

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Механічний факультет  
Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

## ДИПЛОМНА РОБОТА

магістра

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИЗНАЧЕННЯ  
ПРОСТОРОВИХ КООРДИНАТ ПІДЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

Завідувач кафедри канд. техн. наук, доцент  О. І. Богатов

Нормоконтролер канд. техн. наук, доцент  І. В. Грайворонська

Керівник канд. техн. наук, доцент  Д. С. Петрукович

Студент гр. ММ-61-22  І. О. Кондратенко

Харків – 2023

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет механічний  
Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності  
Освітній рівень магістр  
Спеціальність: 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

 О. І. Богатов

«11» жовтня 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Кондратенко Ігору Олександровичу

1. Тема роботи: «Дослідження інтелектуальних технологій визначення просторових координат підземних об'єктів»

Керівник роботи Петрукович Дмитро Євгенович, к.т.н., доцент

Затверджені наказом по університету від «11» 10 2023 р. № 130



2. Строк виконання роботи «01» грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Приймальна антена вхідного пристрою коаксіально-рупорного типу; монохроматичний режим роботи на частоті 2,4 ГГц; полігармонічний режим роботи в діапазоні частот від 420 МГц до 2,4 ГГц.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: 1 Аналіз методів визначення просторових координат підземних об'єктів. 2 Обґрунтування вимірювальної інформаційної системи для визначення координат підземних об'єктів на основі Wi-Fi модулів. 3 Рекомендації щодо підвищення чутливості вимірювальної інформаційної системи вимірювання просторових координат підземних об'єктів 4 Висновки; 5 Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1 Точки локації на магнітному полі; 2 Структурна схема бездротової передачі даних просторового положення бурової головки. 3 Структурна схема вхідного пристрою. 4. Загальний вид коаксіально-рупорної антени. 5. Таблиці і графіки результатів досліджень.

## 6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	О. І. Богатов к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 19 вересня 2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення літератури	20.09.2023	виконано
2	Аналіз методів визначення просторових координат підземних об'єктів	15.10.2023	виконано
3	Обґрунтування виміральної інформаційної системи для визначення координат підземних об'єктів на основі Wi-Fi модулів	04.11.2023	виконано
4	Рекомендації щодо підвищення чутливості виміральної інформаційної системи вимірювання просторових координат підземних об'єктів	15.11.2023	виконано
5	Формулювання результатів досліджень	19.11.2023	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	23.11.2023	виконано
7	Створення презентації на Power Point	28.11.2023	виконано
8	Подання роботи керівнику	01.12.2023	виконано
9	Подання роботи на рецензію	03.12.2023	виконано

Студент



( підпис )

Кондратенко І. О.

( прізвище та ініціали )

Керівник роботи



( підпис )

Петрукович Д. Є

( прізвище та ініціали )

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 86 с., 31 рис., 8 таблиць, 1 додаток, 26 джерел.

АКСЕЛЕРОМЕТР, АМПЛІТУДНО ЧАСТОТНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ВИМІРЮВАННЯ, ДЕТЕКТОРНА СЕКЦІЯ, КОАКСІАЛЬНО-РУПОРНА АНТЕНА, КОЕФІЦІЄНТ ШУМУ,

Об'єкт досліджень – процес перетворення та передачі просторових координат підземних об'єктів.

Мета роботи – дослідження інтелектуальних технологій визначення просторових координат підземних об'єктів.

Методи дослідження – методи перетворення вимірювальних сигналів, методів побудови вхідного пристрою для роботи в монохроматичному і надширокополосним режимах.

В дипломній роботі проаналізовано методи визначення координат підземних об'єктів. Розроблено вимірювальну інформаційну систему визначення координат підземних об'єктів на основі Wi-Fi модулів які працюють на частоті 2,4 ГГц. Запропоновано конструкцію вхідного пристрою для монохроматичних сигналів у вигляді коаксіально-рупорної антени і підсилювачів вхідних сигналів при роботі в монохроматичному режимі та конструкцію вхідного пристрою у вигляді коаксіально-рупорної антени детектора і підсилювача при роботі в над широкосмуговому режимі.

Проведені дослідження метрологічних характеристик вхідного пристрою. Встановлено що робочий діапазон становить від 420 МГц до 2,4 ГГц .

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень.....	7
Вступ.....	8
1 Аналіз методів визначення просторових координат підземних об'єктів.....	9
1.1 Георадарні методи .....	9
1.2 Методи визначення координат просторових координат підземних об'єктів.....	10
1.3 Використання систем Wi-Fi та області його застосування.....	18
2 Обґрунтування вимірювальної інформаційної системи для визначення координат підземних об'єктів на основі Wi-Fi модулів..	21
2.1 Загальна структура вимірювальної системи на основі Wi-Fi модулів.	21
2.2 Системи з визначенням кута місця.....	25
2.3 Датчик положення та прискорення MPU-6050.....	30
2.4 Принцип роботи цифрових магнітометрів.....	33
3 Обґрунтування первинного перетворювача для систем визначення координат підземних об'єктів .....	39
3.1 Обґрунтування структурної схеми первинного перетворювача.....	39
3.2 Обґрунтування вхідного пристрою для систем вимірювання координат підземних об'єктів.....	41
3.3 Обґрунтування полігармонічного індуктивного датчика з метою визначення координат підземних об'єктів .....	44
4 Рекомендації щодо підвищення чутливості вимірювальної інформаційної системи вимірювання просторових координат підземних об'єктів.....	50
4.1 Визначення типу випромінювача для визначення координат підземних об'єктів.....	50

4.2	Обробка результатів вимірювання та оцінка похибки вимірювань...	56
5.	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	59
5.1	Вимоги до розміщення обладнання .....	60
5.2	Освітлення на робочому місці.....	60
5.3	Опалення і вентиляція в приміщеннях .....	62
5.4	Безпека у надзвичайних ситуаціях.....	63
	Висновки.....	66
	Перелік посилань.....	67
	Додаток А. Ілюстративний матеріал до дипломної роботи.....	70

Кафедра МБЖД

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АБ – антенний блок;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

ЕПР – ефективна площа розсіювання;

КМОН – комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник;

КПРЧ – коефіцієнт перекриття робочих частот;

КСХН – коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі;

МЗГТ – метод загальної глибинної точки;

МЗПЗ – метод загального пункту збудження;

НВЧ – надвисока частота;

НЗЗ – негативний зворотній зв'язок ;

НШС – надширокосмугов;

НШС ЕМІ – надширокосмугові електромагнітні імпульси;

## ВСТУП

В останній час в країнах світу розробляється і впроваджується техніка для безтраншейної прокладки різних комунікацій, таких як високовольтні кабелі і кабелі зв'язку різного типу трубопроводи. Оскільки бурова головка для проколу ґрунту знаходиться під землею і її координати візуально визначити неможливо, то розробляються спеціальні вимірювальні системи для визначення місця знаходження бурової головки з ціллю корегування траси її руху. Вимірювальні системи включають в себе передавальні пристрої, які розташовуються в буровій головці і приймальний пристрій, який розміщується на поверхні землі. За інформацією отриманою оператором з приймача, коректується напрям руху головки при відхиленні її від заданої траси.

В якості інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем використовують системи радіолокаційного типу, які можуть бути як монохроматичними так і полі гармонічними системами.

Полігармонічні інтелектуальні вимірювальні інформаційні системи реалізують вимірювання часових та частотних характеристик, імпульсних сигналів наносекундної тривалості – так названих поліметричних сигналів.

Полігармонічні інтелектуальні вимірювальні інформаційні системи характеризуються високою точністю визначення координат та характеристик вимірюваних та контрольованих об'єктів, вони успішно використовуються в вимірювальних системах при безтраншейному прокладанні мереж. Разом з ними також широко використовуються монохроматичні системи. При цьому їх вхідні пристрої відрізняються один від одного і не являються взаємозамінними. Оскільки представляється важливим створення такої антени вхідного пристрою, яка б могла б забезпечити роботу вимірювальної системи. Як полігармонічному так і в монохроматичному режимі роботи.



# 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВИХ КООРДИНАТ ПІДЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

## 1.1 Георадарні методи

Одним з ефективних методів дослідження під поверхневого середовища є георадарний метод. З його допомогою можна фіксувати положення об'єкта контролю за характеристиками розсіювання електромагнітних хвиль на даному об'єкті [1, 2]. Для цієї мети використовують георадари в мегагерцовому і гігагерцовому діапазонах частот.

Георадар – це ефективна система контролю дорожнього покриття та знаходження під поверхневих об'єктів.

Георадарний метод засновано на явищі відображення електромагнітної хвилі від поверхонь, на яких стрибкоподібно змінюються електричні властивості контактуючих тіл – електропровідність або діелектрична проникність. Електромагнітна хвиля, падаюча на таку поверхню, створює вторинну хвилю, яка розповсюджується в напрямку, протилежному напрямку розповсюдження падаючої хвилі.

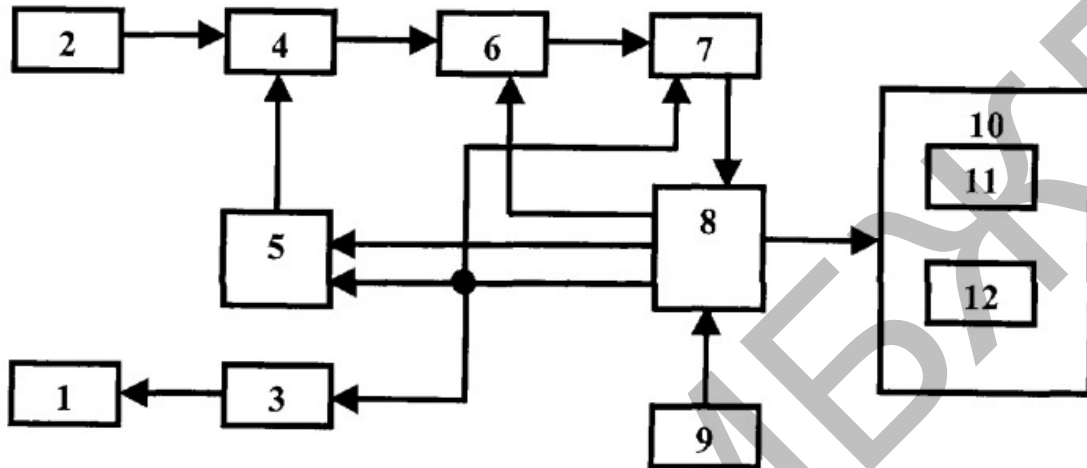
У випадку, коли прийомна та передаюча антени розділені, можна проводити георадарні дослідження методами відбитих хвиль, повністю аналогічні тим, які використовуються в сейсмозв'язці: метод загальної глибинної точки (МЗГТ), метод загального пункту збудження (МЗПЗ). Частотний діапазон георадарів знаходиться в діапазоні від 50 МГц до 500 МГц [3].

Георадари використовують для визначення:

- товщини конструктивних шарів дорожнього покриття та потужності ґрунтів;
- об'ємів дорожньо-будівельних матеріалів в кар'єрах;
- якість ущільнення матеріалів;
- геометричних параметрів дна в місцях майбутніх мостових переходів;

- глибини промерзання дорожніх конструкцій;
- місцеположення підземних інженерних комунікацій тощо.

На рисунку 1.1 показана схема георадара.



1 – передаюча антена; 2 – прийомна антена; 3 – формувач НШС сигналу; 4 – змішувач; 5 – формувач стробу; 6 – підсилювач; 7 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 8 – комп'ютер; 9 – клавіатура; 10 – блок сигналізації та індикації; 11 – пристрій звукової сигналізації; 12 – дисплей

Рисунок 1.1 – Схема пристрою георадара

Їх глибина зондування становить одиниці-десятки сантиметрів і застосовуються головним чином для аналізу стану бетонних будівельних конструкцій [4].

## 1.2 Методи визначення координат просторових координат підземних об'єктів

Перший метод заснований на визначенні положення бурової головки за допомогою точок локації. Працює він наступним чином. Антена передавача, яка знаходиться у головці створює навколо себе магнітне поле. На одній силевій лінії цього поля розташовуються точки локації, рівень сигналу у цих точках буде однаковим. Знайшовши ці точки та відстань між ними, можна

визначити положення буру у ґрунті та його глибину. На рисунку 1.2 зображені точки локації на магнітному полі.

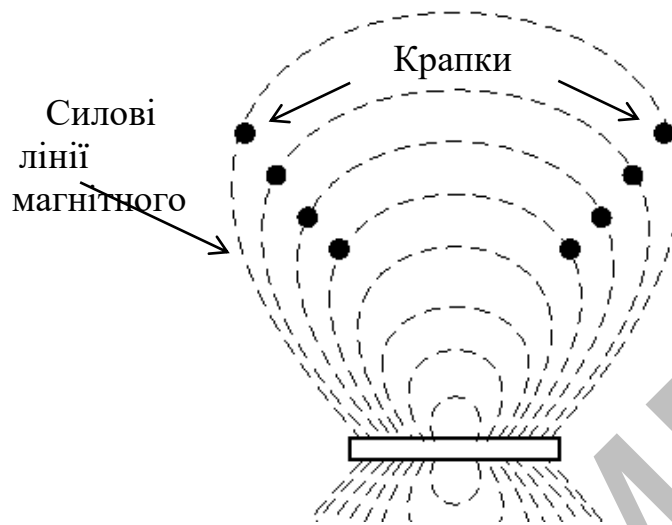


Рисунок 1.2 – Крпки локації на магнітному полі

При відхиленні головки буру від горизонтальної вісі, кут випромінювання відхиляється також та відстань між точками збільшується, та визначається за допомогою спеціальних таблиць.

Використовуючи відстань між точками локації і поздовжній кут нахилу зонда, можна вручну виконати розрахунок глибини за формулою [1, 5]:

$$H = \frac{L}{K}, \quad (1.1)$$

де  $L$  – відстань між точками;

$K$  – коефіцієнт залежності від кута нахилу передавача.

На рисунку 1.3 зображено знаходження точок локації на магнітному полі при відхиленні бура від горизонтальної осі.

Дана система працює у низькочастотному діапазоні від 1,5 кГц до 30 кГц. Можна зробити висновок, що знаходження положення буру таким методом є доволі скрутним.

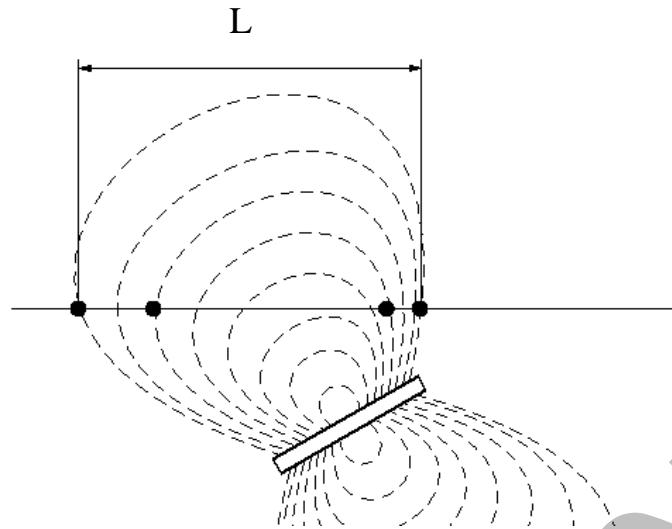


Рисунок 1.3 – Крапки локації при відхиленні бура від горизонтальної осі

Суть другого методу полягає в тому, що за допомогою жорстко пов'язаного з пробійником або буром випромінювача збуджують змінне низькочастотне магнітне поле так, щоб силові лінії магнітного поля проходили симетрично і дотично до площини, що проходить через випромінювач і перпендикулярній осі пробійника або бура, і щоб були силові лінії, що лежать у вертикальній площині, що збігається за напрямком з віссю пробійника або буру.

Визначають положення в просторі цих площин за допомогою спрямованих властивостей антен, розташованих на поверхні ґрунту, знаходять лінію перетину вертикальній площині з поверхнею ґрунту і по її напрямку визначають курс, а за кутом нахилу до поверхні ґрунту площині, перпендикулярній до осі пробійника або бура, визначають тангаж [6]. Відповідно до винаходу низькочастотне магнітне поле випромінювача збуджують за допомогою двох ідентичних співвісних, включених в протифазі, котушок індуктивності, рознесених уздовж осі пробійника, формують сумарно-різницеву діаграму спрямованості антен, переміщують антени на поверхні і визначають положення, в яких різницевий сигнал дорівнює нулю, по орієнтації антен в цих положеннях визначають розташування площини перпендикулярної осі пробійника або бура і вертикальній площині.

Поставлена задача вирішується також тим, що в пристрої для визначення місця розташування пробійника або буру в ґрунті, що містить випромінювач змінного низькочастотного магнітного поля, жорстко пов'язаний з пробійником або буром і включає генератор, дві однаково орієнтовані антени і приймач, має, принаймні, два прийомних каналу і індикатори, розташовані на поверхні, відповідно до винаходу випромінювач виконаний у вигляді двох співвісних, рознесених уздовж осі пробійника або бура, ідентичних котушок індуктивності, а в приймачі додатково введено пристрій отримання суми і різниці сигналів, входи котушок індуктивності випромінювача підключені до виходу генератора в протифазі, виходи антен підключені до відповідних входів пристрою отримання суми і різниці сигналів, а його виходи підключені до відповідних входів, двох прийомних каналів сумарного і різницевого, вихід різницевого каналу приймача підключений до входу першого індикатора, а вихід сумарного каналу підключений до входу другого індикатора.

На рисунку 1.4 зображено пристрій, що реалізує метод виявлення підземних об'єктів.

Пристрій, що реалізує спосіб визначення місця розташування пробійника або бура 1 містить випромінювач 2, що включає дві ідентичні котушки індуктивності 2.1 і генератор змінної напруги 2.2, жорстко пов'язаний з пробійником або буром 1, дві антени 3, 4, приймач 5, що включає різницевий 5.1 і сумарний 5.2 канали приймача, перший і другий індикатори різницевого 7 і сумарного 8 сигналів і пристрій отримання суми і різниці сигналів 6, розташовані на поверхні ґрунту, виходи генератора 2.2 підключені протифазно до входів ідентичних котушок індуктивності 2.1, виходи антен 3, 4 підключені до відповідних входів пристрою отримання суми і різниці сигналів 6, а його виходи підключені до відповідних входів різницевого 5.1 і сумарного 5.2 каналів приймача, вихід різницевого 5.1 каналу підключений до входу індикатора різницевого сигналу 7, а вихід сумарного каналу 5.2 підключений до входу індикатора сумарного сигналу 8 [7, 8].

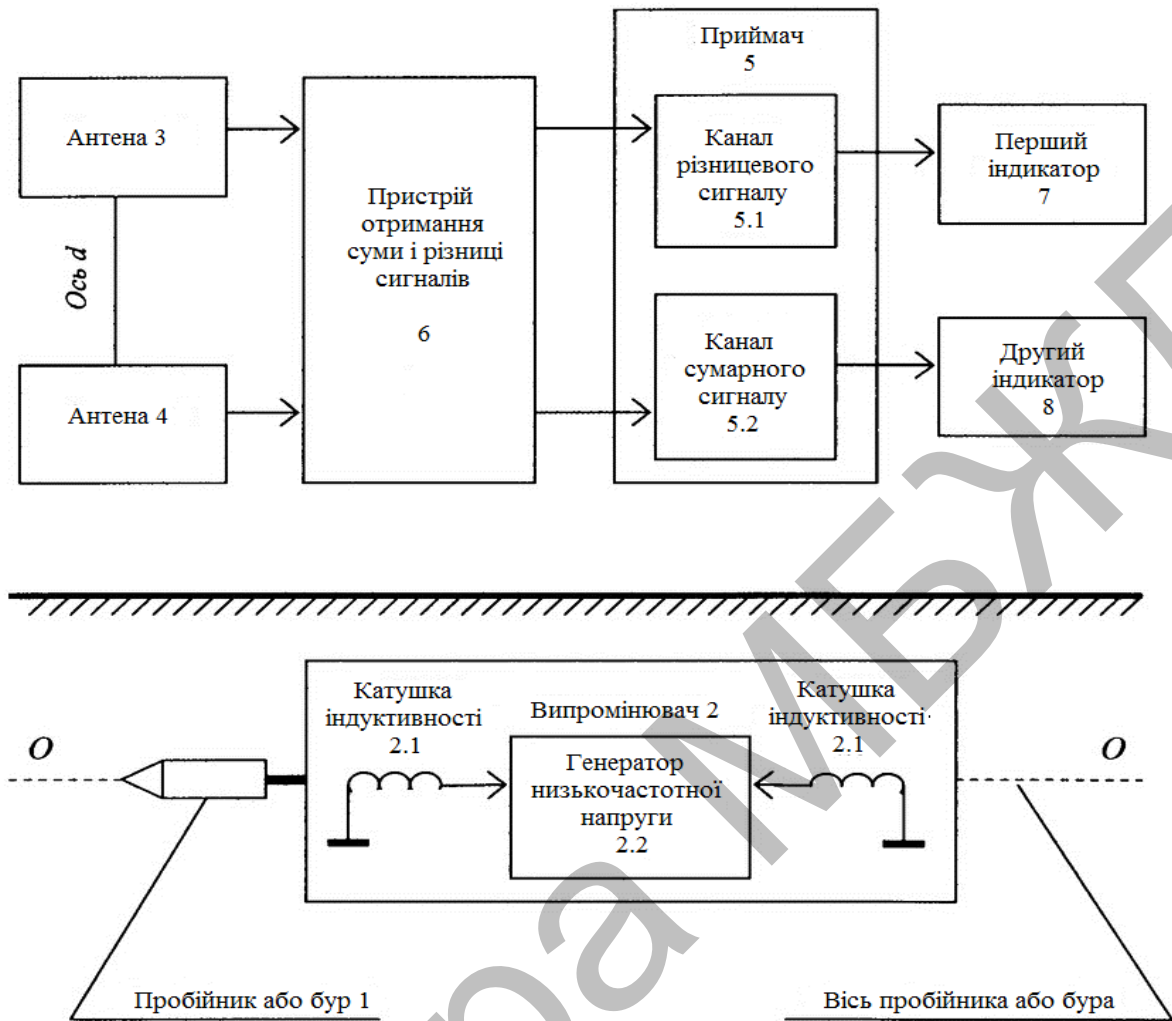


Рисунок 1.4– Пристрій, що реалізує метод виявлення підземних об'єктів

Пристрій, для реалізації способу виявлення підземних об'єктів працює наступним чином. Включений в випромінювач 2 генератор 2.2 генерує низькочастотну напругу, яка надходить на входи котушок індуктивності 2.1 в протифазі. Котушки ідентичні і рознесені на відстань, яка дорівнює 3-4 діаметрам котушки. Обидві котушки збуджують зустрічні низькочастотні магнітні поля. При цьому на рівних відстанях від котушок, на площині, що проходить між ними і перпендикулярної до їх осі  $OO$ , відбувається повна компенсація складових магнітного поля паралельних осі  $OO$ , але залишаються не компенсованими всі силові лінії дотичні до цієї площини. Крім того, магнітні силові лінії поля строго симетричні відносно цієї площини, замикаються на протилежних кінцях котушок, і є силові лінії, котрі цілком

лежать у вертикальній площині, що збігається по напрямку з віссю  $OO$  пробійника або буру 1. Низькочастотне магнітне поле поширюється на поверхню ґрунту і наводить в антенах 3, 4 електричні сигнали.

Сигнали, наведені в антенах 3, 4, надходять на входи пристрою отримання суми і різниці сигналів 6. Сигнал різниці з виходу пристрою отримання суми і різниці сигналів 6 надходить на вхід різницевого каналу 5.1 приймача 5, а з його виходу посилений сигнал надходить на вхід першого індикатора 7 різницевого сигналу. Сигнал суми з виходу сумарного сигналу пристрою 10 надходить на вхід сумарного каналу 5.2 приймача 5, а з його виходу посилений сигнал надходить на вхід другого індикатора 8 сумарного сигналу. Таким чином, пристрій дозволяє одночасно виявляти сигнал за допомогою індикатора 8 для сумарного сигналу і, контролюючи рівень розносна сигналу по індикатору 7, знаходити положення, в яких різницевий сигнал дорівнює нулю. За орієнтації осі  $d$ , що з'єднує антени 3, 4 в цих положеннях, визначають напрямок вертикальній площині і нахил до поверхні ґрунту площині, перпендикулярній до осі  $OO$ , і таким чином визначають курс і тангаж згідно даного методу [7, 8].

Суть третього методу полягає в тому, що за допомогою розташованого на пневмопробійнику або поруч з ним генератора хвильового випромінювання збуджують електромагнітні коливання і визначають азимут руху пневмопробійника за максимальною величиною хвильового випромінювання, при цьому в якості генератора хвильового випромінювання використовують іскровий розряд, причому іскровий розряд посиляють окремими імпульсами, які формують з частотою менше 50 Гц або більше 65 Гц [2].

Суть методу полягає у визначенні сигналу випромінювача електромагнітного поля, розташованого на пробійнику або поруч з ним, за допомогою двох антен, приймального пристрою і індикатора, розташованих на поверхні землі, відповідно до винаходу в якості сигналу випромінювача використовують обертове магнітне поле, причому магнітне поле обертають так, щоб площина обертання вектору магнітного моменту випромінювача була

перпендикулярною осі пробійника, приймають сигнали в ближній зоні, де переважає реактивна потужність поля, за допомогою двох антен, закріплених на загальній базі на відстані  $d$  так, щоб збіглися площини нулів їх діаграм спрямованості, визначають площину обертання вектору магнітного моменту випромінювача шляхом поєднання з нею площини нулів діаграм спрямованості антен так, щоб рівні сигналів в антенах дорівнювали нулю. При цьому кут нахилу площини нулів діаграм спрямованості щодо вертикалі дорівнює куту тангажу пробійника. Потім визначають параметри вектору градієнта поля і за ними визначають напрямок на випромінювач і відстань до нього. Для цього повертають антени до отримання максимального рівня наведеного сигналу, орієнтують базу так, щоб відносини рівнів сигналів в антенах було мінімальним, при цьому напрямок бази збігається з напрямком на випромінювач, і обчислюють відстань до випромінювача  $L$  по формулі [4]:

$$L = \frac{\sqrt[3]{d}}{1 - \sqrt[3]{d}} \cdot d, \text{ м.} \quad (1.2)$$

де  $d$  – відстань між двома антенами, м.

Більш точно визначити місце розташування, а також напрямок руху і тангажу пробійника дозволяє специфіка обертового магнітного поля. Магнітне поле обертають навколо осі, що збігається з напрямком руху пробійника. Існує площина, що проходить через випромінювач і перпендикулярна осі обертання поля. Це площина обертання вектору магнітного моменту  $P_m$ . Якщо площини нулів діаграм спрямованості антен поєднати з цією площиною, то сигнали в антенах дорівнюватимуть нулю. Є вертикальна площина, що проходить через вісь пробійника і перпендикулярна до площини обертання магнітного поля. Лінія перетину цих площин проходить через випромінювач. Якщо тепер поєднати базу з цією лінією, то відхилення бази від вертикалі дорівнюватиме куту тангажу пробійника, а нормаль до знайденої площині обертання вектору  $P_m$  вказує напрямок його руху. Здійснюється це таким чином: орієнтують базу



вертикально, повертають площину нулів діаграм спрямованості антен і знаходять точку на поверхні і такий напрямок цієї площини, при якому рівні сигналів в антенах будуть максимальними; фіксують цей напрямок, повертають антени навколо вертикалі на  $90^\circ$ , переміщують в знайденому напрямку і підбирають такий нахил і поворот бази, при якому рівні сигналів в антенах дорівнюють нулю. При цьому площина нулів діаграм спрямованості антен з високою точністю збігається з площиною обертання вектору  $P_m$ , так як при найменшому розбіжності сигнали в антенах вже не дорівнюють нулю. Напрямок руху пробійника уточнюється після знаходження площині обертання вектору  $P_m$ .

Крім того, відповідно до винаходу випромінювач містить генератор низької частоти, три фазообертача на  $0^\circ$ ,  $120^\circ$  і  $240^\circ$ , три високо добротних коливальних контурів, до виходу генератора підключено входи фазообертачів, їх виходи підключені до коливальних контурів, площини витків котушок коливальних контурів розташовані під кутом  $60^\circ$  друг до одного навколо осі пробійника, паралельно їй [5].

На рисунку 1.5 схематично зображено пристрій, що реалізує метод виявлення підземних об'єктів.

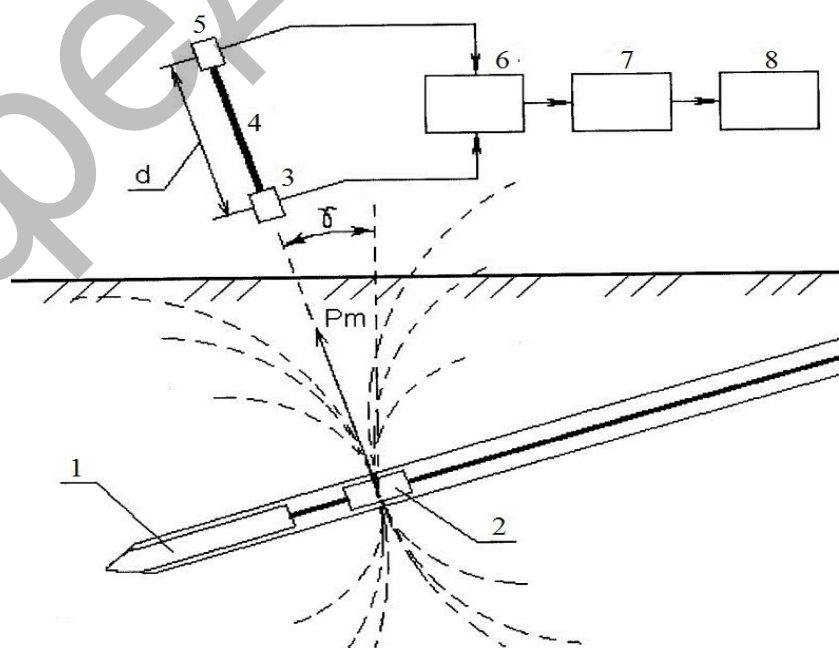


Рисунок 1.5 – Пристрій, що реалізує метод виявлення підземних об'єктів

Пристрій, що реалізує метод виявлення пробійника 1, містить випромінювач 2, розташований на пробійнику або поруч з ним, дві антени 3, 5, виходи яких підключені до входів приймача 6, а також індикатор 8, відповідно до винаходу антени 3, 5 закріплені на загальній базі 4 на заданій відстані  $d$  так, щоб площини нулів їх діаграм спрямованості збіглися, а база виконана з можливістю перенесення.

### 1.3 Використання систем Wi-Fi та області його застосування

На сьогоднішній день усе частіше виникає потреба у бездротовому зв'язку, обміну інформацією та управлінні між електронними пристроями. Для цієї мети використовують бездротові технології. Однією із таких технологій є Wi-Fi.

Технологія Wi-Fi – це один з видів локальної обчислювальної мережі, який, замість кабельного з'єднання, використовує високочастотні радіохвилі між вузлами для зв'язку і передачі даних [9]. Ця технологія є гнучкою системою передачі даних, являє собою альтернативу кабельній локальній мережі або використовується як розширення. Wi-Fi призначений для створення бездротових локальних мереж і організації високошвидкісних бездротових підключень. Залежно від конкретного стандарту мережі Wi-Fi системи використовують 2,4 ГГц або 5 ГГц частоти, забезпечуючи швидкість передачі даних від 2 Мбіт/с.

На дальність дії радіочастот впливають характеристики виробу (насамперед потужність передавача), конструкція приймача, завадо захищеність та шляхи проходження сигналу. Такі звичайні об'єкти будівель або споруд, як стіни, металеві або залізобетонні конструкції, дзеркальні поверхні і навіть люди, при взаємодії з радіохвилями, суттєво впливають на пропускну здатність сигналу, що зменшує зону покриття конкретної системи.

Бездротові мережі використовують радіочастоти, оскільки радіохвилі всередині приміщення проникають через стіни і перекриття. Область охоплення

систем Wi-Fi з найпростішими антенами досягає 300 метрів, маючи антени з великим посиленням – до 7 км, в залежності від кількості та виду перешкод. Розширити зону дії сигналу можна за допомогою додаткових точок доступу або ретрансляторів і тим самим забезпечити свободу пересування.

Wi-Fi системи засновані на стандарті IEEE 802.11. Це набір стандартів зв'язку для комунікації через бездротову локальну мережу у зоні частотних діапазонів. Стандарт 802.11 визначає два типи обладнання – клієнт, яким, зазвичай, є комп'ютер, укомплектований бездротовою мережевою інтерфейсною картою і точкою доступу, яка виконує роль моста між бездротовими і дротовими мережами. Точка доступу зазвичай містить в собі приймач, інтерфейс провідної мережі, а також програмне забезпечення, що займається обробкою даних [9, 10].

На фізичному рівні визначені два широкосмугових радіочастотних методи передачі та один – в інфрачервоному діапазоні. Радіочастотні методи працюють в 2,4 ГГц і зазвичай використовують смугу 83 МГц від 2,400 ГГц до 2,483 ГГц. Технології широкосмугового сигналу, що використовуються в радіочастотних методах, збільшують надійність, пропускну здатність, дозволяють багатьом непов'язаним один з одним пристроям розділяти одну смугу частот з мінімальними перешкодами один для одного.

Стандарт 802.11 використовує два кардинально різних та несумісних один з одним методи – метод прямої послідовності і метод частотних стрибків.

Основна ідея технології розширення спектру прямої послідовності полягає в тому, щоб від вузько смугового спектру сигналу, який виникає при звичайному потенційному кодуванні, перейти до широкосмугового спектру. Саме це дозволяє значно підвищити завадостійкість переданих даних.

Інформаційні біти 0 і 1, при потенційному кодуванні, передаються прямокутними імпульсами напруги. Сигнал можна уявити у вигляді дискретного або безперервного набору гармонік синусоїдальних сигналів з певним чином підібраними ваговими коефіцієнтами і частотами.

Інформаційний біт, що представляється прямокутним імпульсом, розбивається на послідовність більш дрібних імпульсів-чипів.

Основні переваги Wi-Fi:

- дає можливість розгорнути мережу без прокладки кабелю, що може спростити та зменшити вартість розгортання і розширення мережі;
- мобільні пристрої отримують можливість підключення до мережі;
- Wi-Fi пристрої широко розповсюджені на ринку;
- гарантія на сумісність обладнання, завдяки обов'язковій сертифікації обладнання з логотипом Wi-Fi.
- мобільність;
- в межах Wi-Fi зони в мережу можуть виходити кілька користувачів з комп'ютерів, ноутбуків, телефонів.
- в момент передачі даних, випромінювання від Wi-Fi пристроїв суттєво менше (в 10 разів), ніж у стільникових телефонів.

Основні недоліки Wi-Fi:

- діапазон 2,4 ГГц використовується безліччю пристроїв, переважно які підтримують Bluetooth, та інші.
- неоднакові експлуатаційні обмеження та частотний діапазон в різних країнах;
- слабка стійкість алгоритму, через що стандарт шифрування WEP може бути відносно легко зламаний навіть при правильній конфігурації.

В результаті аналізу методів визначення координат підземних об'єктів можна зробити висновки, що знаходження положення є складним за своєю конструкцією та дорогим у реалізації. Існує потреба у спрощенні та знаходженні нових рішень по пошуку координат підземних об'єктів у ґрунті, що і є метою дипломної роботи.

## 2 РОЗРОБКА ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ПІДЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ WI-FI МОДУЛІЙ

### 2.1 Загальна структура вимірювальної системи на основі Wi-Fi модулів

Основна задача полягає у створенні зв'язку та обміну даними між двома бездротовими модулями ESP8266. У якості передавача виступає один з модулів, який встановлюється у бурову головку з прорізаною щілиною. У якості приймача використовується другий модуль, який встановлюється на поверхні, його задача приймати данні від передавача та передавати їх у серійний порт персонального комп'ютера по UART-інтерфейсу та виводити на дисплей [11].

До модуля передавача підключається інерційний датчик положення MPU-6050, взаємозв'язок між ними реалізовано за допомогою I2C інтерфейсу. Структурна схема бездротової передачі даних просторового положення бурової головки зображена на рисунку 2.1.

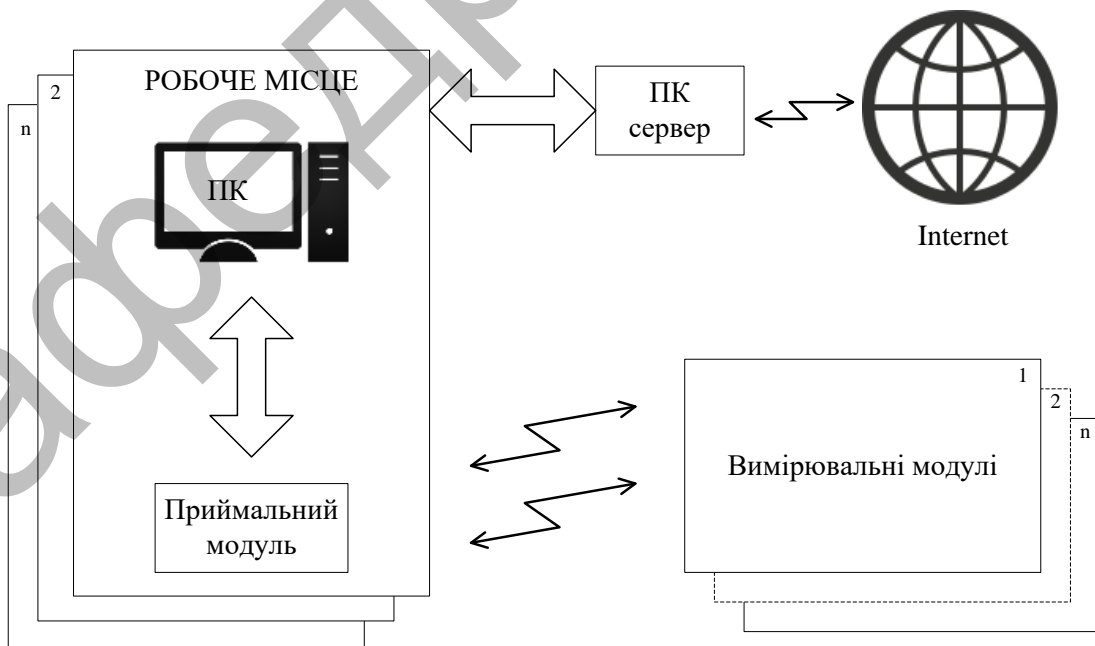


Рисунок 2.1 – Структурна схема бездротової передачі даних просторового положення підземних об'єктів

У якості приймально-передавальних пристроїв було обрано Wi-Fi модуль ESP-07S, зображений на рисунку 2.2. Це послідовний модуль, заснований на процесорі ESP8266 Tensilica L106, який включає в себе найсучасніший 32-розрядний мікроконтролер з малим енергоспоживанням. Має підтримку тактової частоти процесора 80 МГц. Модуль підтримує стандартну угоду IEEE802.11 b/g/n та повний пакет протоколів передачі даних TCP/IP [11].

ESP8266 ESP-07S – це сучасні високотехнологічні бездротові системи які призначені для розробників мобільних платформ. Це забезпечує неперевершену можливість вбудовувати технологію Wi-Fi в інші системи або дає змогу функціонувати пристроям автономно за найменшою ціною та малими розмірами.

Даний модуль виступає як повноцінний мікроконтролер, що дає змогу підключати до нього інші датчики для подальшої бездротової передачі даних або дистанційного моніторингу та контролю.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд модуля ESP-07S

Характеристики модуля ESP-07S:

- підтримка стандарту 802.11 b/g/n;
- вбудований 32-розрядний мікроконтролер;
- інтегрований 10-бітний АЦП;
- мережеві протоколи IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP;
- підтримка зовнішніх антен;
- опір антени 50 Ом;

- робоча частота 2,4 ГГц;
- підтримка WPA/WPA2 режимів безпеки;
- підтримка режимів роботи точка доступу, клієнт та комбінований режим;
- відстань прийому або передачі в ідеальних умовах 400 м;
- флеш пам'ять 512 кбайт;
- напруга живлення від 3,0 В до 3,6 В;
- діючий струм 80 мА;
- час передачі пакетів менше 2 мс;
- вихідна потужність +20 dBm в режимі 802.11b;
- робочий температурний діапазон: від 40 °С до 85 °С.

У порівнянні з іншими, цей модуль має досить велику кількість портів загального призначення – 9 цифрових і АЦП. Це дозволяє за допомогою модуля без використання додаткового контролера управляти досить складними об'єктами [11].

Антенний вузол модуля містить роз'єм для підключення зовнішньої антени.

Принципова схема модуля зображена на рисунку 2.3.

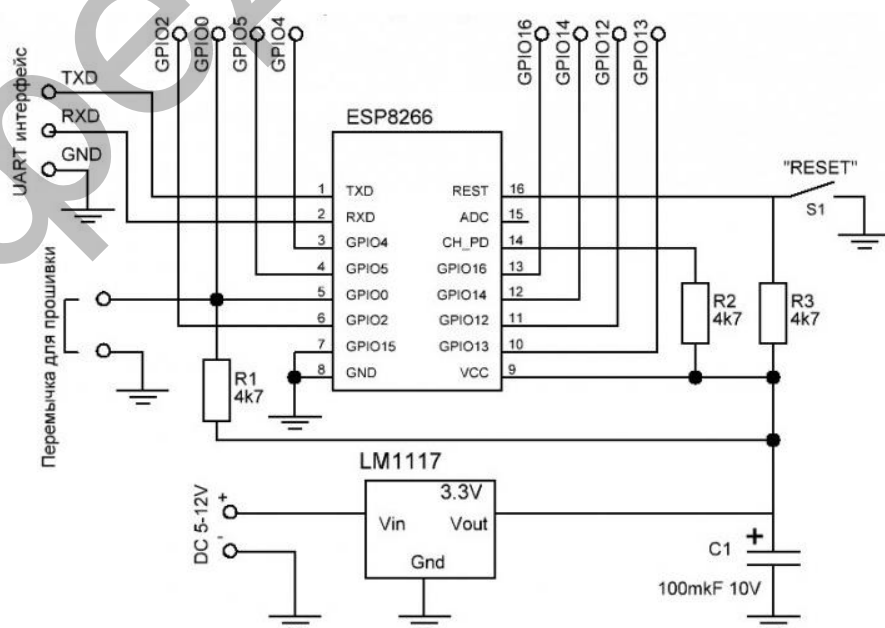


Рисунок 2.3 – Принципова схема Wi-Fi модуля ESP-07S

Усього даний модуль має 16 портів, він зображений на рисунку 2.4.

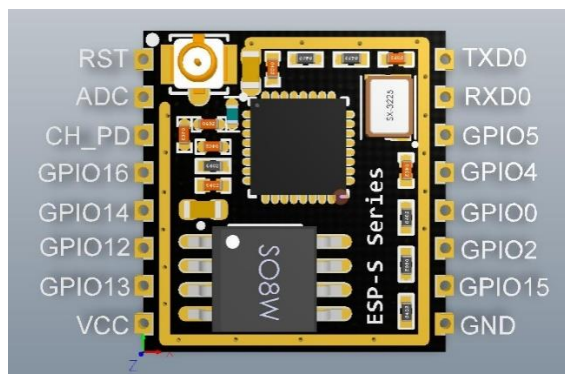


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд модуля ESP-07S з портами

Опис портів представлений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Опис портів модуля ESP-07S

Номер порту	Ім'я порту	Функція
1	RST	Скидання модуля
2	ADC	АЦП перетворення. Діапазон вхідної напруги 0 В – 1 В, діапазон значень
3	EN	Чіп увімкнення порту.
4	GPIO16	GPIO16; може бути використаний для пробудження чіпсета з глибокого режиму сну
5	GPIO14	GPIO14; HSPI_CLK
6	GPIO12	GPIO12; HSPI_MISO
7	GPIO13	GPIO13; HSPI_MOSI; UART0_CTS
8	VCC	3,3 В живлення (VDD)
9	GND	Земля
10	GPIO15	GPIO15; MTDO; HSPICS; UART0_RTS
11	GPIO2	GPIO2; UART1_TXD
12	GPIO0	GPIO0
13	GPIO4	GPIO4
14	GPIO5	GPIO5
15	RXD0	UART0_RXD; GPIO3
16	TXD0	UART0_TXD; GPIO1



Модуль ESP-07S обмінюється даними з комп'ютером за допомогою USB-TTL конвертора. Принципова схема з'єднання модуля з USB-TTL конвертором показана на рисунку 2.5.

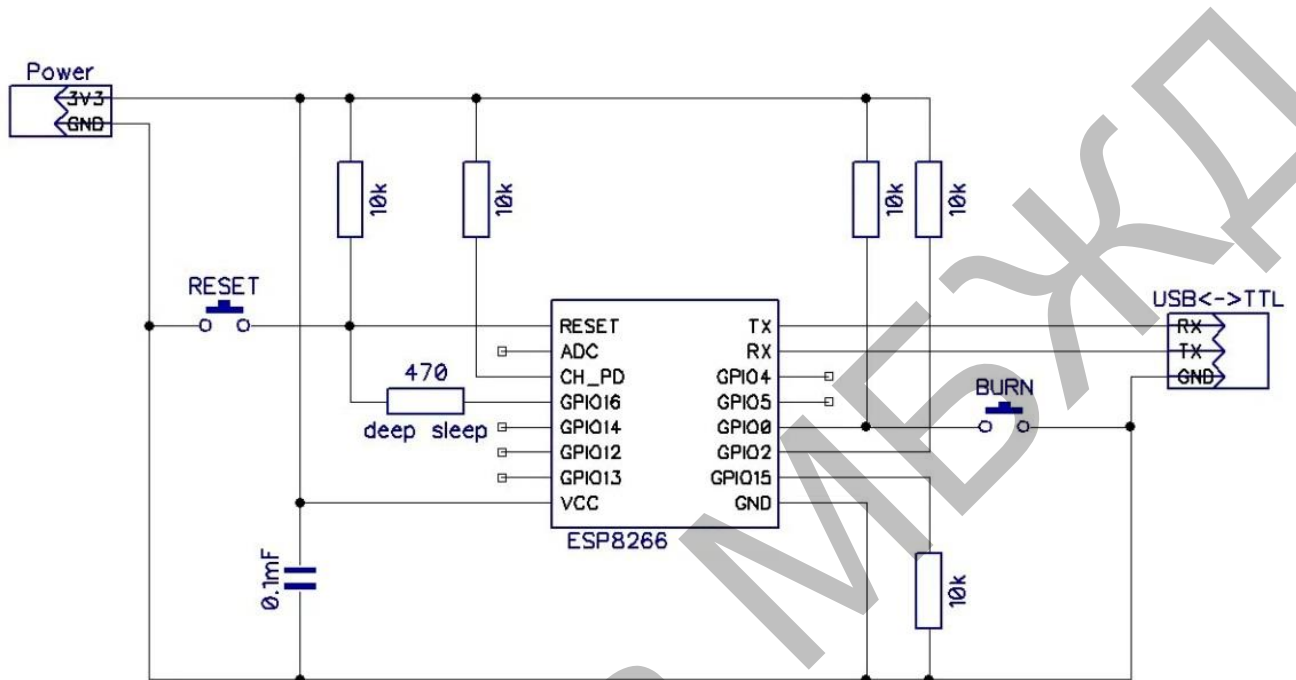


Рисунок 2.5 – Принципова схема з'єднання ESP-07S із USB-TTL конвертором

## 2.2 Системи з визначенням кута місця

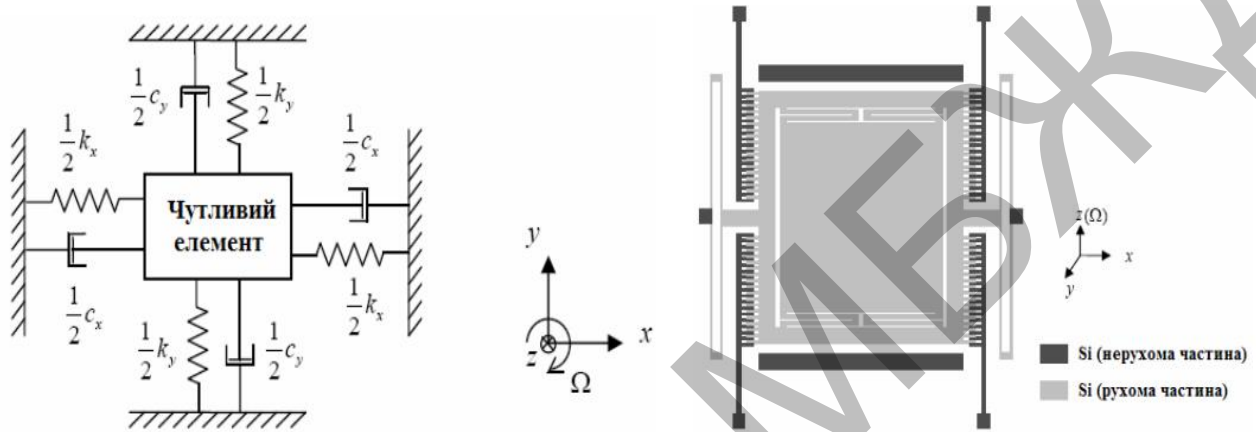
Гіроскоп – пристрій, що реагує на зміну кутів орієнтації тіла, на якому він встановлений, щодо інерційної системи відліку [12].

Принцип дії гіроскопів побудований на фундаментальному законі збереження кутових моментів, законі збереження моменту імпульсу. Якщо результуючий момент всіх зовнішніх сил відносно нерухомої осі обертання тіла дорівнює нулю, то момент імпульсу відносно цієї осі не змінюється з часом.

MEMS-гіроскопи відносять до вібраційних гіроскопів. Мікромеханічні вібраційні гіроскопи суттєво відрізняються від традиційних бо їх конструкція не має обертових елементів. Крім того, вихідний сигнал яких має вібраційний характер. Усі MEMS вібраційні гіроскопи працюють за тим самим фізичним принципом, але відрізняються за різним характером власного руху чутливого

елемента. Чутливий елемент може здійснювати крутні (кільцева конструкція) або поступальні коливання (камертонна конструкція) [13, 14].

На рисунку 2.7 зображено спрощену модель вібраційного гіроскопа – чутливий елемент підвішений на двох пружних елементах з двома ступенями вільності.

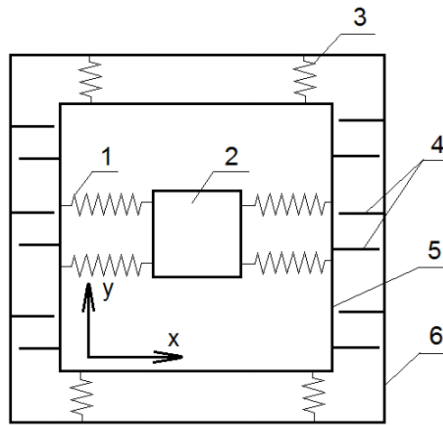


$C_x, C_y$  – коефіцієнти дисипації,  $k_x, k_y$  – коефіцієнти жорсткості пружних елементів у напрямку осей  $x$  і  $y$  відповідно

Рисунок 2.7 – Схематичне зображення спрощеної моделі «чутливий елемент – демпфер» і конструкції інтегрального мікросенсора кутової швидкості

Структура ще однієї з можливих реалізацій гіроскопа має такий принцип: рамка, закріплена на гнучких підвісках, всередині якої вбудована якась маса, яка здійснює поступально-коливальні рухи [12]. Структура такого сенсора представлена на рисунку 2.8.

Коливання робочої маси відбуваються уздовж осі  $X$  і генеруються електростатично, а коливання внутрішньої рамки можливі тільки уздовж осі  $Y$ . Між внутрішньою рамкою і подробленої розташовані обкладки плоских конденсаторів (сенсори переміщення), таким чином, вимірюючи їх ємність, можна фіксувати рух рамки щодо підкладки [12].



1 – кріплення маси; 2 – робоча маса; 3 – кріплення внутрішньої рамки; 4 – сенсори переміщення внутрішньої рамки; 5 – внутрішня рамка; 6 – підкладка

Рисунок 2.8 – Внутрішня структура гіроскопа

На рисунку 2.9 представлена структура гіроскопа при його обертанні в площині ХУ за годинниковою стрілкою.

Коливання внутрішньої рамки можуть викликатися не тільки силою Коріоліса, а й лінійними прискореннями, які діють уздовж осі Y. Проблема вирішується шляхом розміщення на одній підкладці двох рамок, в кожній з яких знаходиться робоча маса. Обидві маси коливаються в протифазі, отже, в конкретний момент часу сила Коріоліса, впливає на першу масу, спрямована протилежно силі, що впливає на другу. Сигнали, які генеруються силою Коріоліса, будуть складатися, а синфазна складова, що породжена лінійними прискореннями, навпаки – відніматися.

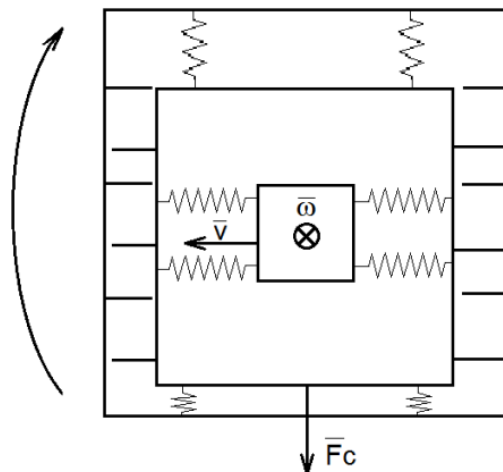


Рисунок 2.9 – Структура гіроскопа при обертанні

Мікроконтролер з п'єзоелементів отримує інформацію про напругу і перетворює їх в кутову швидкість в даний проміжок часу [6]. Визначити значення кутової швидкості можна із заданою точністю, наприклад до 0,001 градусів в секунду. Для того щоб дізнатися на скільки градусів навколо осі повернули пристрій, треба миттєву швидкість помножити на час між двома показаннями датчика. Якщо використовувати трьохосовий гіроскоп, то отримаємо дані про повороти щодо всіх трьох осей, тобто таким чином визначимо орієнтацію бурової в просторі (рисунок 2.11).

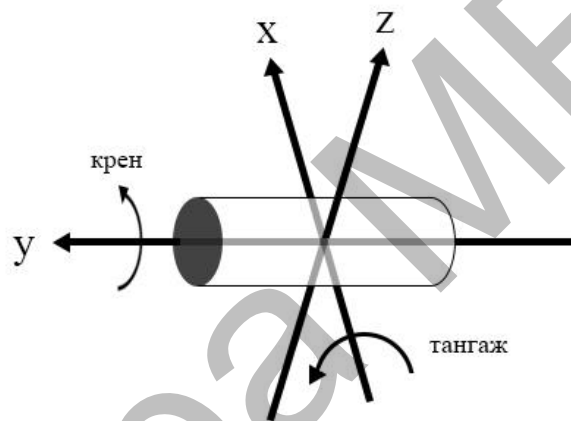


Рисунок 2.11 – Визначення кутових швидкостей гіроскопа

Для визначення кутів використовується гіроскоп, для корекції похибки використовується акселерометр.

Для опису кутів крену і тангажу скористаємося вектором – нормаллю до горизонтальної площини  $R$ . У початковому стані, коли платформа розташована на землі, ми явно присвоюємо значення проєкцій даного вектору  $R_x = 0$ ,  $R_y = 0$ ,  $R_z = 1$  (рисунок 2.12) [14]. Отримуємо вектор, який направлений вертикально вгору, і збігається за напрямком з вектором, що отримуються з акселерометра.

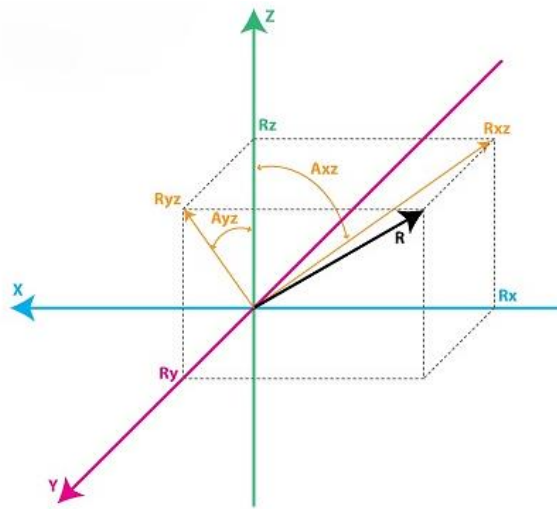


Рисунок 2.12 – Кути просторового положення досліджуваного об'єкту

Акселерометр – це прилад, призначений для вимірювання уявного прискорення. Прискорення – це різниця між гравітаційним і істинним прискоренням об'єкта. Принципово акселерометр складається з пружини, рухомої маси і демпфера. Схема акселерометра показана на рисунку 2.13.

Пружина кріпиться до нерухомої поверхні, до пружини кріпиться маса. З іншого боку її підтримує демпфер, який гасить власні вібрації вантажу. Під час прискорення маси деформується пружина. На цих деформаціях і ґрунтуються показання приладу. Використовуючи три таких прилади, які об'єднані в єдину систему і розташовані по осях, дадуть змогу отримувати інформацію про стан предмета в тривимірному просторі [12].

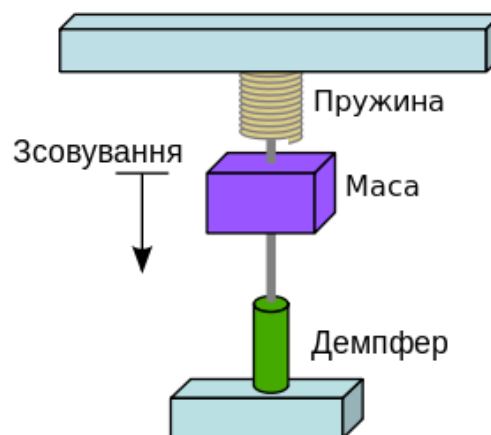


Рисунок 2.13 – Схема простого акселерометра

Акселерометр працює за принципом п'єзоелектричного ефекту. Стіни цієї коробки зроблені з п'єзоелектричних кристалів. Відразу, коли коробка нахилиється, змушує кулю рухатися в напрямку нахилу під дією сили тяжіння. Стіна, з якою контактує куля, створює слабкий п'єзоелектричний електричний струм. У коробці є три пари протилежних стін, кожна з яких відповідає осі в 3D-просторі: X, Y і Z осі. Отже, ми можемо визначити напрям нахилу і його величину, в залежності від струму, отриманого з п'єзоелектричних стін.

### 2.3 Датчик положення та прискорення MPU-6050

За допомогою інерційно вимірювальних датчиків ми можемо дізнатися орієнтацію та положення об'єкта, до якого приєднаний датчик, в тривимірному просторі. Серед великої кількості датчиків положення та прискорення був обраний малогабаритний датчик MPU-6050. Він є одним із найнадійніших і точних, значно дешевший від аналогів, містить в собі акселерометр, гіроскоп і температурний сенсор [9, 11].

Датчик MPU-6050 є головним елементом модуля GY-521. Крім цієї мікросхеми на платі модуля розташована необхідна обв'язка MPU-6050, у тому числі підтягуючі резистори інтерфейсу I2C, а також стабілізатор напруги на 3,3 В з малим падінням напруги з фільтруючими конденсаторами. Також на платі розміщується світлодіод з обмежуючим резистором як індикатор напруги живлення. Розмір плати модуля GY-531 10 мм x 20 мм.

Датчики гіроскопа і акселерометра виготовлені як MEMS – спочатку зовнішній вплив на датчик змінює стан механічної частини, а далі зміна стану механічної частини призводить до зміни сигналу електричної частини. В одному корпусі зібрана не тільки електроніка, але і механіка. У мікросхемі MPU-6050 міститься відразу два MEMS датчика.

Характеристики датчика MPU-6050:

- напруга живлення від 2,37 В до 3,46 В;
- споживаний струм до 4 мА;

- інтерфейс передачі даних I2C;
- максимальна швидкість I2C – 400 КГц;
- вхід для інших датчиків I2C;
- внутрішній генератор на 8МГц;
- чутливість гіроскопу:  $\pm 250^\circ/\text{с}$ ,  $\pm 500^\circ/\text{с}$ ,  $\pm 1000^\circ/\text{с}$ ,  $\pm 2000^\circ/\text{с}$ ;
- чутливість акселерометру:  $\pm 2\text{g}$ ,  $\pm 4\text{g}$ ,  $\pm 8\text{g}$ ,  $\pm 16\text{g}$ ;
- фільтр нижніх частот.

Функції датчика MPU-6050:

- трьох осьовий MEMS-гіроскоп з 16 бітним АЦП;
- трьох осьовий MEMS-акселерометр з 16 бітним АЦП;
- Digital Motion Processor (DMP);
- Slave I2C для підключення до мікроконтролера;
- Master I2C для підключення до мікроконтролера;
- регістри даних датчика;
- переривання;
- температурний сенсор;
- самоперевірка гіроскопа і акселерометра.

MPU-6050 є функціональною вимірювальною системою, що включає в себе гіроскоп і акселерометр, які дозволяють відстежити рух тіла в просторі, визначити кутову швидкість і лінійні прискорення. Визначення кута шляхом інтегрування кутової швидкості є неточним через накопичення помилки, низькочастотний шум. Акселерометр вносить високочастотну перешкоду. Рішенням є використання даних з обох датчиків і обробка їх відповідними фільтрами. При цьому будуть усунені недоліки акселерометра і гіроскопа.

Вимірювання кута, отримані акселерометром, містять високочастотну перешкоду навіть в статичному режимі. В динаміці ж лінійні прискорення призводять до того, що показання кута можуть бути взагалі некоректними. Першу проблему можна вирішити за допомогою згладжування, але це призводить до зсуву по фазі корисного сигналу, що може зробити систему нестійкою. Багато об'єктів управління можуть придушити цю високочастотну

складову своєї інерційністю, і згладжування годі й застосовувати, але друга проблема, пов'язана з неправильним визначенням кута відхилення акселерометра при впливі на нього лінійних прискорень, легко може зробити систему нестійкою [11].

Вимірювання кута гіроскопом призводить до появи низькочастотного шуму, що виникає внаслідок інтегрування кутової швидкості (гіроскоп вимірює саме цю величину). Це призводить до дрейфу нуля, і значення кута буде постійно збільшуватися або зменшуватися, навіть якщо система нерухома. Акселерометр вимірює проекцію на його осі суми всіх сил, доданих до неї, за винятком сили тяжкості. Тобто в статистиці проводиться вимір сили реакції опори на дане пристрій. А так як ця сила протилежна у напрямку гравітаційної, то, знаючи величини її проекцій на осі, можна визначити кут відхилення від вертикалі. Це можна зробити за формулою:

$$\varphi_A[i+1] = \arctg\left(\frac{F_{on\_y}[i+1]}{F_{on\_x}[i+1]}\right), \quad (2.1)$$

де  $\varphi_A[i+1]$  – кут відхилення у поточний момент часу, обчислений за допомогою акселерометра;

$F_{on\_y}$  – проекція сили реакції опори на вісь  $y$ ;

$F_{on\_x}$  – проекція сили реакції опори на вісь  $x$ .

Гіроскоп вимірює кутову швидкість в певній площині, використовуючи ефект Коріоліса. В даному випадку нас цікавить кутова швидкість в площині  $XU$ . Отримати величину кута можна проінтегрувавши сигнал гіроскопа за виразом [13]:

$$\varphi_H(t) = \int_0^t \omega(\tau) d\tau. \quad (2.2)$$



При реалізації на мікроконтролері дана операція замінюється чисельним інтегруванням і визначається за формулою [9]:

$$\varphi_H[i+1] = \varphi_H[i] + \Delta\varphi_H[i] + \omega[i]\Delta t, \quad (2.3)$$

де  $\varphi_H[i+1]$ ,  $\varphi_H[i]$  – кут, обчислення за допомогою гіроскопа на поточному та попередньому кроці;

$\omega_i$  – кутова швидкість на попередньому кроці;

$\Delta\varphi_H[i+1]$  – приріст кута за проміжок часу, рівний кроку інтегрування;

$\Delta t$  – крок інтегрування.

Оскільки обидва цих датчика мають недоліки і не можуть бути використані безпосередньо в системах, де потрібна висока точність оцінки кута нахилу, необхідно застосувати спеціальний фільтр, який би використовував переваги кожного датчика і компенсував недоліки. Один з можливих варіантів такого фільтру – фільтр Калмана. Для вимірювання положення по азимуту потрібно використовувати додатково магнітометр.

#### 2.4 Принцип роботи цифрових магнітометрів

Магнітометр – це прилад призначений для вимірювання характеристик магнітного поля. Принцип роботи заснований на пропорційному змінюванні вихідної напруги або опору під впливом зовнішнього магнітного поля.

Магнітне поле Землі в кожній точці простору характеризується вектором напруженості  $T$ , напрямком якого визначається трьома складовими по осях  $X$ ,  $Y$  і  $Z$  в прямокутній системі координат, зображено на рисунку 2.14. Також магнітне поле Землі можна описати горизонтальною складовою напруженості  $H$ , магнітним відхиленням  $D$  (кутом між  $H$  і площиною географічного меридіана) і магнітним нахилом  $I$  (кутом між  $T$  і площиною горизонту).

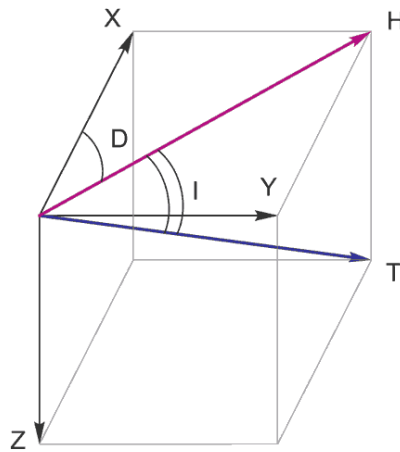


Рисунок 2.14 – Складові магнітного поля Землі

Магнітна індукція  $B$ , є основною характеристикою магнітного поля, що представляє собою векторну величину. Напрямок вектору магнітної індукції збігається з напрямком сили, яка діє на північний полюс магніту, розміщеного в даній точці магнітного поля. Величина  $B$  виражається одиницею виміру Тесла. Тесла є достатньо великою величиною магнітної індукції, тому для вимірювання слабких магнітних полів краще застосовувати часткову одиницю виміру – мікротесел. Доречі, повний вектор магнітного поля Землі становить всього близько 50 мкТл. Магнітна індукція пов'язана з напруженістю магнітного поля співвідношенням [10]:

$$B = \mu\mu_0 H, \quad (2.4)$$

де  $\mu$  – магнітна проникність середовища;

$\mu_0$  – магнітна постійна.

Виходячи з формули (2.4), можна стверджувати, що  $B \sim H$ . В результаті, на практиці для визначення напрямку вектору магнітного поля Землі вимірюють дві його складові по осі X та Y (рисунок 2.15), а потім обчислюють кут  $\varphi$  на підставі наступних формул [15]:

$$\tan \varphi = \frac{H_Y}{H_X} = \frac{H \sin \varphi}{H \cos \varphi}, \quad (2.5)$$

$$\varphi = \arctan(\tan \varphi). \quad (2.6)$$

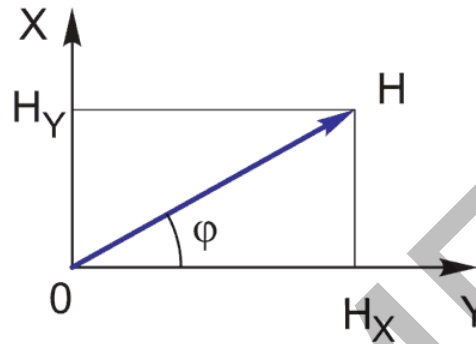


Рисунок 2.15 – Розкладання вектору магнітного поля Землі на складові

У найпростішому випадку для визначення напрямку щодо магнітного поля Землі за умови горизонтального розташування платформи необхідно вважати дані з вихідних реєстрів осей X і Y, а потім обчислити арктангенс кута відповідно. Але в реальності, особливо в разі застосування магнітометрів в складі складних пристроїв, де присутні додаткові магнітні поля, на датчик діють перешкоди, які спотворюють його свідчення.

Розглянемо процес компенсації впливу твердого заліза. Слід врахувати, що тут і далі пропонується компенсація в двовимірному просторі. Компенсація в трьох вимірах вимагає використання комплексного математичного апарату. На початку процедури усунення спотворень датчик розташовується горизонтально, і навколо вертикальної осі відбувається, як мінімум, один повний оборот. Далі виділяються точки, які мають максимальне і мінімальне значення по осях X і Y. Знайдені значення максимумів і мінімумів використовуються для усунення зміщення нуля за формулою [15]:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{CH} = \frac{X_{MAX} + X_{MIN}}{2} \\ Y_{CH} = \frac{Y_{MAX} + Y_{MIN}}{2} \end{array} \right. \quad (2.7)$$

Через знайдені коефіцієнти і спочатку отримані дані  $X_H$  і  $Y_H$  можна виразити скориговані за методом компенсації твердого заліза величини по осях  $X$  і  $Y$  за виразом [10]:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{TЖ} = X_H - X_{CM} \\ Y_{TЖ} = Y_H - Y_{CM} \end{array} \right. \quad (2.8)$$

Для компенсації спотворення м'якого заліза необхідно спочатку нормувати еліпс щодо осей координат, тобто зробити його поворот на певний кут. В ході цієї операції потрібно знайти велику піввісі еліпса (зображено на рисунку 2.16). Застосовуючи формулу (2.9) обчислення радіуса для кожної точки еліпса, знаходять максимально віддалену точку від початку координат, відстань до якої дорівнюватиме довжині великої піввісі, і мінімально віддалену точку, яка є кінцем малої піввісі.

Знаходиться за формулою:

$$r = \sqrt{X_{TЖ}^2 + Y_{TЖ}^2} \quad (2.9)$$

Потім визначається кут нахилу  $\varphi$  щодо певної осі координат або малої піввісі, або великої. Після знаходження цього кута стає можливим здійснити поворот еліпса таким чином, щоб його піввісі збігалися з осями координат. Формула (2.10) визначає матрицю повороту, яка буде потрібна для проведення даної операції.

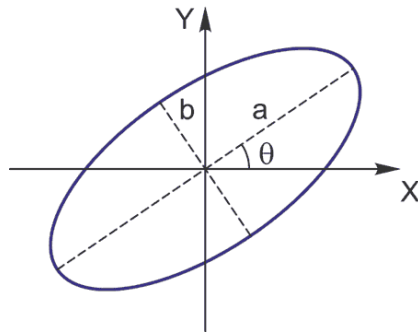


Рисунок 2.16 – Приклад зміни напруженості магнітного поля при значному впливі спотворення м'якого заліза

Ця матриця множиться на вектор-стовпець  $v$ , що є набором всіх значень  $X_{ТЖ}$  і  $Y_{ТЖ}$ . Знаходиться за формулою [10, 13]:

$$R = \begin{vmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{vmatrix}, \quad (2.10)$$

$$v_1 = R_{xv} = \begin{vmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} X_{ТЖ} \\ Y_{ТЖ} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X_{МЖ} \\ Y_{МЖ} \end{vmatrix}. \quad (2.11)$$

Повернений еліпс далі необхідно перетворити в коло з метою усунення спотворення м'якого заліза. Для цього використовується масштабний коефіцієнт, який необхідний для стиснення еліпса вздовж великої піввісі. Визначається за формулою [10, 13]:

$$\sigma = \frac{b}{a}. \quad (2.12)$$

Кожне значення по осі, з якої збігається велика піввісь, повинна бути помножена на цей масштабний коефіцієнт для отримання бажаної окружності.

Далі для того, щоб повернути значення складових напруженості магнітного поля в початкове положення, потрібно знову провести поворот отриманої фігури на той же кут, але вже в протилежному напрямку.

Кафедра МБЖД

### 3 ОБГРУНТУВАННЯ ПЕРВИННОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ СИСТЕМ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ПІДЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

#### 3.1 Обґрунтування структурної схеми первинного перетворювача

Характеристика та призначення системи визначають допустимий рівень співвідношення сигнал/шум. Наприклад, для радіоприймальних систем воно повинно бути не менше 70 дБ, що забезпечує практичну відсутність шумів при прослуховуванні музики. Для акустичних датчиків на основі мікрофона допустиме співвідношення сигнал/шум повинне бути не менше 40 дБ, а в телевізійних перетворювачах зображення не буде спотвореним при співвідношенні сигнал/шум в антені не менше 50 дБ. З урахуванням того, що кожна із складових системи (датчик, з'єднувальний кабель, схема з'єднання тощо) має власне співвідношення сигнал/шум, виникає проблема обчислення загального для системи в цілому співвідношення сигнал/шум.

Розв'язують її наступним чином. Для кожної зі складових частин системи визначають коефіцієнт шуму, який називають показником шуму. Оскільки має місце формальна аналогія між коефіцієнтом шуму і співвідношенням сигнал/шум, його також виражають в децибелах:

$$F = \frac{C}{Ш} vx / \frac{C}{Ш} vix, \quad (3.1)$$

Якщо ж співвідношення сигнал/шум на вході і на виході вираженні в децибелах, то коефіцієнт шуму визначається у вигляді співвідношення сигнал/шум на вході мінус співвідношення сигнал/шум на виході [4, 13]:

$$F_{дБ} = \frac{C}{Ш} дБ vx - \frac{C}{Ш} дБ vix. \quad (2.2)$$

Чим менший цей показник, тим кращими є шумові характеристики системи. Коли відомі коефіцієнти шуму кожної зі складових частин системи окремо, то загальне для неї співвідношення сигнал/шум можна визначити шляхом початкового обчислення загального коефіцієнту шуму. Розглянемо на прикладі систему зображену на рисунку 3.1

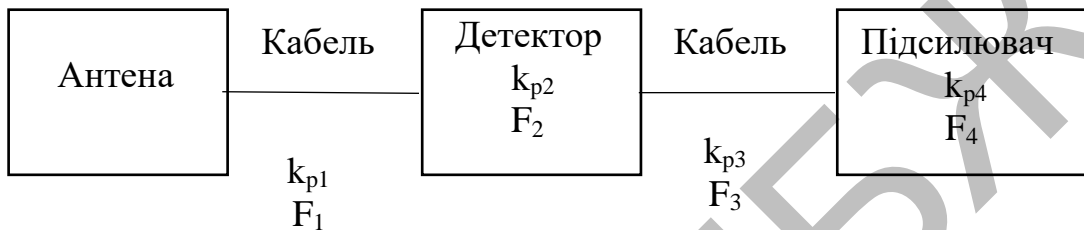


Рисунок 3.1 – До прикладу обчислення загального співвідношення сигнал/шум

Датчик має співвідношення сигнал/шум на вході 60 дБ. Між датчиком і підсилювачем та між підсилювачем і дисплеєм є з'єднувальні проводи з коефіцієнтами підсилення по потужності  $k_{p1} = k_{p3} = 0,25$ . Ослаблення сигналу в них зумовлене їх резистивним і пасивним характером. В таких елементах системи коефіцієнти шуму обернено пропорційні коефіцієнтам підсилення, тобто  $F_1 = F_3 = 1/k_{p1} = 4$ . Дисплей є також пасивним елементом системи, його коефіцієнт шуму  $F_4 = 2$ . Підсилювач системи є активним елементом з коефіцієнтом підсилення по потужності  $k_{p2} = 100$ . Будемо вважати, що коефіцієнт шуму  $F_2 = 4$ . Загальний коефіцієнт шуму визначається за формулою [6, 13]:

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{k_{p1}} + \frac{F_3 - 1}{k_{p1}k_{p2}} + \frac{F_4 - 1}{k_{p1}k_{p2}k_{p3}}. \quad (3.3)$$

Якщо скористатись зазначеними вище параметрами системи, то коефіцієнт шуму  $F = 16,07$  близько 12 дБ. Загальне співвідношення сигнал/шум антени визначається як різниця між співвідношенням сигнал/шум антени і коефіцієнтом шуму схеми з'єднання, тобто  $60 - 12 = 48$  дБ.



Краще співвідношення сигнал/шум має система з тими ж складовими (рисунок 3.2), але якщо антена і підсилювач утворюють єдиний інтегральний модуль з'єднувальний кабель між датчиком та підсилювачем настільки короткий, що втратами потужності і власним коефіцієнтом шуму в ньому можна нехтувати.

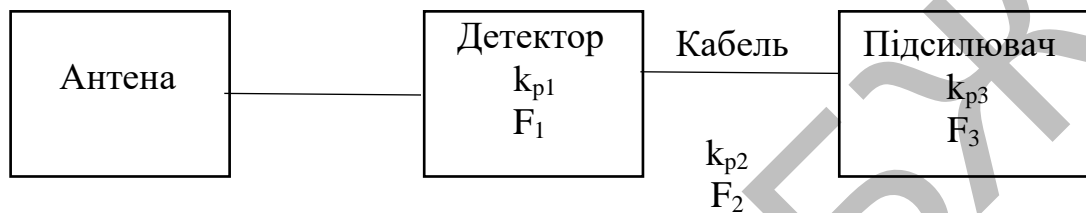


Рисунок 3.2 – Схема системи з кращим загальним співвідношенням сигнал/шум

Використовуючи формулу 3.3, для системи такого конструктивного виконання можна отримати значення коефіцієнта шуму  $F = 4,07$  (близько 6 дБ), тобто загальне співвідношення сигнал/шум у порівнянні з попередньою схемою (рисунок 3.1) системою покращилось майже на 6 дБ.

Практика проектування та експериментальні дослідження вимірювальних систем показали, що коефіцієнт шуму системи може повністю залежить від коефіцієнта шуму першого підсилювача, оскільки коефіцієнти шуму інших частин системи відіграють незначну роль в обчисленні загального коефіцієнта шуму системи. Саме тому каскади попереднього підсилення виконуються з досить низьким коефіцієнтом шуму і при можливості розташовуються разом з датчиками в одному корпусі.

У викладених положеннях використані певні спрощення при визначенні коефіцієнта шуму. В дійсності його значення залежать від значного числа факторів, наприклад від температури, діапазону частот, вихідного опору попереднього каскаду тощо.

Первинний перетворювач складається з прийомної антени, підсилювача та детекторної секції. На основі вище сказаного підсилювач необхідно встановлювати відразу після антени [14, 15].

### 3.2 Обґрунтування вхідного пристрою для систем вимірювання координат підземних об'єктів

В якості прийомної антени використовувалась циліндрична антена всередині якої вздовж її осі встановлювався циліндричний відрізок провідника.

Загальний вигляд приймальної антени вхідного пристрою зображено на рисунку 3.3

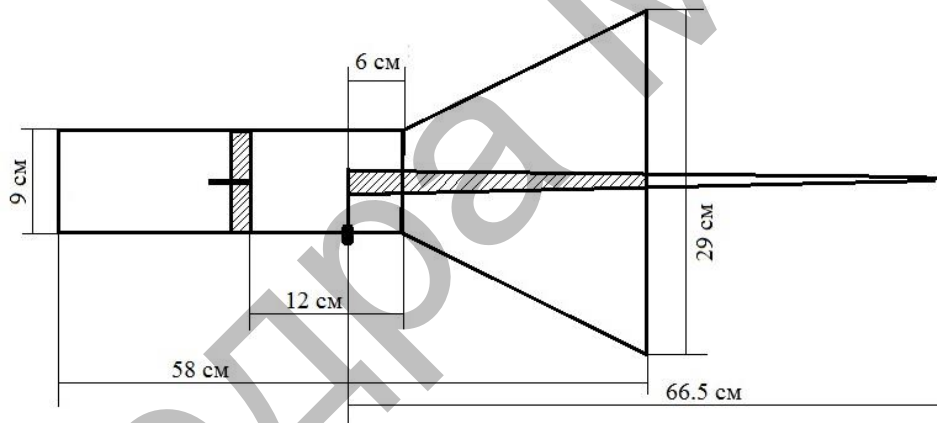


Рисунок 3.3 – Приймальна антена вхідного пристрою

Приймальна антена вхідного пристрою представляє собою металевий циліндр з'єднаний з рупором, всередині яких розташований центральний провідник у формі конуса до якого приєднаний штир для прийому та передачі електромагнітної хвилі на коаксіальний кабель, в циліндрі вставлено пересувний поршень для регулювання довжини хвилі [16].

Метрологічними характеристиками вхідного пристрою являється коефіцієнт передачі і робочий діапазон частот.

Методика вимірювання включає наступне: відстань між прийомною та передаючою антенами вибиралась з умови виконання дальньої зони випромінення, яка складала один метр.

Для кожної частоти вимірювалась амплітуда вихідних імпульсів генератора. Коефіцієнт передачі  $K$  визначався як відношення амплітуди імпульсів на виході вхідного пристрою до амплітуди імпульсів на його виході.

По виміряному коефіцієнту передачі АЧХ можна судити о частотних властивостях вхідного пристрою. Вимірювальний коефіцієнт передачі визначався по формулі  $K = U / Un$  пристрою до амплітуди імпульсів на виході генератора [16, 17].

Результати вимірювань представлені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань

$f$	$U$ mV	$Un_{пер}$ , mV	$K$
740	0,4	6	0,66
720	0,4	8	0,05
710	0,4	5	0,08
680	0,6	7	0,85
670	0,8	15	0,05
660	1	20	0,05
640	0,8	25	0,03
585	0,4	6	0,66
580	0,8	6	0,13
570	1	6	0,16
520	0,4	25	0,01
490	1,6	4,5	0,35
450	0,4	4,5	0,08
420	0,8	8	0,1

Результати виміряного коефіцієнту передачі в залежності від частоти наведено на рисунку 3.5

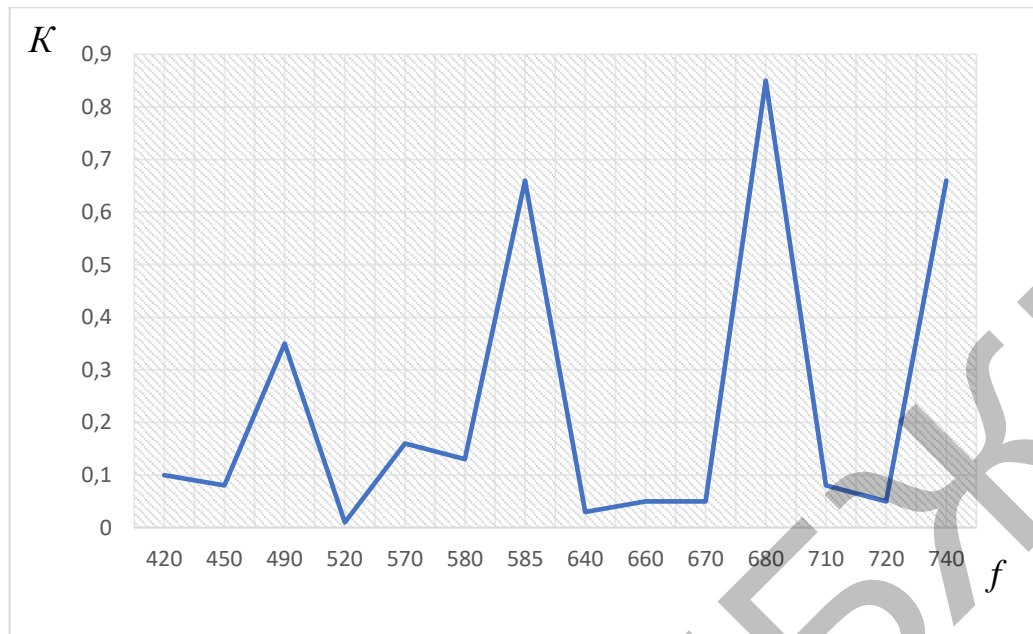


Рисунок 3.5 – АЧХ вхідного пристрою

Аналогічні вимірювання зроблені для антени вхідного пристрою коли центральний стержень не виступав за межі апертури.

Результати вимірювань показали що якщо стержень не виходить за межі апертури то коефіцієнт для всього діапазону дорівнює 0.

Результати досліджень показали що відстань між центральним провідником та поршнем не впливає на значення коефіцієнта передачі.

Це пояснюється тим що круглий хвилевод є позамежним для робочого діапазону частот і хвиля в ньому не розповсюджується, а розповсюджується тільки по тій його частині яка представляє собою коаксіальну лінію

Проведено дослідження ефективності вхідного пристрою з коаксіально-рупорною прийомною антеною на частоті 2,4 ГГц. В даному випадку пристрій представляв собою антенну і первинний перетворювач прийомної частини WI-FI вимірювальної системи [9, 16].

Передавальна частина вимірювальної WI-FI частини представляла собою передатчик до виходу якого підключалась штирева передавальна антена довжиною 3,5 см. Передатчик живився від джерела живлення постійного току типу Б5-47 напругою 10В.

Прийомна частина представляла собою коаксіально-рупорну антенну, прийомну частину WI-FI вимірювальної системи, комп'ютер і монітор.

Принцип дії вимірювальної установки полягав в наступному, передаюча частина вимірювальної системи випромінювала в простір сигнал з вертикально поляризованою хвилею і несущою частотою рівною 2,4 ГГц. Даний сигнал приймався коаксіально-рупорною антеною перетворювався прийомною частиною WI-FI системи, проходив обробку в комп'ютері.

Результати вимірювань показали що для вертикальної поляризації рівень вимірюваного сигналу дорівнює мінус 45 дБ. При проведенні дослідів з вимірювання рівня сигналу, при збільшенні відстані між поршнем і центральним стержнем амплітуда сигналу не змінюється.

Проведення вимірювання рівня сигналу коли центральний провідник займає всю область циліндричного хвилеводу. Встановлено що рівень сигналу не змінюється.

Таким чином встановлено що вхідний пристрій з коаксіально-рупорною антеною може приймати хвилю будь-якої поляризації при цьому рівень вихідного сигналу буде одним і тим же.

### 3.3 Обґрунтування полігармонічного індуктивного датчика з метою визначення координат підземних об'єктів

Запропонований датчик вирішує задачу створення пристрою для індикації електромагнітного поля, яке при його здійсненні дозволяє досягти технічний результат, що полягає в підвищенні чутливості пристрою і в підвищенні достовірності вихідної інформації при одночасному виключення впливу на досягнення цього технічного результату перехідних процесів.

Суть методу полягає в тому, що в індуктивному датчику електромагнітного поля, що містить керований генератор синусоїдальної напруги, вимірювальну котушку індуктивності і конденсатор, підключений паралельно вимірювальній котушці, керований генератор синусоїдальної

напруги виконаний високочастотним, крім того, в пристрої додатково введені керований низькочастотний генератор прямокутних імпульсів, перемножувач електричних сигналів і пристрій обробки сигналу, виконане з можливістю виокремлення і посилення постійної складової з вхідного сигналу, при цьому один кінець вимірювальної котушки індуктивності підключений до керуючого входу керованого високочастотного генератора, а інший до керуючого входу керованого низькочастотного генератора, виходи генераторів підключені до відповідних входів перемножувача електричних сигналів, вихід якого підключений до входу пристрою обробки сигналу, вихід якого є виходом пристрою [3, 15].

Таким чином, індуктивний датчик дозволяє підвищити чутливість і достовірність вихідної інформації при одночасному виключенні впливу на досягнення технічного результату перехідного процесу.

На рисунку 3.6 зображена блок-схема індуктивного датчика електромагнітного поля.

Індуктивний датчик електромагнітного поля містить вимірювальну котушку індуктивності 1, конденсатор 2, підключений паралельно котушці 1, керовані низькочастотний генератор 2 прямокутних імпульсів і високочастотний генератор 4 синусоїдальної напруги, перемножувач 5 електричних сигналів і пристрій обробки 6 сигналу. Один з виводів вимірювальної котушки 1 підключений до низькочастотного генератора 3, а інший висновок до високочастотного генератора 4, виходи яких підключені до перемножувача 5 електричних сигналів, вихід якого підключений до входу пристрою обробки 6 сигналу, вихід якого є виходом пристрою.

Крім того, високочастотний генератор 4 синусоїдальної напруги містить кварцовий резонатор 7, конденсатор 8, змінної ємності резистори з першого по третій 9, 10, 11, перший 12 і другий 13 елементи НІ і другий конденсатор змінної ємності 14, при цьому кварцовий резонатор 7 і конденсатор 8 змінної ємності першими висновками з'єднані послідовно, а їх другі висновки є відповідно входом і виходом керованого високочастотного генератора 4 і, крім

того, ці ж висновки підключені відповідно до з'єднаних послідовно першого 12 і другого 13 елементів НІ, паралельно кожному з яких і паралельно входу генератора 4 підключені резистори з першого по третій 9, 10, 11 відповідно. Крім того, паралельно входу генератора 4 підключений другий конденсатор 14 змінної ємності.

Низькочастотний генератор 3 прямокутних імпульсів містить конденсатори з першого по п'ятий 15, 16, 17, 18, 19, варикап 20, змінний резистор 21, резистор 22 і два елементи НІ 23, 24.

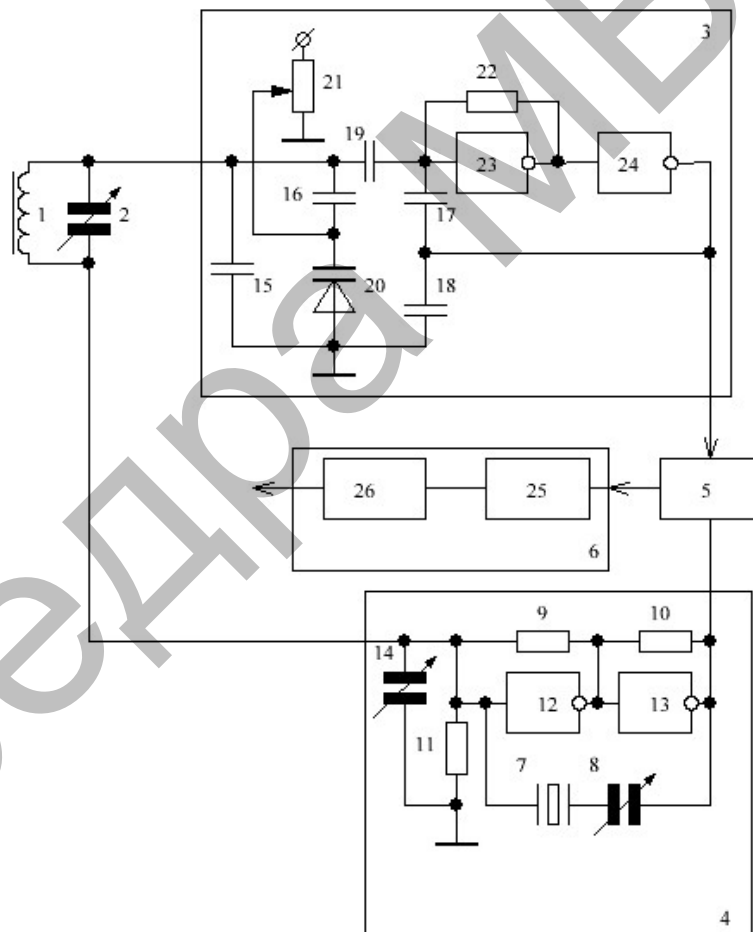


Рисунок 3.6 – Блок-схема індуктивного датчика електромагнітного поля

Індуктивний датчик електромагнітного поля працює наступним чином. Включенням джерела живлення запускають високочастотний генератор 4 синусоїдального сигналу і низькочастотний генератор 3 прямокутних

імпульсів. При цьому в коливальному контурі, утвореному вимірювальною котушкою 1 індуктивності і конденсатором 2, виникають вимушені електромагнітні коливання. Оскільки коливальний контур, утворений вимірювальною котушкою 1 і конденсатором 2, включений як в керуючий ланцюг низькочастотного генератора 3, так і в керуючий ланцюг високочастотного генератора 4, то вимушені коливання в контурі виникають під дією обох генераторів 3, 4. Крім того, в моменти часу, що відповідають спаду і наростання синусоїдального сигналу високочастотного генератора 4, і в моменти часу, що відповідають спаду прямокутних імпульсів низькочастотного генератора 3, в коливальному контурі виникають вільні коливання на власній частоті.

Таким чином, в коливальному контурі, утвореному вимірювальною котушкою індуктивності 1 і конденсатором 2, після запуску генераторів 3 і 4 виникає коливальний процес, що представляє собою суміш з вимуваних і вільних коливань контуру.

Після виникнення електромагнітних коливань в контурі, утвореному вимірювальною котушкою 1 і конденсатором 2, відповідний цим коливанням електричний сигнал надходить на керуючі входи обох генераторів 3, 4. У низькочастотному генераторі 3 високочастотна складова вхідного сигналу через перший конденсатор 15 проходить на землю, а низькочастотна складова вносить розбалансування в роботу схеми генератора 3, змінюючи електричний режим роботи варикапа 20. В результаті змінюється частота проходження вихідних імпульсів генератора 3. Крім того, по спаду кожного вихідного імпульсу низькочастотного генератора спостерігається зрив генерації, обумовлений виникненням вільних коливань в коливальному контурі вимірювальної котушки 1.

Для підготовки індуктивного датчика до роботи регулюють режими роботи генераторів 3 і 4 (в генераторі 3 змінюють електричний режим роботи варикапа 20, варіюючи величиною змінного резистора 20; в генераторі 4 змінюють електричний режим роботи кварцового резонатора, варіюючи



величинами ємностей змінних конденсаторів 8 і 14), домагаючись стійкого значення вихідного рівня напруги. Після цього вимірювальну котушку 1 датчика поміщають в зону дії досліджуваного об'єкта (джерело ЕМП або досліджуваний предмет), що призводить до змін в електромагнітному полі вимірювальної котушки 1, а отже, і до змін параметрів електричних коливань в коливальному контурі з котушки 1 і конденсатора 2. це знову приводить до розбалансування режимів роботи схем генераторів 3 і 4. у результаті, амплітуда рівня напруги вихідного сигналу індуктивного датчика відхиляється від початкового рівня в ту чи іншу сторону.

Кафедра МБЖД

## 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ КООРДИНАТ ПІДЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

4.1 Визначення типу випромінювача для визначення координат підземних об'єктів

Проведемо дослідження трьох типів випромінювальних пристроїв. Випромінювач I типу (H-випромінювач) являє собою зовнішній провідник з прорізаною уздовж щілиною H-подібної форми [5, 16]

Зовнішній вигляд щілини зображено на рисунку 4.1.

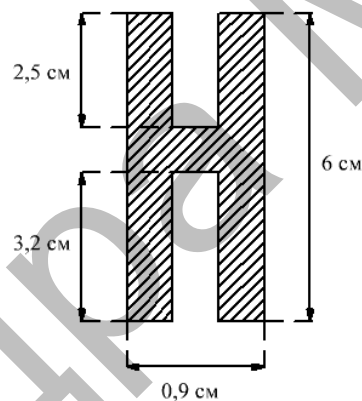


Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд щілини

Поступово зменшуючи розмір щілини знаходимо максимальний рівень потужності сигналу.

При початкових розмірах щілини потужність сигналу складає  $P = \text{мінус } 28 \text{ дБ}$ .

При зменшенні щілини, починаю зверху, на 0,5 см потужність сигналу складає  $P = \text{мінус } 30 \text{ дБ}$ .

При зменшенні щілини, починаю зверху, на 1,5 см потужність сигналу складає  $P = \text{мінус } 33 \text{ дБ}$ .

При зменшенні щілини, починаю зверху, на 2,5 см потужність сигналу складає  $P = \text{мінус } 42 \text{ дБ}$ .

При зменшенні щілини, починаю знизу, на 0,5 см потужність сигналу складає  $P = \text{мінус } 33 \text{ дБ}$ .

При зменшенні щілини, починаю знизу, на 1,5 см потужність сигналу складає  $P = \text{мінус } 43 \text{ дБ}$ .

При зменшенні щілини, починаю зверху, на 2,5 см потужність сигналу складає  $P = \text{мінус } 47 \text{ дБ}$ .

При зменшенні щілини, починаю знизу, на 3 см потужність сигналу складає  $P = \text{мінус } 48 \text{ дБ}$ .

При рівномірному зменшенні щілини зверху та знизу рівень сигналу значно падає та складає близько  $P = \text{мінус } 55 \text{ дБ}$ .

Беремо розмір щілини, при якій рівень сигналу є максимальним  $P = \text{мінус } 28 \text{ дБ}$  та знімаємо його діаграму спрямованості. Результати дослідження наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати дослідження діаграми спрямованості

Градуси	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Рівень сигналу, дБ	-28	-29	-28	-29	-28	-27	-28	-28	-29	-32	-33	-35	-35
Градуси	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
Рівень сигналу, дБ	-33	-33	-37	-35	-33	-33	-32	-33	-33	-33	-34	-33	-32
Градуси	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360		
Рівень сигналу, дБ	-31	-30	-35	-33	-33	-33	-32	-32	-31	-30	-29		

На рисунку 4.2 зображена діаграма спрямованості для рівня сигналу  $P = \text{мінус } 28 \text{ дБ}$ .

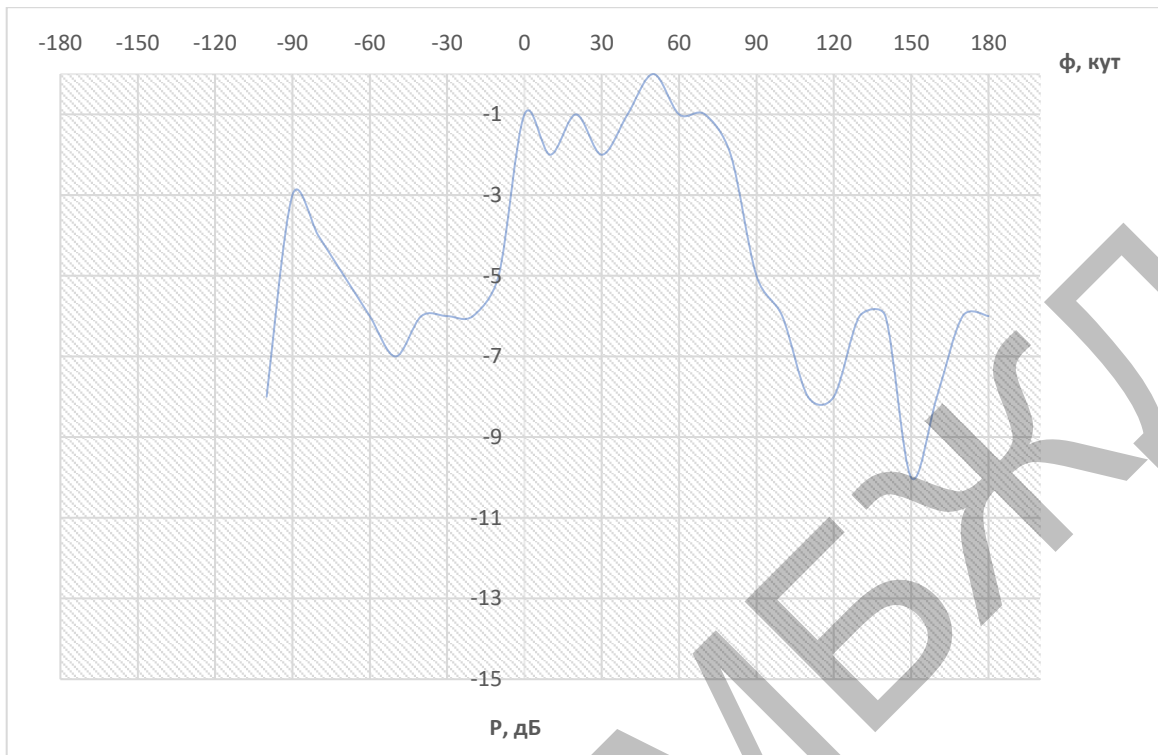


Рисунок 4.2 – Діаграма спрямованості випромінювача Н-типу при  
 $P = \text{мінус } 28 \text{ дБ}$

Досліджуємо рівень сигналу при різному положенні щілини щодо осі приймальної антени. Результати наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Рівень сигналу при різному положенні щілини щодо осі приймальної антени

Відстань від осі приймальної антени, см	-25	-20	-15	-10	-5	0	2	7	12	17	22	27
Рівень сигналу, дБ	-34	-36	-41	-41	-38	-30	-34	-34	-35	-31	-33	-32

Залежність рівня сигналу від відстані щодо осі приймальної антени зображена на рисунку 4.3.

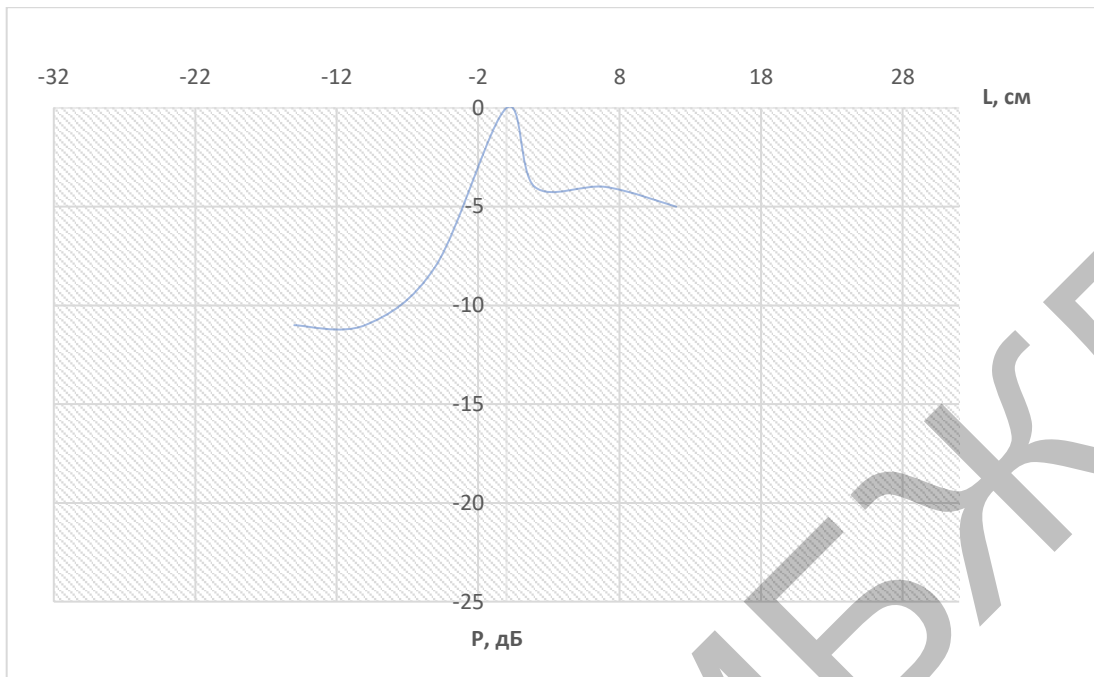


Рисунок 4.3 – Залежність рівня сигналу від відстані щодо осі приймальної антени

Випромінювач II типу полягає в безпосередньому збудженні щілини коаксіальним дротом і являє собою зовнішній провідник з прорізаною щілиною перпендикулярно силовим лініям струму прямокутної форми [5, 16].

Випромінювач II типу зображений на рисунку 4.4.

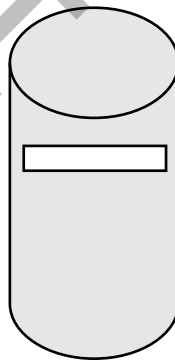


Рисунок 4.6 – Випромінювач II типу

Висота випромінювача  $h = 15$  см, діаметр  $d = 5$  см, довжина щілини  $l = 6$  см, ширина щілини дорівнює 0,3 см.

Знімаємо діаграму спрямованості випромінювача. Результати дослідження діаграми спрямованості наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати дослідження діаграми спрямованості випромінювача II типу

Градуси	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Рівень сигналу, дБ	-38	-39	-37	-39	-39	-37	-39	-39	-41	-38	-38	-35	-37
Градуси	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
Рівень сигналу, дБ	-33	-32	-41	-34	-31	-32	-33	-32	-34	-33	-34	-37	-37
Градуси	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360		
Рівень сигналу, дБ	-37	-37	-36	-37	-36	-36	-46	-47	-40	-46	-42		

Діаграма спрямованості випромінювача II типу зображена на рисунку 4.7.

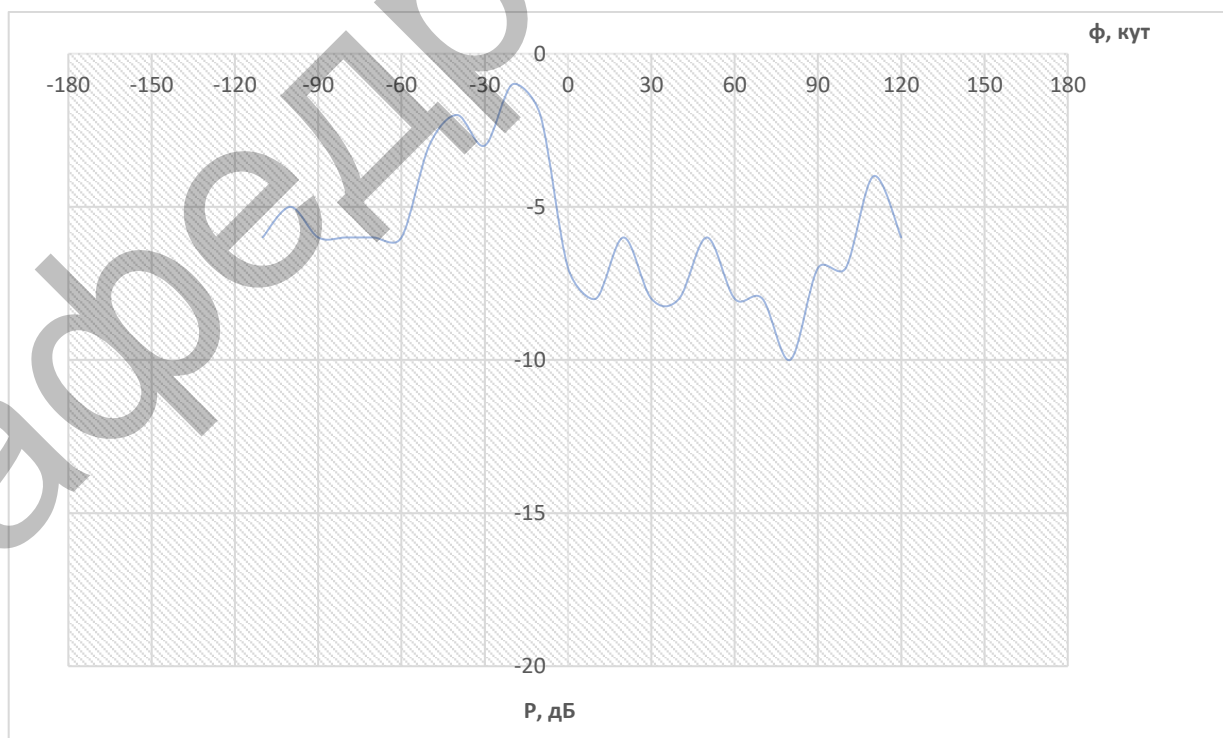


Рисунок 4.7 – Діаграма спрямованості випромінювача II типу

Випромінювач III типу являє собою напівхвильовий коаксіальний резонатор. Його конструкція зображена на рисунку 4.8.

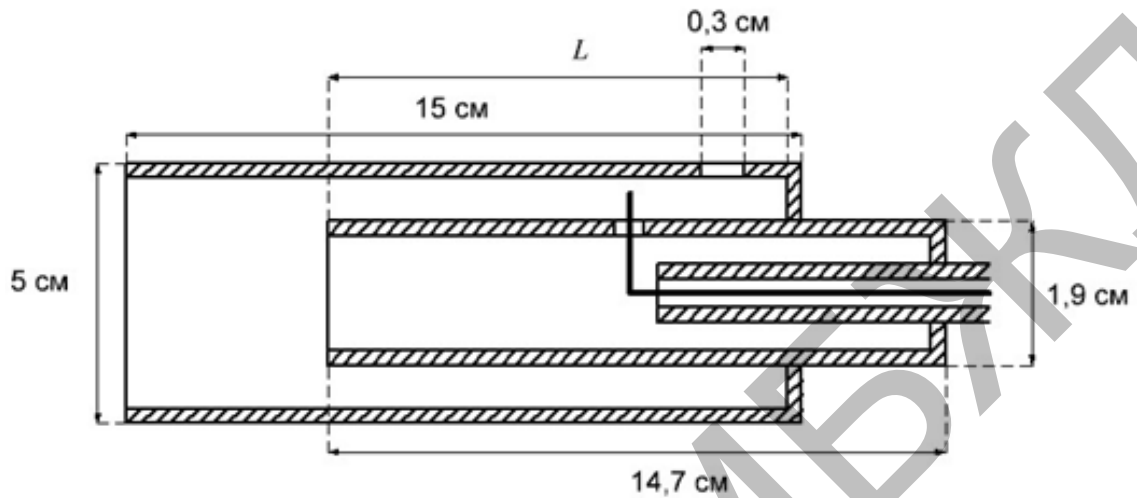


Рисунок 4.8 – Конструкція коаксіального резонатора з випромінюючою щілиною

Напівхвильовий резонатор містить зовнішній провідник з прорізаною щілиною перпендикулярно силовим лініям струму прямокутної форми та внутрішній провідник з коаксіальною лінією. В якості центрального провідника використовується штир [5, 16].

Результати залежності рівня приймального сигналу від довжини центрального провідника в резонаторі наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Результати залежності рівня приймального сигналу від довжини центрального провідника

$L$ , см	6,9	6,8	6,7	5,9	5,6	4,9	3,5	1,8
Рівень сигналу, дБ	-32	-37	-42	-53	-45	-45	-47	-60

Графік залежності рівня приймального сигналу від довжини центрального провідника в резонаторі зображено на рисунку 4.9.

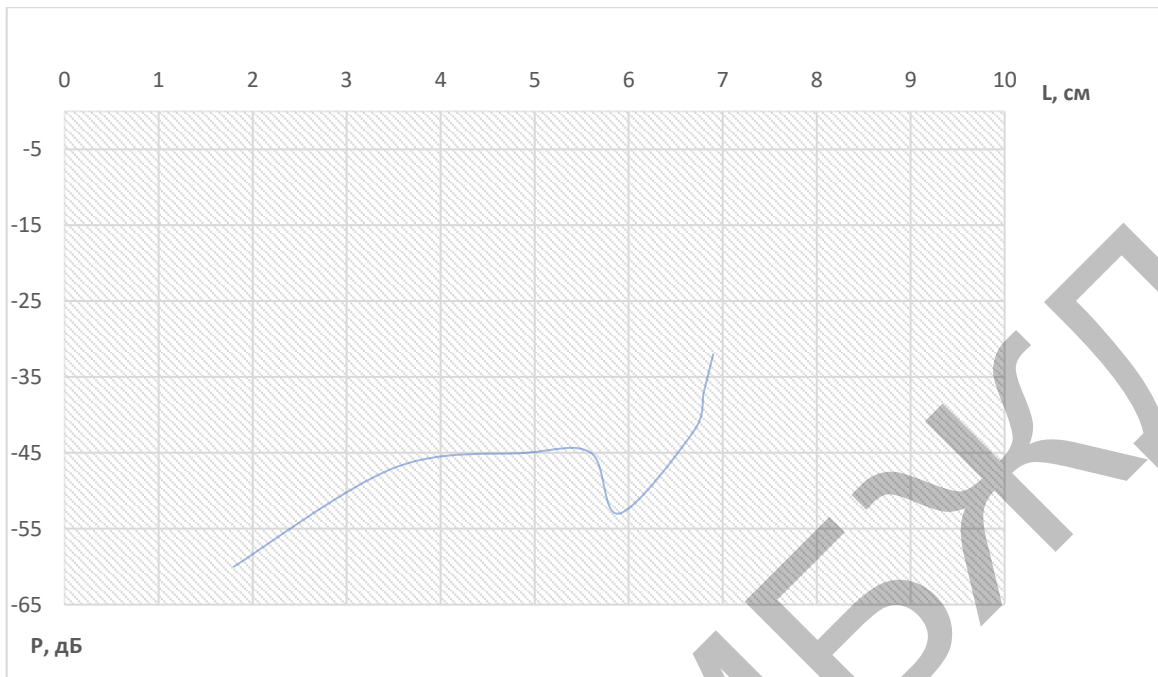


Рисунок 4.9 – Залежність рівня приймального сигналу від довжини центрального провідника

#### 4.2 Обробка результатів вимірювання та оцінка похибки вимірювань

Обробка результатів багаторазових вимірювань, полягає в знаходженні результату вимірювання фізичної величини і довірчого інтервалу, в якому знаходиться її справжнє значення [18]. Вихідною інформацією для обробки є ряд з  $n$ -результатів одиничних вимірювань  $x_1, x_2 \dots x_n$  з яких виключені відомі систематичні похибки. Число вимірювань залежить від вимог до точності одержуваного результату і від реальної можливості виконання повторних вимірів [19]. Послідовність обробки результатів багаторазових вимірювань включає в себе наступні основні етапи:

- виключення з результатів вимірювань відомих систематичних похибок;
- обчислення середнього арифметичного значення  $\bar{X}$  вимірюваної величини з  $n$  одиничних результатів  $x_i$  за формулою [13]:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n x_i / n. \quad (4.1)$$



- обчислення середнього відхилення (СКВ) одиничних вимірювань в ряду вимірів  $S_x(\delta_X)$  за формулою [13]:

$$S_x(\delta_X) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 + \dots (x_n - \bar{X})^2}. \quad (4.2)$$

- виключення промахів (грубих похибок вимірювань);  
 - обчислення середньої похибки результату вимірювань середнього арифметичного за формулою [14]:

$$S_{\bar{X}}(\delta_{\bar{X}}). \quad (4.3)$$

- обчислення довірчих меж випадкової похибки результату вимірів  $\pm \xi$  за формулою [14]:

$$\xi = \pm t_p S_{\bar{X}}. \quad (4.4)$$

- обчислення довірчих меж похибки результату вимірювання  $\pm \Delta$ ;  
 - представлення результату вимірювань.

При заданому значенні довірчої ймовірності  $P$  і зокрема одноразових вимірювань  $n$  визначають коефіцієнти Стюдента  $t_p$  таблиця 4.5.

Таблиця 4.5 – Коефіцієнти Стюдента  $t_p$

$P$	$n$ – число одиничних вимірювань									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
0,95	12,706	4,303	3,182	2,776	2,571	2,447	2,365	2,306	2,262	2,145
0,99	63,657	9,925	5,841	4,604	4,032	3,707	3,499	3,355	3,250	2,997

В процесі дослідження трьох типів випромінювачі, робилось по п'ять вимірювань в трьох точках. Обробка результатів дослідження наведено на прикладі випромінювача Н-типу.

Результати дослідження представлені в таблиці 4.6. В задачу обробки входило обчислення довірчих меж похибки результату вимірів  $\pm\Delta$ .

Таблиця 4.6 – Результати досліджень

Градуси	Рівень приймального сигналу, дБ					Похибка результату вимірювань, дБ
0	-38	-35	-37	-36	-36	$\pm 1$
90	-38	-43	-40	-45	-41	$\pm 2,7$
180	-32	-33	-32	-35	-33	$\pm 1,5$

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Законодавство України про охорону праці являє собою систему пов'язаних між собою нормативно-правових актів, що регулюють відносини у галузі реалізації державної політики щодо правових, соціально-економічних, організаційно-технічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі трудової діяльності.

Питання охорони праці регулюються рядом законів про працю України, які визначають основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі праці, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи, організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Законодавство встановлює пріоритет життя та здоров'я працівників щодо результатів виробничої діяльності підприємства, тобто, насамперед, мають дотримуватись вимоги нормативно-правових актів про охорону праці, аби працівник під час операцій виробничого циклу не отримав травм, не зазнавав погіршення стану здоров'я, професійних захворювань або зменшення працездатності, і тільки потім має звертатись увага на результати виробничої діяльності підприємства [20].

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам законодавства.

Якщо створилася виробнича ситуація, небезпечна для життя чи здоров'я працівника або для людей, які його оточують, або для виробничого середовища чи довкілля, працівник має право відмовитися від дорученої роботи.

Він зобов'язаний негайно повідомити про це безпосереднього керівника або роботодавця. За період простою з зазначених причин, які виникли не з вини працівника, за ним зберігається середній заробіток.

На час зупинення експлуатації підприємства, цеху, дільниці, окремого виробництва або устаткування органом державного нагляду за охороною праці чи службою охорони праці за працівником зберігаються місце роботи, а також середній заробіток.

### 5.1 Вимоги до розміщення обладнання

Устаткування повинне встановлюватися біля вікон метрологічної лабораторії на відстані від 0,4 м до 0,5 м від стіни. Батареї і труби опалення повинні бути закриті огороженням з діелектричних матеріалів. Відстань між слюсарними верстатами повинна бути не менш ніж 0,8 м, а між рядами не менше 1 м. Верстати між собою повинні розташовуватися на відстані не менш 0,9 м. Тиски на верстатах повинні встановлюватися на відстані не менш 1 м. Крайні тиски повинні стояти від стіни не менш ніж на 0,7 м. Відстань між столярними верстатами повинна складати не менш ніж 0,65 м, а між рядами не менше 0,7 м [21].

### 5.2 Освітлення на робочому місці

Приміщення повинні мати природне і штучне освітлення. Природне світло повинне проникати через вікна, зорієнтовані, як правило, на північ або північний схід. Вікна повинні мати регулюючі пристосування для відкривання, а також жалюзі, штори, зовнішні козирки і т. п. Коефіцієнт природної освітленості (КПО) повинен бути забезпечений на рівні не нижче 1,5 %.

При виробничій необхідності дозволяється експлуатувати ПК у приміщеннях без природного освітлення за узгодженням з органами

державного нагляду за охороною праці, органами й установами санітарно-епідеміологічної служби.

Штучне освітлення приміщення повинне бути обладнане системою загального рівномірного освітлення. Рівень освітленості на робочому столі в зоні розміщення документів повинний бути в межах від 300 лк до 500 лк. Загальне освітлення повинне бути виконане у виді суцільних або переривчастих ліній світильників, що розташовуються осторонь від робочих місць (переважно ліворуч) паралельно лінії зору працівників. Допускається застосовувати світильники прямого світла – П; переважно прямого світла – Н, переважно відбитого світла – В. При розташуванні відео-терміналів по периметру приміщення лінії світильників штучного освітлення повинні розміщатися локально над робочими місцями. Для загального освітлення необхідно застосовувати світильники з розсіювачами і дзеркальними екранними сітками або відбивачами [22].

Як правило, джерело світла при штучному освітленні повинні застосовуватися люмінесцентні лампи типу ЛБ. Яскравість світильників загального висвітлення в зоні кутів випромінювання від  $50^{\circ}$  до  $90^{\circ}$  відносної вертикалі в подовжній і поперечній площинах повинна складати не більш  $200 \text{ кд/м}^2$ , а захисний кут світильників повинний бути не більше  $40^{\circ}$ . Коефіцієнт запасу (Кз) для освітлювальної установки загального освітлення варто приймати рівним 1,4.

Коефіцієнт пульсації не повинен перевищувати 5 %. У випадку неможливості забезпечити необхідний рівень освітленості системою загального освітлення допускається застосування світильників місцевого освітлення, але при цьому не повинно бути відблисків на поверхні екрана і збільшення освітленості екрана більш ніж до 300 лк. У виробничих і адміністративно-суспільних приміщеннях, де переважають роботи з документами, допускається застосовувати систему комбінованого освітлення (додатково застосовувати світильники місцевого освітлення). Допускається у світильниках місцевого

освітлення застосування ламп накаливання. Світильники місцевого освітлення повинні мати напівпрозорий відбивач світла.

Загальні вимоги для природного і штучного освітлення [22]:

- необхідно передбачити обмеження прямих відблисків від джерела освітлення, при цьому яскравість поверхонь, що світяться (вікна, джерела штучного світла) і знаходяться в полі зору, повинна бути не більш  $200 \text{ кд/м}^2$ ;

- необхідно обмежувати відбиті прямі відблиски шляхом вибору типів світильників і розміщенням робочих місць щодо джерел природного і штучного освітлення. Яскравість відблисків на екрані відеотерміналу не повинна перевищувати  $40 \text{ кд/м}^2$ , яскравість стелі при застосуванні системи освітлення, що відбиває, не повинна перевищувати  $200 \text{ кд/м}^2$ ;

- необхідно обмежувати нерівномірність розподілу яскравості в полі зору осіб, що працюють з відеотерміналом, при цьому відношення значень яскравості робочих поверхонь не повинне перевищувати 3:1, а робітників поверхонь і навколишніх предметів (стіни, устаткування) – 5:1;

- необхідно використовувати систему вимикачів, що дозволяє регулювати інтенсивність штучного освітлення в залежності від інтенсивності природного, а також дозволяє освітлювати тільки необхідні для роботи зони приміщення;

- необхідно очищати шибку і світильники не рідше ніж 2 рази на рік і вчасно проводити заміну відпрацьованих ламп.

### 5.3 Опалення і вентиляція в приміщеннях

Лабораторні приміщення повинні бути обладнані опаленням і загальнообмінною приточно-витяжною вентиляцією відповідно до вимог ДБН В.2.5-67 1026 [23] і забезпечувати стан повітря робочої зони відповідно до ГОСТ 12.1.005.

Приміщення в яких може бути швидке підвищення концентрації шкідливих речовин у повітрі, повинні бути обладнані системою автоматичного контролю за станом повітряного середовища.

Усі вентиляційні установки, винятком є віконні і дахові вентилятори, повинні розташовуватися в окремих приміщеннях.

Забороняється:

- працювати в лабораторіях, де виділяються шкідливі речовини, при несправній чи не включеній вентиляції;
- рециркуляція повітря в приміщеннях, де виділяються пари, гази чи може мати місце різке збільшення концентрації шкідливих і вибухонебезпечних речовин або газу.

Перед пуском в експлуатацію заново змонтованих вентиляційних установок, а також після їхньої реконструкції і ремонту вони повинні пройти технічний огляд й випробування.

При зміні характеру досліджень, а також при перестановці лабораторного інвентаря чи устаткування, що забруднює повітря, вентиляційні установки повинні бути приведені відповідно до нових умов.

Пристрої викиду в атмосферу із систем вентиляції варто розміщати на відстані від прийомних пристроїв для зовнішнього повітря не менше ніж 10 м по горизонталі та 6 м по вертикалі при горизонтальній відстані менш 10 м; при цьому викиди із систем місцевих відсосів варто розміщати на висоті не менше 2 м над найвищою точкою даху, для систем аварійної вентиляції – на висоті не менш 3 м від рівня землі.

#### 5.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Надзвичайні ситуації, які можуть виникнути під час роботи на підприємстві, класифікуються на: техногенні, природні, екологічні, біологічні, соціально-політичні. Розглянемо пожежу як найбільш ймовірну надзвичайну ситуацію техногенного характеру на виробництві. Робоче приміщення з вибухопожежної та пожежної небезпеки належить до категорії "Д" "Негорючі речовини та матеріали в холодному стані" [24].

Причини виникнення пожежі в приміщеннях з ПЕОМ та заходи щодо їх усунення:

- несправності електропроводки, розеток та вимикачів, які можуть призвести до короткого замикання. Необхідно вчасно виявляти та усувати несправності, проводити плановий огляд, усувати усі несправності;

- використання пошкоджених (несправних) електроприладів. Необхідно виключити пожежу своєчасно ремонтувати електроприлади, якісно виправляти поломки, не використовувати несправні електроприлади;

- використання в приміщенні електронагрівальних приладів з відкритими нагрівальними елементами. У приміщенні технічного відділу знаходяться паперові документи, книги, тому використання відкритих обігрівальних приладів у приміщенні відділу не допускається;

- загоряння будівлі внаслідок зовнішніх впливів. У літній період під час грози можливе попадання блискавки, внаслідок чого можлива пожежа. Щоб уникнути цього на даху будівлі встановлено блискавковідведення;

- неакуратне поводження з вогнем та недотримання заходів пожежної безпеки. Для усунення спалаху внаслідок куріння, у приміщенні категорично заборонено куріння, воно дозволене лише у строго відведеному для цього місці.

З метою запобігання пожежі із співробітниками проводиться протипожежний інструктаж, на якому працівники ознайомлюються з правилами протипожежної безпеки, а також навчаються використанню первинних засобів пожежогасіння. Приміщення відділу обладнане порошковими вогнегасниками.

Профілактичні методи боротьби з пожежами у приміщенні передбачають [24, 25, 26]:

- організаційні: навчання та розробка планів евакуації, утримання приміщень у належному стані та інше;

- технічні: сучасні автоматичні засоби сигналізації, методи та пристрої обмеження розповсюдження вогню, автоматичні стаціонарні системи гасіння пожеж, вогнегасники.



Приміщення оснащено пороговою пожежною сигналізацією та знаками пожежної безпеки. Загальні вимоги до знаків пожежної безпеки регламентовані нормами пожежної безпеки.

Кафедра МБЖД

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи магістра можна зробити наступні висновки:

1. Розглянуто системи Wi-Fi та області їх застосування. Встановлено що дана система може застосовуватися для дистанційної передачі координат об'єкта на якому встановлений передавач.

2. Було запропоновано вимірювальну інформаційну систему на базі Wi-Fi модулів ESP-07S, які працюють на частоті 2,4 ГГц. для визначення координат підземних об'єктів.

3. Мною було розглянуто принципи дії акселерометра, гіроскопа, магнітометра. У якості датчика було обрано положення модуль MPU-6050, він має високу точність вимірювань, компактний, та низьку ціну. У якості магнітометра було обрано модуль HMC5883L. Координати головки бура визначаються за допомогою датчика MPU-6050, який обладнаний трьохосьовим акселерометром та трьохосьовим гіроскопом.

4. Для підвищення потужності прийомного сигналу було запропоновано прийомну антену з великим коефіцієнтом направленої дії. В якості випромінювачів зондуючих сигналів використовуються рупорні антени і антенні решітки. Доказано що коаксіально рупорна антенна може приймати сигнали в діапазоні частот від 420 МГц до 2,4 ГГц.

5. Запропоновано в якості універсального вхідного пристрою використовувати пристрій з коаксіально рупорною антеною навантаженою на детекторну секцію чи підсилювач детекторної секції з подальшою обробкою вимірювального сигналу.

6. Підвищення точності визначення координат підземних об'єктів досягається за допомогою використання НВЧ-діапазону.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бабак В. П., Хандлецький В. С., Шрюфер Е. Обробка сигналів: Підручник. К.: Либідь, 1996. 392 с.
2. Карташов В. М. Обробка сигналів у радіоелектронних системах дистанційного моніторингу атмосфери., м. Харків. ХНУРЭ. 2014 р. С. 312.
3. Козлов Н. И., Логвин А. И., Саричев В. А. Поляризація радіохвиль. Поляризаційна структура радіолокаційних сигналів. М.: Радіотехніка, 2005. 704 с.
4. Сахацький В. Д. Щеглов А. Ю. Антенний випромінювач для систем діагностики підповерхневих об'єктів. *Science Rise*. 2014. № 5/2 (5). С. 60-63.
5. Вайнштейн Л. А., Вакман Д. Є. Поділ частот в теорії коливань і хвиль. М.: Наука, 1983. 288 с.
6. Технології, що використовують надширокопasmові сигнали, розроблені в ВАТ «НВП« Радар ммс ». / М. В. Головачов, А. В. Кочетов, О. С. Миронов, П. С. Панфілов // У книзі Анцев Г.В., Мета – прогрес і процвітання. – спб.: Видавничо-торговий дім «СКІФІЯ», 2010, С. 439-442.
7. Lin, J., Zollinger D. G., Lytton R. L. Detection of Delaminating in Concrete Pavements Using Ground-Coupled Ground-Penetrating Radar Technique, *Journal of the Transportation Research Board*. Transportation Research Board of the National Academies Volume 2087/2008, p. 68-77.
8. Cao Y., Guzina B.B., Labuz J. Pavement Evaluation Using Ground Penetrating Radar, *University of Minnesota Final Report MN / RC 2008-10*, 2008.
9. Росс Д. WiFi. Беспроводная сеть. 2013. – 84 с.
10. D. Porcino, W. Hirt Ultra-Wideband Radio Technology: Potential and Challenges Ahead. *IEEE Communications*. 2003. Vol. 41, No 7. С. 66-74.
11. ESP-07S User Manual. Технічна документація. – 15 с.
12. Наконечний В. С. Шляхи підвищення інформативності радіолокаційних дальнісних портретів повітряних об'єктів оперативного

спостереження / В. С. Наконечний, В. А. Дружинін // Сучасний захист інформації. – 2013. – № 2. – С. 78-82.

13. Основи та методи цифрової обробки сигналів: від теорії до практики: навч. посіб. / Ю. О. Ушенко, М. С. Гавриляк, М. В. Талах, В. В. Дворжак. Чернівці: Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2021. 308 с.

14. Б. Скляр. Цифрова зв'язок. Теоретичні основи і практичне застосування. Вільямс, М., СПб, Київ, 2003.

15. Волощук Ю. І. Сигнали та процеси у радіотехніці. Харків: Компанія СМІТ, 2003. 980 с.

16. Саричев В. А., Головачов М. В., Кочетов А. В., Миронов О. С. Розрахунок діаграми спрямованості апертурними антени, порушуємо надкоротких імпульсними сигналами. Радіофізичні методи в дистанційному зондуванні середовищ / Наук. 2008. С 10-25.

17. Дубровін В. І., Твердохліб Ю. В., Харченко В. В. Комп'ютерні методи інтелектуальної обробки даних: навчальний посібник. Запоріжжя : ЗНТУ, 2013. 105 с.

18. Єріна А. М. Статистичне моделювання та прогнозування: навч. посіб. К.:КНЕУ, 2001. – 170 с.

19. Бахрушин В. Є. Математичні основи моделювання систем: навч. посіб. Запоріжжя : КПУ, 2009. – 224 с.

20. Закон України "Про охорону праці" в редакції від 21 листопада 2002 р. URL: [https://urst.com.ua/act/pro\\_okhoronu\\_pratsi](https://urst.com.ua/act/pro_okhoronu_pratsi) (дата звернення: 16.09.2022).

21. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок. вид. 3-тє, перероб. і доп. – К.: Мінпаливенерго України, 2010, 2010.– 736с.

22. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне та штучне освітлення»

23. ДБН В.2.5-67 – 1026 Опалення, вентиляція та кондиціонування.

24. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Електронний ресурс] // Будстандарт online. – Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=65419](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=65419).

25. ДСТУ 3855-99 Пожежна безпека. Визначення пожежної небезпеки матеріалів та конструкцій. Терміни та визначення.

26. ДСТУ ISO 6309:2007 Протипожежний захист.

Кафедра МБЖД

ДОДАТОК А  
ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Кафедра МБЖД

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Механічний факультет

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ  
магістра

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВИХ  
КООРДИНАТ ПІДЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

Завідувач кафедри, к. т. н., проф.  
Нормоконтролер, к. т. н., доц.  
Керівник к. т. н., доц.  
Студент гр. ММ 61- 22

О. І. Богатов  
І. В. Грайворонська  
Д. Є. Петрукович  
І. О. Кондратенко

м. Харків - 2023

## МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

**Мета роботи** – дослідження інтелектуальних технологій визначення просторових координат підземних об'єктів.

**Об'єкт досліджень** – процес перетворення та передачі просторових координат підземних об'єктів.

**Методи дослідження** – методи перетворення вимірювальних сигналів, методів побудови вхідного пристрою для роботи в монохроматичному і надширокосмугових режимах.



### КРАПКИ ЛОКАЦІЇ НА МАГНІТНОМУ ПОЛІ

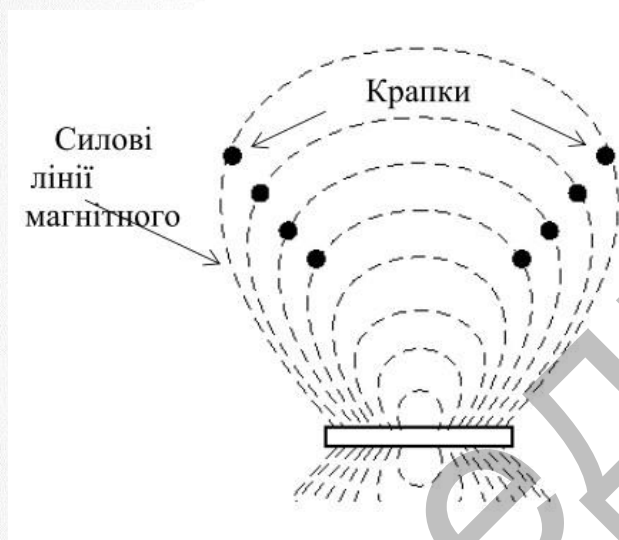


Рисунок 1 – Крапки локації на магнітному полі

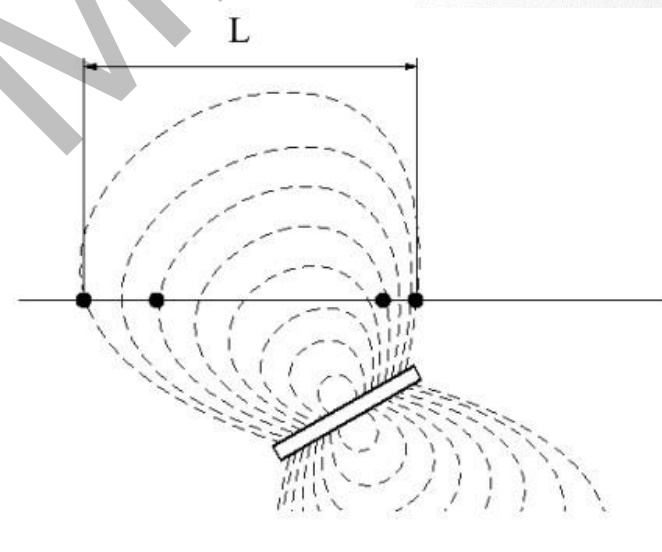


Рисунок 2 – Крапки локації при відхиленні бура від горизонтальної осі

## РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

4

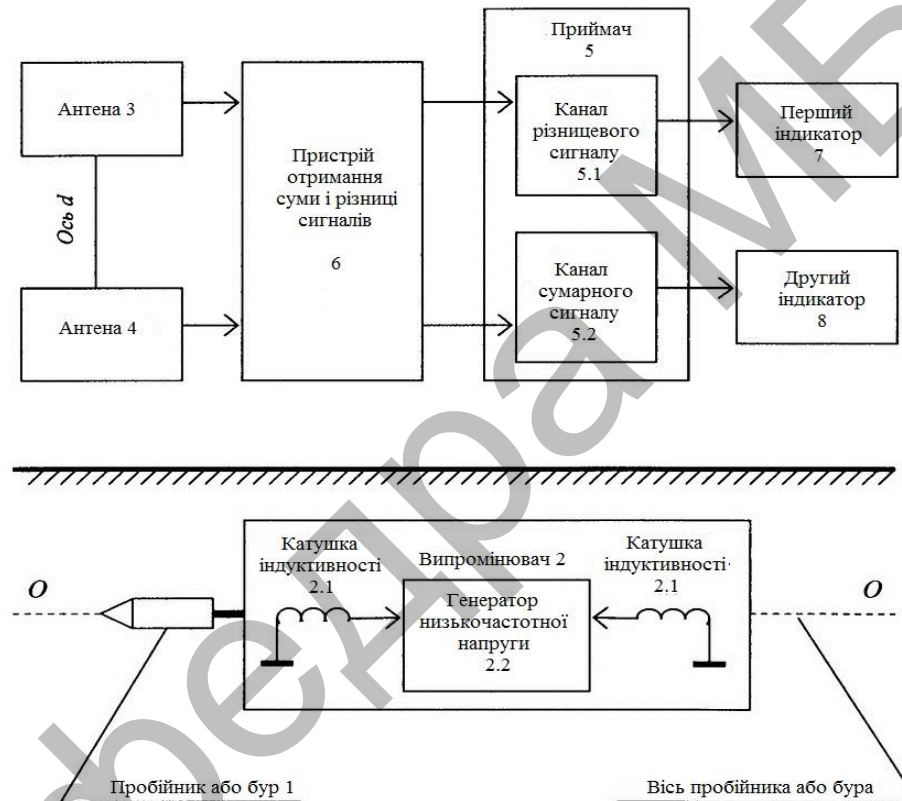


Рисунок 3 – Пристрій, що реалізує метод виявлення підземних об'єктів

## СТРУКТУРА ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ WI-FI МОДУЛІВ

5

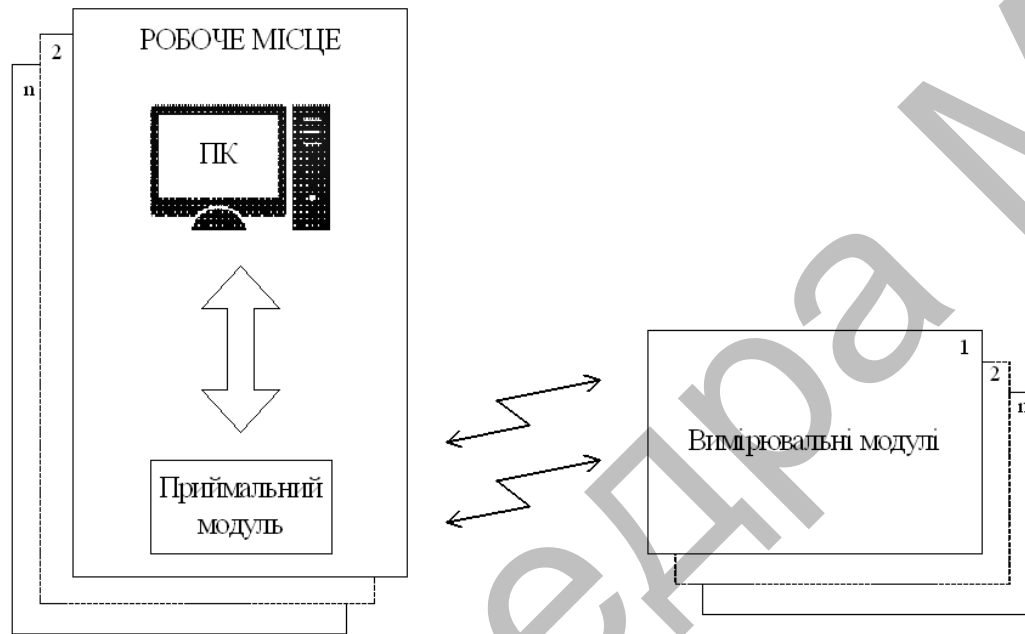


Рисунок 4 – Структурна схема бездротової передачі даних просторового положення підземних об'єктів

У якості приймально-передавальних пристроїв було обрано Wi-Fi модуль ESP-07S

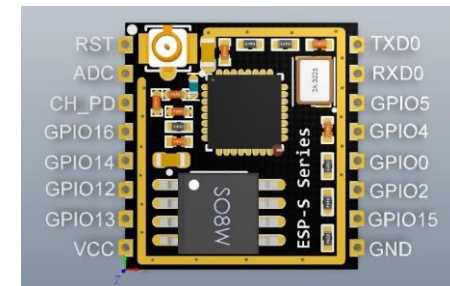


Рисунок 5 – Зовнішній вигляд модуля ESP-07S

Қафедра МБЖД

## СИСТЕМИ З ВИЗНАЧЕННЯМ КУТА МІСЦЯ

MEMS-гіроскопи відносять до вібраційних гіроскопів.

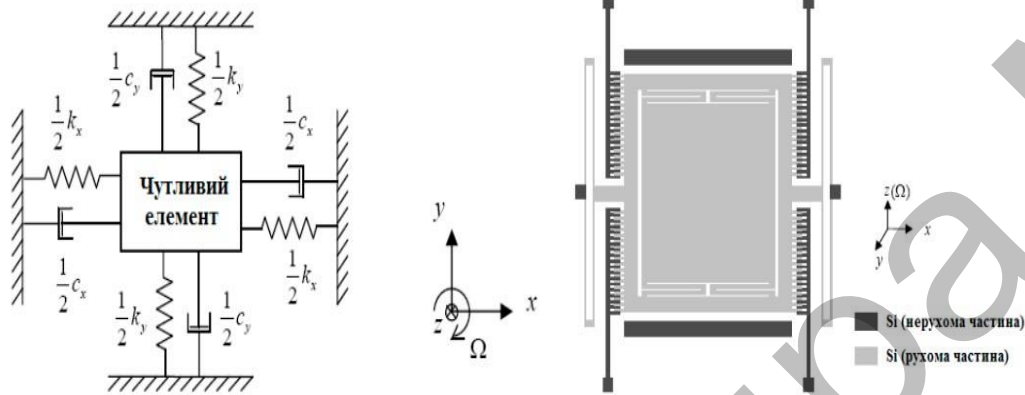


Рисунок 6 – Схематичне зображення спрощеної моделі «чутливий елемент–демпфер» і конструкції інтегрального мікросенсора кутової швидкості

Для визначення кутів використовується гіроскоп, для корекції похибки використовується акселерометр.

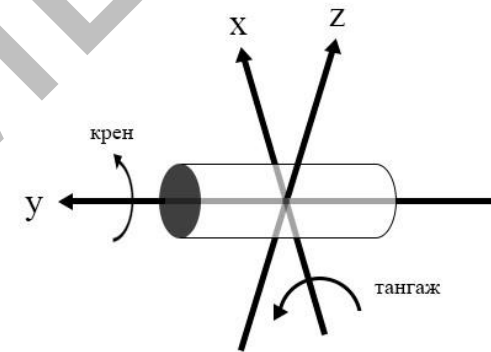


Рисунок 7 – Визначення кутових швидкостей гіроскопа

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВХІДНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ КООРДИНАТ ПІДЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

7

В якості прийомної антени використовувалась циліндрична антена всередині якої вздовж її осі встановлювався циліндричний відрізок провідника.

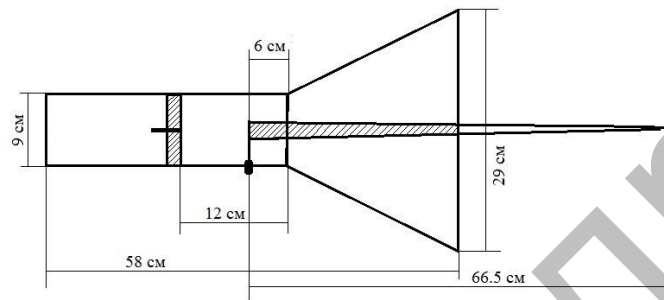
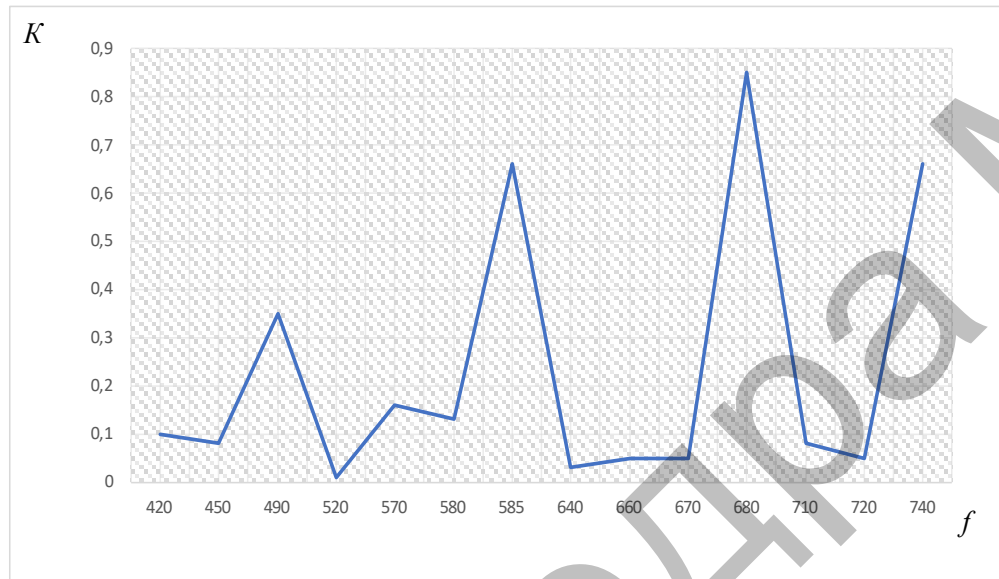


Рисунок 8 – Приймальна антена входного пристрою

Таблиця 1 – Результати вимірювань

$f$	$U$ $mV$	$U_n$ , $mV$	$K$
740	0,4	6	0,66
720	0,4	8	0,05
710	0,4	5	0,08
680	0,6	7	0,85
670	0,8	15	0,05
660	1	20	0,05
640	0,8	25	0,03
585	0,4	6	0,66
580	0,8	6	0,13
570	1	6	0,16
520	0,4	25	0,01
490	1,6	4,5	0,35
450	0,4	4,5	0,08
420	0,8	8	0,1

## РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЯНОГО КОЕФІЦІЄНТУ ПЕРЕДАЧІ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЧАСТОТИ



Аналогічні вимірювання зроблені для антени вхідного пристрою коли центральний стержень не виступав за межі апертури.

Результати вимірювань показали що якщо стержень не виходить за межі апертури то коефіцієнт для всього діапазону дорівнює 0.

Результати досліджень показали що відстань між центральним провідником та поршнем не впливає на значення коефіцієнта передачі.

Рисунок 9 - АЧХ вхідного пристрою

## ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИПРОМІНЮВАЧА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ПІДЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

Випромінювач I типу (H-випромінювач)

Таблиця 2 – Результати дослідження діаграми спрямованості

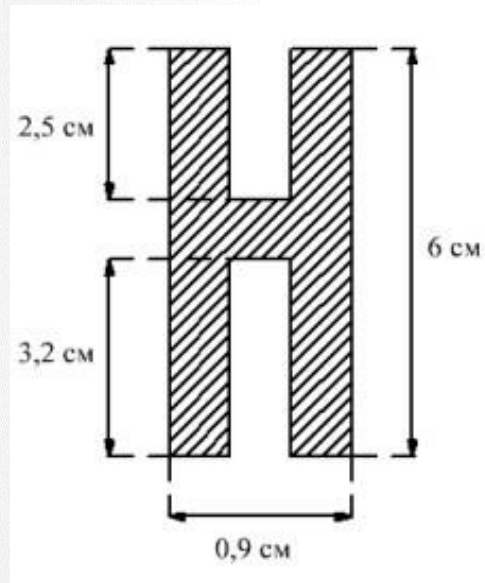


Рисунок 10 – Зовнішній вигляд щілини

Градуси	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Рівень сигналу, дБ	-28	-29	-28	-29	-28	-27	-28	-28	-29	-32	-33	-35	-35
Градуси	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
Рівень сигналу, дБ	-33	-33	-37	-35	-33	-33	-32	-33	-33	-33	-34	-33	-32
Градуси	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360		
Рівень сигналу, дБ	-31	-30	-35	-33	-33	-33	-32	-32	-31	-30	-29		



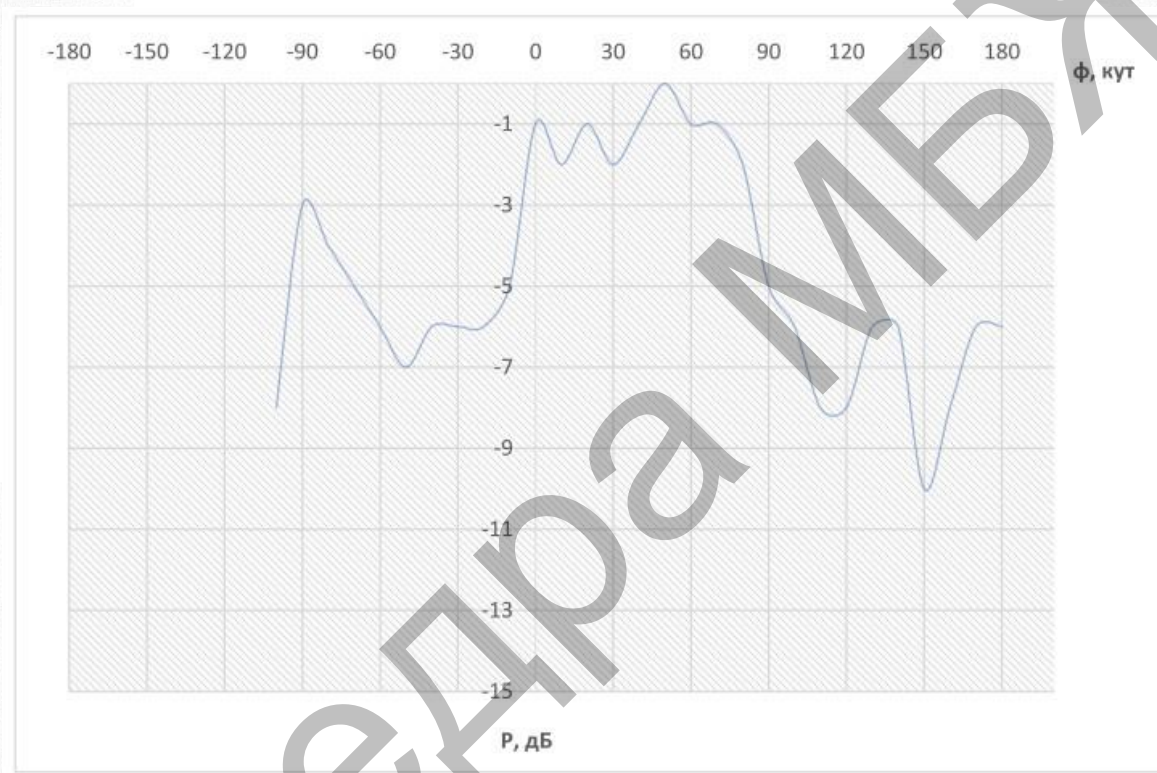
**ДІАГРАМА СПРЯМОВАНOSTІ ДЛЯ РІВНЯ СИГНАЛУ  $P = -28$  ДБ**

Рисунок 11 – Діаграма спрямованості випромінювача Н -типу при  $P = -28$  дБ

## РІВЕНЬ СИГНАЛУ ПРИ РІЗНОМУ ПОЛОЖЕННІ ЩІЛИНИ ЩОДО ОСІ ПРИЙМАЛЬНОЇ АНТЕНИ.

Таблиця 3 – Рівень сигналу при різному положенні щілини щодо осі приймальної антени

Відстань від осі приймальної антени, см	-25	-20	-15	-10	-5	0	2	7	12	17	22	27
Рівень сигналу, дБ	-34	-36	-41	-41	-38	-30	-34	-34	-35	-31	-33	-32

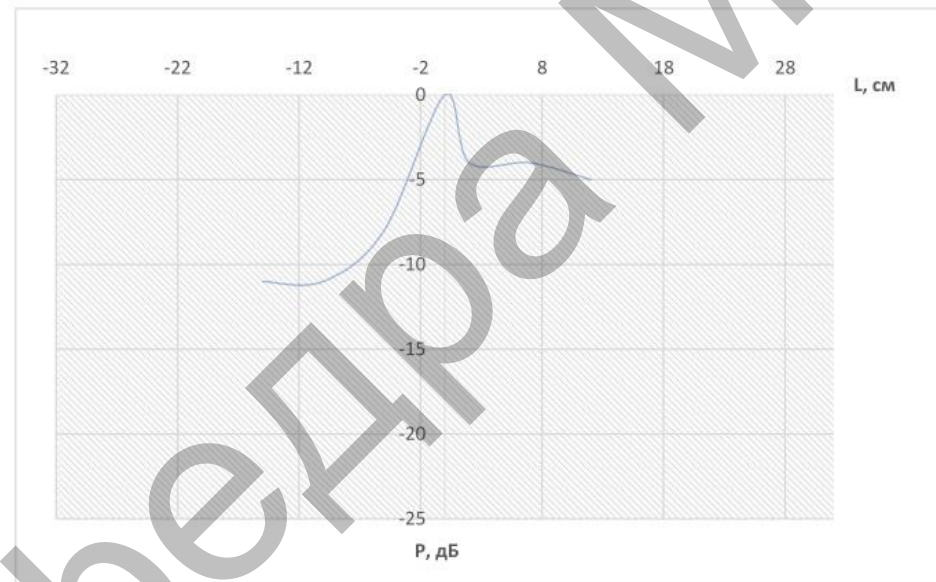


Рисунок 12 – Залежність рівня сигналу від відстані щодо осі приймальної антени

## ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИПРОМІНЮВАЧА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ПІДЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

### Випромінювач II типу

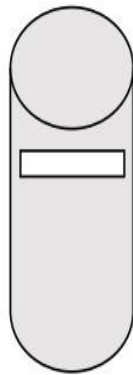


Рисунок 13 - Випромінювач II типу

Висота випромінювача  $h = 15$  см,  
діаметр  $d = 5$  см, довжина щілини  
 $l = 6$  см, ширина щілини дорівнює 0,3 см.

Таблиця 4 – Результати дослідження діаграми спрямованості випромінювача II типу

Градуси	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Рівень сигналу, дБ	-38	-39	-37	-39	-39	-37	-39	-39	-41	-38	-38	-35	-37
Градуси	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
Рівень сигналу, дБ	-33	-32	-41	-34	-31	-32	-33	-32	-34	-33	-34	-37	-37
Градуси	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360		
Рівень сигналу, дБ	-37	-37	-36	-37	-36	-36	-46	-47	-40	-46	-42		

### ДІАГРАМА СПРЯМОВАНОСТІ ВИПРОМІНЮВАЧА II ТИПУ

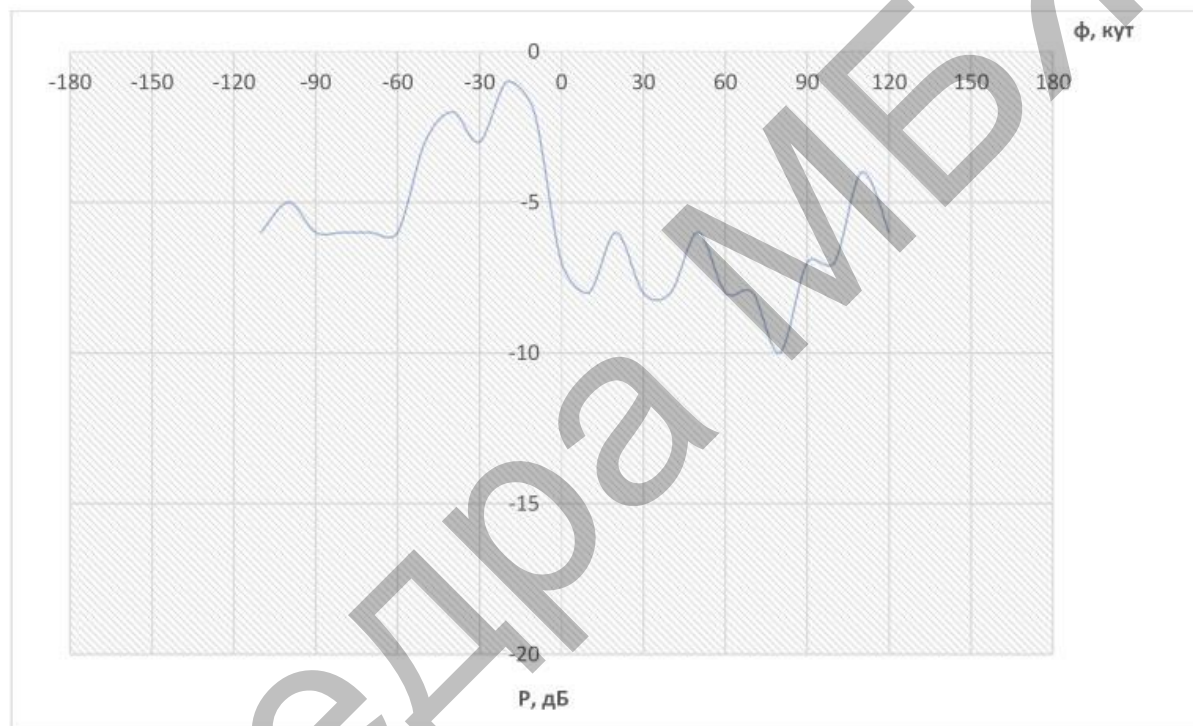


Рисунок 14 – Діаграма спрямованості випромінювача II типу

## ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИПРОМІНЮВАЧА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ПІДЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

14

### Випромінювач III типу

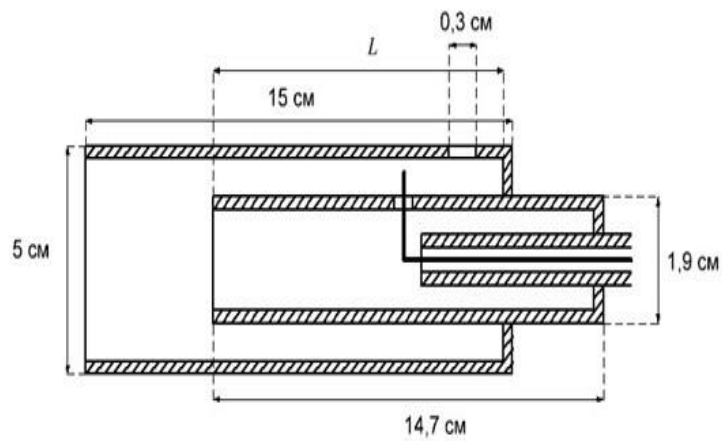


Рисунок 15 – Конструкція коаксiального резонатора з випромiнюючою щiлиною

Таблиця 5 – Результати залежності рівня приймального сигналу від довжини центрального провідника

L, см	6,9	6,8	6,7	5,9	5,6	4,9	3,5	1,8
Рівень сигналу, дБ	-32	-37	-42	-53	-45	-45	-47	-60



Рисунок 16 – Залежність рівня приймального сигналу від довжини центрального провідника

## ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ ТА ОЦІНКА ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ

Обробка результатів багаторазових вимірювань, полягає в знаходженні результату вимірювання фізичної величини і довірчого інтервалу, в якому знаходиться її справжнє значення

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n x_i / n. \quad (1)$$

Таблиця 6 - Результати досліджень

$$S_x(\delta_x) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 + \dots (x_n - \bar{X})^2}. \quad (2)$$

$$S_{\bar{X}}(\delta_{\bar{X}}). \quad (3)$$

$$\xi = \pm t_p S_{\bar{X}}. \quad (4)$$

Градуси	Рівень приймального сигналу, дБ					Похибка результату вимірювань, дБ
0	-38	-35	-37	-36	-36	± 1
90	-38	-43	-40	-45	-41	± 2,7
180	-32	-33	-32	-35	-33	± 1,5

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи магістра можна зробити наступні висновки:

1. Розглянуто системи Wi-Fi та області їх застосування. Встановлено що дана система може застосовуватися для дистанційної передачі координат об'єкта на якому встановлений передавач.
2. Було запропоновано вимірвальну інформаційну систему на базі Wi-Fi модулів ESP-07S, які працюють на частоті 2,4 ГГц. для визначення координат підземних об'єктів.
3. Мною було розглянуто принципи дії акселерометра, гіроскопа, магнітометра. У якості датчика було обрано положення модуль MPU-6050, він має високу точність вимірювань, компактний, та низьку ціну. У якості магнітометра було обрано модуль HMC5883L. Координати головки бура визначаються за допомогою датчика MPU-6050, який обладнаний трьохосьовим акселерометром та трьохосьовим гіроскопом.
4. Для підвищення потужності прийомного сигналу було запропоновано прийомну антену з великим коефіцієнтом направленої дії. В якості випромінювачів зондуючих сигналів використовуються рупорні антени і антенні решітки. Доказано що коаксіально рупорна антенна може приймати сигнали в діапазоні частот від 420 МГц до 2,4 ГГц.
5. Запропоновано в якості універсального вхідного пристрою використовувати пристрої з коаксіально рупорною антеною навантаженою на детекторну секцію чи підсилювач детекторної секції з подальшою обробкою вимірвального сигналу.
6. Підвищення точності визначення координат підземних об'єктів досягається за допомогою використання НВЧ-діапазону.