або машиніст не одразу зреагує на потенційну небезпеку, збільшуємо значення гальмівного шляху. Отримуємо $R_{\max} = 250$ м.

Вибір частоти для FMCW радару також залежить від різних факторів. Це висока точність вимірювання, роздільна здатність, розмір антени, проникність та швидкість оновлення. В нашому випадку $f = 36$ ГГц. Обиране значення можна пояснити наступними пунктами:

— висока точність вимірювання відстані надає можливість вчасно реагувати на виявлені перешкоди на колії та уникнути аварій;

— використання високих частот дозволяє забезпечити високу роздільну здатність виявлення перешкод, тобто чим вища частота, тим менші об'єкти та цілі можуть бути виявлені;

— короткі хвилі дозволяють використовувати антени менших габаритів;

— забезпечується висока детекція перешкод в умовах обмеженої видимості;

— висока швидкість оновлення дозволяє швидше виявляти потенційні перешкоди, особливо важливо це є для потягів, оскільки вони рухаються з високою швидкістю.

Враховуючи всі вищеперераховані фактори, можна зрозуміти, що FMCW частотою 36 ГГц може бути оптимальним рішенням для вирішення

питання з виявлення потенційних перешкод на залізничній колії.

Вибір можна обґрунтувати дивлячись на залежність поглинання енергії радіосигналу в атмосфері. Поглинання радіохвиль в атмосфері визначається коефіцієнтом L_a . В діапазоні частот вище 500 МГц, основне поглинання визначають гази тропосфери — кисень і водяні пари [17]. Залежність коефіцієнтів поглинання від частоти представлені на рис. 2.9 та рис. 2.10:

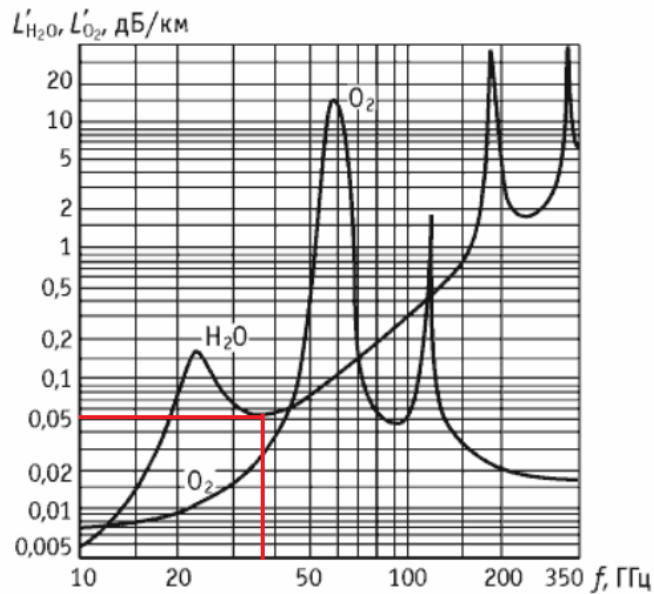


Рисунок 2.9 — Залежність коефіцієнтів молекулярного поглинання водяних парів від частоти

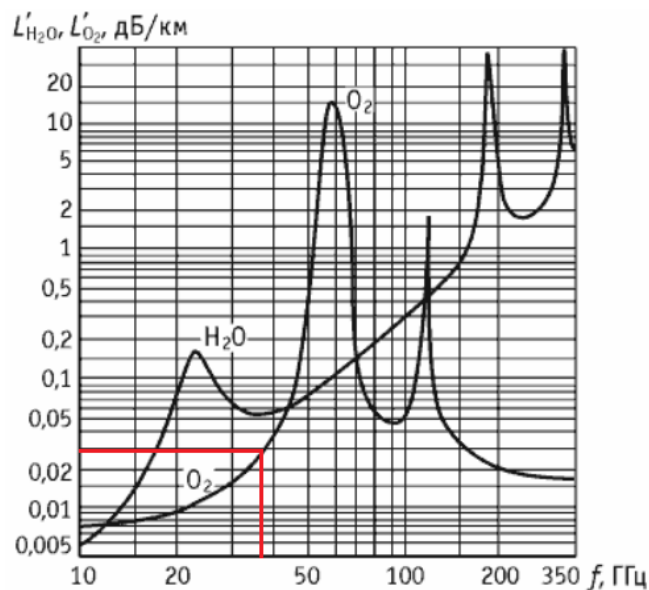


Рисунок 2.10 — Залежність коефіцієнтів молекулярного поглинання кисню від частоти

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТ91.464421.001 ПЗ

Для водяних парів резонансні піки при частотах 23 та 180 ГГц, а для кисню — при 60 та 120 ГГц. Обираючи наше значення 36 ГГц, можна побачити, що в цій частоті ми спостерігаємо провали. Отже, це означає, що на цій частоті ми будемо мати мале значення коефіцієнта поглинання, тим самим забезпечуючи високе випромінювання та роботу нашої радарної системи [17].

Ймовірність хибної тривоги P_{xm} визначає ймовірність, що наш радар виявить перешкоду, коли насправді її немає. У нашому випадку ми вибираємо значення 10^{-5} , що є доволі невеликим. Це означає, що радар буде мати високу точність виявлення і буде мати мінімальну кількість помилкових тривог.

Ймовірність вірного виявлення $P_{вв}$ визначає ймовірність, що наш радар виявить перешкоду на колії, коли вона присутня. У даному випадку, ми обираємо значення 0,9, що означає, що наш радар буде мати високу точність виявлення та буде здатний виявити більшість присутніх перешкод.

Обрані показники надійності FMCW радару дають ефективну здатність виявлення об'єктів та перешкод з мінімальною помилкою. Це особливо важливо для застосувань в системах безпеки та моніторингом руху поїздів.

Параметр Δr — це роздільна здатність по дальності, що вказує на здатність розрізнити об'єкти, що знаходяться на невеликій відстані один від одного. Завдяки обраному значенню (10 м) наш радар може точно виявляти, розрізнити об'єкти, їх розміри та місцезнаходження на колії.

$P_{втрат}$ — втрати в прийомному тракті. Це значення відображає загальну втрату сигналу, яка виникає під час його проходження і означає, що в прийомному тракті системи відбувається втрата приблизно в половину потужності сигналу, яка була випромінена передавачем. Ці втрати можуть бути викликані різними причинами, наприклад, втрати в антені, шуми і т.д.. При цьому у нас знижується ефективність прийому сигналу і це може вплинути на точність вимірювань та інші характеристики радару.

G_a — коефіцієнт підсилення антени. Він вказує на ефективність антени, тобто чим цей коефіцієнт більший, тим кращий прийом сигналу ми

					PT91.464421.001 ПЗ	Лист
						35
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

отримуємо. Вищі значення коефіцієнту підсилення означають збільшення дальності роботи антени. Але потрібно пам'ятати, що він залежить від фізичних характеристик антени, таких як розмір, форма та діапазон роботи [18]. Ми будемо використовувати рупорну антену конічного типу. Її параметри та вигляд представлений на рис. 2.11:

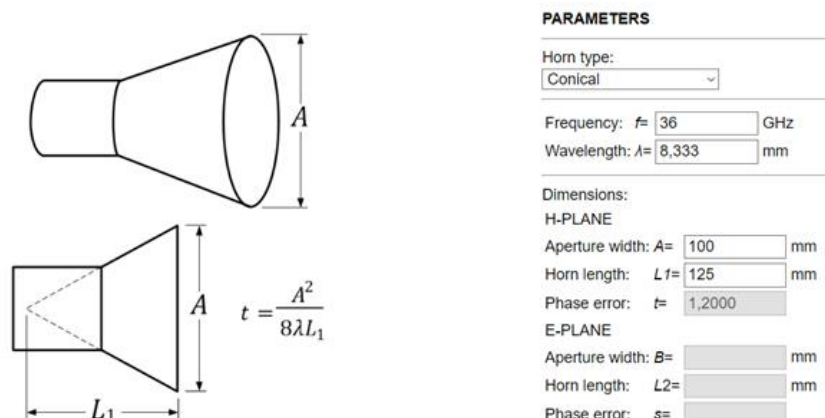


Рисунок 2.11 — Візуальний вигляд та обрахунок основних параметрів рупорної антени

$T_{ш}$ — шумова температура приймача використовується для характеристики рівня шуму, який генерується приймачем. Високе значення вказує на те, що приймач генерує значний рівень шуму, який може впливати на якість сигналу. Зменшення шумової характеристики може призвести до поліпшення співвідношення сигнал/шум та збільшення чутливості радару [18].

Вихідні дані для розрахунків основних параметрів РЛС (див. табл. 2.1).

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 2.1 — Початкові параметри для FMCW радару

Параметри	Значення	Одиниця вимірювання
R_{\max}	250	<i>м</i>
f	36	<i>ГГц</i>
P_{xt}	10^{-5}	-
$P_{\text{вв}}$	0,9	-
Δr	10	<i>м</i>
$P_{\text{втрап}}$	0,5	-
G_a	1200	разів

Допоміжні дані для розрахунків основних параметрів РЛС (див. табл. 2.2).

Таблиця 2.2 — Допоміжні параметри для FMCW радару

Параметри	Значення	Одиниця вимірювання
c	3×10^8	<i>м / с</i>
k	$1,38 \times 10^{-23}$	<i>Дж · К⁻¹</i>
$\sigma_{\text{ч1}}$	0,5	<i>м²</i>
$\sigma_{\text{ч2}}$	3	<i>м²</i>
$\sigma_{\text{ч3}}$	7	<i>м²</i>
T_w	1000	<i>К</i>
Int	64	-

Параметр c — це швидкість поширення електромагнітних хвиль (константа); k — стала Больцмана (константа); Int — кількість інтегрувань; $\sigma_{\text{ч1}}$ — ефективна площа розсіювання (людина); $\sigma_{\text{ч2}}$ — ефективна площа розсіювання (автомобіль); $\sigma_{\text{ч3}}$ — ефективна площа розсіювання (вагон).

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

PT91.464421.001 ПЗ

Лист
37

На основі вихідних та допоміжних даних проведемо розрахунок параметрів РЛС для забезпечення безпеки руху поїздів з високою роздільною здатністю, що дозволяє визначати час отримання сигналів після відбиття від об'єктів, забезпечуючи точне вимірювання відстані до перешкоди.

Період повторення зондуючого сигналу:

$$T_n = \frac{2 \cdot R_{\max}}{c} = \frac{2 \cdot 250}{3 \times 10^8} = 1,7 \times 10^{-6} c \quad (2.4)$$

де R_{\max} — максимальна дальність виявлення; c — це швидкість поширення електромагнітних хвиль.

Даний параметр вказує на час, який пройде між послідовними зондуючими імпульсами. Отримане значення дозволяє забезпечити високу швидкість оновлення інформації про об'єкти, високу потужність передавання та надійність радару.

Частота повторення зондуючого сигналу:

$$F_n = \frac{1}{T_n} = \frac{1}{1,667 \times 10^{-6}} = 6 \times 10^5 \text{ Гц} \quad (2.5)$$

де T_n — період повторення зондуючого сигналу.

Оскільки частота повторення зондуючого сигналу є обернено пропорційна до періода повторення зондуючого сигналу, то можна побачити, що зі збільшенням частоти, буде зменшуватись значення періоду повторень. Тобто, ми будемо отримувати вищенаведені переваги щодо продуктивності виявлення та вимірювання.

Ширина спектру сигналу:

$$\Delta f = 1,5 \times 10^8 \text{ Гц} \quad (2.6)$$

Ширина спектру сигналу є необхідним та важливим параметром.

Довжина хвилі:

$$\lambda = c \cdot T = c \cdot \frac{1}{f} = 3 \times 10^8 \cdot \frac{1}{36 \times 10^9} = 0,008 \text{ м} \quad (2.7)$$

де c — це швидкість поширення електромагнітних хвиль;

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

f — несуча частота.

При даному значенні, ми отримуємо наступні переваги:

- висока роздільна здатність;
- краща проникність;
- менші габарити антен.

Знайдемо необхідне відношення сигнал/шум:

$$q = 2 \cdot \left(\frac{\ln\left(\frac{1}{P_{xm}}\right) - 1}{\ln\left(\frac{1}{P_{\text{вв}}}\right)} \right) = 2 \cdot \left(\frac{\ln\left(\frac{1}{10^{-5}}\right) - 1}{\ln\left(\frac{1}{0,9}\right)} \right) \approx 216 \text{ разів} \quad (2.8)$$

де P_{xm} — ймовірність хибної тривоги; $P_{\text{вв}}$ - ймовірність вірного виявлення.

Визначає ефективність виявлення радіолокаційних сигналів, тобто показує співвідношення потужностей корисних сигналів та шумів. Чим більше дане значення, тим більша потужність сигналу, тим краще можна виділити корисний сигнал на фоні шумів.

Переведемо це відношення в децибели:

$$10 \cdot \log(q) = 23 \text{ дБ} \quad (2.9)$$

де q — необхідне відношення сигнал/шум.

Отримане відношення с/ш нам потрібно при виявленні сигналу на відстані 250 м, щоб забезпечити ймовірність вірного виявлення цілі 0.9 та ймовірність хибної тривоги 10^{-5} .

Знайдемо приведене на вхід приймача відношення сигнал/шум:

$$q_1 = \frac{q}{Int} = \frac{216,543}{64} \approx 3 \text{ рази} \quad (2.10)$$

де Int — кількість інтегрувань; q — необхідне відношення сигнал/шум.

Отримане значення показує співвідношення між потужністю сигналу, що надходить на вхід приймача та потужністю шуму в цьому вхідному сигналі.

Переведемо це відношення в децибели:

$$10 \cdot \log(q_1) = 5 \text{ дБ} \quad (2.11)$$

де q_1 — приведенне на вхід приймача відношення сигнал/шум.

Дане значення вказує на якість сигналу в порівнянні з рівнем шумів. Чим більші ці параметри, тим краще підвищується точність системи.

Розрахуємо чутливість приймача:

$$P_{np} = \frac{q}{2} \cdot \Delta f \cdot T_u \cdot k \cdot P_{втрат} = \frac{216,543}{2} \cdot 1,5 \times 10^8 \cdot 1000 \cdot 1,38 \times 10^{-23} \cdot 0,5 = 1,8 \times 10^{-12} \text{ Вт} \quad (2.12)$$

де T_u — шумова температура приймача; $P_{втрат}$ — втрати в прийомному тракті; k — стала Больцмана; q — необхідне відношення сигнал/шум; Δf — ширина спектру.

Переведемо це відношення в децибели:

$$10 \cdot \log\left(\frac{P_{np}}{1 \times 10^{-3}}\right) = -87 \text{ дБ} \quad (2.13)$$

де P_{np} — чутливість приймача.

Це значення відповідає за мінімальну потужність сигналу, яку приймач може виявити з прийнятим рівнем сигнал/шум. Чим менше значення, тим більша чутливість приймача, що дає змогу виявляти слабкі сигнали.

Визначимо потужність передавача:

$$P_{пер} = \frac{R_{max}^4 \cdot 64 \cdot \pi^3 \cdot P_{np}}{G_a^2 \cdot \sigma_{ц1} \cdot \lambda^2} = \frac{250^4 \cdot 64 \cdot \pi^3 \cdot 1,8 \times 10^{-12}}{1200^2 \cdot 0,5 \cdot 0,008^2} = 0,2 \text{ Вт} \quad (2.14)$$

де G_a — коефіцієнт підсилення антени; $\sigma_{ц1}$ — ефективна площа розсіювання (людина); R_{max} — максимальна дальність виявлення; P_{np} — чутливість приймача; λ — довжина хвилі.

З таким значенням потужності передавача наш радар випромінює сигнал для виявлення цілі. У формулу ми підставляємо найменше значення ЕПР цілі

					РТ91.464421.001 ПЗ	Лист
						40
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

з метою забезпечення достатньої потужності сигналу. Це дозволяє забезпечити високе виявлення, навіть при гірших умовах.

Тепер обчислимо дальність виявлення наших цілей:

$$R_{\max 1} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{пер}} \cdot G_a^2 \cdot \sigma_{\text{ц}1} \cdot \lambda^2}{64 \cdot \pi^3 \cdot P_{\text{пр}}}} = \sqrt[4]{\frac{0,2 \cdot 1200^2 \cdot 0,5 \cdot 0,008^2}{64 \cdot \pi^3 \cdot 1,8 \times 10^{-12}}} = 250 \text{ м} \quad (2.15)$$

$$R_{\max 2} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{пер}} \cdot G_a^2 \cdot \sigma_{\text{ц}2} \cdot \lambda^2}{64 \cdot \pi^3 \cdot P_{\text{пр}}}} = \sqrt[4]{\frac{0,2 \cdot 1200^2 \cdot 3 \cdot 0,008^2}{64 \cdot \pi^3 \cdot 1,8 \times 10^{-12}}} \approx 390 \text{ м} \quad (2.16)$$

$$R_{\max 3} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{пер}} \cdot G_a^2 \cdot \sigma_{\text{ц}3} \cdot \lambda^2}{64 \cdot \pi^3 \cdot P_{\text{пр}}}} = \sqrt[4]{\frac{0,2 \cdot 1200^2 \cdot 7 \cdot 0,008^2}{64 \cdot \pi^3 \cdot 1,8 \times 10^{-12}}} \approx 480 \text{ м} \quad (2.17)$$

де $\sigma_{\text{ц}1}$ — ефективна площа розсіювання (людина); $\sigma_{\text{ц}2}$ — ефективна площа розсіювання (автомобіль); $\sigma_{\text{ц}3}$ — ефективна площа розсіювання (вагон); G_a — коефіцієнт підсилення антени; R_{\max} — максимальна дальність виявлення; $P_{\text{пр}}$ — чутливість приймача; λ — довжина хвилі; $P_{\text{пер}}$ — потужність передавача.

Отримані значення дальності виявлення для різних цілей вказують на максимальну відстань, на якій FMCW радар здатен виявити їх. Чим далі знаходиться об'єкт, тим менше ми приймемо відбитого сигналу.

Ми прорахували потенційну дальність виявлення цілей, але реальні значення можна отримати шляхом розрахунку в залежності від частоти роботи АЦП, яке вимірює різницеву частоту.

Необхідні параметри беремо з datasheet АЦП (див. табл. 2.3):

Таблиця 2.3 — Частоти семплювання АЦП

Параметр	Значення	Одиниця вимірювання
f_1	300	МГц
f_2	200	МГц
f_3	100	МГц

Дальність до цілі через різницеву частоту визначається за формулами:

$$f_p = k \cdot \tau = \frac{2 \cdot \Delta f \cdot R}{c \cdot T_n} \quad (2.18)$$

де R — дальність до цілі, c — швидкість розповсюдження світла; T — період модуляції; Δf — ширина спектру.

Відповідно дальність до цілі знаходимо за формулою:

$$R = \frac{f_p \cdot c \cdot T_n}{2 \cdot \Delta f} \quad (2.19)$$

де f_p — різницева частота, c — швидкість розповсюдження світла; T — період модуляції; Δf — ширина спектру.

Частота роботи АЦП:

$$f_{\text{АЦП}} = 2 \cdot f_p \quad (2.20)$$

де f_p — різницева частота.

Оскільки всі параметри, окрім частоти семплювання, залишаються незмінними, то дальність можна визначити за формулою:

Підставляємо дані у формулу:

$$R_1 = \frac{f_1}{2} = 150 \text{ м} \quad (2.21)$$

де f_1 — частота семплювання АЦП.

$$R_2 = \frac{f_2}{2} = 100 \text{ м} \quad (2.22)$$

де f_2 — частота семплювання АЦП.

$$R_3 = \frac{f_3}{2} = 50 \text{ м} \quad (2.23)$$

де f_3 — частота семплювання АЦП.

Отримані результати показують реальні значення дальності до цілі при відповідній частоті семплювання АЦП.

2.3.1 Аналіз роботи рупорної антени

Потрібно визначити ширину діаграми спрямованості, щоб зрозуміти чи якісну роботу забезпечить система виявлення перешкод. Для цього скористаємось Horn Antenna Calculator (див. рис. 2.12):

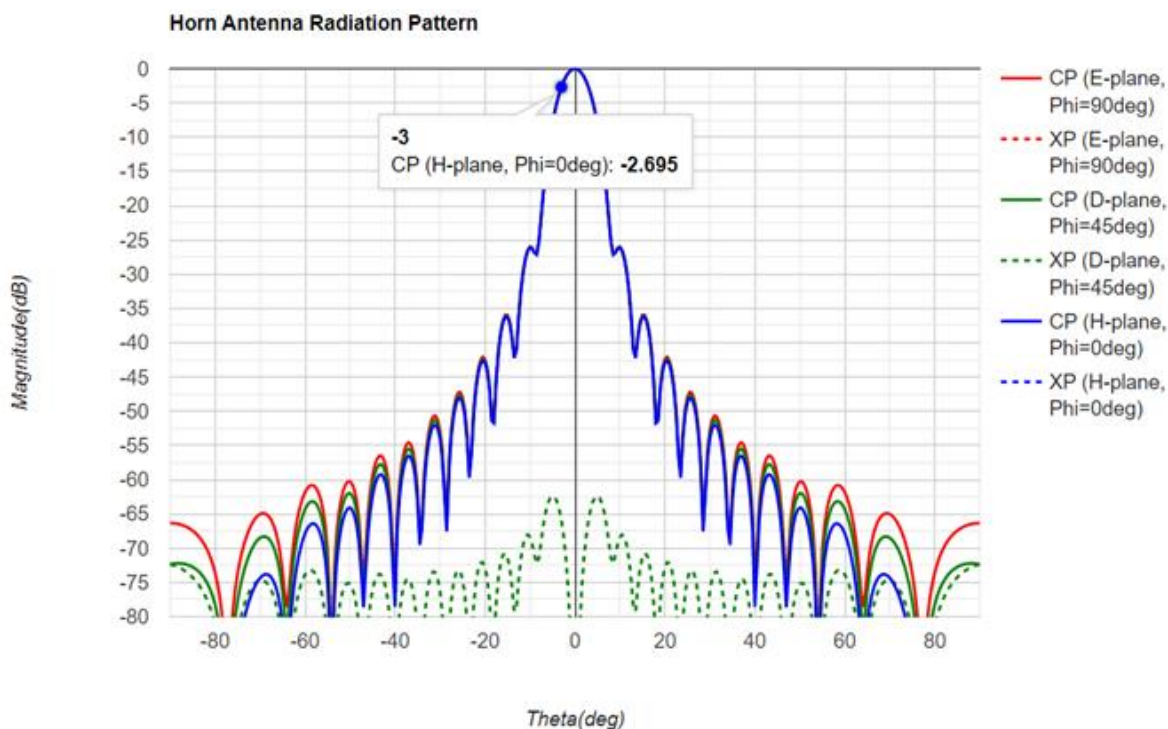


Рисунок 2.12 — Діаграма спрямованості конусоподібного рупору
Як можна побачити з графіку по рівню ± 3 дБ у нас $\alpha = 2,5^\circ$.

Розрахуємо ширину діаграми спрямованості:

$$H = R_{\max} \cdot \sin(2,5^\circ) = 250 \cdot 0,043 = 10,9 \text{ м} \quad (2.24)$$

де R_{\max} — максимальна дальність виявлення.

Можна зробити висновок, що рупорна антена не дає вузького проміння і на дальності 250 метрів його ширина складає 10 метрів, що виходить за габарити колії. Тому нам потрібно, щоб антена мала максимально вузький промінь — $\alpha = 1^\circ$.

Для цього ми переходимо на частоту 77 ГГц. На цій частоті вищі втрати енергії ніж при 36 ГГц, але при цьому у нас буде менша довжина хвилі, що допоможе забезпечити менші габарити РЛС.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT91.464421.001 ПЗ

За прототип будемо використовувати радар ARS408 (див. рис. 2.13).



Рисунок 2.13 — Радар дальньої дії ARS408

Для покращення ДС застосували ФАР (див. рис. 2.14). Великою перевагою буде те, що такі системи можуть забезпечити вузьку діаграму спрямованості з меншими бічними випромінюваннями. Це дозволить зменшити вплив сигналів з бокових напрямків та збільшити якість прийому [19].

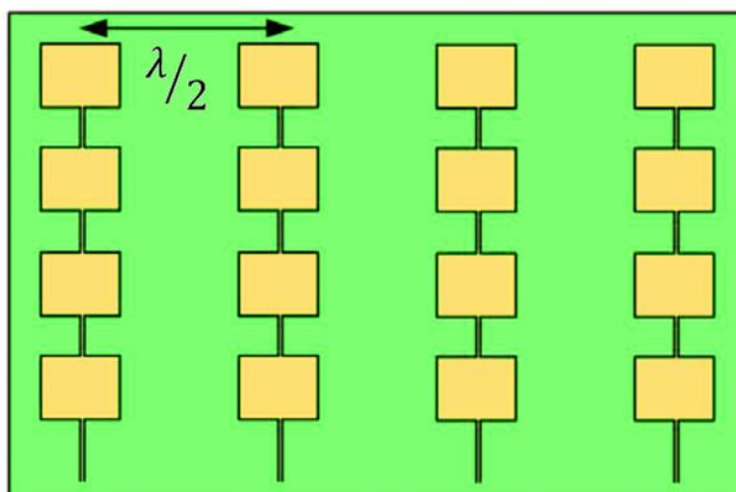


Рисунок 2.14 — Геометрія антенної решітки

Проведемо розрахунки основних параметрів даної РЛС. Вхідні параметри залишаються такими ж, як і для попередніх розрахунків РЛС. Змінюємо частоту $f = 77 \text{ ГГц}$.

					<i>PT91.464421.001 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		44

Період повторення зондуючого сигналу:

$$T_n = \frac{2 \cdot R_{\max}}{c} = \frac{2 \cdot 250}{3 \times 10^8} = 1,667 \times 10^{-6} \text{ с} \quad (2.25)$$

де R_{\max} — максимальна дальність виявлення; c — це швидкість поширення електромагнітних хвиль.

Частота повторення зондуючого сигналу:

$$F_n = \frac{1}{T_n} = \frac{1}{3,333 \times 10^{-6}} = 6 \times 10^5 \text{ Гц} \quad (2.26)$$

де T_n — період повторення зондуючого сигналу.

Ширина спектру сигналу:

$$\Delta f = 1,5 \times 10^8 \text{ Гц} \quad (2.27)$$

Довжина хвилі:

$$\lambda = c \cdot T = c \cdot \frac{1}{f} = 3 \times 10^8 \cdot \frac{1}{77 \times 10^9} = 0,004 \text{ м} \quad (2.28)$$

де c — це швидкість поширення електромагнітних хвиль; f — несуча частота.

Знайдемо необхідне відношення сигнал/шум:

$$q = 2 \cdot \left(\frac{\ln\left(\frac{1}{P_{xm}}\right)}{\ln\left(\frac{1}{P_{\text{вв}}}\right)} - 1 \right) = 2 \cdot \left(\frac{\ln\left(\frac{1}{10^{-5}}\right)}{\ln\left(\frac{1}{0,9}\right)} - 1 \right) \approx 216 \text{ разів} \quad (2.29)$$

де P_{xm} — ймовірність хибної тривоги; $P_{\text{вв}}$ — ймовірність вірного виявлення.

Переведемо це відношення в децибелі:

$$10 \cdot \log(q) = 23 \text{ дБ} \quad (2.30)$$

де q — необхідне відношення сигнал/шум.

Знайдемо приведенне на вхід приймача відношення сигнал/шум:

$$q_1 = \frac{q}{Int} = \frac{216,543}{64} \approx 3 \text{ рази} \quad (2.31)$$

де Int — кількість інтегрувань; q — необхідне відношення сигнал/шум.

Переведемо це відношення в децибелі:

$$10 \cdot \log(q_1) = 5 \text{ дБ} \quad (2.32)$$

де q_1 — приведенне на вхід приймача відношення сигнал/шум.

Розрахуємо чутливість приймача:

$$P_{np} = \frac{q}{2} \cdot \Delta f \cdot T_{ш} \cdot k \cdot P_{втрат} = \frac{216,543}{2} \cdot 1,5 \times 10^8 \cdot 1000 \cdot 1,38 \times 10^{-23} \cdot 0,5 = 1,8 \times 10^{-12} \text{ Вт} \quad (2.33)$$

де $T_{ш}$ — шумова температура приймача; $P_{втрат}$ — втрати в прийомному тракті; k — стала Больцмана; q — необхідне відношення сигнал/шум; Δf — ширина спектру.

Переведемо це відношення в децибелі:

$$10 \cdot \log\left(\frac{P_{np}}{1 \times 10^{-3}}\right) = -87 \text{ дБ} \quad (2.34)$$

де P_{np} — чутливість приймача.

Визначимо потужність передавача:

$$P_{пер} = \frac{R_{max}^4 \cdot 64 \cdot \pi^3 \cdot P_{np}}{G_a^2 \cdot \sigma_{ц1} \cdot \lambda^2} = \frac{250^4 \cdot 64 \cdot \pi^3 \cdot 1,121 \times 10^{-11}}{2000^2 \cdot 0,5 \cdot 0,004^2} = 1,178 \text{ Вт} \quad (2.35)$$

де G_a — коефіцієнт підсилення антени; $\sigma_{ц1}$ — ефективна площа розсіювання (людина); R_{max} — максимальна дальність виявлення; P_{np} — чутливість приймача; λ — довжина хвилі.

Тепер обчислимо дальність виявлення наших цілей:

$$R_{max1} = \sqrt[4]{\frac{P_{пер} \cdot G_a^2 \cdot \sigma_{ц1} \cdot \lambda^2}{64 \cdot \pi^3 \cdot P_{np}}} = \sqrt[4]{\frac{1,178 \cdot 1200^2 \cdot 0,5 \cdot 0,004^2}{64 \cdot \pi^3 \cdot 1,8 \times 10^{-12}}} = 250 \text{ м} \quad (2.36)$$

$$R_{max2} = \sqrt[4]{\frac{P_{пер} \cdot G_a^2 \cdot \sigma_{ц2} \cdot \lambda^2}{64 \cdot \pi^3 \cdot P_{np}}} = \sqrt[4]{\frac{1,178 \cdot 1200^2 \cdot 3 \cdot 0,004^2}{64 \cdot \pi^3 \cdot 1,8 \times 10^{-12}}} \approx 390 \text{ м} \quad (2.37)$$

$$R_{max3} = \sqrt[4]{\frac{P_{пер} \cdot G_a^2 \cdot \sigma_{ц3} \cdot \lambda^2}{64 \cdot \pi^3 \cdot P_{np}}} = \sqrt[4]{\frac{1,178 \cdot 1200^2 \cdot 7 \cdot 0,004^2}{64 \cdot \pi^3 \cdot 1,8 \times 10^{-12}}} \approx 480 \text{ м} \quad (2.38)$$

					РТ91.464421.001 ПЗ	Лист
						46
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

де σ_{u1} — ефективна площа розсіювання (людина); σ_{u2} — ефективна площа розсіювання (автомобіль); σ_{u3} — ефективна площа розсіювання (вагон); G_a — коефіцієнт підсилення антени; R_{\max} — максимальна дальність виявлення; P_{pr} — чутливість приймача; λ — довжина хвилі; $P_{пер}$ — потужність передавача.

Отже, отримані значення задовольняють поставлену задачу РЛС. Вища частота сигналу дозволяє вимірювати доплерівський зсув і зміну частоти більш точно, що гарантуватиме якісне визначення швидкості цілі та її розташування. Також, чим коротша довжина хвилі, тим менших габаритів буде антена, що дозволить зменшити загальний розмір та вагу РЛС. Це є важливим фактором для радарів, які використовуються на залізничному транспорті.

					<i>РТ91.464421.001 ПЗ</i>	Лист
						47
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3 ВДОСКОНАЛЕННЯ РЛС КОНТРОЛЮ ЗОНИ БЕЗПЕКИ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХУ

3.1 Підсистема цифрового оброблення сигналів РЛС

Моделювання підсистеми проведено в середовищі MATLAB. Представлена модель сигналу FMCW та лінійний закон модуляції на рис. 3.1 та рис. 3.2.

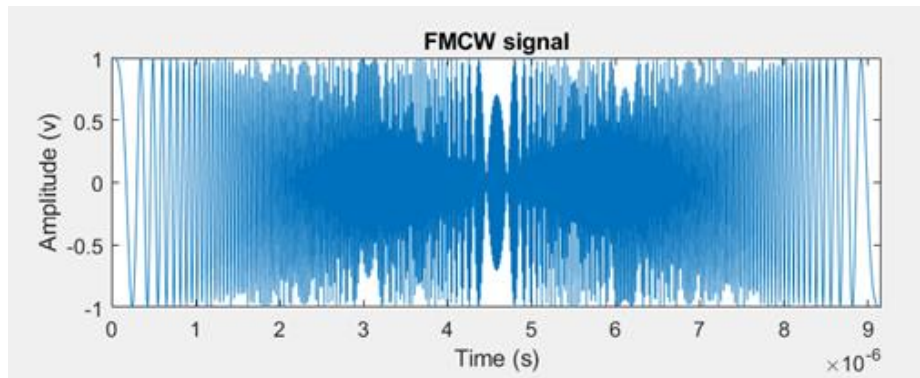


Рисунок 3.1 — Модель сигналу FMCW

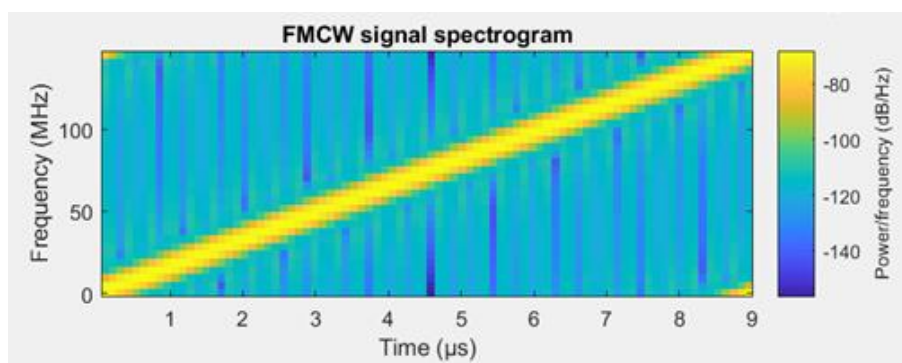


Рисунок 3.2 — Лінійний закон модуляції від 0-150МГц.

Побудуємо спектри сигналу при різній відстані до цілі (див. рис. 3.3 – рис. 3.5).

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT91.464421.001 ПЗ

Лист
48

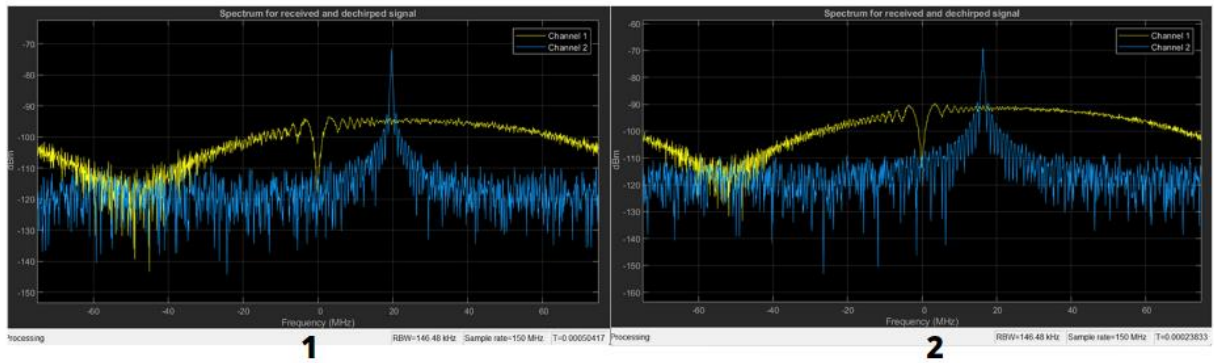


Рисунок 3.3 — Спектр сигналу при відстані до цілі: 1 — 190 м, 2 — 150 м (жовтий графік — спектр сигналу FMCW, який випромінює РЛС; синій графік — сигнал після змішувача на основі якого визначаєм середню частоту)

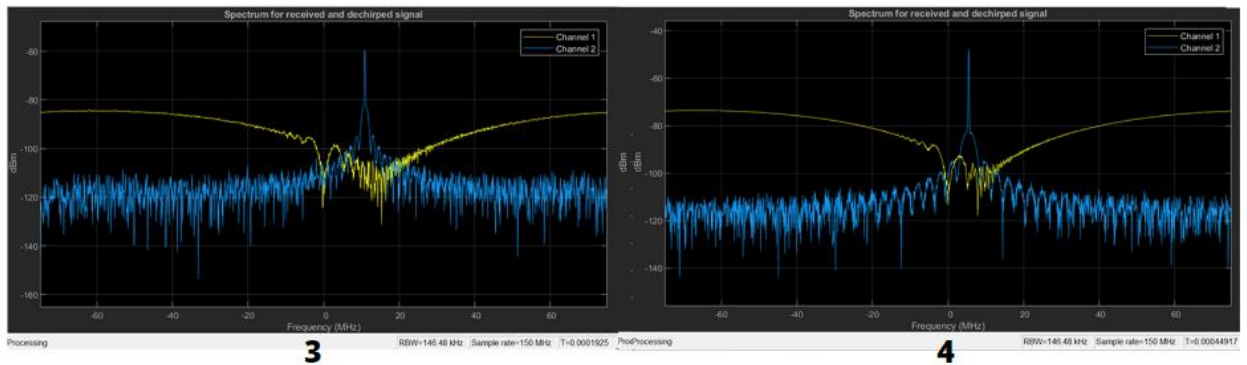


Рисунок 3.4 — Спектр сигналу при відстані до цілі: 3 — 100 м, 4 — 50 м (жовтий графік — спектр сигналу FMCW, який випромінює РЛС; синій графік — сигнал після змішувача на основі якого визначаєм середню частоту)

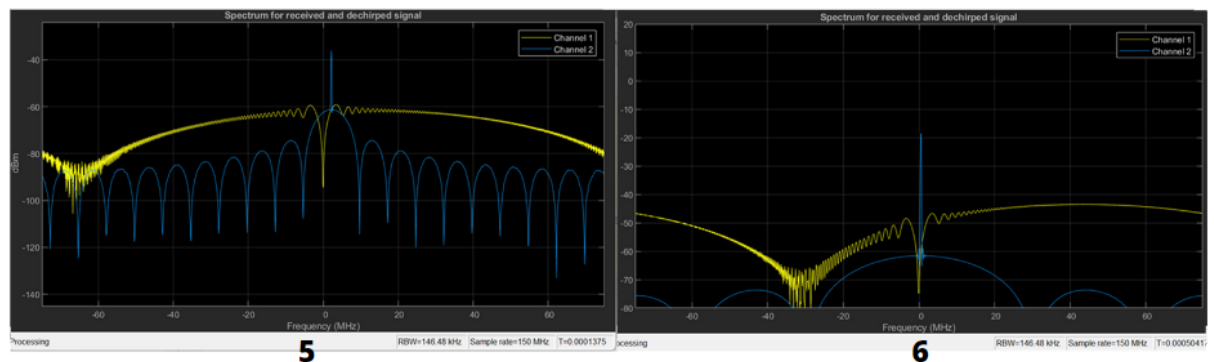
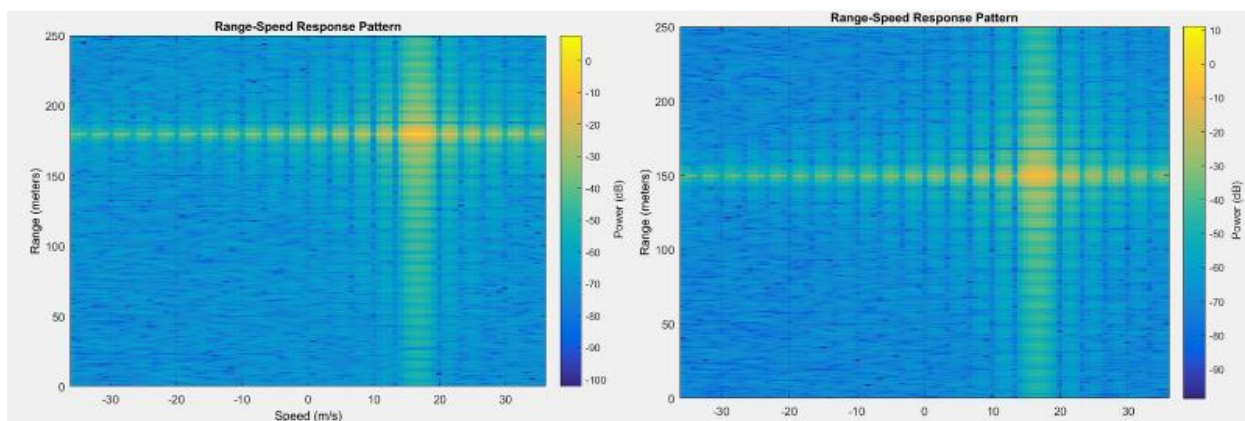


Рисунок 3.5 — Спектр сигналу при відстані до цілі: 5 — 20 м, 6 — 5 м (жовтий графік — спектр сигналу FMCW, який випромінює РЛС; синій графік — сигнал після змішувача на основі якого визначаєм середню частоту)

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT91.464421.001 ПЗ

Побудуємо матрицю дальність-швидкість для представлення радіолокаційної інформації (див. рис. 3.6 – рис. 3.8) :



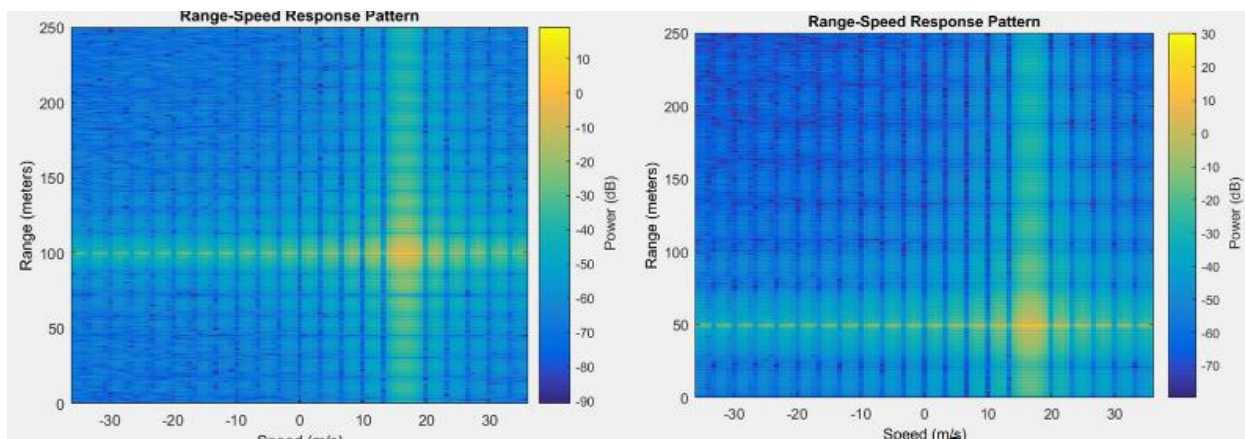
а)

б)

Рисунок 3.6 — Дальнісно-доплерівська матриця

На рис. 3.6 а зображено дальнісно-доплерівську матрицю із ціллю, що знаходиться на відстань 190 м, що рухається зі швидкістю 15 м/с.

На рис. 3.6 б зображено дальнісно-доплерівську матрицю із ціллю, що знаходиться на відстань 150 м, що рухається зі швидкістю 15 м/с.



а)

б)

Рисунок 3.7 — Дальнісно-доплерівська матриця

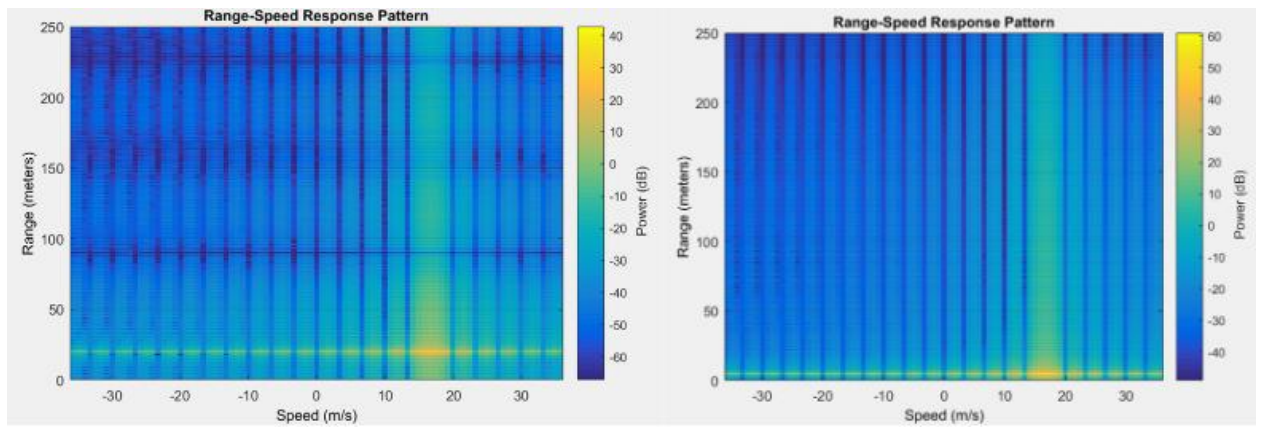
На рис. 3.7 а зображено дальнісно-доплерівську матрицю із ціллю, що знаходиться на відстань 100 м, що рухається зі швидкістю 15 м/с.

На рис. 3.7 б зображено дальнісно-доплерівську матрицю із ціллю, що знаходиться на відстань 50 м, що рухається зі швидкістю 15 м/с.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT91.464421.001 ПЗ

Лист
50



а)

б)

Рисунок 3.8 — Дальнісно-доплерівська матриця

На рис. 3.8 а зображено дальнісно-доплерівську матрицю із ціллю, що знаходиться на відстань 20 м, що рухається зі швидкістю 15 м/с.

На рис. 3.8 б зображено дальнісно-доплерівську матрицю із ціллю, що знаходиться на відстань 5 м, що рухається зі швидкістю 15 м/с.

Представлені рисунки дозволяють дослідити особливості роботи РЛС, визначити точність вимірювання на основі матриці. В залежності від того з якою точністю визначаємо різницеву частоту, буде залежати точність визначення дальності.

Результати експериментальних досліджень показують здатність радару виявляти цілі, визначати їх дальність до потягу та швидкість руху.

3.2 Розроблення антенної системи РЛС безпеки руху поїздів

Для забезпечення якісної роботи РЛС проведено розрахунки ФАР з використанням програмного забезпечення MATLAB, а саме додатку Sensor Array Analyzer (див. рис. 3.9 – 3.13).

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT91.464421.001 ПЗ

Лист
51

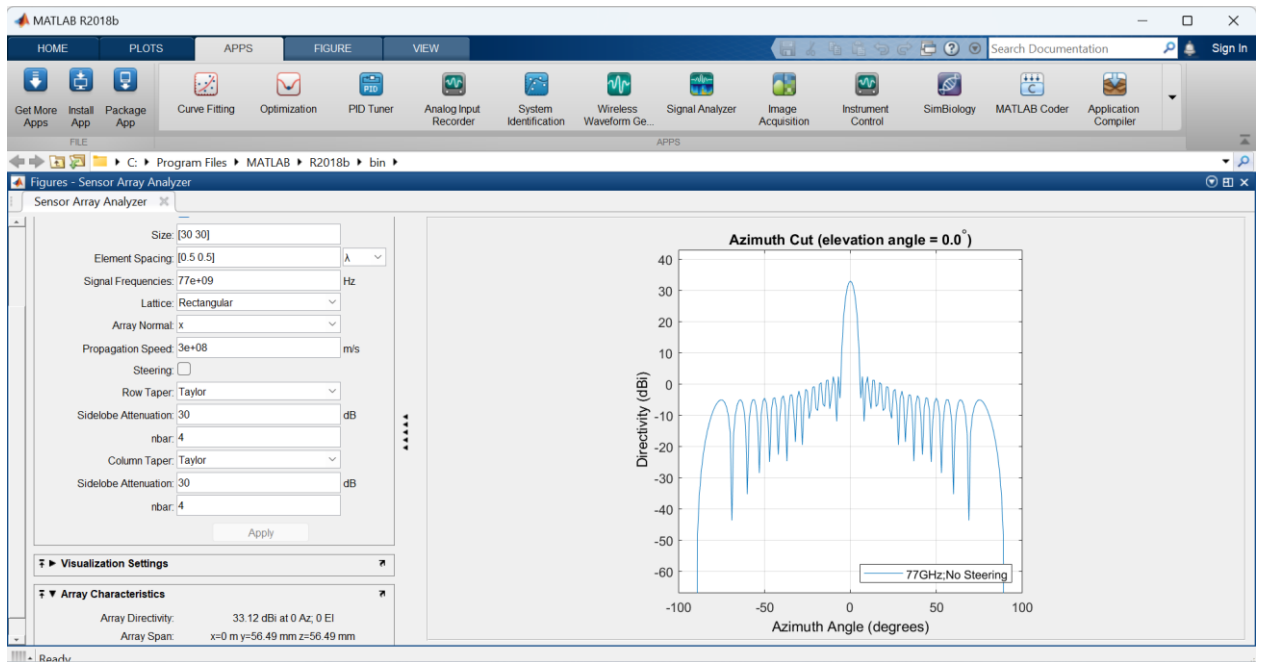


Рисунок 3.9 — Діаграма направленості в азимутальній системі координат Е площині

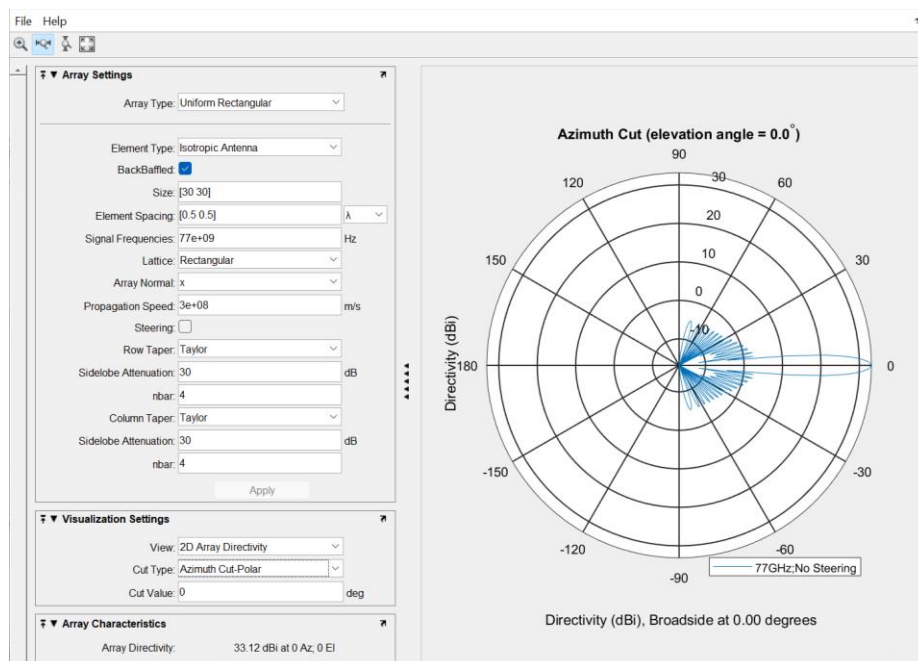


Рисунок 3.10 — Діаграма направленості в полярній системі координат Е площині

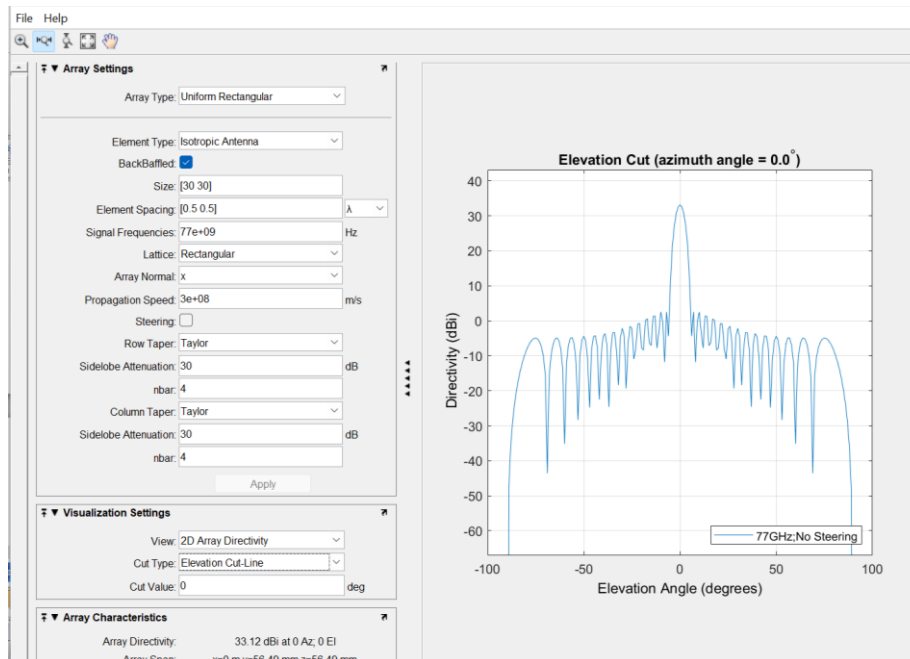


Рисунок 3.11 — Діаграма направленості в азимутальній системі координат Н площині

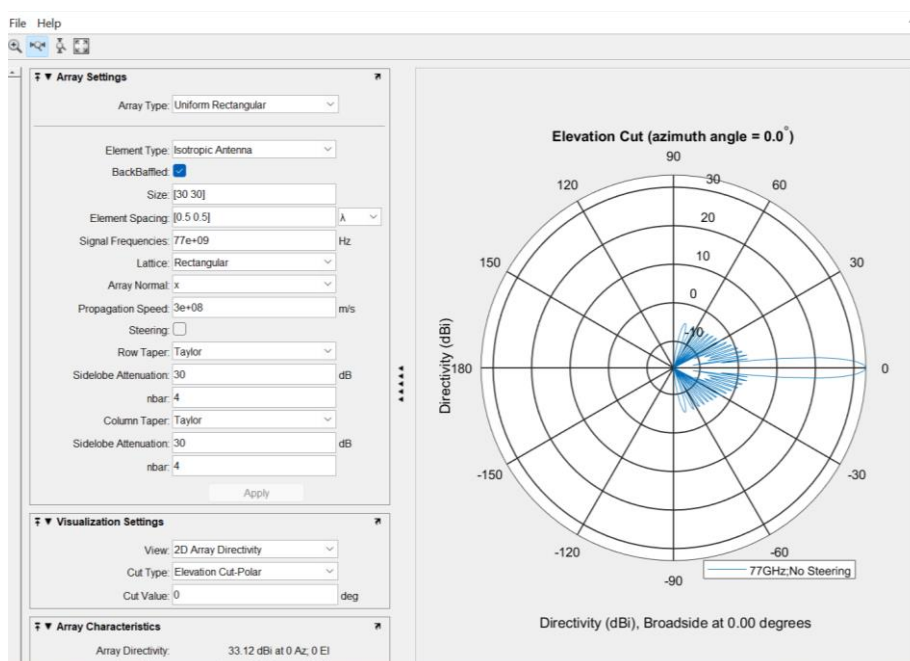


Рисунок 3.12 — Діаграма направленості в полярній системі координат Н площині

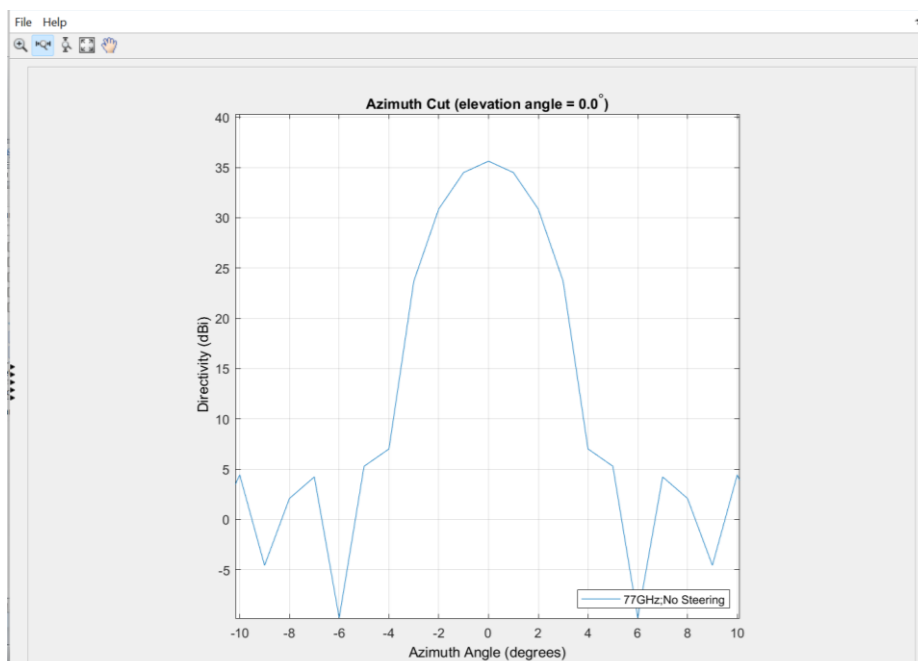


Рисунок 3.13 — Діаграма спрямованості в азимутальній системі координат

З рис. 3.13 можна розрахувати ширину ДС. По рівню ± 3 дБ у нас $\alpha = 1^\circ$.

Розрахуємо ширину діаграми спрямованості:

$$H = R_{\max} \cdot \sin(1^\circ) = 250 \cdot 0,017 = 4,3 \text{ м} \quad (3.1)$$

де R_{\max} — максимальна дальність виявлення.

Отримане значення задовольняє поставлену задачу, що полягає в якісному контролю залізничної колії перед потягом та забезпечення безпеки руху поїздів.

3.3 Розробка багатопозиційної аудіосистеми для оповіщення сигналу тривоги

3.3.1 Аналіз технічного завдання

Основна функція приладу – відтворення сигналу тривоги на декількох пристроях одночасно для попередження машиністів про потенційну небезпеку.

Тип виконання: моноблочна розбірна конструкція.

Умови експлуатації:

- 1) температура навколишнього повітря $-20 \dots +35^\circ\text{C}$;
- 2) відносна вологість повітря 70% при 20°C ;

3) атмосферний тиск від 86.0кПа до 106.7кПа.

Пристрій буде працювати всередині локомотива поїзду, захист від потрапляння води та пилу всередину не передбачено.

Корпус складається з 2 частин, що закріплені по кутам за допомогою гвинтів. Матеріал корпусу виконаний з ABS-пластику. Форма корпусу — прямокутний паралелепіпед з заокругленими краями. На верхній та нижній кришках корпусу передбачено отвори для світлодіодів, що будуть сигналізувати про статус роботи пристрою. Також на верхній кришці передбачений отвір для подачі живлення на роз'єм (pin header). В верхній та нижній кришці передбачено кріпильні отвори для плати. Кріплення плати до корпусу відбувається за допомогою кріпильних отворів та гвинтів.

Пакування товару здійснюється шляхом замотування приладу в бульбашко-повітряну плівку і з подальшим поміщення в картонну коробку. Замість бульбашко-повітряної плівки можливо використовувати будь-які пакувальні матеріали для зменшення сили удару при транспортуванні. Прилад повинен зберігатися в сухому місці.

3.3.2 Вибір елементної бази

Після аналізу технічного завдання реалізовано пошук необхідної компонентної бази, яка забезпечить потрібний функціонал. При пошуках компонентів увагу було приділено електричним параметрам, габаритним розмірам, та способу монтажу елементів.

Модуль передавача КСХ-ВТ003

В якості модуля передавача в Bluetooth діапазоні використано КСХ-ВТ003. Зображення аудіопередавача наведено на рис. 3.14.

					PT91.464421.001 ПЗ	Лист
						55
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

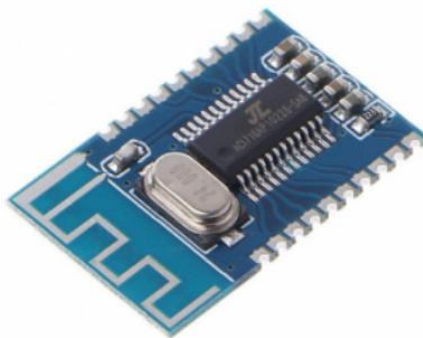


Рисунок 3.14 — Модуль КСХ-ВТ003

Відповідно, модуль використовує технологію Bluetooth 4.1, яка забезпечує високу якість і стабільність передачі звуку. Цей модуль має антену, тому необхідно забезпечити відсутність мідного шару під антеною.

Характеристики:

- Діапазон вхідної напруги: 3,3 – 5 В.;
- Максимальний робочий струм: 35 мА.;
- Версія Bluetooth: 4.2;
- Робоча частота: 2400 – 2485 МГц;
- Чутливість прийому: -85 дБм.

Модуль обрано з огляду на те, що він має потрібні електричні параметри, достатньо невелику ціну та необхідний спосіб монтажу [20].

Модуль приймача КСХ-ВТ-ЕМІТТЕР

В якості приймача в Bluetooth діапазоні обрано модуль КСХ-ВТ-ЕМІТТЕР. Зображення приймача наведено на рис. 3.15.

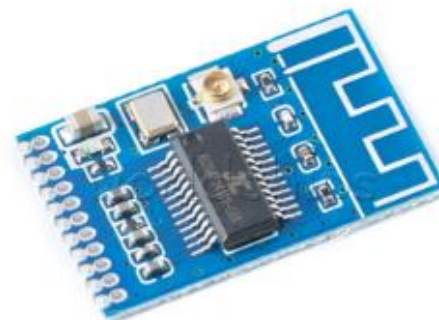


Рисунок 3.15 — Модуль КСХ-ВТ-ЕМІТТЕР

					<i>РТ91.464421.001 ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		56

Характеристики:

- Діапазон вхідної напруги: 3,3 – 5 В.;
- Максимальний робочий струм: 35 мА.;
- Версія Bluetooth: 4.2;
- Робоча частота: 2400 – 2485 МГц;
- Габаритні розміри 15x23,7x2,7 мм.

Відповідний модуль обрано через його простоту у використанні, загальні електричні характеристики та досить невелику ціну [21].

Світлодіод LHN974 RED LED 1206

Зображення світлодіода наведено на рис. 3.16.



Рисунок 3.16 — Світлодіод LHN974 RED LED 1206

Характеристики:

- Діапазон робочих температур — від -30 °С до +85 °С;
- Енергоспоживання — 80 мВт;
- Номінальний струм — 20 – 25мА;
- Робоча напруга — 2,0 – 2,2 В;
- Габаритні розміри 3,2x1,6,7x1,1 мм.

Світлодіод обрано з огляду на те, що він має невеликі габаритні розміри та встановлюється за допомогою технології поверхневого монтажу [22].

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT91.464421.001 ПЗ

Лист
57

Роз'єм Pin Header 2.54 mm. 2 pins

Загальний вигляд роз'єму для живлення представлений на рис. 3.17.



Рисунок 3.17 — Роз'єм Pin Header 2.54 mm. 2 pins

Характеристики:

- Діапазон робочих температур — від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Ширина між стійками — 2,54 мм;
- Максимальний струм — 3 А;
- Максимальна напруга — 220 В.

Тип роз'єму обрано з огляду на те, що він має низьку ціну, невеликі габаритні розміри та це досить розповсюджена модель [23].

Необхідний перелік елементів дивитись у Додатку Е.

3.3.3 Опис схеми

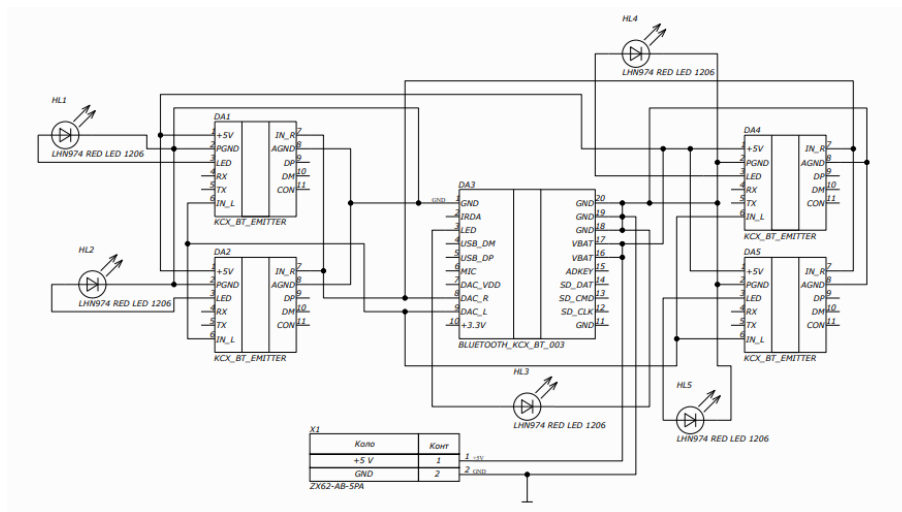


Рисунок 3.18 — Схема електрична принципова

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT91.464421.001 ПЗ

Лист
58

Схема пристрою бездротової аудіосистеми для оповіщення сигналу тривоги (див. рис. 3.18) складається з модуля приймача сигналу KCX_BT_003 (DA3), що працює в ВТ діапазоні, та чотирьох модулів передавачів сигналу KCX_BT_EMITTER (DA1, DA2, DA4, DA5) в ВТ діапазоні. Модуль приймача сигналу підключається до телефону або ноутбука, з якого відтворюється оригінальне джерело сигналу тривоги. Отримавши звуковий сигнал, DA3 передає його на декілька передавачів, які в свою чергу підключені до інших динаміків в мережі ВТ, що транслюватимуть оригінальний звук. Для індикації стану роботи модулів призначені світлодіоди LHN974 RED (HL1-HL5), які під'єднано до відповідних портів модулів, щоб отримувати необхідну інформацію про стан роботи. Напруга живлення подається через роз'єм 6130021121 - WR-PHD 2.54 mm Pin Header 2p (X1).

3.3.4 Проектування друкованої плати

Друкована плата будемо виконувати двошаровою. Двошарова друкована плата містить два шари міді та ізоляційний матеріал. Кожен з цих шарів розміщений по обидва боки плати. При проектуванні двошарової РСВ необхідно врахувати багато факторів, таких як розміщення компонентів, шляхи підключення, площа плати, довжина та товщина мідних шарів, виконання усіх цих факторів призведе до ефективної та надійної роботи плати. Часто в структуру двошарової ДП включають для охолодження теплопровідний матеріал. Багатошарові друковані плати призначені для розміщення в них багатовивідних мікросхем. ДП виготовляється комбінованим методом. В якості матеріалу для виготовлення друкованої плати використовуємо електроізоляційний склотекстоліт FR-4 – 35/35, що є пресованим матеріалом на основі склотканини, та з двох сторін має мідну електролітичну фольгу. Отже, як матеріал плати вибираємо фольгований склотекстоліт. Товщина матеріалу з фольгою: 1.6 мм. Вибираємо друковану плату 3-го класу точності, згідно ГОСТ 23751-86.

					PT91.464421.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		59

За допомогою програмного забезпечення Altium Designer виконуємо проектування ДП. Трасування верхнього та нижнього шарів зображено на рис. 3.19 та рис. 3.20. Усі необхідні розміри зазначено на кресленнику друкованої плати Додаток Г.

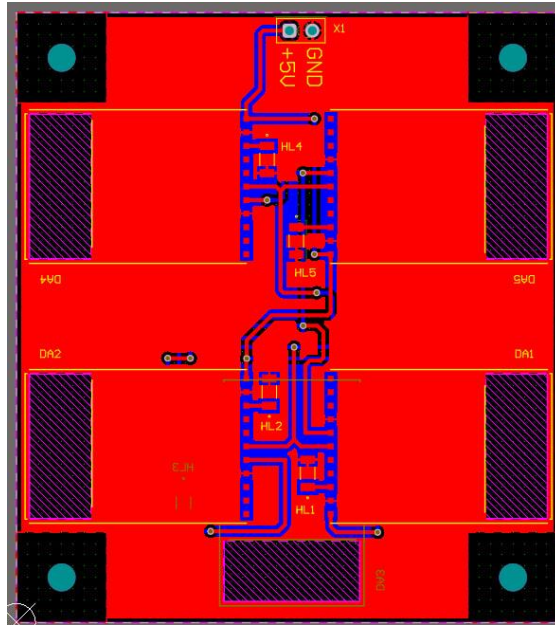


Рисунок 3.19 — Верхній шар трасування

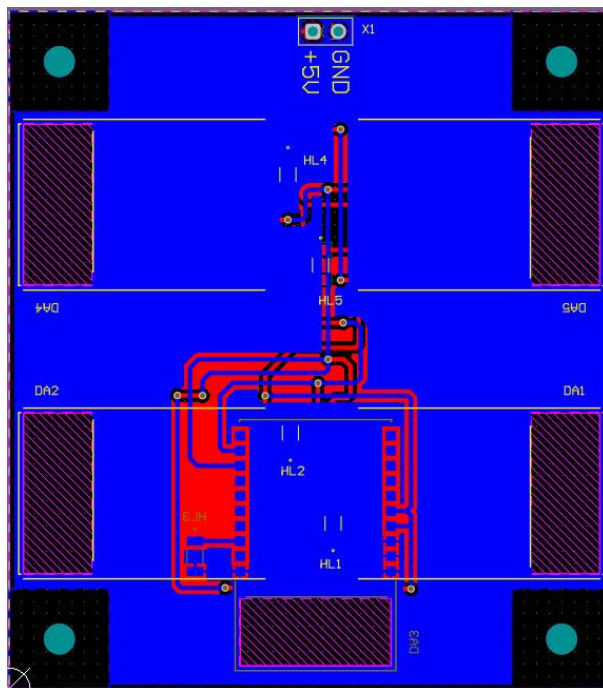


Рисунок 3.20 — Нижній шар трасування

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT91.464421.001 ПЗ

Лист
60

3D модель РСВ зображено на рис. 3.21 та рис. 3.22:

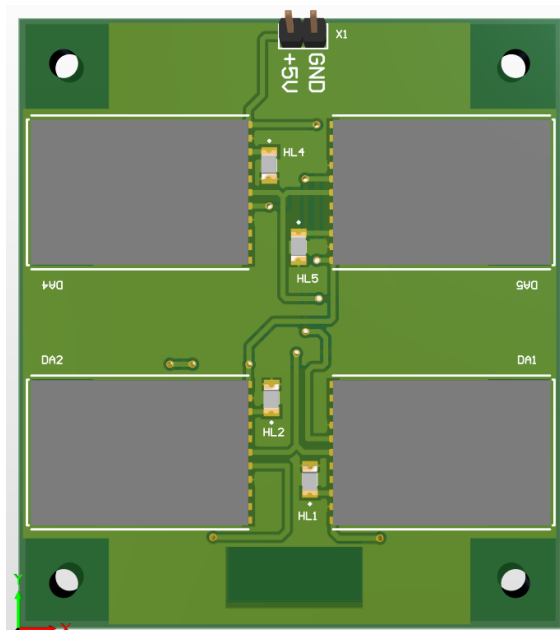


Рисунок 3.21— Вигляд плати зверху

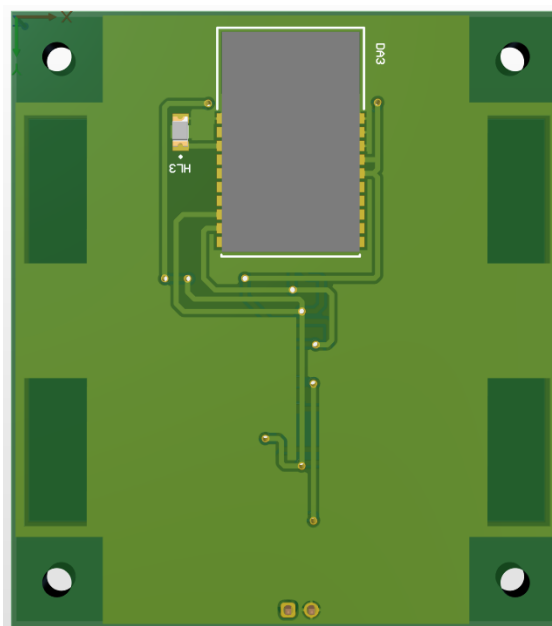


Рисунок 3.22 — Вигляд плати знизу

3.3.5 Обґрунтування конструкції пристрою

Складальне креслення пристрою дивитись у Додатку Д.

Корпус має кріплення з чотирьох сторін. Це забезпечить міцне кріплення корпусу. Присутні отвори зверху та знизу для світлодіодів, що сигналізують про статус роботи приймача та передавачів.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT91.464421.001 ПЗ

Лист
61

Також присутній отвір зверху для подачі живлення на роз'єм. Використані гвинти М3, оскільки вони досить поширені і дешеві.

Корпус виготовлено з ABS-пластику, за допомогою технологій 3Д друку, що є надійними та безпечними для використання. Вибір такого матеріалу забезпечує високу стійкість до ударів чи вібрацій та довговічність. Загальна товщина стінки 1 мм, що створює достатньо міцний корпус для цього пристрою для повсякденної експлуатації на залізничному транспорті. Загальний вигляд 3D моделі зображено на рис. 3.23 – 3.25.

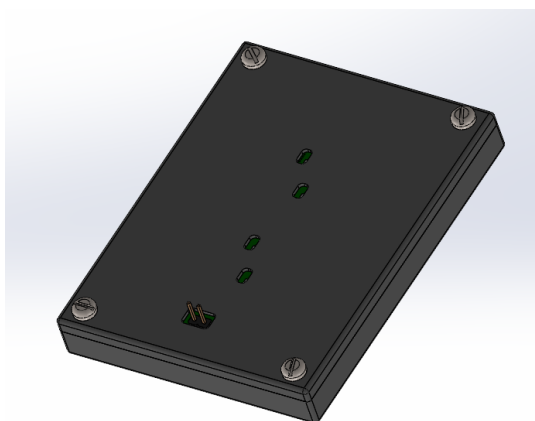


Рисунок 3.23 — Загальний вигляд корпусу пристрою зверху

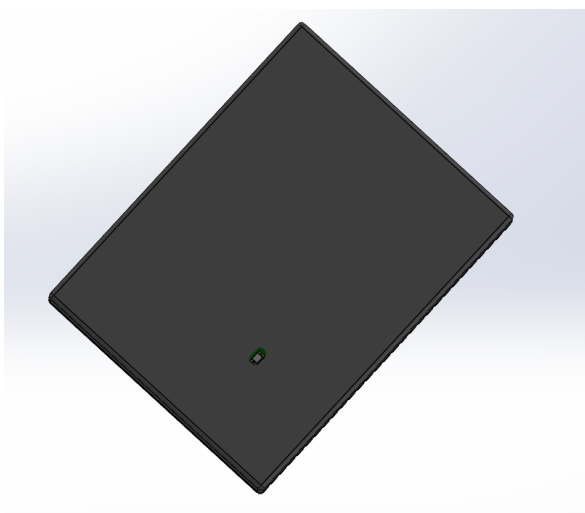


Рисунок 3.24 — Загальний вигляд корпусу пристрою знизу

<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

PT91.464421.001 ПЗ

Лист
62

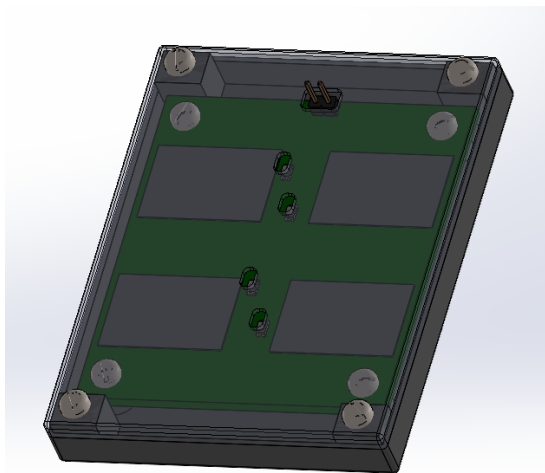


Рисунок 3.25 — Вигляд кріплення плати всередині корпусу

3.3.6 Розрахунки надійності

Розрахунки надійності полягають у визначення ймовірності безвідмовної роботи пристрою. Їх потрібно виконати з урахуванням дії зовнішніх впливів та навантажень. Всі необхідні параметри визначаються відносно таблиць 3.1 – 3.5.

При розрахунку коефіцієнт навантаження k_n будемо вважати рівним одиниці ($k_n = 1$).

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти впливу вологості та температури

Вологість, %	Температура, °C	k_3
60-70	20-40	1,0

Таблиця 5.2 – Коефіцієнти впливу механічних дій

Умови експлуатації	Вібрація k_1	Ударні навантаження k_2	Сумарна дія $k_{\Sigma} = k_1 k_2$
Залізничні	1,4	1,1	1,54

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PT91.464421.001 ПЗ

Таблиця 5.3 – Коефіцієнт впливу атмосферного тиску

Тиск, кПа	k_4
80-100	1,0

У таблиці 5.4 наведені параметри, які залежать від ЕБ та кількості компонентів.

Таблиця 5.4. Параметри інтенсивності відмов компонентів пристрою

Елементи схеми	Кількість N_i	$\lambda_{0i} \cdot 10^{-6}$, $год^{-1}$	$N_i \lambda_{0i} \cdot 10^{-6}$, $год^{-1}$
Мікросхеми цифрові	5	0,1	0,5
Роз'єми	1	0,05	0,05
Плата	1	0,7	0,7
Діоди	5	0,1	0,5
Всього			1,75

З урахуванням стаціонарних умов експлуатації приймемо наступні коефіцієнти:

- $k_1 = 1,4$;
- $k_2 = 1,1$;
- $k_3 = 1$;
- $k_4 = 1$;
- $k_{\Sigma} = 1,54$;

Коефіцієнт впливу дорівнює

$$K = 6,04.$$

Для визначення середнього часу напрацювання на відмову можна використати формулу 5.2

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_i K} = \frac{1}{1,75 \cdot 10^{-6} \cdot 6,04} = 94610 \text{ год} \quad (3.2)$$

					РТ91.464421.001 ПЗ	Лист
						64
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

де λ_i —інтенсивність відмов; K — коефіцієнт впливу.

Ймовірність безвідмовної роботи:

$$T_0 = e^{(-\sum_i \lambda_{0i} \cdot T_p \cdot K)} \quad (3.3)$$

Ймовірність безвідмовної роботи на протязі заданого напрацювання:

$$P(T_p) = e^{(-\sum_i \lambda_i \cdot T_p \cdot K)} = e^{(-1,75 \cdot 10^{-6} \cdot 9150 \cdot 6,04)} = 0,9 \quad (3.4)$$

де T_p — середній наробіток на відмову за ТЗ; λ_i —інтенсивність відмов; K — коефіцієнт впливу.

Розраховано середній час напрацювання пристрою на відмову, який складає 94610 години. Розраховано ймовірність безвідмовної роботи. Отримані результати задовольняють умови ТЗ [24].

3.3.7 Розрахунки стійкості до динамічних та механічних впливів

Моделювання механічних та динамічних впливів виконали у програмному забезпеченні SolidWorks.

Спочатку змодельовано удар (див. рис. 3.26 та рис. 3.27):

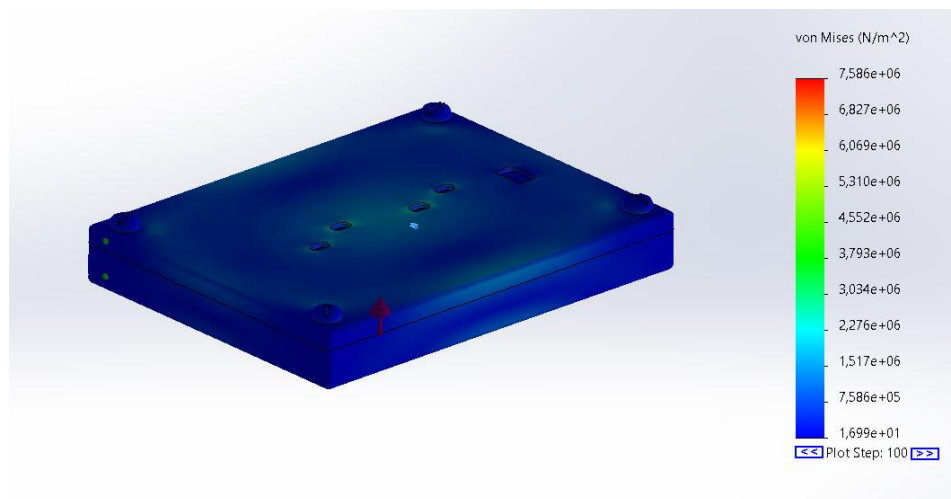


Рисунок 3.26 — Симуляція навантаження на пристрій

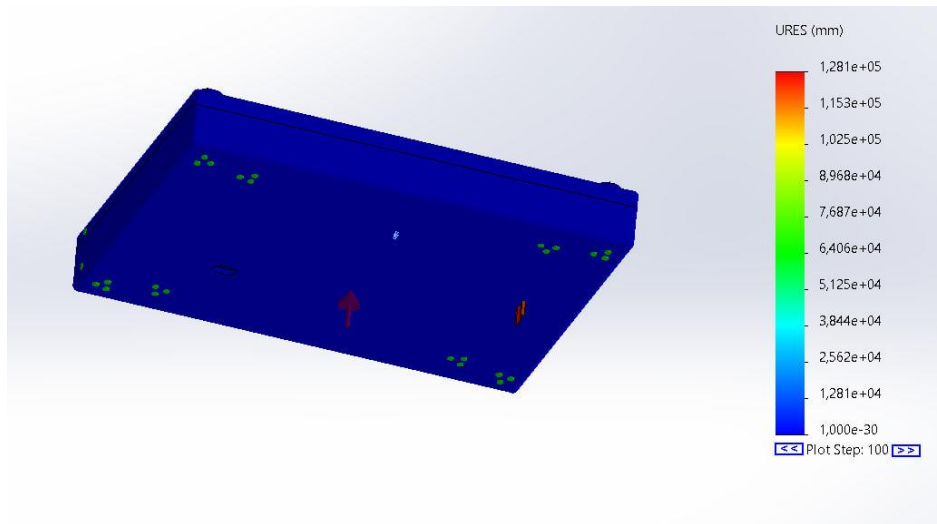


Рисунок 3.27 — Зміщення елементів

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що конструкція корпусу міцна. Відбувається зміщення компонентів (в нашому випадку роз'єм для живлення), що робить даний пристрій непрацюючим. Тобто, потрібно повністю замінити цей елемент схеми. Для вирішення даної проблеми можна зробити додатковий захист для роз'єму, з доступом для підключення живлення.

Змоделюємо вібрації (див. рис. 3.28 та рис. 3.29):

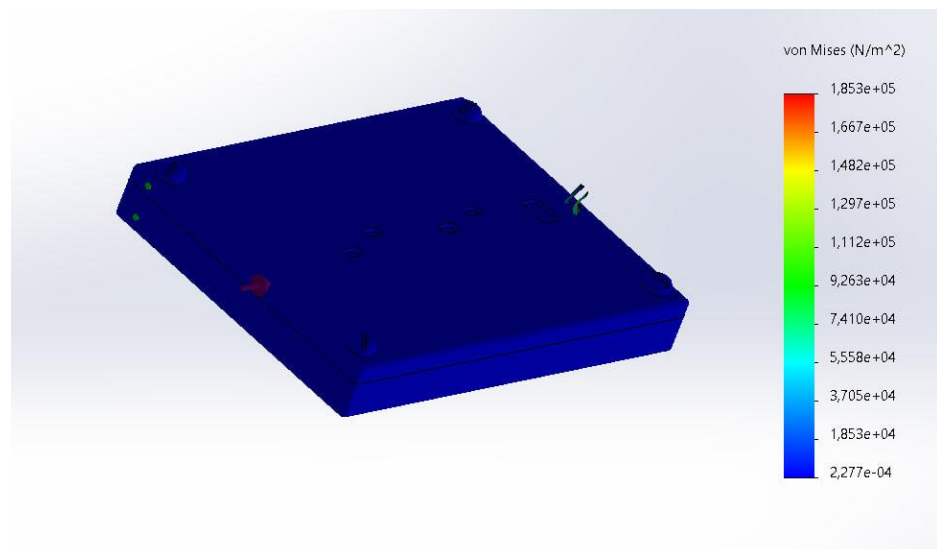


Рисунок 3.28 — Симуляція навантаження на пристрій

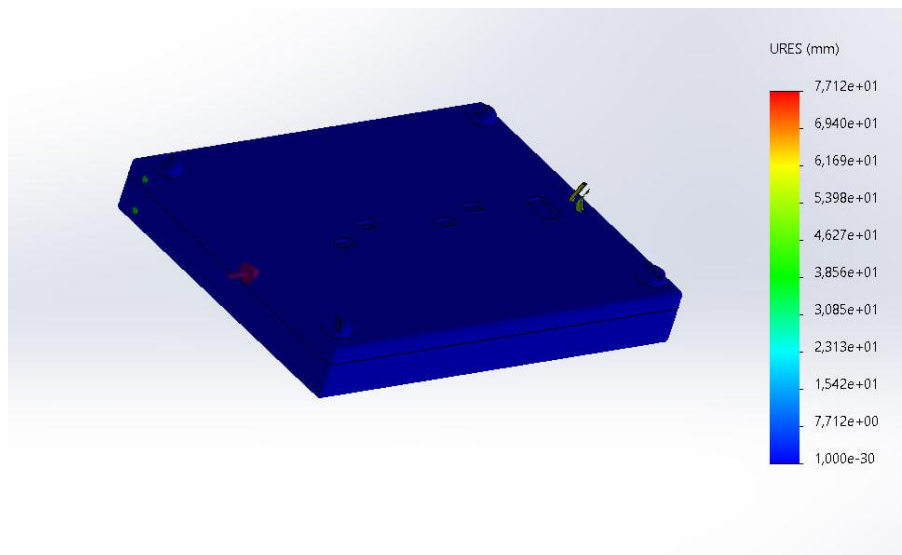


Рис. 5.4 — Зміщення елементів

Після отриманих результатів можна зрозуміти, що корпус повністю надійний і захищає внутрішні компоненти пристрою, окрім випираючих компонентів. На основі цього потрібно зробити додатковий захист, з подальшим доступом до даного елемента.

Отже, проводилося поетапне розроблення бездротової аудіосистеми за схемою електричною принциповою. Була запропонована власна топологія друкованого вузла та розроблено корпус виробу. Даний корпус легко виготовити на масовому виробництві. Було виконано детальний аналіз стійкості пристрою до динамічних та механічних впливів. Результатом виконання роботи є створення пристрою, який можна використовувати для оповіщення сигналу тривоги на залізничному транспорті [25].

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз сучасних підходів для забезпечення безпеки руху залізничного транспорту. Як засіб технічного контролю безпеки залізничної колії обрано FMCW радар, що є найбільш актуальними малогабаритними РЛС ближньої дії.

Основною задачею даного радару було виявлення потенційних небезпек на залізничній колії. Отримані значення розрахунків основних параметрів РЛС задовольняють поставлену задачу.

За результатами цифрового оброблення сигналів РЛС, дана система здатна виявити швидкість та відстань до потенційної загрози на залізничній колії.

Якісну роботу РЛС забезпечує антенна система. ФАР забезпечує вузьку діаграму спрямованості з меншими бічними випромінюваннями, що дозволяє якісно оцінювати поточну ситуацію на колії.

Для швидкої реакції про небезпеку, розроблено бездротову аудіосистему для оповіщення сигналу тривоги.

Результати надійності даної системи відповідають поставленому технічному завданню.

					<i>РТ91.464421.001 ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		68

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Bosch develops collision-oidance system for light rail [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://newatlas.com/bosch-light-rail-braking/43193/>.
2. European Train Control System [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.thalesgroup.com/en/markets/transport/signalling/signalling-solutions-main-line-rail/european-train-control-system-etcs#:~:text=ETCS%20continuously%20calculates%20a%20safe,to%20the%20different%20ETCS%20levels>
3. POSITIVE TRAIN CONTROL [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sunrail.com/about/positive-train-control/>.
4. Стаття [Електронний ресурс] // Glavcom. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://glavcom.ua/world/observe/u-ssha-vnaslidok-shodzhennya-pojizda-z-reyok-postrazhdali-desyatki-lyudey-je-zagibli-video-786203.html>.
5. НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ТА ЇХ НАСЛІДКИ. НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/09/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86_%D1%8F-2.pdf.
6. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ. БЕЗПЕКА РУХУ ТА ПРАВИЛА ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАЛІЗНИЦЬ [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/3764/1/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96%20%D0%B2%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D1%96%D0%B2%D0%BA%D0%B8.pdf>.
7. Інструкція із сигналізації на метрополітенах України [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://ips.ligazakon.net/document/RE31318?an=1>.
8. Що таке ефект Доплера [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://magey.com.ua/fundamentalna-nauka/298-shho-take-efekt-doplera/>.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

9. Автоматична локомотивна сигналізація [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D0%BB%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%B0_%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F
10. Лис (РЛС) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%81_\(%D0%A0%D0%9B%D0%A1\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%81_(%D0%A0%D0%9B%D0%A1)).
11. Нова техніка для війська. РЛС "Борсук-А" та "Лис-2М" [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cheline.com.ua/news/mens-club/nova-tehnika-dlya-vijska-rls-borsuk-a-ta-lis-2m-50516>.
12. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ FMCW РАДАРА МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ / [К. М. Махно, Т. В. Романенко, Є. М. Саратов та ін.]. // КІП ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна.
13. 94 GHz FMCW Doppler Cloud Radar [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.radiometer-physics.de/products/microwave-remote-sensing-instruments/94-ghz-fmcw-doppler-cloud-radar/#tabs-container-5>.
14. Machado S. Automotive FMCW Radar Development and Verification Methods / S. Machado, S. Mancheno. – Gothenburg, 2018. – (Department of Computer Science and Engineering CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY UNIVERSITY OF GOTHENBURG).
15. Alijasmı R. Signal Processing and Parameter Estimation. FMCW-radar / Rahman Alijasmı., 2002. – (SWEDISH DEFENCE RESEARCH AGENCY).
16. Конструкція та динаміка електричного рухомого складу: підручник / С. В. Панченко, М. М. Бабаєв, В. С. Блиндюк та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2018. – Ч. 1. – 280 с., рис. 100, табл. 14.
17. Геотроніка. Конспект лекцій.-метод. вид. для студентів геогр. факультету, А.В. Уль. – Луцьк: РВВ "Вежа-Друк", 2022. – 124 с.
18. Вельміскін Д.І. Теоретичні основи радіолокації: Конспект лекцій. – Дніпропетровськ: "Економіка", 2005. – 128 с.
19. Радар 77 ГГц для автомобільних друкованих плат: маршрутизація та цілісність сигналу [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://resources.altium.com/p/77-ghz-radar-automotive-pcbs-routing-and-signal-integrity>.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РТ91.464421.001 ПЗ

Лист
70

20. Технічна документація. Bluetooth audio-transmitter module KCX-BT003 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.electroniccomp.com/bluetooth-audio-transmitter-module-kcx-bt003-v1.1>.
21. Технічна документація. Bluetooth 4.1 Stereo Audio Transmitter KCX_BT_EMITTER [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ebay.com/itm/125297745648>.
22. Технічна документація. CHIPLED LH N974 [Електронний ресурс] // OSRAM – Режим доступу до ресурсу: <https://www.snapeda.com/parts/LHN974%20RED%20LED%201206/Osram/datasheet/>.
23. Технічна документація. 61300211121 WR-PHD Pin Header [Електронний ресурс] // WURTH ELEKTRONIK – Режим доступу до ресурсу: <https://www.wonline.com/components/products/datasheet/61300211121.pdf>
24. Розрахунок надійності пристроїв [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: Приклад розрахунку надійності [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/239147/mod_resource/content/1/%D0%A0%D0%BE%D0%B7%D1%80%D0%B0%D1%85%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%BA%20%D0%BD%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96%20%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4.pdf.
25. Кондрацька В. Д. КУРСОВА РОБОТА по курсу «Технології розробки та виготовлення радіотехнічних інформаційних систем» на тему: «Бездротова аудіосистема» / Вікторія Денисівна Кондрацька. – 2023. – С. 1–30.

					<i>РТ91.464421.001 ПЗ</i>	Лист
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		71

ДОДАТОК А

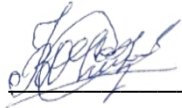
ПОГОДЖЕНО

Керівник дипломного проекту

к.т.н., доцент Чмельов В.О

20.04.2023

(дата)



(підпис)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри радіотехнічних

систем д.т.н., проф. Жук С.Я

(дата)

(підпис)

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ

«Радіолокаційна система контролю вільної залізничної колії для
безпечного руху поїзду»

1 НАЗВА І ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

Назва дипломного проекту «Радіолокаційна система контролю вільної залізничної колії для безпечного руху поїзду».

Підставою для виконання є завдання, видане кафедрою радіотехнічних систем від «15» квітня 2023 р.

2 ВИКОНАВЕЦЬ

Виконавець — студентка групи РТ-91 Кондрацька Вікторія Денисівна.

3 МЕТА ВИКОНАННЯ ДП І ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКЦІЇ

Метою дипломного проекту є розробка рлс для забезпечення безпеки руху залізничного транспорту та оформлення необхідної конструкторської документації.

Призначено для виявлення перешкод руху потягу та формування сигналу тривоги на декількох пристроях одночасно для оповіщення машиністів про потенційну небезпеку на залізничній колії.

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1 Вимоги призначення

Потужність: 20 Вт (не більше).

Напруга живлення: 24 В.

Струм: до 1 А.

Тип зв'язку: Bluetooth.

4.2 Вимоги життєздатності та стійкості до зовнішніх впливів та чинників:

Кліматичне виконання У1 (ГОСТ 15150–69). Захист від механічних пошкоджень В5 (ГОСТ 16019–2001).

4.3 Вимоги надійності

Середній наробіток на відмову відповідно до ГОСТ 21317 – 75 не менше 9150 годин.

Імовірність безвідмовної роботи 0,95.

Середній строк служби не менше 5 років.

4.4 Вимоги до конструкції

Конструкція повинна допускати можливість демонтажу окремих функційних вузлів і складових частин для ремонту і виключати неправильне під'єднання складових частин до джерел живлення.

Маса уточнюватися в процесі розробки.

4.5 Вимоги до уніфікації і стандартизації

Використовувати уніфіковану та стандартизовану елементну та матеріальну базу. Допускається застосування імпорتنних компонентів.

4.6 Вимоги до дизайну, ергономіки та технічної естетики

Прилад повинен бути щільно закритий захисними поверхнями з усіх сторін.

4.7 Вимоги до експлуатації, зручності технічного обслуговування та ремонту

Пристрій буде підключений до мережі . Корпус повинен бути ремонтно придатним.

Технічне обслуговування проводити 1 раз на рік.

4.8 Вимоги до безпеки життя, здоров'я і майна громадян та охорони довкілля

Керуватися положеннями стандартів про вимоги технічної безпеки, електробезпеки, пожежної безпеки. Утилізація згідно вимог для промислових відходів за ГОСТ 30773-2001.

4.9 Вимоги до транспортування і зберігання

Умови транспортування В5 згідно ГОСТ 16019-2001.

Зберігання проводиться в складському приміщенні при температурі від -25°C до +40°C і відносній вологості повітря не більше 95% та відсутності в ньому кислотних парів, які шкідливо діють на матеріали.

5 ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ, МАТЕРІАЛІВ

Потрібно вибрати надійний та безпечний матеріал для корпусу.

6 ВИМОГИ ДО КОНСЕРВАЦІЇ, ПАКУВАННЯ І МАРКУВАННЯ

Пакування та маркування виконується за ДСТУ 4171-2003. Упаковка повинна мати достатню міцність щоб зберегти виріб при транспортуванні,

використовувати бульбашко-повітряну плівку, після чого виріб помістити в коробку. Також повинна вміщати прилад з літературою, яка надається кінцевому споживачу.

Консервація: не передбачено.

7 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Оформлення документації згідно ДСТУ 3008:2015.

Склад конструкторської документації:

1. Текстова документація (пояснювальна записка, перелік елементів, специфікація на друкований вузол, специфікація на пристрій).

2. Графічна документація загальним обсягом не менше 3 аркушів А1 (схема електрична принципова, креслення друкованої плати, складальне креслення друкованого вузла, складальний креслений пристрою).

8 ОРІЄНТОВНИЙ ЗМІСТ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

Титульний лист

Завдання на дипломний проект

Зміст

Вступ

1. Сучасні засоби контролю руху залізничного транспорту

2. Основи побудови РЛС контролю небезпечної зони

3. Аналіз роботи РЛС

4. Розробка пристрою для оповіщення сигналу тривоги

Висновки

Перелік джерел посилань

Додаток А Технічне завдання

Додаток Б Відомість дипломного проекту

Додаток В Схема електрична принципова

Додаток Г Складальне креслення друкованого вузла

Додаток І Друкована плата

Додаток Д Складальне креслення пристрою

Додаток Е Перелік елементів

Додаток Є Специфікація на пристрій

Додаток Ж Специфікація друкованого вузла

9 СТАДІЇ ТА ЕТАПИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Робота виконується в 7 етапів.

№	Назва етапу	Термін виконання	Форма звітності
1	Огляд сучасних підходів	21.04 – 30.04	Розділ 1
2	Визначення структури РЛС	01.05.23 – 10.05.23	Розділ 2
3	Розрахунок основних параметрів РЛС	11.05.23 – 16.05.23	Розділ 2
4	Моделювання та оброблення сигналів	17.05.23 – 23.05.23	Розділ 3
5	Аналіз ТЗ	24.05.23 – 29.05.23	Розділ 3
6	Розробка та проектування пристрою	30.05.23 – 10.06.23	Розділ 3
7	Оформлення графічної документації	11.06.23 - 16.06.23	Креслення та додатки

10 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

1. Представлення проміжних результатів дипломного проекту керівнику в зазначені терміни;
2. Представлення завершеного дипломного проекту керівнику;
3. Перевірка дипломного проекту на наявність плагіату;
4. Після закінчення виконання дипломного проекту відбувається захист цього проекту перед екзаменаційною комісією.

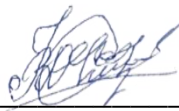
Виконавець

Кондрацька В.Д.



Керівник

к.т.н., доцент Чмельов В.О.

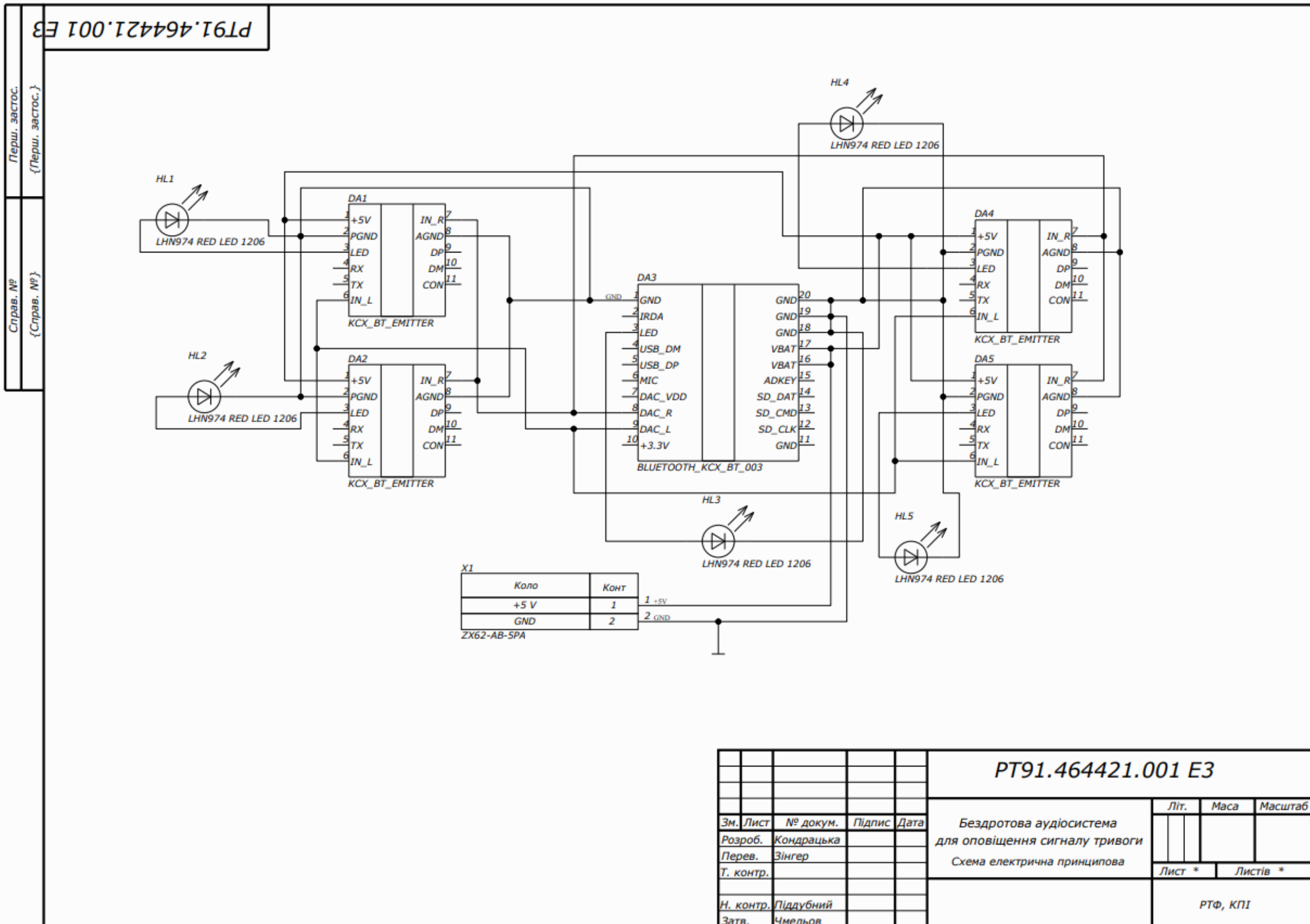


ДОДАТОК Б
ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

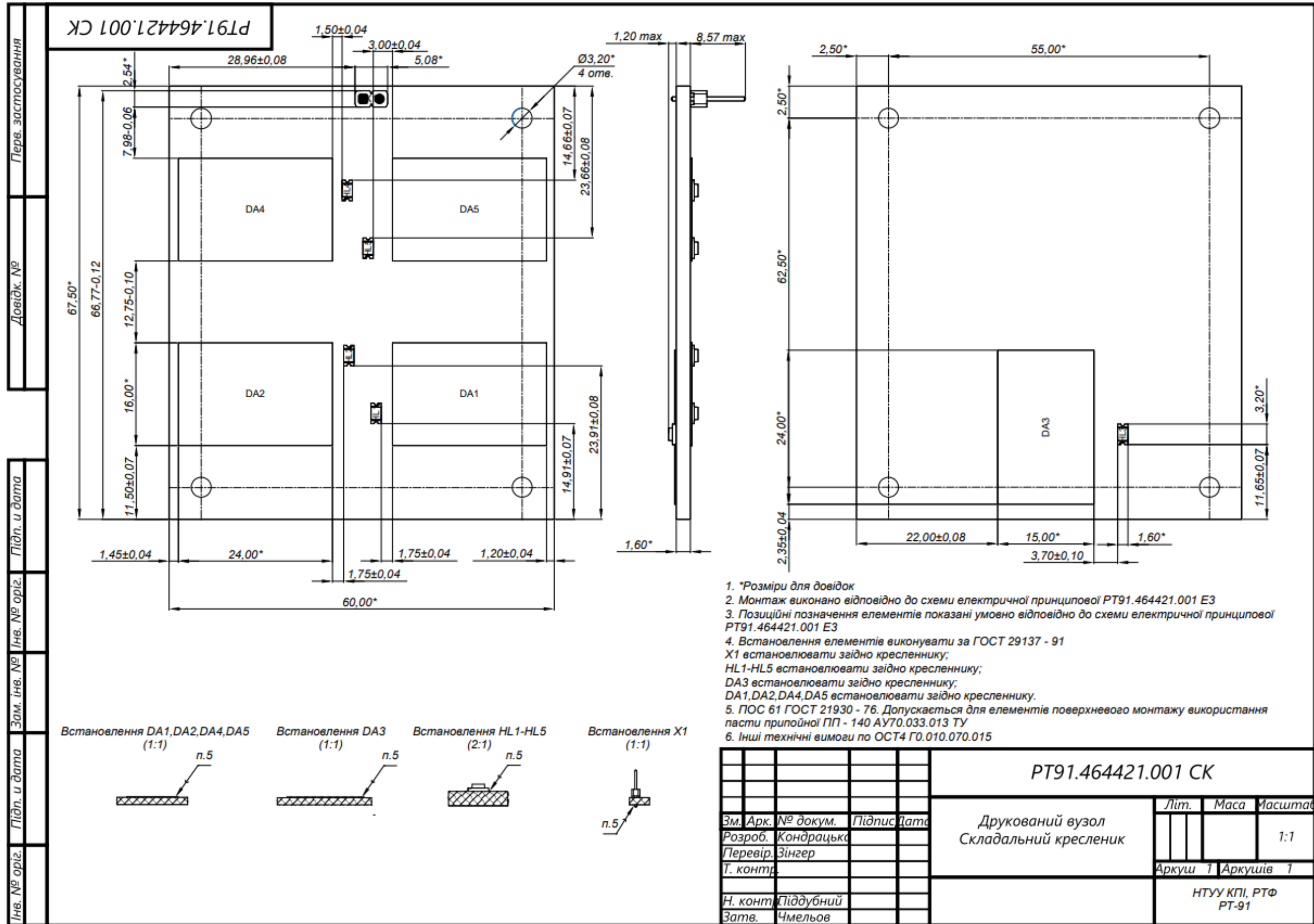
№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	РТ91.464421.001 ПЗ	Пояснювальна записка	64	
3	A3	РТ91.464421.001 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
4	A3	РТ91.464421.001 СК	Складальне креслення друкованого вузла	1	
5	A3	РТ91.758744.001	Друкована плата	1	
6	A3	РТ91.464421.002 СК	Складальне креслення пристрою	1	
7	A4	РТ91.464421.001 ПЕ	Перелік елементів	1	
8	A4	РТ91.464421.001	Специфікація на пристрій	1	
9	A4	РТ91.464421.001	Специфікація друкованого вузла	1	

				РТ9.464421.001		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Кондрацька			Радіолокаційна система контролю вільної залізничної колії для безпечного руху поїзду	Лист	Листів
Керівн.	Чмельов				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. РТС Гр. РТ-91	
Н/контр.						
Зав.каф.						

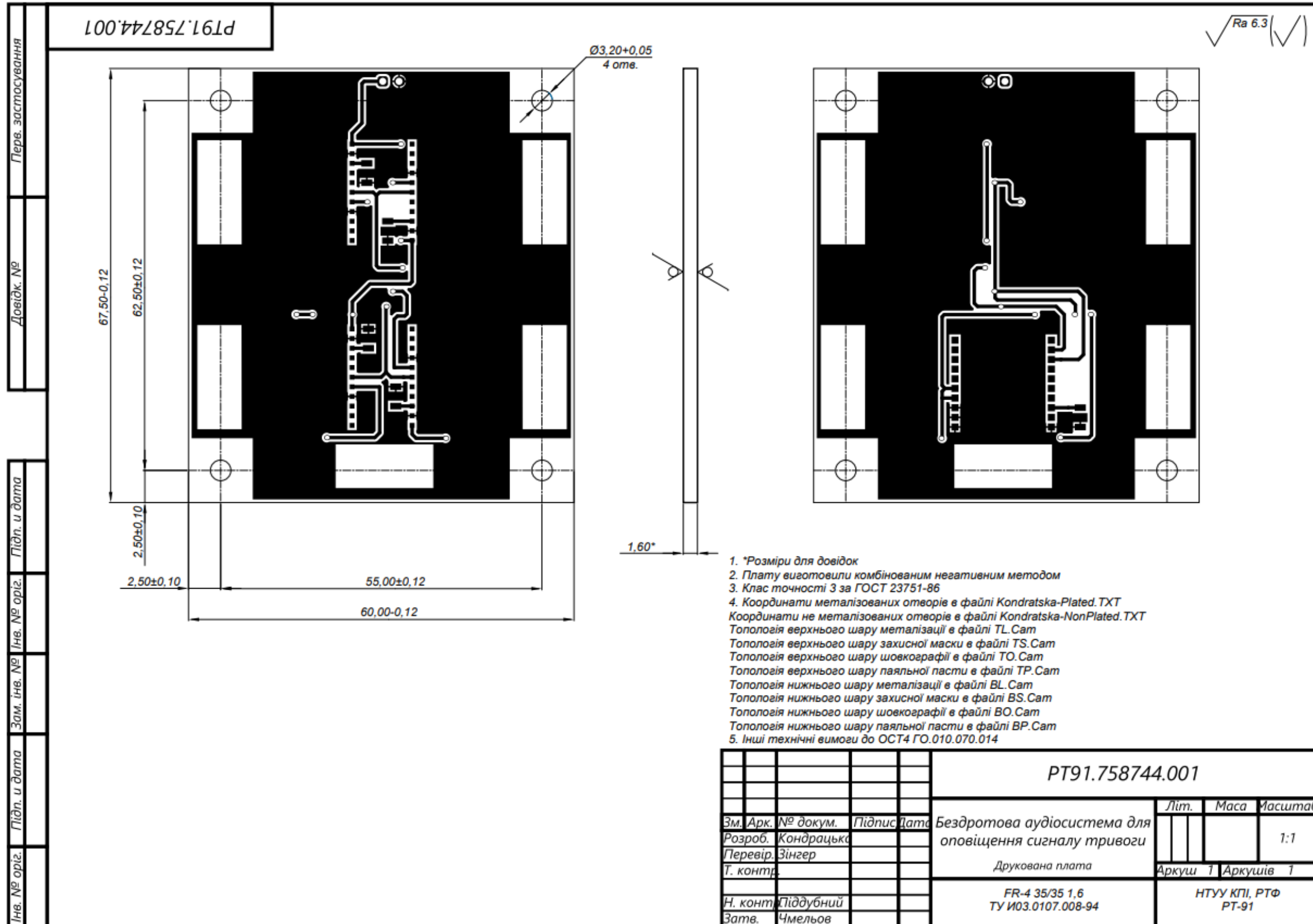
ДОДАТОК В
СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА



ДОДАДОК Г
СКЛАДАЛЬНЕ КРЕСЛЕННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА



ДОДАДОК Г
ДРУКОВАНА ПЛАТА



- *Розміри для довідок
- Плату виготовили комбінованим негативним методом
- Клас точності 3 за ГОСТ 23751-86
- Координати металізованих отворів в файлі Kondratska-Plated.TXT
Координати не металізованих отворів в файлі Kondratska-NonPlated.TXT
Топологія верхнього шару металізації в файлі TL.Cam
Топологія верхнього шару захисної маски в файлі TS.Cam
Топологія верхнього шару шовкографії в файлі TO.Cam
Топологія верхнього шару паяльної пасту в файлі TP.Cam
Топологія нижнього шару металізації в файлі BL.Cam
Топологія нижнього шару захисної маски в файлі BS.Cam
Топологія нижнього шару шовкографії в файлі BO.Cam
Топологія нижнього шару паяльної пасту в файлі BP.Cam
- Інші технічні вимоги до ОСТ4 ГО.010.070.014

				PT91.758744.001				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Бездротова аудіосистема для оповіщення сигналу тривоги	Лит.	Маса	Масштаб
Розроб.	Кондрацька							1:1
Перевір.	Зінгер							
Т. контр.					Друкована плата	Аркушів	1	1
Н. контр.	Піддубний				FR-4 35/35 1,6 ТУ ИО3.0107.008-94	НТУУ КПІ, РТФ РТ-91		
Затв.	Чмельов							

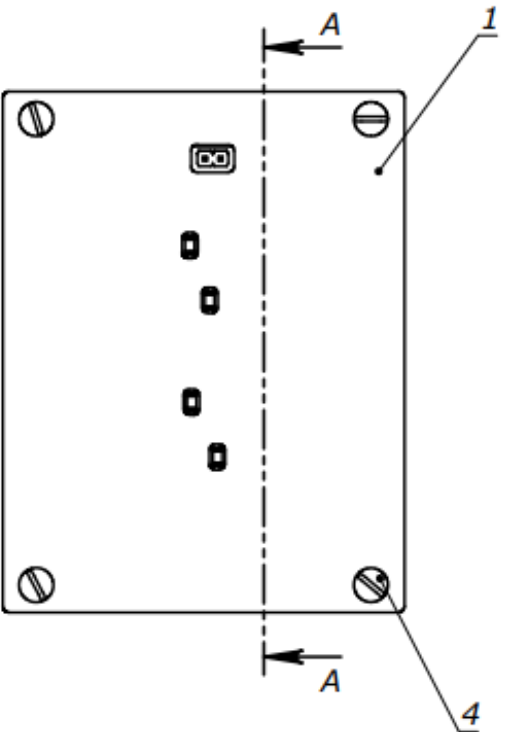
Копіював

Формат А3

Перв. застосування	
Довідк. №	
Підп. і дата	
Зам. інв. №	оріг.
Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №	оріг.

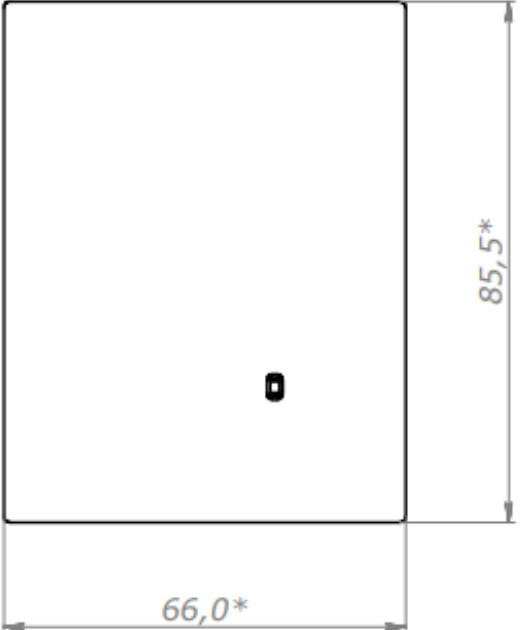
ДОДАТОК Д
СКЛАДАЛЬНЕ КРЕСЛЕННЯ ПРИСТРОЮ

Перш. використ.	PT91.464421.002 СК		
Справ. №			
Підп. та дата			
Взам. інв. №	Інв. № дубл.		
Підп. та дата			
Інв. № подл.			



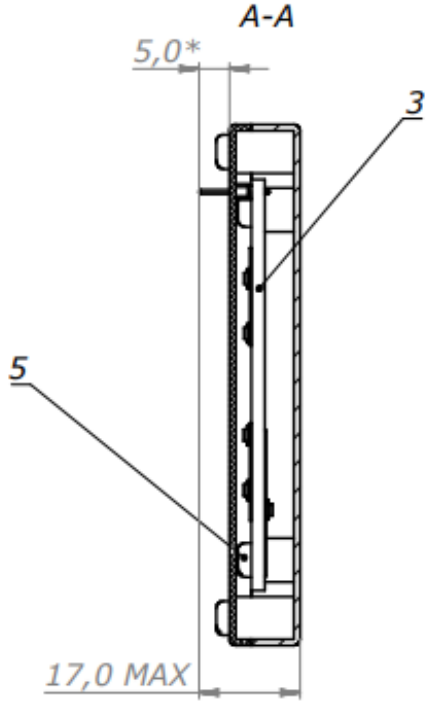
1

4



66,0*

85,5*



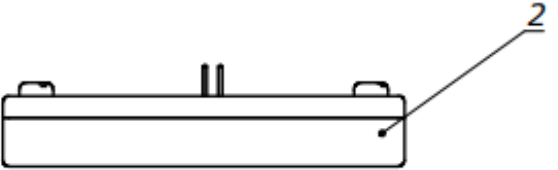
A-A

5,0*

3

5

17,0 MAX



2

1. *Розміри для довідок

2. Монтаж проводиться згідно схеми електричної принципової PT91.464421.001 ЕЗ

3. Інші технічні вимоги по ОСТ4.ГО.070.0

				PT91.464421.002 СК			
				Бездротова аудіосистема для оповіщення сигналу тривоги			
				Складальний кресленик			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Кондрацька					1:1
Перев.		Зінгер					
Т. контр.					Лист	1	Листів 1
Н. контр.		Піддубний			НТУУ КПІ, РТФ, РТ-91		
Затв.		Чмельов					

Файл: Kondratska

ДОДАТОК Е
ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки						
	<u>Мікросхеми</u>								
DA1,DA2	KCX BT EMITTER - BLUETOOTH аудіо передавач	2							
DA3	KCX BT 003 - BLUETOOTH аудіо приймач	1							
DA4,DA5	KCX BT EMITTER - BLUETOOTH аудіо передавач	2							
	<u>Світлодіоди</u>								
HL1- HL5	LHN974 RED LED 1206	5							
	<u>Роз'єм</u>								
X1	61300211121 - WR-PHD 2.54 mm THT Pin Header 2p	1							
			РТ91.464421.001 ПЕ						
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>						
<i>Дата</i>									
Розробив	Кондрацька								
Перевір.	Зінгер								
Реценз.									
Н. Контр	Піддубний								
Затверд.	Чмельов								
Бездротова аудіосистема для оповіщення сигналу тривоги		Перелік елементів	<table border="1"> <tr> <td>Лім.</td> <td>Арк.</td> <td>Аркуші</td> </tr> <tr> <td></td> <td align="center">1</td> <td align="center">1</td> </tr> </table>	Лім.	Арк.	Аркуші		1	1
Лім.	Арк.	Аркуші							
	1	1							
			КПІ ім. Ігоря Сі- корського, РТФ						

ДОДАТОК Є
СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ПРИСТРІЙ

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітки	
				<u>Документація</u>			
A4			PT91.464421.001 ПЗ	Пояснювальна записка	1		
A3			PT91.464421.002 СК	Складальний кресленик	1		
				<u>Складальні одиниці</u>			
A4		1	PT91.464421.001	Друкований вузол	1		
				<u>Деталі</u>			
A3		1	PT91.732314.001	Кришка	1		
A3		2	PT91.732314.002	Корпус	1		
				<u>Інші вироби</u>			
		4		Гвинт М3-0.5 3x10x9 ANSI	4		
		5		Гвинт М3-0.5 3x6x5.5 ANSI	4		
				PT91.464421.001			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Кондрацька				Бездротова аудіосистема для оповіщення сигналу тривоги Специфікація	Лім.	
Перевір.	Зінгер					Арк.	
Реценз.						Аркушів	
Н. Контр	Піддубний						
Затверд.	Чмельов						
						1	
						1	
						КПІ ім. Ігоря Сікорського, РТФ	

ДОДАТОК Ж
СПЕЦИФІКАЦІЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітки	
				<u>Документація</u>			
A3			PT91.464421.001 E3	Схема електрична принципова			
A3			PT91.464421.002 СК	Складальний кресленик			
A4			PT91.464421.001 ПЕ	Перелік елементів			
				<u>Деталі</u>			
A3		3	PT91.758744.001	Друкована плата	1		
				<u>Інші вироби</u>			
				Мікросхема КСХ-ВТ-EMITTER	4	DA1,DA2, DA4,DA5	
				Мікросхема КСХ-ВТ-003	1	DA3	
				Світлодіод LHN974	5	HL1-HL5	
				Pin Header 2p	1	X1	
				<u>Матеріали</u>			
				Приніт SAC 305 ISO 9453:2014			
				PT91.464421.001			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Кондрацька					
Перевір.		Зінгер					
Реценз.							
Н. Контр		Піддубний					
Затверд.		Чмельов					
Бездротова аудіосистема для оповіщення сигналу тривоги Друкований вузол					Літ.	Арк.	Аркушів
						1	1
					КПІ ім. Ігоря Сікорського, РТФ		