

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ РАДІОЛОКАЦІЇ

Величко Василь Олександрович

студент 3 курсу Навчально- наукового фізико-технологічного інституту ВНУ імені Лесі Українки
Velychko.Vasyl2022@vnu.edu.ua

Мартинюк Олександр Семенович

доктор педагогічних наук, професор кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій Навчально- наукового фізико-технологічного інституту ВНУ імені Лесі Мартинюк.Oleksandr@vnu.edu.ua

Острей Оксана Ростиславівна

інженер з комп'ютерних систем ВНЗ ЦІТКТ ВНУ імені Лесі Українки ostrey.oxana@vnu.edu.ua

Під час військових дій надзвичайно важливо володіти оперативною інформацією про ворожі об'єкти. За допомогою супутників отримується інформація про статичні об'єкти: будівлі, аеродроми, окопи тощо. Дані ж про динамічні (рухомі) об'єкти – різноманітну техніку отримуємо засобами радіолокації.

Радіолокація – виявлення об'єктів (цілей) і визначення їх просторових координат та параметрів руху за допомогою радіотехнічних засобів і методів [1]. Процес називається радіолокаційним спостереженням, а пристрої, які використовуються при цьому називаються радіолокаційними станціями (РЛС) або радарми.

Принцип дії радіолокації засновано на фізичних явищах [2]:

1. поширення радіохвиль прямолінійно з постійною швидкістю на великих відстанях від радіолокаційної станції (РЛС), що дає можливість вимірювати дальність і кутові координати цілі. Радіохвилі – форма електромагнітного випромінювання, які поширюються зі швидкістю світла (приблизно 300 мільйонів метрів на секунду у вакуумі) в різних середовищах, включаючи повітря, дощ і хмари;

2. розсіюванні радіохвиль на електричних неоднорідностях (об'єктах з іншими електричними властивостями, відмінними від властивостей середовища поширення), які трапляються на шляху розповсюдження хвиль;

3. ефект Доплера – частота прийнятого сигналу відрізняється від частоти випромінених коливань при переміщенні цілі щодо РЛС, що дозволяє вимірювати радіальні швидкості руху цілі відносно РЛС. Радар також може визначати відносну швидкість об'єкта за допомогою ефекту Доплера. Коли об'єкт рухається, частота відбитих хвиль змінюється. Якщо об'єкт рухається до радара, частота збільшується; якщо він віддаляється, частота зменшується. Зміна частоти Δf пов'язана зі швидкістю v об'єкта наступним чином:

$$\Delta f = \frac{2v}{\lambda}$$

, де λ – довжина хвилі, що проходить;

4. випромінювання електромагнітних хвиль об'єктами спостереження при пасивній радіолокації (це може бути теплове випромінювання, властиве всім об'єктам, активне випромінювання, створюване технічними засобами об'єкта, або побічне випромінювання, створюване будь-якими об'єктами із працюючими електричними пристроями).

Для здійснення процесу радіолокації використовують радіолокаційні станції (РЛС) і складні радіолокаційні системи (радары). В залежності від завдань, будови та способу представлення даних розрізняють види РЛС, як подано на (рис. 1). Радарні датчики є ключовим елементом РЛС, технологія виготовлення яких постійно розвивається [8].

RADAR (Radio Detection And Runging) – це електромагнітний датчик, який використовується для безконтактного виявлення, відстеження та позиціонування одного або кількох об'єктів за допомогою електромагнітних хвиль, принцип дії якого базується на передачі електромагнітної енергії до об'єктів (цілей) і спостереження за луною, що повертається від них [9].

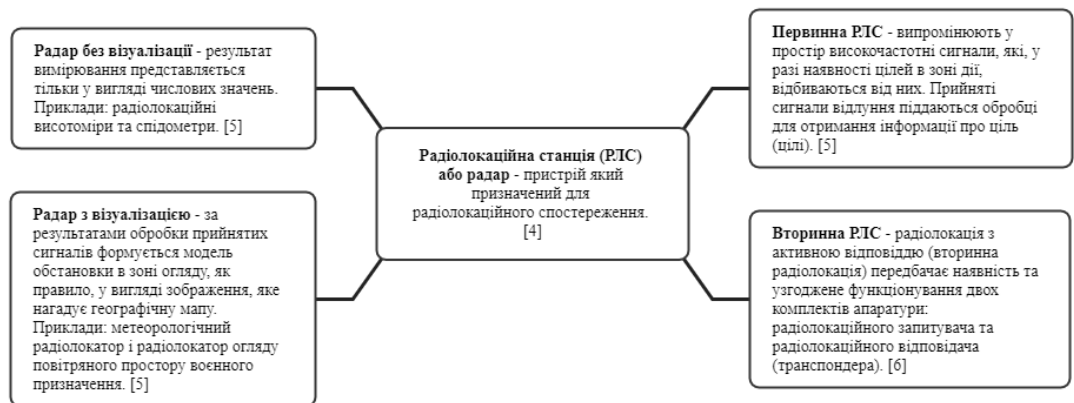


Рис. 1. Класифікація радіолокаційних станцій, створена на основі даних з [4]-[6]

Розглянемо детальніше первинну РЛС (рис. 2).

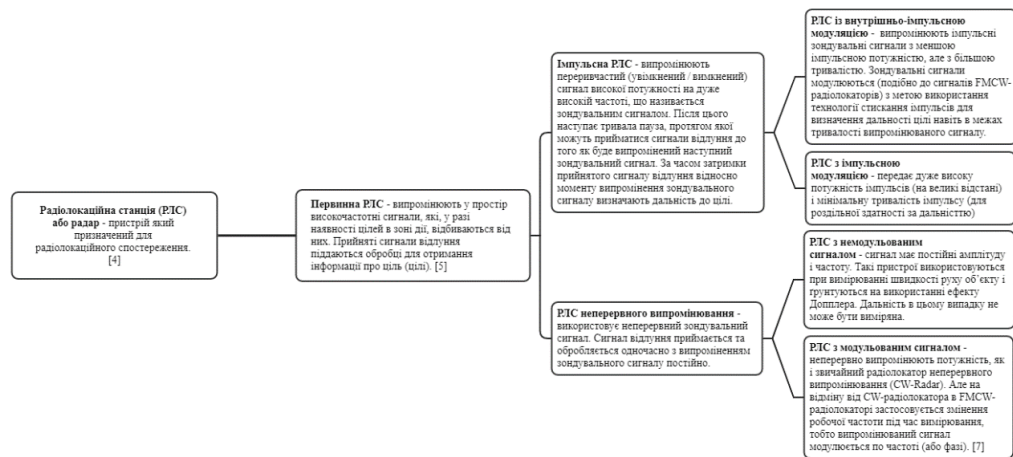


Рис. 2. Первинна радіолокаційна станція та її види [4]-[7]

Ключові принципи роботи RADAR-системи [10]:

1. **передача та прийом:** радарна система складається з передавача, який випромінює радіохвилі, та приймача, який виявляє хвилі, що відбиваються назад. Передавач посилає імпульси радіохвиль у певному напрямку. Коли ці хвилі стикаються з об'єктом, вони розсіюються в різних напрямках. Частина розсіяних хвиль відбивається назад до приймача RADAR;

2. **розрахунок часової затримки та відстані:** вимірюючи часову затримку між передачею імпульсу та прийомом луни, система RADAR може визначити відстань до об'єкта. Цю відстань R можна розрахувати за формулою:

$$R = \frac{c \times t}{2}, \text{ де } c - \text{швидкість світла, а } t - \text{час затримки.}$$

Існує коротка затримка між передачею вихідного сигналу та прийомом луни. Час затримки прямо пропорційний дальності до цілі. Радари великої дальності використовують дуже короткі імпульси та вимірюють різницю в часі між початковим імпульсом і ехо-імпульсом (відбитим сигналом), щоб встановити дальність до цілі. На менших відстанях, зазвичай, використовується метод (FMCW), коли радар постійно передає, але частота модулюється, тому існує різниця частот між луною та миттєвим

переданим сигналом. Радар вимірює різницю частот, яка прямо пропорційна дальності цілі.

Загалом принцип роботи будь-якого радара можна умовно розділити на 4 пункти [11]:

1. радар передає електромагнітний імпульс;
2. радар переходить у режим прослуховування;
3. імпульс відбивається від цілі;
4. радар приймає відлуння від переданого імпульсу.

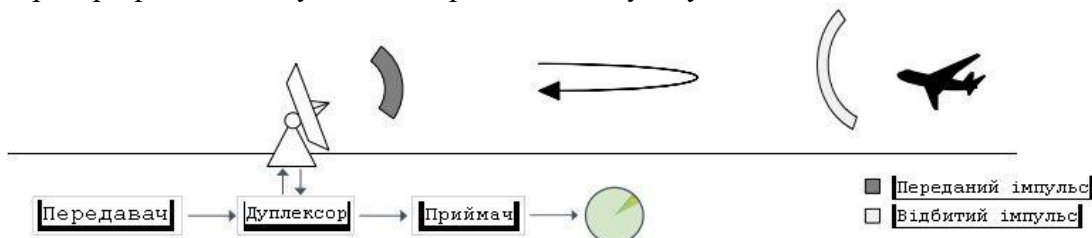


Рис. 3. Принцип роботи радара [11]

Типова система RADAR включає в себе кілька ключових компонентів:

1. **передавач:** генерує та посилює радіочастотний (РЧ) сигнал. Передавач може використовувати різні типи осциляторів, таких як магнетрони або клістри, щоб створити бажаний РЧ-сигнал;

2. **антена:** випромінює переданий радіочастотний сигнал у простір і приймає відбиті сигнали. Антени можуть бути параболічними тарілками, фазованими ґратами або іншими конфігураціями, залежно від застосування та необхідної спрямованості;

3. **приймач:** виявляє радіочастотні сигнали, відбиті від об'єктів, і посилює їх для подальшої обробки. Приймач повинен бути високочутливим, щоб виявити слабе відлуння від віддалених об'єктів;

4. **дуплексер:** перемикач, який дозволяє використовувати ту саму антену як для передачі, так і для прийому шляхом чергування між двома режимами;

5. **процесор сигналів:** аналізує отримані сигнали для отримання корисної інформації, такої як дальність, швидкість і кут виявлених об'єктів. Сучасні РАДАР-системи використовують передові технології обробки цифрових сигналів для покращення виявлення та зменшення шуму.

1. Radiolocation. *DBpedia*. URL: <https://dbpedia.org/page/Radiolocation> (date of access: 28.01.2025).
2. Радіолокація. *BVE*. URL: <https://vue.gov.ua/Радіолокація> (дата звернення: 28.01.2025).
3. Основи радіолокації. *Grundlagen der Radartechnik*. URL: <https://www.radartutorial.eu/02.basics/rp04.uk.html> (дата звернення: 28.01.2025).
4. Radiolocation. *DBpedia*. URL: <https://dbpedia.org/page/Radiolocation> (date of access: 28.01.2025).
5. Основи радіолокації. *Grundlagen der Radartechnik*. URL: <https://www.radartutorial.eu/02.basics/rp04.uk.html> (дата звернення: 28.01.2025).
6. Основи радіолокації. *Grundlagen der Radartechnik*. URL: <https://www.radartutorial.eu/13.ssr/sr04.uk.html> (дата звернення: 28.01.2025).
7. Основи радіолокації. *Grundlagen der Radartechnik*. URL: <https://www.radartutorial.eu/02.basics/rp08.uk.html> (дата звернення: 28.01.2025).
8. Basics of radar technology - what is radar and how does it work?. *InnoSenT GmbH Innovative Radartechnologie für Ihre Applikation*. URL: <https://www.innosent.de/en/radar/> (date of access: 28.01.2025).
9. Skolnik M. I. Radar | Definition, Invention, History, Types, Applications, Weather, & Facts | *Britannica. Encyclopaedia Britannica*. URL: <https://www.britannica.com/technology/radar#ref28729> (date of access: 28.01.2025).
10. Understanding the Physics Behind RADAR: An In-Depth Exploration | *Physics Girl. Physics Girl*. URL: <https://physicsgirl.in/physics-behind-radar/> (date of access: 28.01.2025).
11. Christos Pioudis University of Strathclyde. Introduction to radar signal processing url:<https://udrc.eng.ed.ac.uk/sites/udrc.eng.ed.ac.uk/files/attachments/introduction%20radar%20signal%20processing.pdf> (date of access: 28.01.2025).