

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет аграрних технологій та екології

(повне найменування факультету)

Кафедра екології

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**Оцінка рівня «електромагнітного смогу»
центральної частини м. Луцьк**

спеціальність 101 Екологія
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Екологія»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ЕОСм - 21
Орачевський Данило Андрійович

(підпис)

Керівник:
к.пед.н., доцент
Коробчук Людмила Іванівна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 20__ р.
к.геогр.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Федонюк Микола Ананійович

(підпис)

Луцьк – 2025 рік

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аграрних технологій та екології

Кафедра екології

Ступінь вищої освіти: магістр

Галузь знань: 10 Природничі науки

Спеціальність: 101 Екологія

Освітня програма: «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« ___ » _____ 202__ р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Орачевському Данилу Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи:

Оцінка рівня «електромагнітного смогу» центральної частини м. Луцьк

Керівник роботи: Коробчук Людмила Іванівна, к.пед.н., доц.

затверджені наказом закладу вищої освіти від «04» лютого 2025р. № 62/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи: 04» лютого 2025р.

3. Вихідні дані до роботи: літературні джерела; наукові публікації сучасних вітчизняних та зарубіжних досліджень; законодавча база.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

1. Теоретичні засади електромагнітного випромінювання та аналіз наукових досліджень. 2. Електромагнітні поля: міське середовище, біота і здоров'я людини. 3. Розробка практичних рекомендацій для зменшення шкідливого впливу електромагнітних полів на здоров'я людини. 4. Висновок.

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Ймовірніші осередки підвищеного електромагнітного забруднення в центрі м. Луцьк. 2. Візуальна характеристика будівлі за адресою вул. Словацького, 12 у м. Луцьк 3. Просторова карта розподілу щільності магнітного потоку низьких частот на тротуарах центральної частини міста Луцьк. 4. Результати вимірювань електромагнітного поля в центральній частині м. Луцьк. 5. Розташування антен базових станцій мобільного зв'язку в центральній частині м. Луцьк та точки проведення вимірювань ЕМП. 6. Об'єкти з підвищеним рівнем ЕМВ у центральній частині м. Луцьк, котрі потребують екранування. 7. Висновок.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «01» вересня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступна частина роботи	До 03.09.25	виконано
2	Основна частина роботи	03.09-06.10.25	виконано
3	Заключна частина роботи	07.10-18.10.25	виконано
4	Висновки	19.10-20.10.25	виконано
5	Анотація	21.10-23.10.25	виконано
6	Графічні матеріали, презентація, виступ	24.10-15.11.25	виконано
7	Проходження нормоконтролю	До 25.11.25	виконано
8	Отримання допуску до захисту	26.11. 25	виконано
9	Попередній захист	02.12. 25	виконано

Здобувач вищої освіти _____ (Орачевський Д.А.)
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ (Коробчук Л.І.)
(підпис) (прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Орачевський Д.А. Оцінка рівня «електромагнітного смогу» центральної частини м. Луцьк. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Екологія» спеціальності 101 Екологія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Актуальність теми зумовлена зростанням кількості джерел електромагнітного випромінювання в центральній частині м. Луцьк. Оцінка цих показників є важливою для своєчасного виявлення потенційних ризиків для здоров'я населення та формування управлінських рішень.

Об'єкт дослідження – центральна частина м. Луцьк.

Мета роботи – оцінити рівень «електромагнітного смогу» центральної частини м. Луцьк.

Методи дослідження: загальнонаукові (узагальнення, порівняння, аналіз і синтез, теоретико-методичне обґрунтування); польові (натуральні).

Результати дослідження:

1. Узагальнено наявну інформацію про рівні електромагнітного забруднення в міських екосистемах та оцінити його вплив на людей і тварин.

2. Вивчено електромагнітне поле в центральній частині міста Луцьк, що виникає внаслідок роботи мобільного та радіозв'язку, ліній електропередач, електротранспорту та іншого електрообладнання.

3. Розроблено практичні рекомендації для зменшення шкідливого впливу електромагнітних полів на здоров'я людини.

Наукова новизна: самостійно визначено рівень електромагнітного забруднення (електромагнітного смогу) у центрі м. Луцька.

Практична значущість: результати дослідження є основою для подальших наукових досліджень, використання отриманих даних у наукових статтях та їх застосування в навчальному процесі.

Ключові слова: електромагнітного смог, забруднення, випромінювання, лінії електропередач.

ANNOTATION

Orachevsky D.A. Assessment of the level of "electromagnetic smog" in the central part of Lutsk. Manuscript.

Master's degree thesis in the field of ecology, specialty 101 Ecology. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The relevance of the topic is due to the increase in the number of sources of electromagnetic radiation in the central part of the city of Lutsk. Assessment of these indicators is important for the timely identification of potential risks to public health and the formation of management decisions.

The object of the study is the central part of the city of Lutsk.

The purpose of the work is to assess the level of "electromagnetic smog" in the central part of the city of Lutsk.

Research methods: general scientific (generalization, comparison, analysis and synthesis, theoretical and methodological justification); field (natural).

Research results:

1. Summarize available information on levels of electromagnetic pollution in urban ecosystems and assess its impact on humans and animals.

2. The electromagnetic field in the central part of the city of Lutsk, which arises as a result of the operation of mobile and radio communications, power lines, electric transport and other electrical equipment, was studied.

3. Practical recommendations have been developed to reduce the harmful effects of electromagnetic fields on human health.

Scientific novelty: the level of electromagnetic pollution (electromagnetic smog) in the center of Lutsk was independently determined.

Practical significance: the results of the study are the basis for further scientific research, the use of the obtained data in scientific articles, and their application in the educational process.

Keywords: electromagnetic smog, pollution, radiation, power lines

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1. Аналітичний огляд наукових робіт та монографій вітчизняних і зарубіжних авторів.....	10
1.2. Особливості та специфічні властивості електромагнітного випромінювання	18
1.3. Огляд основних джерел електромагнітного випромінювання (ЕМВ).....	22
РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПОЛЯ: МІСЬКЕ СЕРЕДОВИЩЕ, БІОТА І ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ.....	32
2.1. Вимірювання та аналіз електромагнітного забруднення в центральної частині міста Луцьк	32
2.2. Біологічні ефекти електромагнітного випромінювання	43
2.3. Електромагнітні поля та їхній вплив на здоров'я людини	48
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРАКТИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ШКІДЛИВОГО ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ.....	55
3.1. Розроблення дієвих порад та заходів, спрямованих на зменшення негативного впливу електромагнітних полів на здоров'я людей, які проживають або тривалий час перебувають у центральної частині м. Луцьк.....	55
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	66

ВСТУП

Актуальність роботи. У зв'язку зі стрімким розвитком сучасного суспільства та зростанням споживання електроенергії людство стикнулося з новим видом забруднення – електромагнітним. Електромагнітні поля (ЕМП) виникають як природним шляхом, так і через діяльність людини, і багато з них стали невід'ємною частиною повсякденного життя. Нині загально визнано, що антропогенні ЕМП є важливим екологічним фактором, здатним впливати на довкілля та живі організми.

Зі стрімким розвитком телекомунікацій та радіомовлення люди дедалі частіше піддаються впливу електромагнітних полів. Сучасні технічні системи створюють повсюдне електромагнітне забруднення – електромагнітний смог, який формують бездротове та радіомовне обладнання, лінії електропередач, медична та побутова техніка. У містах із щільною інфраструктурою та великою кількістю населення ЕМП стає значним чинником впливу на здоров'я людей та природні екосистеми.

У місцях із великою концентрацією електричних та електронних пристроїв люди піддаються підвищеному впливу електромагнітних полів через різні реальні умови та індивідуальні особливості сприйняття.

Об'єктивними причинами вищесказаного є перевантаження ліній електропередач та висока «енергетична насиченість» будівель через розвиток електротранспорту та збільшення кількості електроприладів. Суб'єктивні чинники – введення нових ЛЕП чи підстанцій без урахування вже наявного рівня електромагнітного поля [28].

Жителі густонаселених міських районів дедалі більше зазнають дії електромагнітного випромінювання від численних джерел – мобільного зв'язку, інтернету, супутникових і кабельних систем, – причому основне електромагнітне забруднення спричинюють базові станції мобільного зв'язку, радіобудівництва та високовольтні лінії електропередач.

Оскільки радіохвилі погано проникають у будівлі та підземні споруди, для забезпечення стабільного мобільного зв'язку оператори змушені встановлювати всередині додаткове приймально-передавальне обладнання. За наявними даними [16, 19], у таких приміщеннях рівні електромагнітного випромінювання можуть перевищувати допустиму норму $0,025 \text{ Вт/м}^2$. Подібне перевищення створює потенційні ризики для здоров'я людей і може негативно впливати на тваринні популяції [2].

Деякі дослідження також фіксують значні коливання рівнів електромагнітного випромінювання впродовж тривалих періодів [26, 30, 32]. Очікується, що цей вплив і надалі посилюватиметься, адже до вже існуючих мільйонів радіочастотних передавачів постійно додаються нові технології, зокрема такі, як мобільний інтернет 5G.

Науково-технічний прогрес призвів до того, що значна частина екосистем постійно перебуває під дією електромагнітних полів, причому найбільший їх вплив спостерігається в містах та на прилеглих територіях. Тому дослідження рівнів електромагнітного забруднення в урбанізованих екосистемах є важливими для пошуку рішень, що сприятимуть покращенню якості життя населення та збереженню міської біоти.

Дослідження електромагнітних полів в урбоекосистемах світу та України проводила низка науковців, зокрема в великих і середніх містах. Водночас для міста Луцьк подібні дослідження виконані в обмеженому обсязі.

Об'єкт дослідження: центральна частина м. Луцьк.

Предмет дослідження: «електромагнітний смог» та оцінка його рівня для центральної частини м. Луцьк.

Мета роботи: оцінити рівень «електромагнітного смогу» центральної частини м. Луцьк.

Завдання:

1. Узагальнити наявну інформацію про рівні електромагнітного забруднення в міських екосистемах та оцінити його вплив на людей і тварин.

2. Вивчити електромагнітне поле в центральній частині міста Луцьк, що виникає внаслідок роботи мобільного та радіозв'язку, ліній електропередач, електротранспорту та іншого електрообладнання.

3. Розробити практичні рекомендації для зменшення шкідливого впливу електромагнітних полів на здоров'я людини.

Методи дослідження: загальнонаукові (узагальнення, порівняння, аналіз і синтез, теоретико-методичне обґрунтування); польові (натуральні) дослідження електромагнітних полів у центральній частині Луцька.

Наукова новизна дослідження полягає в самостійному визначенні рівня електромагнітного забруднення (електромагнітного смогу) у центрі Луцька.

Практичне значення: результати дослідження є основою для подальших наукових досліджень, використання отриманих даних у наукових статтях та їх застосування в навчальному процесі для практичних занять, підготовки комплексних курсових робіт тощо.

Апробація результатів дослідження представлена в збірнику матеріалів міжнародної конференції, де розкривається сутність «електричного смогу» як фактору антропогенного впливу на навколишнє середовище, організм людини та міську екологію.

Особистий внесок здобувача. Представлена магістерська робота є незалежним науковим дослідженням, яке досліджувало рівень електромагнітного випромінювання («електромагнітного смогу») у центральній частині міста Луцьк та його вплив на здоров'я місцевих мешканців.

Робота складається з вступу, 3 розділів, висновків; містить 71 сторінку тексту, 4 таблиць, 6 рисунків. Перелік посилань включає 49 найменувань літератури.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналітичний огляд наукових робіт та монографій вітчизняних і зарубіжних авторів

Сучасне місто слугує потужним соціально-економічним центром, забезпечуючи більшість мешканців урбанізованої зони та прилеглих територій широким спектром можливостей працевлаштування та, як наслідок, засобами до існування. Міське середовище може похвалитися добре розвиненою інфраструктурою для постачання та торгівлі продуктами харчування та предметами повсякденного вжитку.

Міське середовище забезпечує належний рівень медичних послуг, характеризується добре розвиненою системою освіти та пропонує широкі можливості для інтелектуального, культурного та духовного розвитку свого населення. Житловий фонд міста загалом характеризується високим рівнем зручностей: більшість житлових та громадських будівель обладнані централізованими системами опалення, водопостачання та газифікації. Мешканці міста, як правило, звільнені від тягаря самостійного управління утилізацією побутових відходів. Міста можуть похвалитися добре розвиненою системою громадського транспорту, що забезпечує мобільність населення. Розвинена мережа комунальних послуг сприяє задоволенню щоденних потреб мешканців міста. Раціональна організація та розподіл праці, впорядковане житло та високорозвинена міська інфраструктура створюють умови для вивільнення населенням певної кількості вільного часу, який можна використовувати для підвищення свого освітнього, професійного чи культурного рівня [28].

Міське середовище забезпечує сприятливі умови для різних форм самовираження, зокрема спорту, творчої діяльності та культурного

саморозвитку. Наявність рекреаційних зон та закладів дозвілля створює необхідні умови для організації здорового дозвілля, активного омолодження та підтримки соціальної взаємодії мешканців міста [34].

Окрім того, в межах міської агломерації практично всю територію охоплюють електромагнітні поля. Висока концентрація промислових підприємств, включаючи енергетичні потужності, а також інтенсивний розвиток транспортної інфраструктури, зокрема електрифікованих наземних та підземних залізничних систем, спричиняють значне підвищення рівня антропогенних фізичних полів. Інтенсивність таких полів, насамперед теплових, вібраційних та електричних, у певних урбанізованих районах може в кілька разів перевищувати рівні природного фону, іноді досягаючи критичних значень.

Перевищення допустимих рівнів фізичних полів створює потенційну загрозу для навколишнього середовища та здоров'я міського населення [36].

Відповідно, сформована екологічна ситуація стала вагомим чинником наукового інтересу та стимулом для поглиблених досліджень серед вітчизняних учених. Зростання рівня техногенного навантаження, урбанізаційних процесів та їхнього впливу на стан довкілля обумовило необхідність комплексного наукового аналізу цих явищ. Саме тому багато українських науковців спрямували свої дослідницькі зусилля на вивчення зазначеної проблематики, систематизацію наявних даних та розроблення теоретичних і практичних підходів до її вирішення, що знайшло відображення у численних наукових працях, публікаціях і монографіях.

В.О. Самойленко [31] у своїх роботах вивчала загальний вплив електромагнітних полів на навколишнє природне середовище.

І.О. Черніченко, В.Ю. Думанський, Н.Г. Нікітіна, Є.А. Сердюк, Л.С. Соверткова, Н.В. Баленко, О.М. Литвіченко, Л.А. Томашевська, Л.Є. Григоренко, С.В. Біткін, Ю.Д. Думанський, А.П. Безверха [35] у своєму дослідженні зосередилися на розробці санітарно-гігієнічної оцінки умов монтажу та експлуатації високовольтних ліній електропередачі (110-330 кВ)

та супутнього обладнання. Крім того, вони провели гігієнічну характеристику електричних та магнітних полів, а також хімічних сполук, що утворюються під час експлуатації кабельних ліній та їх компонентів у інтенсивно забудованому міському середовищі.

На основі результатів своїх досліджень вчені чітко встановили формування канцерогенного (нітрозамінного) навантаження на організм людини, котре спричинене як зовнішнім забрудненням навколишнього природного середовища, так і ендогенним синтезом канцерогенних нітрозамінів з їх попередників [35].

Питанням впливу транспорту на довкілля також займалися: О.В. Бажиновим та М.М. Кравцовим [1] було проведено дослідження впливу електромагнітного випромінювання, що генерується електромобілями. Також була розглянута гіпотеза про те, що гібридні та електромобілі генерують електромагнітне випромінювання або магнітні поля надзвичайно низької частоти (ННЧ).

Результати дослідження показали, що індукція магнітного поля в електромобілях в середньому вдвічі більша, ніж у транспортних засобах з двигуном внутрішнього згорання, і не залежить від швидкості транспортного засобу. Однак гібридні транспортні засоби демонструють ще вищу індукцію магнітного поля, яка, на відміну від електромобілів, демонструє певну залежність від швидкості транспортного засобу [1].

А також В.А. Глива, О.В. Панова, В.О. Кружилко [9], але їх об'єктом дослідження був громадський транспорт. Науковцями було проведено дослідження рівнів електромагнітного поля, що генерується міським електротранспортом (трамваями, тролейбусами та метро). Вимірювання виявили значне зниження постійної складової магнітного поля до рівнів нижче допустимих меж, наявність значних магнітних коливань та виявлення «магнітного шуму».

У рекомендаціях дослідників наголошується на необхідності впровадження ефективних захисних заходів, спрямованих на зниження рівнів магнітного поля, з урахуванням їх частотних характеристик [9].

Стосовно впливу на людський організм, займалась А.П. Безверха [3]. Вона провела дослідження з метою визначення небезпечних рівнів електромагнітного випромінювання, що генерується базовими станціями (БС) та абонентськими радіотерміналами транкінгового мобільного зв'язку, та його впливу на організм людини протягом доби.

На основі отриманих результатів було встановлено, що електромагнітне випромінювання, що генерується мобільними транкінговими радіостанціями, викликає зміни в поведінкових реакціях тварин. Також було доведено вплив транкінгового зв'язку на функціональний стан центральної нервової, імунної, серцево-судинної та інших систем організму. Особливу увагу було приділено віковим групам, котрі виявилися найбільш чутливими до впливу електромагнітного випромінювання.

У результаті своїх досліджень А.П. Безверха розробила відповідний гігієнічний норматив впливу електромагнітного випромінювання на організм людини [3].

Зростання наукового інтересу до цієї проблеми серед вітчизняних і зарубіжних дослідників пояснюється не лише екологічними, а й медико-біологічними аспектами впливу електромагнітних полів на довкілля міського середовища. Саме тому питання дослідження джерел, рівнів і просторової структури електромагнітних полів у міських умовах набуває особливої актуальності.

Подальші наукові розвідки у даному напрямі мають бути спрямовані на створення ефективних систем екологічного моніторингу, розроблення стандартів допустимого впливу та впровадження інноваційних рішень для мінімізації електромагнітного навантаження на населення. Комплексний підхід до вивчення електромагнітного середовища міста дозволить не лише оцінити рівень техногенного впливу, а й виробити науково обґрунтовані

рекомендації щодо забезпечення екологічної безпеки та збереження здоров'я людини.

Дослідники не дійшли спільної думки щодо того, як електромагнітне забруднення впливає на живі організми. Це пов'язано з тим, що попередні наукові роботи давали різні результати: одні показували шкідливу дію електромагнітних полів, інші – певні позитивні ефекти, а деякі – повну відсутність впливу.

Масштаби проблеми можна побачити на прикладі епідеміологічних досліджень: з 1980 по 2002 рік було опубліковано понад 200 робіт, присвячених впливу електромагнітних полів, які створюють високовольтні лінії електропередач. Приблизно 60 % цих досліджень не виявили шкідливого впливу, тоді як близько 40 % відзначили певні негативні наслідки – від незначних до більш серйозних [37, 38].

Через це за останні десятиліття різко зросла кількість наукових робіт, спрямованих на з'ясування того, як електромагнітні поля та випромінювання впливають на живі організми. Повідомлення про можливу шкоду електромагнітного забруднення привернули увагу ВООЗ, яка у 2007 році оприлюднила підсумковий звіт міжнародної програми «Електромагнітні поля». У межах цієї програми проаналізовано понад 1100 наукових праць і звітів [38].

У частині звіту, присвяченій впливу низькочастотних магнітних полів (50 та 60 Гц), зазначено, що підстав для посилення чинних норм щодо довготривалого впливу таких полів немає, однак дотримання обережності все ж рекомендовано [38].

У 2011 році в Ліоні Міжнародне агентство з дослідження раку разом із ВООЗ віднесли радіочастотні електромагнітні поля до факторів, які можуть підвищувати ризик виникнення злоякісних пухлин мозку – зокрема гліоми, що переважно пов'язана з використанням мобільних телефонів [8].

Порушені вище питання й досі не мають однозначних відповідей, що стимулює активне зростання інтересу до проблеми електромагнітного

забруднення, зокрема його впливу на живі організми. Це підтверджує діаграма (Див. рис. 1.1), на якій у 2015 році продемонстровано щорічну кількість наукових робіт, опублікованих після 1995 року та присвячених цій тематиці, за даними бази Science Direct [48]. Для пошуку публікацій були використані такі ключові слова: «вплив», «електромагнітне випромінювання», «магнітне поле», «електричне поле» та «життя». До результатів пошуку увійшли як епідеміологічні, так і експериментальні дослідження.

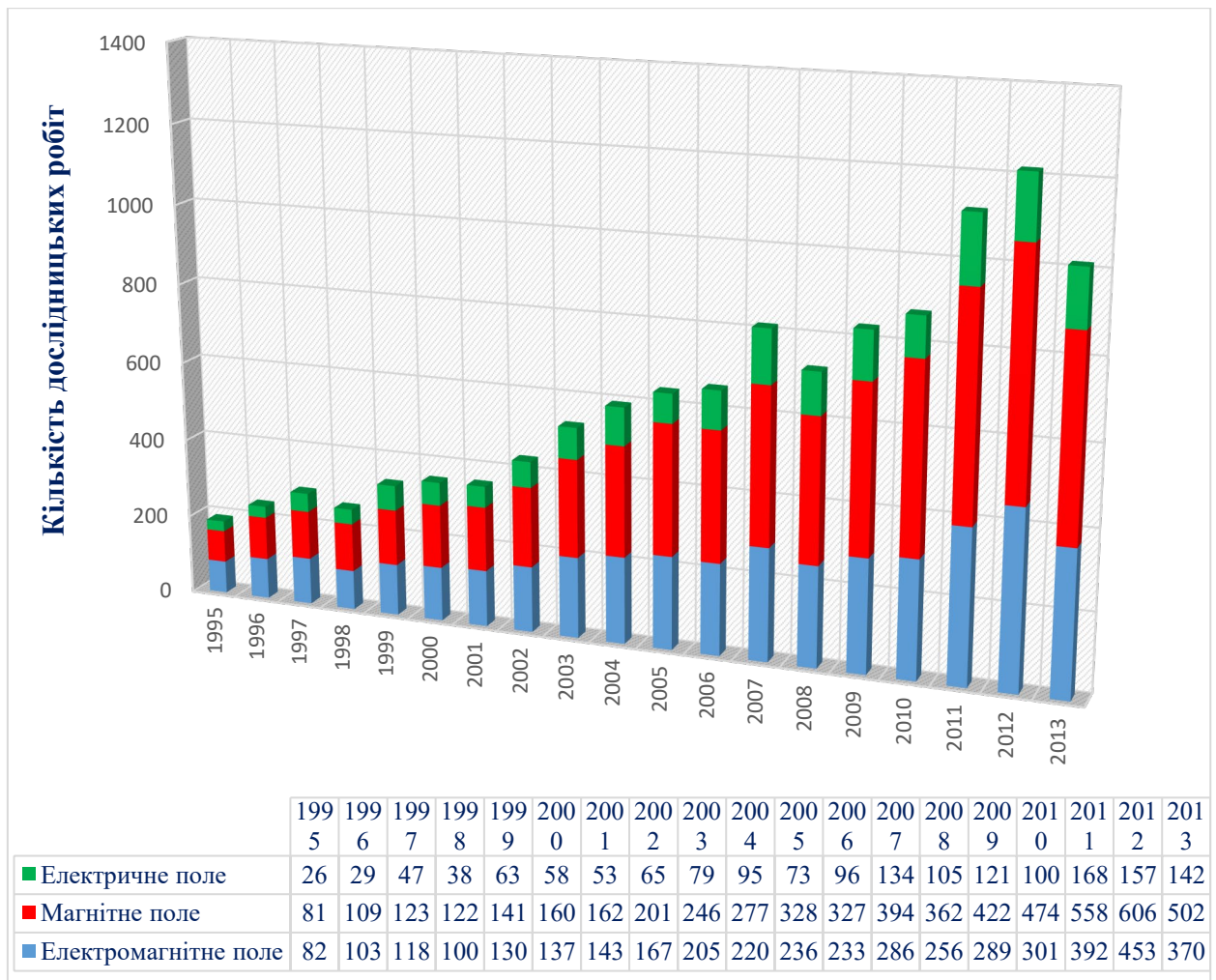


Рис. 1.1. Діаграма, що показує кількість наукових робіт, присвячених впливу електромагнітного випромінювання на довкілля, опублікованих щороку в період 1995-2013 років за даними бази Science Direct [48]

Діаграма демонструє сталу тенденцію до зростання кількості наукових публікацій і досліджень, присвячених цій темі. Це свідчить про підвищений інтерес науковців до електромагнітного випромінювання та його впливу на

довкілля, здоров'я людини й живі організми. На жаль, подібні узагальнені аналізи більше не здійснювалися.

«Електромагнітний смог» – забруднення простору, у якому живе людина, неіонізуючим випромінюванням, що створюється різними пристроями, які працюють, передають або генерують електромагнітну енергію. Воно виникає через технічні недоліки обладнання або його неправильне використання. Сам термін був запроваджений ВООЗ [8].

Електромагнітний смог поділяють на два основні типи:

- зовнішній (вуличний) смог;
- внутрішній (у приміщеннях), що утворюється від освітлення, побутової техніки та інших побутових приладів.

Електромагнітне забруднення на відкритих територіях може виникати від різних джерел: передавальних радіотехнічних об'єктів, високовольтних ЛЕП, неонові та іншої світлової реклами, ліній електротранспорту, електрифікованих залізниць. Для формування високих рівнів електромагнітного поля на великих відкритих площах зазвичай потрібні дуже потужні установки. Однак ситуація змінюється, коли джерело випромінювання – це антена, що має вузько спрямовану дію та високу енергію: у такому випадку навіть менш потужний пристрій може створювати значні рівні випромінювання в конкретному напрямку.

Головними джерелами електромагнітних полів на відкритих просторах залишаються телекомунікаційні радіотехнічні системи та лінії електропередач. Це пояснюється тим, що випромінювання ЕМП є невід'ємною частиною роботи будь-якого радіоканалу. Обладнання для радіозв'язку, радіомовлення й телебачення зазвичай розміщують по території рівномірно, щоб забезпечити достатню інтенсивність електромагнітного поля в зонах, де перебувають люди.

Історично так склалося, що розташування випромінюючих технічних засобів здійснювалося переважно з огляду на зручність експлуатації, а екологічні наслідки при цьому майже не враховувалися. Через це в умовах

міської забудови високі рівні електромагнітного поля впливають не лише на персонал, який обслуговує ці прилади, а й на мешканців прилеглих територій.

Неминучість впливу електромагнітного випромінювання на людей і живу природу є своєрідною платою за сучасний технічний прогрес. Це зумовлено не лише збільшенням кількості джерел ЕМВ, а й розширенням сфер їхнього використання.

Численні експериментальні дослідження показують, що електромагнітні випромінювання (ЕМВ) мають високу біологічну активність у всіх частотних діапазонах. Їх інтенсивність значно перевищує природний рівень, який сформувався в процесі еволюції біосистем під впливом природних випромінювань. Всі техногенні діапазони ЕМВ здатні істотно впливати на здоров'я людей і стан навколишнього середовища. Особливо небезпечним є те, що наслідки їх дії можуть проявлятися через тривалий час і негативно позначатися на імунній системі та генетичній стабільності наступних поколінь. Магнітна складова електромагнітного поля вважається особливо шкідливою для здоров'я людини.

Проблема біологічного впливу електромагнітних полів набуває все більшого значення для міжнародних організацій і державних структур. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) визнала вплив електромагнітного випромінювання на живі організми пріоритетним напрямком і ввела поняття «глобальне електромагнітне забруднення середовища». Воно описує постійне зростання рівня «радіофону» – сукупного ефекту всіх джерел випромінювання на Землі.

В Україні головним критерієм для санітарно-епідеміологічного регулювання впливу електромагнітного поля (ЕМП) є встановлений рівень безпеки для людини. Він визначається як інтенсивність поля, при якій не виникають навіть тимчасові порушення роботи органів і не створюється додаткове навантаження на захисні механізми організму.

1.2. Особливості та специфічні властивості електромагнітного випромінювання

Електромагнітне випромінювання є специфічною формою матерії, що проявляє одночасно електричні та магнітні властивості. Будь-яка система, яка генерує, передає або споживає електричну енергію, неминуче створює електромагнітне випромінювання, яке поширюється як усередині, так і поза джерелом у вигляді електромагнітного поля (ЕМП).

Електромагнітне поле (ЕМП) представляє собою взаємопов'язану структуру електричного та магнітного полів. Змінне у часі електричне поле, що виникає через рух електричних зарядів, породжує магнітне поле, яке, у свою чергу, при зміні створює вихрове електричне поле. Під дією цих взаємодіючих компонентів відбувається безперервне збурення, що спричиняє прискорення рухомих частинок.

Отже, електромагнітне випромінювання (електромагнітні хвилі) являє собою розповсюджене в просторі збурення електромагнітного поля, тобто взаємодії електричного та магнітного полів [11]. Серед усіх електромагнітних полів, що виникають через наявність і рух електричних зарядів, до випромінювання відносять ту частину змінних полів, яка здатна поширюватися на великі відстані від джерела і затухає при цьому найповільніше.

Формування електромагнітного поля (ЕМП) залежно від відстані від джерела відбувається у дві стадії. На першій стадії поле перебуває у так званій зоні індукції, де воно має переважно статичні властивості, а магнітна складова менша за електричну. Через це інтенсивність ЕМП у цій зоні оцінюють за електричною напруженістю поля E (В/м). При подальшому збільшенні інтенсивності, що відповідає прискоренню руху заряджених частинок, ЕМП переходить у зону електромагнітної хвилі, де формується випромінювання. У цій зоні обидві складові – електрична та магнітна – виражені рівномірно, тому

поле оцінюють за поверхневою щільністю потоку енергії, Вт/м^2 ($1 \text{ Вт/м}^2 = 0,1 \text{ мВт/см}^2 = 100 \text{ мкВт/см}^2$).

Окрім основних характеристик електромагнітного поля – електричної напруженості та щільності потоку енергії, його властивості можна більш детально охарактеризувати через магнітну індукцію та напруженість магнітного поля [11].

Магнітна індукція B описує силу дії магнітного поля на рухомий заряд або на провідник з електричним струмом. Вона дозволяє оцінити, наскільки інтенсивно магнітне поле може впливати на фізичні процеси всередині матеріалів і біологічних об'єктів. Високі значення магнітної індукції свідчать про потужний магнітний ефект, який може призводити до змін у роботі електронних приладів або навіть у фізіологічних процесах живих організмів. Одиницею вимірювання магнітної індукції є Тесла (Тл), що є стандартною величиною у Міжнародній системі одиниць (СІ).

Напруженість магнітного поля H відображає здатність джерела створювати магнітне поле в просторі й визначає силу, з якою це поле діє на рухомі заряди. Вона широко використовується при розрахунках електромагнітних систем, а також при оцінці безпечних рівнів впливу ЕМП на людину. Напруженість вимірюється в ерстедах (Е) або амперах на метр (А/м) у СІ. Важливо відзначити, що існує точна залежність між цими одиницями: $1 \text{ Е} \approx 79,5775 \text{ А/м}$, а $1 \text{ А/м} \approx 0,01256637 \text{ Е}$, що дозволяє проводити перерахунки та порівняння вимірювань у різних системах одиниць.

Таким чином, комплексна оцінка ЕМП з урахуванням електричної та магнітної складових дає можливість точніше прогнозувати його вплив на технічні системи та живі організми, що особливо важливо для безпеки та екології сучасного середовища.

- Основними параметрами електромагнітного випромінювання як хвилі є:
- довжина хвилі λ (м), яка визначає відстань між послідовними фазами коливань;

- частота коливань f (Гц), що показує, скільки коливань відбувається за одиницю часу;
- поляризація, яка характеризує напрям коливання електричного вектору в хвилі.

Ці параметри визначають основні фізичні властивості електромагнітної хвилі, її поведінку в середовищі та взаємодію з матеріалами й біологічними об'єктами (рис. 1.2).

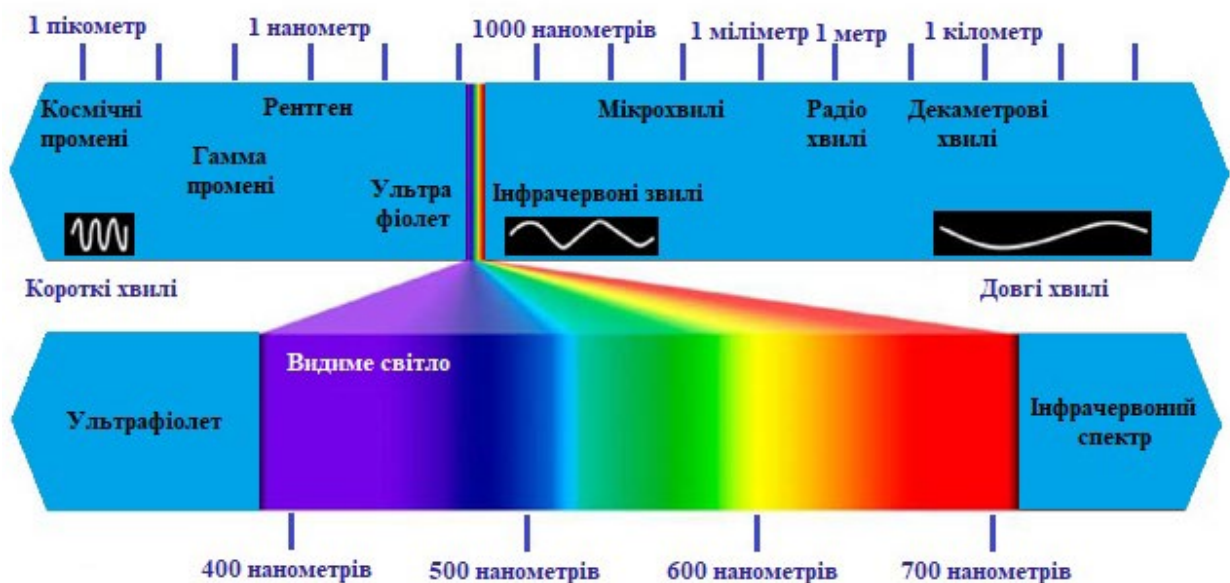


Рис. 1.2. Основні характеристики електромагнітної хвилі

Довжина хвилі електромагнітного випромінювання прямо пов'язана з його частотою через групову швидкість поширення. У вакуумі групова швидкість дорівнює швидкості світла, тоді як у інших середовищах вона зменшується. Фазова швидкість хвилі у вакуумі також збігається зі швидкістю світла, але в різних середовищах може бути як меншою, так і більшою за швидкість світла [11].

Електромагнітне випромінювання зазвичай класифікують за частотними діапазонами (табл. 1.1) [33]. Між діапазонами немає чітких меж, вони часто частково перекриваються, тому їхні кордони умовні. Оскільки швидкість

поширення хвилі у вакуумі є сталою, частота коливань випромінювання безпосередньо пов'язана з його довжиною хвилі.

Таблиця 1.1.

Таблиця 1.1 – Класифікація електромагнітних хвиль за частотними діапазонами [33]

№ п/п	Назва діапазону	Довжина хвилі $\lambda (\lambda \rightarrow \infty)$	Частота $\lambda (\lambda \rightarrow \infty)$
1.	Наддовгі хвилі	10^2 м	30 кГц
2.	Кілометрові хвилі	10^3 м	300 кГц
3.	Гектометрові хвилі	10^2 м	3 МГц
4.	Декаметрові хвилі	10 м	30 МГц
5.	Метрові хвилі	1 м	300 МГц
6.	Дециметрові хвилі	0,1 м	3 ГГц
7.	Сантиметрові хвилі	10^{-2} м	30 ГГц
8.	Міліметрові хвилі	10^{-3} м	300 ГГц
9.	Субміліметрові хвилі	10^{-4} м	3000 ГГц
10.	ІЧ-випромінювання	10^{-4} м – $0,76 \cdot 10^{-6}$ м	$4,3 \cdot 10^{14}$ Гц
11.	Видимий діапазон	$0,76 \cdot 10^{-6}$ – $0,38 \cdot 10^{-6}$ м	$7,5 \cdot 10^{14}$ Гц
12.	УФ-випромінювання	$0,38 \cdot 10^{-6}$ – 10^{-8} м	$3 \cdot 10^{16}$ Гц
13.	Рентгенівський діапазон	10^{-8} – 10^{-11} м	$3 \cdot 10^{19}$ Гц
14.	γ -випромінювання	10^{-11} – 10^{-13} м	$3 \cdot 10^{21}$ Гц
15.	Космічне випромінювання	$\lambda \rightarrow 0$	$\lambda \rightarrow 0$

Деякі характерні властивості електромагнітних хвиль, розглянуті з позицій теорії коливань та електродинаміки, полягають у такому:

– у вакуумі електромагнітна хвиля описується трьома взаємно перпендикулярними векторами: хвильовим вектором, що визначає напрямок її поширення, а також векторами електричної напруженості E та магнітної напруженості H , які формують просторову структуру ЕМП;

– електромагнітні хвилі належать до поперечних хвиль: їхні електрична та магнітна складові здійснюють коливання під прямим кутом до напрямку поширення хвилі. На відміну від механічних хвиль у воді чи звукових хвиль у повітрі, вони не потребують матеріального середовища і здатні поширюватися

навіть у вакуумі, що забезпечує передачу енергії й інформації на значні відстані.

1.3. Огляд основних джерел електромагнітного випромінювання (ЕМВ)

З часів свого існування Земля зазнавала впливу електромагнітного випромінювання Сонця та космосу, що спричиняло складні та взаємопов'язані процеси в магнітосфері планети, які безпосередньо впливали на живі організми біосфери. Особливо інтенсивний електромагнітний фон спостерігається в районах із високим рівнем наукоємної промисловості.

З часів свого існування Земля зазнавала впливу електромагнітного випромінювання Сонця та космосу, що спричиняло складні та взаємопов'язані процеси в магнітосфері планети, які безпосередньо впливали на живі організми біосфери. На сьогодні особливо інтенсивний ріст електромагнітного фону спостерігається в районах із високим рівнем наукоємної промисловості.

До основних джерел електромагнітного випромінювання антропогенного походження належать телевізійні та радіолокаційні станції, потужні радіотехнічні установки, промислове техногенне обладнання, високовольтні лінії електропередач, термічні цехи, плазмові, лазерні та рентгенівські пристрої, а також атомні та ядерні реактори. Окрім цього, існують спеціалізовані техногенні джерела електромагнітних та інших фізичних полів. Спектральна інтенсивність деяких таких джерел може значно відрізнятись від природного електромагнітного фону, до якого біосистема вже адаптована.

В епоху науково-технічного прогресу людина створює та все активніше використовує штучні (антропогенні) джерела електромагнітного випромінювання. Сьогодні їхній біологічний вплив, який значно перевищує природний фон, є одним із несприятливих факторів, що щороку дедалі сильніше впливає на здоров'я людини та стан навколишнього середовища [14].

Техногенні джерела електромагнітних полів умовно поділяють на такі основні категорії:

– системи генерації, транспортування, розподілу та споживання електричної енергії постійного та змінного струму в діапазоні 0-3 кГц: електростанції, лінії електропередач (ЛЕП), трансформаторні підстанції, мережі електропостачання, побутове електрообладнання;

– функціональні радіотехнічні передавачі, серед яких: радіомовні станції низьких (30-300 кГц), середніх (0,3-3 МГц), високих (3-30 МГц) та надвисоких частот (30-300 МГц); телевізійні передавальні центри; базові станції мобільного та іншого рухомого радіозв'язку; наземні комплекси супутникового зв'язку; радіорелейні й радіолокаційні системи, а також інші об'єкти, що генерують, транспортують або використовують електромагнітну енергію;

– електротранспорт (0-3 кГц): залізничні системи та їх інфраструктура, міський електротранспорт (метрополітен, тролейбуси, трамваї тощо), які виступають інтенсивними джерелами магнітних полів у низькочастотному діапазоні до 1000 Гц [14].

Окремі типи техногенних джерел електромагнітних випромінювань доцільно розглянути детальніше.

1. Лінії електропередач – провідники діючих ліній електропередачі (ЛЕП) формують у прилеглому просторі електричне та магнітне поля промислової частоти. Ці поля поширюються на значні відстані – зазвичай до кількох десятків метрів від проводів.

Розміри зони впливу електричного поля визначаються класом напруги ЛЕП (наприклад, ЛЕП-110 кВ). Чим вищий клас напруги, тим більшою є протяжність зони підвищеного рівня електричного поля. При цьому геометричні розміри зони залишаються сталими протягом усього періоду експлуатації лінії.

Дальність поширення магнітного поля визначається величиною струму, що протікає по проводах, тобто фактичним навантаженням лінії. Оскільки

навантаження ЛЕП може багаторазово змінюватися як протягом доби, так і в різні пори року, межі зони підвищеного рівня магнітного поля також є змінними.

Натомість санітарно-захисні зони для діючих ліній електропередачі встановлюються за критерієм напруженості електричного поля зі значенням 1 кВ/м [24].

Електромагнітне поле (ЕМП) описується такими основними параметрами, як напруженість (В/м) та густина потоку енергії (Вт/м²), тоді як електромагнітні хвилі, що виникають у цьому полі, характеризуються частотою коливань (Гц). Змінний струм промислової частоти 50 Гц передається лініями електропередачі (ЛЕП), які можуть працювати на напругах 330, 500, 750 та 1150 кВ. Високовольтні лінії нерідко проходять поблизу житлової забудови або навіть перетинають її [24].

Для зменшення впливу електромагнітного поля, що створюється ЛЕП, на населення по обидва боки траси встановлюються санітарно-захисні зони (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Таблиця 1.2. – Межі санітарно-захисних зон для ліній електропередач по обидва боки траси

Напруга у мережі ЛЕП, кВ	Розміри ССЗ від осі лінії електропередач, м
110	10
330	20
500	30
750	40

У районах проходження високовольтних ліній напруженість електромагнітного поля (ЕМП) може досягати від кількох тисяч до декількох десятків тисяч В/м. Проте електромагнітні хвилі цього діапазону ефективно поглинаються ґрунтом, тому на відстані 50-100 м від лінії напруженість поля знижується до кількох сотень або навіть десятків В/м. Максимальні значення ЕМП спостерігаються в місцях найбільшого провисання проводів.

Природні та штучні перешкоди, такі як дерева, високі чагарники та будівельні конструкції, значно впливають на розподіл поля, створюючи ефект екранування. Рельєф місцевості також впливає на рівень напруженості: підвищення поверхні наближає проводи до землі та збільшує ЕМП, тоді як пониження місцевості зменшує його інтенсивність.

Для захисту населення від електромагнітного поля високої частоти джерела радіохвильового випромінювання, такі як радіостанції, телецентри та ретранслятори потужністю понад 100 кВт, повинні розташовуватися поза межами населених пунктів. Якщо їх розміщення в межах міста неминуче, навколо джерела обов'язково створюється санітарно-захисна зона (СЗЗ), що включає:

- зону суворого режиму, у межах якої розташовується джерело випромінювання. Ця зона повинна бути огорожена та охоронятися. На її зовнішній межі напруженість ЕМП не повинна перевищувати 20 В/м;

- зону обмеженого користування, на межі якої напруженість ЕМП не повинна перевищувати 2 В/м.

У межах СЗЗ забороняється розміщення житлових будинків. Розміри таких зон визначаються розрахунковим методом і зазвичай становлять від кількох сотень метрів до 1-2 км.

Зі зростанням частоти випромінювання, тобто зі зменшенням довжини хвилі, біологічний ефект ЕМП посилюється. Так, електромагнітні хвилі довгих хвиль мають менш виражену біологічну дію порівняно з короткими та ультракороткими хвилями.

Дослідження свідчать, що вплив електромагнітних полів низьких частот на організм людини проявляється у порушенні функціонування низки фізіологічних систем та процесів, зокрема:

- нервової та ендокринної систем;
- репродуктивної функції обох статей;
- серцево-судинної системи;
- морфологічного складу крові;

– обміну речовин [27].

2. Мобільний зв'язок – сучасна система стільникового зв'язку функціонує в діапазоні електромагнітних хвиль від 450 до 2100 МГц, який відноситься до неіонізуючого випромінювання та не спричиняє іонізаційного впливу на організм людини.

Біологічний ефект ЕМП визначається рядом факторів: відстанню абонента до базової станції, тривалістю та частотою впливу (наприклад, під час телефонних розмов), початковим станом організму (вік, стать, стан здоров'я, індивідуальна чутливість) та розподілом енергії в біологічних тканинах (тип тканини, глибина проникнення ЕМП).

Таким чином, на характер та інтенсивність безпосередньої реакції організму, а також на її наслідки – виникнення патологічних змін або компенсацію негативного впливу за рахунок внутрішніх резервів - впливає не один, а низка факторів.

Джерелами електромагнітного випромінювання в системі стільникового зв'язку є як мобільні телефони, так і базові станції. Базові станції забезпечують радіозв'язок із мобільними пристроями, через що вони разом із телефонами стають джерелами електромагнітного випромінювання в ультракороткохвильовому (УВЧ) діапазоні.

Принцип дії різних джерел ЕМП на організм людини відрізняється. Особливістю мобільного телефону як джерела електромагнітного випромінювання є його безпосереднє наближення до голови користувача на відстань 2-5 см у неконтрольованих умовах. Вплив ЕМП поширюється на головний мозок, периферичні рецепторні зони вестибулярного та слухового аналізаторів, а також на сітківку ока. Крім того, електромагнітне випромінювання мобільного телефону може частково впливати на людей, що перебувають поруч із користувачем під час телефонної розмови.

Електромагнітні поля, що генеруються базовими станціями, мають імпульсний характер і залежать від часу доби, рівня насиченості покриття та кількості станцій у зоні зв'язку. Саме базові станції забезпечують покриття

всієї території дії стільникового зв'язку техногенним електромагнітним полем. На жаль, їхнє розташування часто збігається з місцями постійного перебування людей, що призводить до цілодобового впливу низькоінтенсивного електромагнітного поля радіочастотного діапазону на організм.

Система стільникового радіозв'язку характеризується високою ефективністю використання виділеного радіочастотного спектру завдяки повторному використанню однакових частот і застосуванню різних методів доступу, що дозволяє обслуговувати значну кількість абонентів. Принцип функціонування системи передбачає поділ території на окремі зони – «соти» – з радіусом, що зазвичай коливається від 0,5 до 10 км.

Базові станції є різновидом передавальних радіотехнічних об'єктів, потужність випромінювання яких змінюється протягом доби. Інтенсивність випромінювання визначається наявністю користувачів мобільного зв'язку в зоні обслуговування конкретної станції та їхньою активністю, що залежить від часу доби, місця розташування станції, дня тижня та інших факторів. У нічні години навантаження базових станцій практично знижується до нуля.

3. Радіопередавальні центри – радіостанції можуть розміщуватися по-різному: у великих містах їх нерідко встановлюють поблизу житлових кварталів або навіть серед забудови. У зонах розташування таких об'єктів, а подекуди й за їх межами, фіксують підвищені рівні електромагнітного поля від передавачів різних частот, особливо високих. Проведені дослідження електромагнітної ситуації на територіях радіоцентрів демонструють її значну складність, що зумовлена унікальними особливостями інтенсивності та просторового розподілу ЕМП для кожного конкретного об'єкта.

У структурі джерел електромагнітного випромінювання, що діють у населених пунктах, значну частку становлять радіотехнічні передавальні центри. Саме вони формують у навколишньому середовищі поля НВЧ та УВЧ-діапазонів, які можуть охоплювати великі площі. За типами передавачів можна

простежити істотні відмінності у характеристиках випромінювання, пов'язані як з діапазоном частот, так і з потужністю обладнання та відстанню до антени.

Сучасні радіостанції довгих, середніх та коротких хвиль майже не застосовуються, тому їх детальний розгляд зараз неактуальний. Натомість УКВ-діапазон широко використовується сьогодні, тож зосередимо увагу саме на ньому.

Ультракоткохвильові радіостанції (УКХ, VHF) – частоти 30-300 МГц. Передавачі цього діапазону широко використовуються для FM-радіомовлення, телебачення та різноманітних службових радіозв'язків. Характерною рисою УКХ-випромінювання є відносно невелика довжина хвилі (1-10 м), що забезпечує переважно прямолінійне поширення сигналу та високу здатність до проникнення у міську забудову. УКХ-передавачі часто розміщуються на щоглах зв'язку, телевежах, дахах багатопверхових будинків або спеціальних щоглах висотою від десятків до сотень метрів. Залежно від потужності передавача (яка для FM-радіостанцій може досягати десятків і навіть сотень кіловат) рівні електромагнітного поля на близьких відстанях можуть бути досить високими. Наприклад, для FM-передавача потужністю 10-20 кВт на відстані 50-100 м напруженість електричного поля може становити десятки вольт на метр. Через високе розташування антен зони підвищених рівнів ЕМП часто формуються не біля основи опори, а на деякій відстані від неї, у межах «пелюстки» діаграми спрямованості, що потребує детального аналізу під час оцінки електромагнітної обстановки в містах.

4. Телевізійні передавачі – телевізійні передавальні центри найчастіше розміщуються в межах міста, а їхні антени встановлюють на значній висоті – зазвичай понад 110 м. З позиції гігієнічної оцінки найбільший інтерес становлять рівні електромагнітного поля на відстанях від кількох десятків метрів до кількох кілометрів від об'єкта. Для потужного передавача (близько 1 МВт) характерні показники напруженості електричного поля можуть досягати близько 15 В/м на дистанції близько 1 км. В Україні питання контролю та аналізу ЕМП телевізійних станцій набуло особливої важливості

через стрімке збільшення кількості телеканалів і відповідних передавальних комплексів [21].

5. Супутниковий зв'язок – супутникові системи зв'язку формуються із наземної приймально-передавальної станції та супутника, який перебуває на орбіті. Поблизу антени інтенсивність електромагнітного випромінювання може сягати кількох сотень Вт/м². Наприклад, станція потужністю 225 кВт, що працює на частоті 2,38 ГГц, формує на відстані близько 100 км потік випромінювання на рівні близько 2,8 Вт/м². Водночас розсіювання енергії поза межами основного променя є мінімальним і найбільш помітне лише в безпосередній зоні розташування антени.

6. Радари – радіолокаційні комплекси функціонують переважно в діапазоні частот 500 МГц -15 ГГц, хоча окремі їх різновиди можуть працювати й на частотах до 100 ГГц. Електромагнітні сигнали, які вони генерують, істотно відрізняються від випромінювання інших техногенних джерел. Це зумовлено періодичним переміщенням антени у просторі, що спричиняє нерівномірність та фрагментарність (уривчастість) просторового опромінення.

7. Електротранспорт – транспортні засоби, що працюють на електроприводі, також формують суттєві електромагнітні випромінювання у діапазоні частот 0-100 Гц. У вагонах приміських електропоїздів максимальні рівні магнітної індукції можуть досягати близько 75 мкТл, тоді як середні значення становлять приблизно 20 мкТл.

Внесок автомобільного транспорту у загальний електромагнітний фон міського середовища безпосередньо корелює зі зростанням кількості транспортних засобів на вулично-дорожній мережі. На сьогодні частка ЕМВ, що продукується автомобільним рухом у містах, становить орієнтовно 18-32 % і має тенденцію до подальшого зростання. Це обумовлено збільшенням транспортної щільності на обмежених міських просторах, що особливо характерно для історично сформованих міських територій зі щільною забудовою та недостатньою пропускнуною спроможністю вулиць.

Існує також низка техногенних джерел електромагнітних полів, призначених не для радіо-, телекомунікаційних потреб чи передачі енергії. У промисловості, наукових дослідженнях та медичній практиці використовується спеціалізоване обладнання, що забезпечує генерацію, спрямування та локалізацію електромагнітної енергії в обмежених робочих зонах з метою отримання визначених фізичних, хімічних та біологічних ефектів, корисних для людини.

Через конструктивні обмеження та технічні недосконалості завжди відбувається витік електромагнітної енергії від зазначеного обладнання. Кожен генератор функціонує як джерело ЕМП і може спричиняти потенційно шкідливі ефекти, інтенсивність яких визначається рівнем випромінювання. За оцінками, загальна кількість промислових, наукових та медичних установок, що генерують ЕМП, у світі сягає кількох сотень мільйонів одиниць, і щорічно їх кількість зростає.

Особливістю електромагнітного забруднення в міських умовах є його багаточастотний та багатофакторний характер, коли на окрему ділянку міської території одночасно впливають декілька джерел випромінювання, що відрізняються частотою, інтенсивністю та розташуванням [21].

Підсумовуючи викладене, слід зазначити, що сучасний розвиток технічних засобів, що випромінюють електромагнітну енергію, супроводжується трьома стабільними тенденціями, які обумовлюють необхідність посиленої уваги до проблеми електромагнітного забруднення:

- перша тенденція – зростання числа джерел електромагнітного випромінювання внаслідок технічного освоєння та більш інтенсивного використання частотних діапазонів, розширення мереж радіозв'язку й радіомовлення, збільшення кількості телевізійних каналів та інших служб;
- друга тенденція – підвищення енергетичного потенціалу технічних засобів через збільшення потужності приладів і передавачів, зростання ефективності передавальних антен телекомунікаційних систем та їх територіальну концентрацію, особливо в міських умовах;

– третя тенденція – поширення складної електронної побутової техніки, персональних і портативних комп'ютерів, мобільних пристроїв, що працюють за різними стандартами бездротового зв'язку (Wi-Fi, Wi-Max, 4G, 5G) та інших сучасних технологічних рішень для передачі інформації.

Випромінюючі технічні засоби та об'єкти часто розташовуються на дахах житлових будинків або в безпосередній близькості до зон масового скупчення людей без проведення попереднього аналізу існуючого електромагнітного фону та без прогнозування впливу нових джерел ЕМП. Зазвичай для встановлення антен використовуються традиційно зручні місця з точки зору обслуговування – щогли, вежі, висотні будівлі тощо.

Висновок до 1 розділу:

1. Проблема впливу електромагнітного забруднення на живі організми дедалі більше привертає увагу науковців у всьому світі. Проте наразі відсутні остаточні відповіді на питання щодо негативного впливу ЕМП на живі системи. Існують значні прогалини у знаннях про біологічні ефекти електромагнітного забруднення, що вимагає проведення подальших ґрунтовних досліджень.

2. Внаслідок індустріалізації, урбанізації та розвитку сучасних технологій навколишнє середовище піддається електромагнітному забрудненню. Джерела такого забруднення стають дедалі більш різноманітними та потужними, що викликає занепокоєння щодо впливу на здоров'я людини та екологічну безпеку майбутніх поколінь.

3. Найбільший негативний вплив на навколишнє середовище чинять ЛЕП і джерела радіохвильового випромінювання, які формують багаточастотне електромагнітне забруднення, особливо в міських зонах.

РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПОЛЯ: МІСЬКЕ СЕРЕДОВИЩЕ, БІОТА І ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

2.1. Вимірювання та аналіз електромагнітного забруднення в центральній частині міста Луцьк

У сучасних умовах інтенсивного розвитку телекомунікаційного сектору зростає не лише кількість джерел електромагнітного випромінювання, а й їхня потужність та щільність розташування, особливо в міських агломераціях. Це створює комплексну ситуацію електромагнітного забруднення, коли на певній території одночасно діють численні джерела з різними частотами, інтенсивністю та режимами роботи. Наслідком цього може бути накопичувальний вплив на екосистеми, який проявляється у зміні біоритмів живих організмів, порушенні їхніх фізіологічних процесів, а також у потенційному впливі на здоров'я людини. Тому оцінка впливу електромагнітних полів повинна бути комплексною, з урахуванням як технічних характеристик джерел, так і екологічних та соціальних аспектів, що дозволяє розробляти ефективні санітарні норми, захисні заходи та стратегії моніторингу електромагнітного забруднення.

Електромагнітне середовище міських територій стає все більш складним і насиченим. Окрім традиційних передавачів, тут функціонують мережі мобільного зв'язку різних поколінь, радіорелейні лінії та бездротові комунікаційні системи, сумарне випромінювання яких створює явище, відоме як «електросмог».

На даху будівлі за адресою вул. Словацького, 12 у м. Луцьк розташовані антени Волинської регіональної дирекції Національної телекомпанії України. Радіо- та телевізійні хвилі, що випромінюються цими антенами, належать до діапазону неіонізуючого випромінювання, який за сучасними дослідженнями вважається відносно безпечним для людини за умови дотримання встановлених нормативів інтенсивності. У зв'язку з цим,

їхній вплив на здоров'я населення не розглядатиметься у даній роботі. Водночас слід зазначити, що хоча рівні випромінювання не перевищують допустимих значень, накопичувальний ефект електромагнітного поля у міських умовах залишається об'єктом уваги науковців, особливо з урахуванням щільної забудови, сусідства з іншими джерелами ЕМВ та потенційної взаємодії різних частотних діапазонів у «електросмозі» міського середовища.

Одним із найпотужніших джерел магнітного поля промислової частоти є повітряні лінії електропередач, поблизу яких нерідко розташовані житлові будинки та офісні приміщення. Особи, що постійно проживають або працюють у таких зонах, піддаються впливу магнітного поля. Актуальність оцінки та аналізу густини магнітного потоку повітряних ЛЕП зростає, оскільки магнітні поля промислової частоти можуть чинити негативний вплив на здоров'я людини.

У розвинених країнах, таких як США, Канада, Франція, Швеція та інші, діють суворі нормативи щодо максимально допустимого рівня щільності магнітного потоку промислової частоти. Контроль здійснюється як у будівлях, так і на відкритих територіях поблизу повітряних та кабельних ліній електропередач, а також на території підстанцій і навколо них. Медичні дослідження свідчать, що магнітне поле впливає на живі організми на клітинному рівні, і тривалий вплив навіть слабких полів може спричинити різноманітні проблеми зі здоров'ям [44]. Згідно з рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я, щільність магнітного потоку в межах 0,2-0,4 мкТл вважається безпечною для тривалого впливу на людей.

Експериментальні вимірювання, проведені за допомогою тривісного магнітометра TENMARS TM-192D (Див. рис.2.1.), дозволяють визначити не лише абсолютні значення магнітної індукції в різних точках міста, але й просторовий розподіл магнітного поля у центральних районах Луцька. Це дає можливість оцінити вплив магнітного поля промислової частоти на населення, виявити зони підвищеного рівня магнітного забруднення та порівняти

отримані дані з нормативними значеннями безпеки. Також результати вимірювань дозволяють простежити залежність щільності магнітного потоку від відстані до джерел випромінювання - підстанцій та ЛЕП, а також врахувати вплив міської забудови, рельєфу та наявності інженерних споруд на розподіл магнітного поля. Пристрій також дає змогу фіксувати найвищі та найнижчі значення, затримувати показники на екрані та зберігати дані для подальшого опрацювання.

За допомогою вищевказаного магнітометра нами було проведено експериментальні вимірювання магнітної індукції у декількох ключових точках: поблизу підстанції 110/10 кВ у районі Центрального ринку м. Луцьк, вздовж повітряних ліній електропередачі напругою 110 кВ, що живлять цю підстанцію, а також по основних тротуарах центральної частини міста для оцінки щільності магнітного потоку.



Рис. 2.1. Зовнішній вигляд магнітометра TENMARS TM-192D

Відповідно до методики вимірювань, контроль щільності потоку енергії здійснювався на висоті 1,8 м від земної поверхні.

Слід зауважити, що вимірювання електромагнітних полів повітряних ліній електропередач проводилися протягом дня з інтервалом у 2 години на відстанях 10, 50 та 100 метрів від лінії.

Вибір відстані 100 м для дослідження не випадковий: саме на цій відстані від ЛЕП та електропідстанції концентрація електромагнітного поля залишається достатньо високою, щоб потенційно впливати на людей, які перебувають у будівлях ринку або пересуваються його територією. Це дає можливість оцінити реальний рівень магнітного навантаження на організм людини у повсякденних умовах. Аналіз отриманих даних дозволяє виявити пікові значення індукції та щільності потоку, визначити часи найбільшого навантаження протягом дня, а також просторові відмінності впливу ЕМП залежно від відстані від джерела. Такий підхід дозволяє зробити висновки про потенційний ризик для здоров'я працівників та відвідувачів, а також може слугувати підґрунтям для розробки рекомендацій щодо розміщення об'єктів і організації санітарно-захисних зон (Табл.2.1.).

Таблиця 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати вимірювання щільності магнітного поля ЛЕП у районі Центрального ринку м. Луцьк (мкТл)

Відстань, м	Години проведення досліджень							
	8-00	10-00	12-00	14-00	16-00	18-00	20-00	22-00
10	0,575	0,492	0,451	0,455	0,472	0,504	0,583	0,465
50	0,16	0,137	0,125	0,131	0,131	0,138	0,154	0,13
100	0,079	0,068	0,063	0,063	0,063	0,07	0,081	0,064

Аналіз результатів вимірювань показує, що на відстані 50 м від ЛЕП щільність магнітного потоку вже знаходиться в межах безпечного рівня для тривалого впливу на людину і становить 0,125-0,16 мкТл. У той же час на відстані 10 м від лінії, тобто на межі санітарно-захисної зони, при існуючому або перспективному навантаженні (струм однієї фази 195 А або 390 А у разі однофазного режиму) щільність магнітного потоку може перевищувати нормативне значення 0,5 мкТл вдвічі. Найбільш високі показники спостерігаються під час роботи лінії в однофазному режимі при перспективному навантаженні.

Це означає, що безпосереднє наближення до ліній електропередач, особливо в межах санітарно-захисної зони, може створювати потенційно небезпечні умови для людей, що там перебувають.

У перспективі, під час проектування багатофункціонального туристичного комплексу на території Центрального ринку в м. Луцьку – який передбачає поєднання сучасного ринку, магазинів, ресторанів, кафе, громадських зон та удосконаленої інфраструктури – доцільно врахувати результати проведеного нами дослідження. Це дозволить правильно розташувати об'єкти відносно зон впливу ЛЕП і мінімізувати вплив магнітного поля на працівників та відвідувачів.

Системи розподілу електроенергії та внутрішньобудинкові мережі (за винятком нещодавно побудованих об'єктів) зазвичай не розраховані на живлення нелінійних споживачів електроенергії. В результаті сучасні малопотужні імпульсні джерела живлення та енергозберігаючі світильники формують некомпенсовані струми з частотою 150 Гц і вище, що створює магнітні поля високого рівня. Крім того, джерелами сильних електричних та магнітних полів є старі повітряні лінії електропередач, у яких через зношеність ізоляторів, надмірне провисання проводів і корозію опор зростає електромагнітне забруднення.

За допомогою раніше згаданого приладу було проведено додаткове дослідження з метою картографування та статистичного аналізу розподілу магнітного поля вздовж тротуарів у центральній частині міста Луцьк. Досліджувана територія охоплює приблизно один квадратний кілометр і включає численні магазини, ресторани та офіси. Це одна з найбільш відвідуваних відкритих зон міста, що зумовило її вибір для дослідження. Вимірювання виконувалися у денний час робочого дня для відображення реальної інтенсивності магнітного поля під час максимальної активності населення.

Вимірювання здійснювалися виключно на відкритих територіях, причому дані фіксувалися лише на звичайних та пішохідних вулицях; дворові території, парки та інші зелені зони у дослідження не включалися.

В Україні частота електропостачання становить 50 Гц. Вимірювання виконувалися на висоті приблизно одного метра над поверхнею землі, відбір зразків здійснювався через кожні два метри під час рівномірного руху оператора, що дозволило отримати детальну просторову картину магнітного поля. Досліджувана ділянка була чітко визначена на карті та охоплювала основні вулиці центральної частини міста, однак інтенсивність пішохідного руху на різних вулицях при розташуванні точок вимірювань не враховувалася.

Такий підхід забезпечує об'єктивну оцінку загального електромагнітного середовища, хоча слід враховувати, що рівні впливу на людей можуть змінюватися залежно від реальної щільності населення та активності на різних ділянках. Це дозволяє робити загальні висновки про безпеку перебування в зоні дослідження і планувати заходи для зменшення потенційного ризику впливу електромагнітних полів.

Через територію дослідження проходять маршрути тролейбусів. Вимірювання щільності магнітного поля під час руху тролейбусів не проводилися, оскільки їхній вплив на магнітне поле в безпосередній близькості значно перевищує 1 мкТл і міг би спотворити результати.

Отримані дані були розподілені за трьома категоріями: «низький» рівень – менше 0,2 мкТл, «середній» – від 0,2 до 1,0 мкТл та «високий» – понад 1,0 мкТл.

На основі проведених вимірювань були складені карти розподілу щільності магнітного потоку низької частоти вздовж окремих ділянок тротуарів у центральній частині Луцька (Див. рис. 2.2). Приблизно 45-50 % довжини досліджуваних вулиць характеризуються середнім рівнем магнітного потоку (0,2 мкТл і вище). У деяких точках, зокрема поблизу розподільчих стовпів, електрощитків, магазинів та інших об'єктів, спостерігалися високі

рівні магнітного потоку ($> 1,0$ мкТл). Такі локальні підвищення, ймовірно, пов'язані з наявністю блукаючих струмів у мережі.

Блукаючі струми з'являються переважно через особливості чотирипровідної розподільчої мережі, що використовується в Україні, де нульовий та захисний заземлювальні провідники з'єднані в один кабель у розподільчих лініях. Внаслідок цього зворотний струм, який зазвичай має повертатися до трансформатора по нульовому провіднику, може також протікати через місцеві захисні заземлення та металеві конструкції. Прикладами таких конструкцій є електричні водонагрівачі, підключені до водопровідних труб, або циркуляційні насоси, що з'єднані з районною електричною мережею.

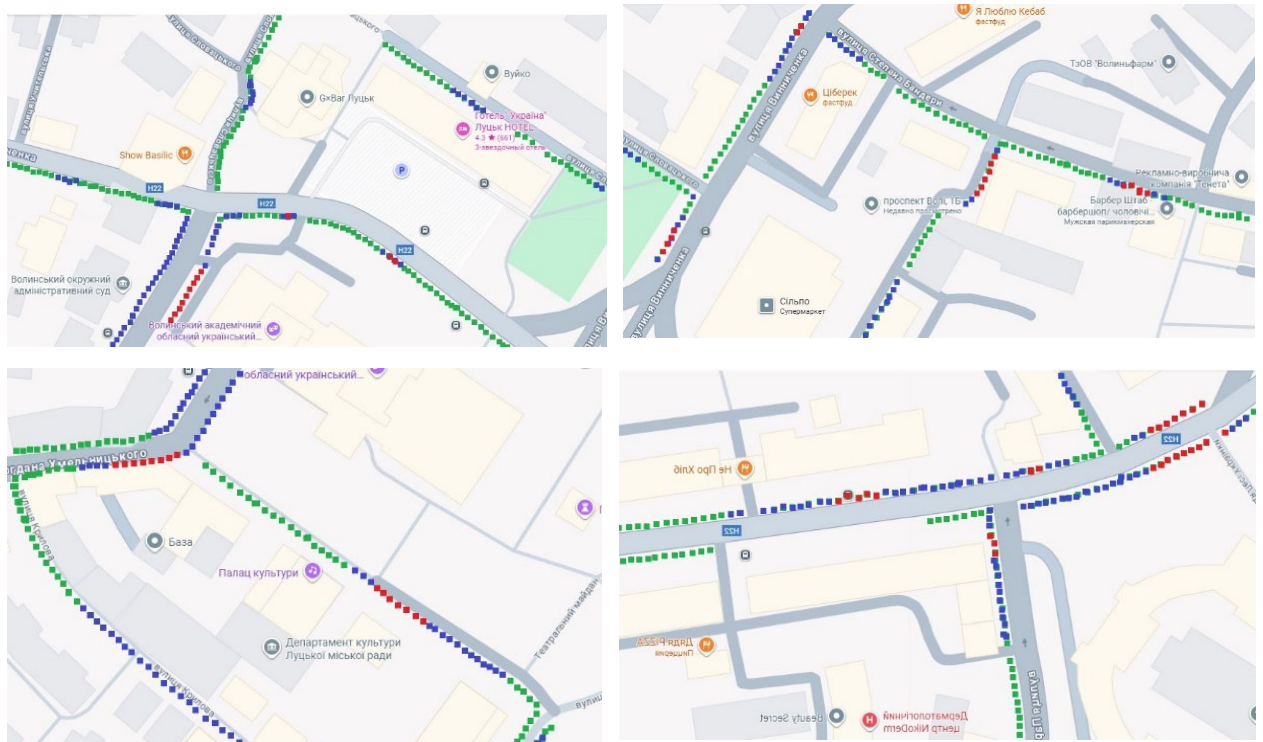


Рис.2.2. Просторова карта розподілу щільності магнітного потоку низьких частот на тротуарах центральної частини міста Луцьк (зелений – низький рівень, синій – середній, червоний – високий)

Тролейбуси рухаються кількома маршрутами через частини досліджуваної території з інтервалом 8-15 хвилин і живляться від повітряної

контактної мережі (+500 В постійного струму). Це спричиняє підвищення щільності магнітного потоку (>1 пТл) через великі струмові петлі, що виникають внаслідок розділення живлячого та зворотного провідників. Через значну довжину ділянок живлення підвищена щільність потоку може спостерігатися безпосередньо перед проїздом тролейбуса та після нього. Вплив тролейбусів на результати цього дослідження був зведений до мінімуму, оскільки під час їхнього руху вимірювання не проводилися. Середнє значення щільності магнітного потоку всередині тролейбуса під час руху склало 0,68 пТл у діапазоні частот 30 Гц-2 кГц.

Зовнішнє середовище традиційно сприймається як простір із низьким рівнем електромагнітного забруднення, особливо порівняно з приміщеннями, де знаходиться велика кількість електронних приладів. Однак результати проведеного дослідження свідчать, що в умовах міського середовища ця характеристика істотно змінюється. Інтенсивне використання електропостачання, наявність повітряних ліній електропередач, розподільчих мереж, громадського транспорту на електроприводі та численних технічних засобів зв'язку створює складну багатофакторну картину електромагнітного поля навіть на вулицях і тротуарах.

Таким чином, міське зовнішнє середовище часто піддається значному електромагнітному впливу, що не відповідає усталеному уявленню про його «чистоту» від техногенних полів. Це підкреслює необхідність проведення регулярного моніторингу електромагнітного стану відкритих міських просторів для оцінки потенційного впливу на населення та планування міської інфраструктури з урахуванням безпечних нормативів.

Ще одним значним джерелом електромагнітного випромінювання є базові станції мобільного зв'язку, які забезпечують бездротове покриття для великої кількості абонентів та працюють у різних діапазонах радіочастот. Їхнє випромінювання, хоча й належить до неіонізуючого спектра, створює постійне низькоінтенсивне електромагнітне поле, особливо в районах безпосереднього

розташування антен, що потребує уваги при оцінці електромагнітного стану міських територій.

Збільшення рівня високочастотного електромагнітного випромінювання здебільшого зумовлене недбалим розміщенням базових станцій мобільного зв'язку деякими операторами та ігноруванням особливостей рельєфу місцевості. Крім того, через збіг робочих частот різних станцій складно точно оцінити індивідуальний внесок кожної з них у загальний рівень випромінювання.

На сьогодні електромагнітне випромінювання високих і надвисоких частот стає все більш значущим фактором зовнішнього електромагнітного впливу на навколишнє середовище, особливо в міських і промислових зонах. У центральній частині м. Луцька основними джерелами такого випромінювання є антени базових станцій мобільного зв'язку, розташовані на будівлях за адресами: вул. Словацького, 12; вул. Лесі Українки, 52; та вул. Набережна, 4а.

Місто Луцьк, як обласний центр Волинської області, розташоване у західній частині України та характеризується складним рельєфом у центральній частині, що суттєво впливає на розповсюдження електромагнітних полів. Антени мобільного зв'язку розташовані на різних висотних рівнях: найвищі з них розміщені на будинку по вул. Словацького (1), що забезпечує більш широкий сектор покриття, тоді як антени на Набережній (3) знаходяться у низовині, де рельєф обмежує розповсюдження сигналу.

Для оцінки рівнів електромагнітного забруднення, зумовленого стаціонарними джерелами мобільного зв'язку в центральній частині м. Луцьк, було використано тестер електромагнітних полів Tenmars TM-196. Цей прилад призначений для вимірювання електромагнітних полів техногенного походження у частотному діапазоні 50 МГц-3,5 ГГц, зокрема для оцінки напруженості поля високочастотних електромагнітних хвиль, поверхневої густини потоку енергії антен базових станцій мобільного зв'язку та інших

бездротових комунікаційних систем (CW, TDMA, GSM, DECT), передавачів, безпроводних мереж LAN (Wi-Fi).

Відповідно до Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітного випромінювання [25], вимірювання проводилися на відстані 80 м від базових станцій на висоті 2 м від поверхні землі.

Відповідно до наказу Міністерства охорони здоров'я України № 1577 від 05.09.2023 р. «Про затвердження змін до Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань та пункту 2.2 розділу II Методики розрахунку розподілу рівнів електромагнітного поля», ГДР ЕМП в частотному діапазоні 897МГц-2 ГГц становить 450 мкВт/см² [25].

Хоча перевищень нових гранично допустимих рівнів (ГДР) не зафіксовано, варто звернути увагу на те, що у двох точках центру міста – на Театральному майдані, 1 та вул. Винниченка, 11 – базовими станціями мобільного зв'язку створюється доволі висока інтенсивність магнітного поля, яка становить 57,230 та 51,142 мкВт/см² відповідно. Для порівняння, до 2023 року гранично допустимий рівень ЕМП був 2,5 мкВт/см², тобто в минулому подібні значення вважалися значним перевищенням.

Такі показники свідчать про те, що хоча сучасні норми більш ліберальні, високі рівні випромінювання в центральних зонах можуть потенційно впливати на здоров'я мешканців і працівників, які тривалий час перебувають у цих місцях. Крім того, ці дані підкреслюють важливість регулярного моніторингу ЕМП у центрі міста.

Усі отримані результати вимірювань узагальнені у зведеній таблиці (табл. 2.2) та відображені на карті центральної частини міста Луцьк (рис. 2.3).

Таблиця 2.2 – Результати вимірювань електромагнітного поля в центральній частині м. Луцьк

№ точки на карті	Адреса	ЕМП, мкВт/см ²
1.	Театральний майдан, 1 (район музично-драматичного театру ім. Т.Г. Шевченка)	57,230
2.	вул. Шевченка, 3а	47,320
3.	вул. Словацького, 15	44,870
4.	Винниченка, 11 (ГУ Національної поліції у Волинській області)	50,440
5.	вул. Л.Українки,47	16,340
6.	вул. Кривий вал, 28	21,460
7.	вул. Кривий вал, 40	12, 650
8.	вул. Градний узвіз, 4 (Управління ДМС у Волинській області)	24,310
9.	вул. Л. Українки, 36	37,210
10.	вул. Набережна, 4	1,120
11.	вул. Набережна, 2	1,070
12.	вул. Даргомижського, 5 (район гімназії № 3)	2, 120

Отже, отримані комплексні результати картографування та зведені дані (табл. 2.1) дозволяють зробити кілька важливих висновків:

– по-перше, виміряні рівні електромагнітного випромінювання на даний момент відповідають чинним санітарним нормативам, що свідчить про відносну безпеку для населення при існуючій конфігурації базових станцій;

– по-друге, наявність ділянок із підвищеними показниками ЕМП вказує на локальні зони потенційного ризику, особливо у разі збільшення потужності передавачів, зміни напрямку випромінювання або появи нових джерел високочастотного поля. Це підкреслює необхідність регулярного та систематичного моніторингу електромагнітної обстановки у міському середовищі, що дозволяє оперативно виявляти зміни і вчасно коригувати розташування та параметри роботи технічних засобів;

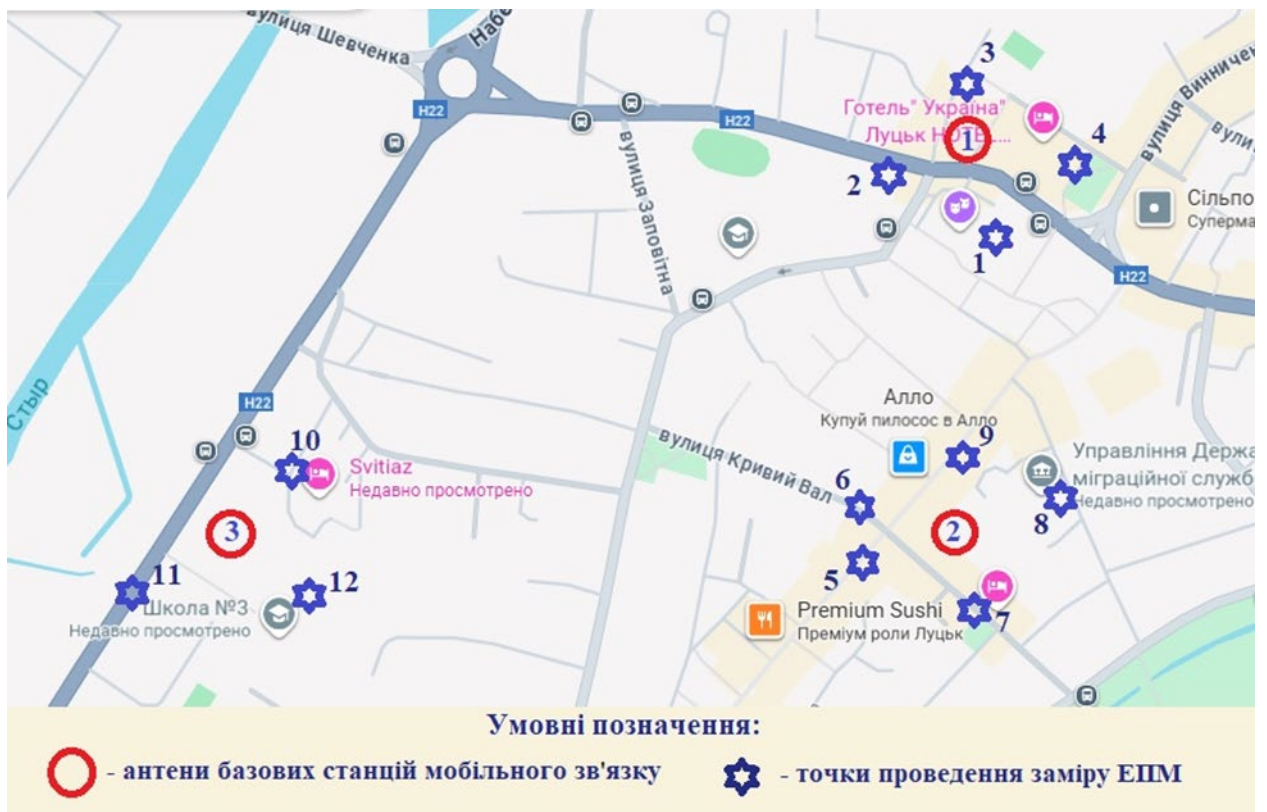


Рис. 2.3. Розташування антен базових станцій мобільного зв'язку в центральній частині м. Луцьк та точки проведення вимірювань ЕМП

– по-третє, результати дослідження слугують наочним інструментом для планування розвитку інфраструктури міста: при проектуванні житлових будинків, громадських зон, навчальних та медичних закладів слід враховувати висотні характеристики випромінювання базових станцій і можливий вплив на населення.

2.2. Біологічні ефекти електромагнітного випромінювання

Негативний вплив електромагнітних полів на біорізноманіття вивчений недостатньо, і більшість досліджень проводяться закордонними науковцями. Встановлено, що ця проблема зачіпає численні біологічні групи.

Багато видів тварин особливо чутливі до антропогенних електромагнітних полів через специфічну фізіологію, яка пов'язана з

використанням природного геомагнітного поля Землі. Вони застосовують ці сигнали для орієнтації під час міграцій, будівництва гнізд чи барлогів, спарювання, розмноження, догляду за потомством, пошуку їжі, захисту території, підтримки щоденних та сезонних циркадних ритмів, а також для довголіття та виживання. Відповідні механізми сприйняття електромагнітних сигналів у цих видів багатокомпонентні та видоспецифічні, інтегруючи різні системи організму та особливості середовища.

Реакція організмів тварин на вплив електромагнітних полів (ЕМП), виявлені під час тривалих досліджень різними науковцями, можна розділити на кілька основних груп [3]:

- стимуляція нервової системи. Електричні та магнітні поля, а також пов'язані з ними струми, можуть активувати нервові структури. Після перевищення порогового рівня, який залежить від частоти, такі струми сприймаються як больові сигнали, інтенсивність яких зростає зі збільшенням сили струму. Наприклад, у кішок та кроликів під впливом амплітудно-модульованих радіохвиль спостерігалися зміни електроенцефалографічної активності;

- поведінкові зміни. Щури, поміщені у спеціальні експериментальні камери, зазвичай віддавали перевагу сторонам, захищеним від імпульсних радіочастотних полів. Оскільки щури також уникають пульсуючих звукових хвиль, дослідники припустили, що уникання радіочастотних полів пов'язане із відчуттям імпульсного впливу. Виявлено, що реакція на імпульсні поля сильніша, ніж на безперервні, і сама по собі імпульсна природа сигналу є ефективнішим стимулом для втечі, ніж нагрівання, що виникає від безперервного поля.

Таке групування є важливим, оскільки дозволяє зрозуміти, які саме механізми чутливості до ЕМП властиві різним видам, а також оцінити масштаби можливого впливу на тваринний світ. Також відзначені спостереження за щурами та кроликами, які піддавалися впливу ЕМП протягом кількох годин на день протягом тижнів або місяців. Щільність поля

варіювалася від 0,6 мкВт/см² до 30 000 мкВт/см², що призводило до змін умовних рефлексів та поведінкових реакцій.

Дослідження впливу електромагнітних полів та постійного магнітного поля на ріст і розмноження бактерій *Staphylococcus aureus* та дріжджоподібних грибів *Candida tenuis* показали, що ці організми реагують на такі чинники по-різному. Така відмінність, імовірно, пов'язана з їхньою структурою, хімічним складом і особливостями метаболічних процесів. Для бактерій вплив ЕМП виявився тимчасово пригнічувальним і проявлявся переважно протягом першої доби після опромінення. Натомість дріжджі *C. tenuis* продемонстрували значно вищу чутливість до впливу електромагнітних та магнітних полів [13].

Дослідження впливу електромагнітного випромінювання на молочнокислі бактерії роду *Bifidobacterium* показало, що під його дією спостерігається істотне прискорення їхнього росту. Зокрема, питома швидкість розмноження збільшувалася приблизно на 60 %. Також встановлено, що найбільш сприятливими умовами для прояву такого біологічного ефекту є опромінення тривалістю не більше 20 хвилин. Це свідчить про наявність оптимального інтервалу експозиції, після якого позитивний вплив може знижуватися або зникати [20].

Мікроорганізми виявляють високу чутливість навіть до слабких електромагнітних полів. Під їхнім впливом у мікробів знижуються рухова активність і здатність до виживання, що супроводжується підвищенням рівня смертності. Крім того, електромагнітне опромінення здатне спричинити мутаційні зміни.

З метою оцінки впливу базових станцій мобільного зв'язку на навколишнє середовище у 2006-2015 рр. було проведено тривале польове дослідження в німецьких містах Бамберг і Гальштадт. Робота була спрямована на встановлення можливого зв'язку між аномальними ушкодженнями дерев та рівнями радіочастотного випромінювання від базових станцій.

Було виконано 144 вимірювання ЕМП та створено карти їхнього розподілу. Додатково дослідили 60 пошкоджених дерев, 30 випадково відібраних та 30 дерев у зонах з низьким рівнем ЕМП. Результати показали суттєві відмінності у стані дерев між сторонами, зверненими до вежі, та протилежними. У зонах з низькою питомою потужністю (до 50 мкВт/м²) пошкоджень не виявлено.

Статистичний аналіз підтвердив: радіочастотне випромінювання від базових станцій негативно впливає на дерева, а погіршення їхнього стану, як правило, починається з боку, зверненого до джерела ЕМП [47].

Сучасні дослідження впливу ЕМП на насіння демонструють суперечливі результати: у частині робіт зафіксовано зниження швидкості проростання, тоді як інші не виявили негативного впливу або навіть зафіксували стимуляцію розвитку [39]. Імовірно, така варіативність пов'язана з відмінностями у фізичних характеристиках випромінювання, а також із видовими особливостями рослин та стадіями їхнього онтогенезу.

Вплив високочастотного ЕМП на розсаду чи сформовані рослини частіше спричиняє пригнічення ростових процесів. Зокрема, доведено, що після опромінення сигналом мобільного телефону істотно порушується ризогенез – зменшується кількість і довжина коренів, ймовірно через активацію ферментів, пов'язаних зі стресовими реакціями (пероксидази, поліфенолоксидази). Наприклад, у насіння *Lens culinaris* ріст коренів зменшувався майже на 60 % під дією випромінювання 1800 МГц. Паралельно спостерігалось посилення перекисного окиснення ліпідів, накопичення проліну та збільшення активності ферментів, що відповідають за метаболізм АФК- типова реакція рослин на стрес.

У дослідженнях із 72-годинним впливом сигналу 900 МГц на насіння пшениці й квасолі мунг зміни швидкості проростання не виявлені, проте проростки обох видів показали уповільнення росту, зниження вмісту білка та значне підвищення стрес-ферментативної активності. Подібне пригнічення

росту спостерігалось і у ряски (*Lemna minor*) при опроміненні на частотах 400–1900 МГц у перші дні після експозиції [39].

Багаточисленні дослідження підтверджують, що електромагнітні поля можуть суттєво впливати на біологічні об'єкти, зокрема на морфологічні, фізіологічні та біохімічні характеристики рослин. Зафіксовано зміну темпів росту, розвитку та розмноження, а також появу аномалій – зміну форми чи розміру листя, стебел, квіток і навіть формування додаткових пелюсток поблизу зон дії ЕМП.

Показано, що рівні електричних полів у безпосередній близькості до повітряних ліній електропередач можуть спричиняти пошкодження листя та зменшення сухої маси надземної частини рослин (наприклад, соняшнику та вівса). Водночас достовірних даних щодо виникнення генетичних змін у рослин під дією ЕМП поки що не встановлено.

Рослини проявляють реакцію як на слабкі, так і на сильні електромагнітні поля, що зазвичай відображається на темпах росту та процесах розмноження. Під впливом полів ліній електропередач у них спостерігаються зміни форми й розмірів листя, стебел і квіток, а також вповільнення приросту дерев, що ростуть поблизу. Водночас надвисокочастотне випромінювання під час експериментів не призвело до втрати врожаю картоплі та пшениці. Така неоднозначність реакцій рослин, які відіграють ключову роль у формуванні кисню й забезпеченні харчових ресурсів, підкреслює необхідність подальших комплексних досліджень [6].

Дослідження впливу антропогенних ЕМП охоплювали також комах, зокрема бджіл. Для цього виду вже доведено негативний ефект, оскільки бджоли використовують магніторецепцію, надзвичайно чутливу до штучних електромагнітних полів, для орієнтації та навігації у просторі [41,46].

Комахи, що мешкають у рослинному середовищі, реагують на електромагнітне випромінювання по-різному. Залежно від будови тіла та способу життя, у деяких видів спостерігається уповільнення розвитку, порушення орієнтації або підвищена агресивність. Основною реакцією є

прагнення уникнути впливу поля ліній електропередач. При впливі НВЧ-випромінювання комахи зазвичай зазнають летальних наслідків, що свідчить про їхню меншу стійкість до цього типу випромінювання порівняно з рослинами.

Електромагнітне поле в першу чергу впливає на центральну нервову систему птахів і тварин. У щурів воно порушує обмін речовин і розвиток потомства, у самців може викликати безпліддя, у свиней – дискомфорт під час сну, у корів – підвищену смертність телят або вроджені аномалії. Птахи уникають гніздування поблизу радіолокаційних станцій [27].

Вплив на різні види неоднаковий і може змінювати баланс екосистеми. Водні та ґрунтові екосистеми проявляють більшу стійкість. Дослідження ентомофауни показують зростання чисельності деяких комах у 2-6 разів поблизу ЛЕП через зміну структури біоценозу та кращу кормову забезпеченість.

2.3. Електромагнітні поля та їхній вплив на здоров'я людини

На відміну від природних джерел електромагнітного випромінювання, до яких живі організми еволюційно адаптувалися або виробили механізми захисту, всі діапазони техногенних ЕМВ чинять значний вплив на здоров'я людини та стан навколишнього середовища. Особливу небезпеку становить те, що наслідки такого впливу можуть проявлятися лише через тривалий час і негативно позначатися на імунній системі та генетичній стійкості майбутніх поколінь.

Можливий негативний вплив електромагнітних полів (ЕМП) на організм людини привернув увагу ще в кінці 1940-х років. Особливістю такого впливу є його непомітність – тривалий час відсутні будь-які зовнішні ознаки. Лише у безпосередній близькості від потужного джерела може відчуватися тепло. Інтенсивність та характер впливу залежить від джерела, його

потужності, частоти, умов середовища та спрямованості антен, а відстань дії може варіюватися від десятків метрів до кількох кілометрів [7].

Для населення нормування електромагнітного випромінювання в Україні прописані у «Державних санітарних нормах і правилах захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань», затверджених Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 01.08.1996 р. № 239 [24], а також ДБН В.2.5-24:2012 «Електрична кабельна система опалення» [12].

Державні санітарні норми для населення охоплюють положення щодо захисту від електромагнітного випромінювання двох основних джерел: по-перше, «Санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних полів, що створюють радіотехнічні об'єкти (РТО)», і по-друге, «Санітарні норми і правила захисту населення від впливу електричного поля, що створюють пристрої електропередачі змінного струму промислової частоти».

Встановлено, що всі діапазони електромагнітного випромінювання впливають на здоров'я та працездатність людини, причому наслідки можуть проявлятися не одразу. Природні електричні та магнітні поля підтримують нормальне функціонування організму, тоді як сторонні техногенні ЕМВ порушують біохімічні процеси на клітинному рівні, змінюють біологічні ритми та інформаційні зв'язки між системами організму. Особливо чутливі клітини головного мозку, а тривалий вплив може знижувати імунітет і сприяти розвитку нервово-психічних, серцево-судинних, репродуктивних та онкологічних захворювань.

Сьогодні науковці мають різні погляди щодо впливу електромагнітного забруднення на людину. Попередні дослідження давали суперечливі результати: від негативного до позитивного або нейтрального впливу електромагнітних полів та випромінювання. Більшість вчених, що досліджували механізми цих явищ, схилилися до думки про мінімальний або нейтральний ефект електрики та магнетизму на живі організми.

У період з 1980 по 2002 рік було опубліковано понад 200 досліджень впливу електромагнітних полів від ліній електропередач на людину, з яких приблизно 60 % не виявили негативних наслідків, а решта 40 % зазначили певні помірні або значні негативні ефекти [43].

У 2007 році ВООЗ опублікувала підсумковий звіт міжнародної програми «Електромагнітні поля» [49], у якому наголошувалося на необхідності обережної оцінки впливу ЕМП на здоров'я населення. Це зумовлено недостатньою науковою інформацією щодо їхнього впливу, зокрема від таких джерел, як системи безпеки та розмагнічування, індукційні плити, водонагрівальні прилади та мобільний зв'язок.

Висловлювалась стурбованість, що вплив магнітних полів надзвичайно низької частоти (50/60 Гц) може збільшувати захворюваність на рак у дітей та спричиняти інші негативні наслідки для здоров'я. Підтвердження цього переважно надходило з епідеміологічних досліджень, які вказували на підвищений ризик розвитку лейкемії у дітей, що піддавались дії таких полів.

З поширенням мобільних телефонів значна частина населення постійно піддається радіочастотному випромінюванню, особливо у ближньому полі – тобто в зоні безпосередньої дії антени телефону, яка знаходиться близько до голови чи тіла. Це робить потенційний вплив більш інтенсивним, ніж від віддалених джерел. Окрім цього, викликає занепокоєння можливий специфічний вплив імпульсних та амплітудно-модульованих радіочастотних полів на здоров'я людини.

З розвитком технологій зростає вплив статичних електричних і магнітних полів, особливо в промисловості, транспорті, енергетиці, науці та медицині. Їхній вплив на здоров'я поки недостатньо досліджений, тому необхідно оцінити потенційні ризики від медичних пристроїв та систем магнітної левітації, що використовують сильні поля.

У травні 2011 року Міжнародне агентство з дослідження раку (IARC) та ВООЗ віднесли радіочастотні електромагнітні поля до категорії «можливо

канцерогенні для людини», зокрема через підвищений ризик розвитку гліоми мозку, що переважно пов'язують із використанням мобільних телефонів [49].

У 2018 році аналіз понад двох тисяч досліджень (*in vitro* та *in vivo*) показав, що в більшості випадків (68,2 %) зафіксовано біологічні або здоров'ю людини несприятливі ефекти, пов'язані з впливом антропогенних електромагнітних полів [45].

Електричні та магнітні поля можуть індукувати напругу та струми в організмі, проте навіть безпосередньо під високовольтними лініями індуковані струми значно менші за порогові значення, що викликають електричні удари чи інші ефекти.

Основним біологічним впливом радіочастотних полів є нагрівання, яке використовується, наприклад, у мікрохвильових печах. Рівні радіочастотного випромінювання, що зазвичай зустрічаються у повсякденному житті, значно нижчі за ті, що здатні спричинити суттєве нагрівання, і саме на цьому базуються сучасні рекомендації. Водночас вчені вивчають можливі ефекти тривалого впливу на рівнях нижче порогу нагрівання. На сьогодні негативні наслідки для здоров'я від тривалого впливу низьких рівнів радіочастот або потужних полів не підтверджені, але дослідження у цій сфері тривають.

Вплив електромагнітних полів на вагітність досліджувався різними організаціями, зокрема ВООЗ. Оцінювалися джерела випромінювання в житловому та робочому середовищі: комп'ютерні екрани, електричні коври, радіочастотні зварювальні установки, діатермічне обладнання та радари. Деякі повідомлення свідчать про можливий зв'язок між впливом ЕМП і проблемами під час вагітності, зокрема ризиком недоношеності та низькою масою при народженні дітей у жінок, що працювали в електронній промисловості [18].

В огляді [42] проаналізовано шість досліджень щодо впливу ЕМП під час вагітності на ризик спонтанного абортів: п'ять із них підтвердили такий вплив. Виявлено, що ймовірність викидня у вагітних, які піддавалися ЕМП, була у 1,69 рази вища, ніж у тих, хто не зазнавав впливу. Значний зв'язок спостерігається з впливом низькочастотного ЕМП (3-3000 Гц) від побутових

джерел, особливо на терміні до 14 тижнів. Також тривалість використання мобільного телефону та інтервали між сеансами впливають на ризик викидня.

Також було повідомлення про подразнення очей та розвиток катаракти у працівників, які зазнавали впливу високих рівнів радіочастотного та мікрохвильового випромінювання. Однак дослідження на тваринах не підтвердили можливість виникнення таких ушкоджень очей при рівнях випромінювання, що не спричиняють термічного ефекту [18].

Нервова система є найбільш чутливою до впливу магнітних полів. При хронічному впливі ЕМП виділяють три основні синдроми порушення нервової регуляції [18]:

- астенічний;
- астеновегетативний (синдром вегетосудинної дистонії);
- гіпоталамічний.

Астенічний синдром, що характерний для початкової стадії порушень нервової регуляції, проявляється частими головними болями, дратівливістю, підвищеною стомлюваністю, порушенням сну, періодичними болями в області серця, артеріальною гіпотонією та брадикардією. У тяжчих випадках можуть виникати кризи з приступоподібними головними болями, емоційною лабільністю, гіперзбудливістю, порушенням сну, зниженням пам'яті, тремором пальців та холодними кінцівками. Депресивні стани також часто спостерігаються серед працівників у зоні промислових частот і населення поблизу ЛЕП [4].

Докази зв'язку електромагнітних полів з онкологічними захворюваннями залишаються суперечливими. Хоча деякі епідеміологічні дослідження вказують на незначне підвищення ризику дитячої лейкемії при впливі низькочастотних магнітних полів, загального причинно-наслідкового зв'язку не встановлено. Дослідження на тваринах і лабораторні експерименти не підтвердили відтворюваних ефектів, що свідчать про роль полів у розвитку раку [18].

При інтенсивності електромагнітного випромінювання понад 10 мВт/см^2 у діапазоні 100–3000 МГц можуть спостерігатися такі ефекти [40]:

- локальне підвищення температури, особливо в області очей та мозкових тканин;
- нагрівання шкіри;
- вплив на нейрони головного мозку, порушення біоритмів та передачі інформації, прояв ефекту «радіозвуку»;
- умови, що потенційно сприяють утворенню пухлин головного мозку;
- незворотні зміни кристалика ока, включно з катарактою, та порушення процесів у сітківці;
- мембранні порушення в клітинах, що можуть впливати на обмін речовин;
- зміни в'язкості крові, порушення гідродинаміки та підвищення ризику тромбоутворення;
- утворення доброякісних та злоякісних пухлин у тканинах, що перебувають у зонах високого ЕМВ [40].

Деякі люди повідомляють про «гіперчутливість» до електричних і магнітних полів, виявляючи головні болі, депресію, втому, порушення сну, а іноді й судоми або епілептичні напади. Проте наукових доказів, що підтверджують існування цього явища, наразі мало, і немає загальноприйнятого біологічного механізму для його пояснення. Дослідження ускладнюються залученням багатьох суб'єктивних факторів, не пов'язаних безпосередньо з впливом полів, тому вивчення цього питання триває [18].

Вплив електромагнітних полів (ЕМП) на здоров'я людини досліджується давно, проте результати залишаються неоднозначними. Відомо, що тривалі та інтенсивні експозиції високочастотних і надвисокочастотних полів можуть впливати на нервову систему, серцево-судинну та репродуктивну функції, а також сприяти підвищенню ризику деяких захворювань. Низькоінтенсивні та короткотривалі впливи здебільшого не викликають відчутних біологічних ефектів, проте можливі суб'єктивні

симптоми, як-от головний біль, стомлюваність чи порушення сну. Незважаючи на численні дослідження, доказів прямого причинно-наслідкового зв'язку між ЕМП та розвитком серйозних захворювань у людини недостатньо, тому продовжується науковий контроль та оцінка ризиків.

Висновок до 2 розділу:

1. Основними джерелами підвищених електричних та магнітних полів є старіючі повітряні лінії електропередач, де пошкоджені ізолятори, провислі дроти та корозійні опори збільшують електромагнітне забруднення. Мобільні базові станції, які обслуговують велику кількість користувачів та працюють у різних радіочастотних діапазонах, створюють додаткове навантаження.

2. Високо- та надвисокочастотне електромагнітне випромінювання наразі стає все більш помітним у центральній частині міста Луцьк. Його основними джерелами є антени мобільних базових станцій, розташовані за адресами вул. Словацького, 12, вул. Лесі Українки, 52 та вул. Набережна, 4а.

3. Хоча на досліджуваній території не спостерігалось відхилень від стандартів ГДР, підвищена інтенсивність магнітного поля, що генерується мобільними базовими станціями, була зафіксована в двох центральних локаціях – на Театральній площі, 1, та вул. Винниченка, 11.

4. Електромагнітне випромінювання по-різному впливає на окремі елементи міського середовища, окрім того, порушує природний баланс екосистеми.

5. Тривалий та інтенсивний вплив високо- та надвисокочастотних полів може негативно впливати на центральну нервову, серцево-судинну та репродуктивну системи, а також збільшувати ймовірність розвитку певних захворювань серед населення, котре потрапляє під вплив даних джерел фізичного забруднення довкілля.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРАКТИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ШКІДЛИВОГО ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

3.1. Розроблення дієвих порад та заходів, спрямованих на зменшення негативного впливу електромагнітних полів на здоров'я людей, які проживають або тривалий час перебувають у центральній частині м. Луцьк

Людство вже не може відмовитися від електростанцій, транспорту, користування мобільним зв'язком та інших технологічних досягнень, навіть якщо вони певною мірою впливають на здоров'я. Тому, головне завдання полягає не в обмеженні розвитку цивілізації, а у зменшенні негативних техногенних впливів на людей і довкілля. Важливо забезпечити поінформованість, в нашому випадку, місцевого населення про можливі ризики, пов'язані з електромагнітним випромінюванням, та впроваджувати ефективні заходи його безпечного використання.

Для забезпечення електромагнітної безпеки необхідно зобов'язати відповідальні місцеві органи та установи забезпечувати захист населення від шкідливого впливу електромагнітного випромінювання. Це включає обов'язковий державний контроль за всіма джерелами ЕМВ на кожному етапі їх створення – від виготовлення й будівництва до реалізації, імпорту та подальшої експлуатації. Також потрібно встановити обов'язковий державний облік усіх об'єктів, що випромінюють ЕМП, щоб вчасно визначати ризики та впроваджувати необхідні заходи для захисту населення м. Луцьк.

За результатами аналізу наукових та технічних джерел, присвячених проблемі захисту населення від електромагнітних полів, можна стверджувати, що питання протидії «електромагнітному смогові» в міських умовах досі залишається недостатньо опрацьованим. Особливо це помітно на тлі стрімкого розвитку телекомунікаційних систем, збільшення кількості базових станцій

мобільного зв'язку, впровадження G5, зростання щільності електронних пристроїв і розширення інфраструктури електротранспорту.

Незважаючи на потенційні ризики для здоров'я людей та стану біоти, сучасні підходи до зменшення електромагнітного навантаження містять суттєві прогалини: переважають нормативні та організаційні заходи, тоді як інженерні й конструктивні рішення розроблені недостатньо. Це формує нагальну потребу в пошуку нових технологій екранування, оптимального планування розміщення джерел ЕМП, використання інтелектуальних систем регулювання потужності передавачів та впровадження матеріалів з підвищеними поглинаючими властивостями.

Як висновок, ситуація вимагає активізації наукових досліджень і розробки ефективних конструктивних методів захисту від електромагнітних полів у широкому діапазоні частот, що дозволить створити більш безпечні умови проживання для населення сучасних міст.

Захист людини від потенційно небезпечного впливу електромагнітного випромінювання ґрунтується на впровадженні комплексу узгоджених заходів, спрямованих як на мінімізацію рівня випромінювання, так і на зниження фактичного електромагнітного навантаження на організм людини [10; 17]. До основних напрямів ми віднесли:

1. Організаційні заходи:

- скорочення тривалості перебування людини поблизу джерела випромінювання;
- збільшення дистанції між джерелом та користувачем (оскільки інтенсивність поля різко падає зі збільшенням відстані);
- застосування локального екранування робочих місць, або зон перебування людей із використанням матеріалів, що відбивають чи поглинають електромагнітні хвилі;
- вибір обладнання з мінімально можливим рівнем електромагнітного випромінювання;

2. Інженерно-технічні заходи – спрямовані на зменшення випромінювання безпосередньо від джерела випромінювання. До вказаного підпункту можна відвести [15; 19]:

- конструктивне удосконалення обладнання з метою зниження інтенсивності ЕМП;
- застосування поглинальних чи відбивних екранів на самому джерелі;
- оптимізацію режимів роботи установок, щоб уникати пікових навантажень;
- просторове розміщення джерел таким чином, щоб їх вплив на людей був мінімальним (висотне встановлення, орієнтація антен, ізоляція).

Організаційні заходи включають регламентування часу перебування людини поблизу джерел електромагнітного випромінювання, адже саме час є одним із ключових параметрів, що визначає рівень впливу ЕМП на організм. Цей підхід ґрунтується на доказовому принципі дозово-часової залежності: за однакового рівня напруженості поля більша тривалість експозиції призводить до більшого навантаження на фізіологічні системи, підвищує ймовірність кумулятивних ефектів та виникнення небажаних біологічних реакцій.

Важливим елементом такого підходу є надання населенню міста об'єктивної та зрозумілої інформації про рівні електромагнітного випромінювання на їхніх робочих місцях та потенційні наслідки для здоров'я.

Коли люди усвідомлюють реальні ризики і знають, як правильно поводитися в зоні впливу ЕМП, вони можуть ефективніше дотримуватися правил безпеки, скорочувати час перебування в зонах підвищеної експозиції та застосовувати рекомендовані засоби захисту.

Таким чином, організаційні заходи не лише регулюють робочий процес, а й формують культуру безпечної поведінки, що значно знижує ймовірність негативного впливу електромагнітного випромінювання на здоров'я.

Скорочення часу перебування в зоні ЕМП – простий і ефективний спосіб захисту людини, який суттєво знижує навантаження на організм і допомагає запобігти можливим негативним наслідкам випромінювання.

Збільшення відстані між джерелом електромагнітного випромінювання та людиною є одним із базових принципів захисту від ЕМП. Енергія поля розсіюється в просторі, тому інтенсивність випромінювання зменшується з віддаленням від джерела. Для мешканців центру міста навіть невелике віддалення від ЛЕП, антен чи інших джерел суттєво знижує загальне опромінення та є простим, доступним та ефективним заходом захисту.

Застосування локального екранування зон перебування людей є найбільш ефективним способом зменшення впливу ЕМП, особливо коли неможливо віддалитися від джерела [15]. Матеріали, що відбивають, або поглинають електромагнітні хвилі, створюють бар'єр, який значно знижує інтенсивність випромінювання всередині захищеної зони.

Запропоноване нами екранування дозволяє не лише зменшити вплив на організм, а й стабілізувати електромагнітний фон у конкретній зоні, забезпечуючи більш безпечні умови для здоров'я місцевого населення.

У центрі м. Луцьк для екранування такими спорудами є, вищезгадані, Волинський академічний обласний український музикально-драматичний театр імені Т.Г. Шевченка, Головне управління Національної поліції в Волинській області, готелі «Україна» та «Noble Boutique, Луцька гімназія № 3, філіал № 1 дитячої поліклініки м. Луцьк та інші, де люди проводять багато часу (Див. рис.3.1.)

Інженерно-технічні заходи захисту від електромагнітного випромінювання передбачають застосування засобів колективного та індивідуального захисту, що охоплюють як територіальний захист групи будівель і приміщень, так і технічні рішення, зокрема передбачення можливості роботи джерел випромінювання на зниженій потужності.

У багатьох країнах світу питання зниження рівнів магнітних полів розглядається як важливий екологічний та соціальний пріоритет, оскільки це дозволяє мінімізувати їхній потенційний вплив на довкілля та населення. В Україні ж проблема регулювання магнітного поля залишається не повністю вирішеною: чинні Правила улаштування електроустановок [22] встановлюють

норматив лише для магнітного поля кабельних ліній – не більше 0,5 мкТл у межах приміщень, тоді як комплексні вимоги для інших джерел поки що відсутні.

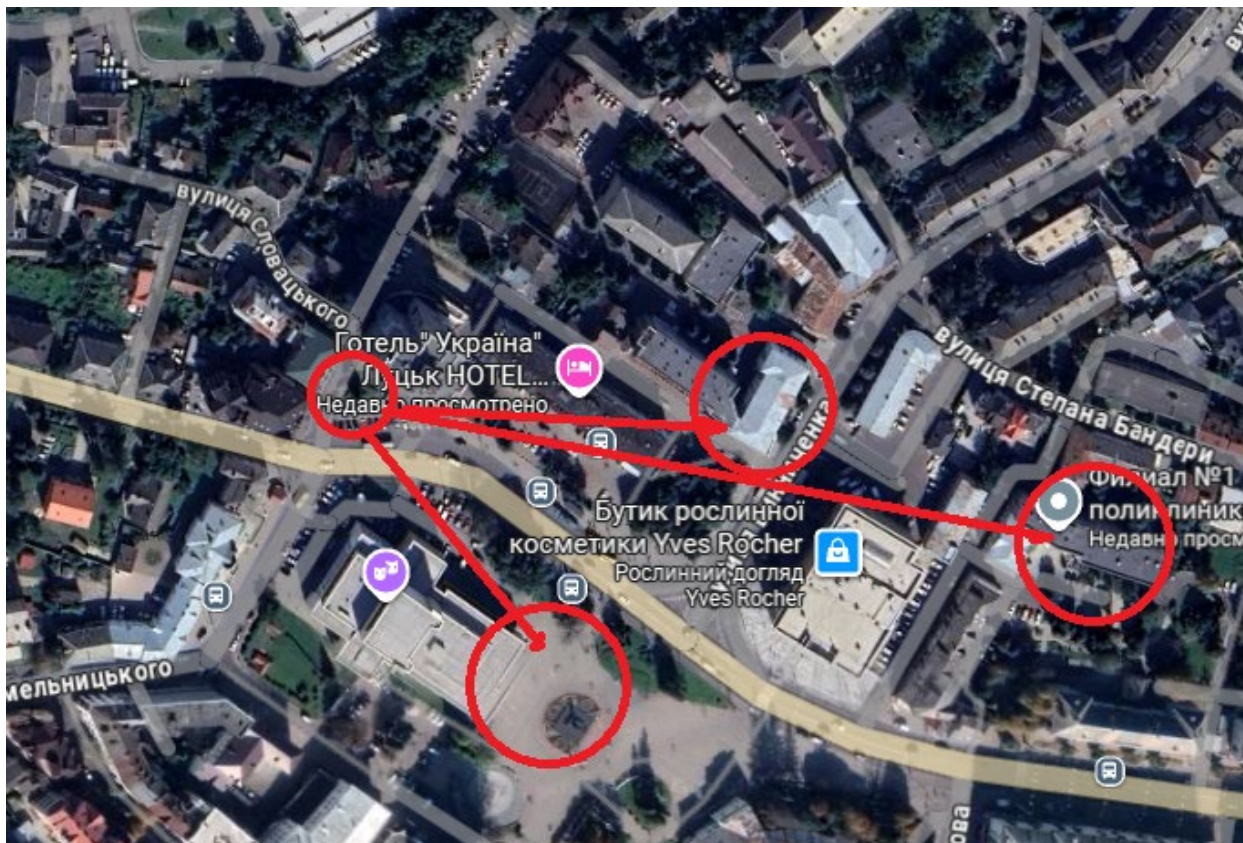


Рис. 3.1. Об'єкти з підвищеним рівнем ЕМВ у центральній частині м. Луцьк, котрі потребують екранування

На сьогодні збільшення кількості та щільності систем передавання й трансформації електроенергії в міських умовах стало буденним явищем. Це зумовлює необхідність розроблення ефективних заходів для зменшення їхнього впливу на людей, комп'ютерну техніку, діагностичне обладнання медичних установ та ін. чутливі об'єкти. Водночас дотримання безпечної відстані між робочими місцями та джерелами електромагнітних полів промислової частоти в умовах щільної забудови стає дедалі складнішим завданням.

Одним із найбільш ефективних способів зниження електромагнітного впливу на населення центральної частини міста Луцька є прокладання ліній електропередач у підземному виконанні, особливо на ділянках, котрі обслуговують підприємства з високим рівнем енергоспоживання. Такий підхід дозволяє суттєво зменшити інтенсивність електромагнітних полів у житловій зоні та підвищити загальну безпеку міського середовища.

Впровадження цього заходу продемонструвало, що підземна лінія електропередачі напругою 110 кВ формує електромагнітні поля значно меншої інтенсивності порівняно з аналогічними повітряними лініями.

Для створення безпечних умов проживання мешканців центральної території м. Луцьк та комфортного перебування гостей міста необхідно регулярно контролювати рівні електромагнітного випромінювання в санітарно-захисних зонах навколо базових станцій мобільного зв'язку та телерадіоантен, а також обмежувати щільність багатопверхової забудови поруч із ними.

У державних установах, зокрема лікарнях та навчальних закладах, доцільно впроваджувати додаткові заходи захисту від електромагнітного випромінювання. Зокрема, рекомендуємо підвищувати ефективність екранування стін, при можливості переміщувати критично важливі приміщення, такі як реанімаційні відділення та палати з пацієнтами, у зони з меншим рівнем випромінювання, а також обмежувати час перебування персоналу у зонах підвищеного ризику.

Особливу увагу слід приділяти радіотехнічному об'єкту Волинської регіональної дирекції Національної телекомпанії України, розташованому за адресою м. Луцьк, вул. Словацького, 12. Цей об'єкт є джерелом електромагнітного випромінювання й знаходиться в центральній частині міста, де щільність населення та концентрація інших джерел електромагнітної енергії є високою. За результатами аналізу та моніторингу рівнів ЕМВ, цей об'єкт робить один із найбільших внесків у сумарне електромагнітне забруднення даного району.

З огляду на його розташування та потужність передавачів, цей об'єкт представляє найбільшу потенційну загрозу для здоров'я та безпеки мешканців центральної частини міста. Наслідки впливу електромагнітного поля включають не лише можливий негативний ефект на організм людини, а й потенційний вплив на чутливу електронну техніку, комп'ютерне обладнання, медичні та діагностичні прилади, що розташовані в безпосередній близькості.

У зв'язку з цим, доцільними заходами щодо зниження ризику є повне перенесення джерела випромінювання за межі центральної частини міста або часткове обмеження потужності передавачів з одночасним впровадженням систем контролю та моніторингу рівня електромагнітного поля. Такі рішення дозволять значно знизити інтенсивність електромагнітного впливу на населення та підвищити загальний рівень безпеки міського середовища, особливо у житлових і соціально значущих зонах, таких як лікарні, навчальні заклади та адміністративні установи.

Враховуючи вищесказане для мінімізації впливу електромагнітного випромінювання на довкілля та населення центральної частини м. Луцьк, та в цілому в Волинській області, доцільно впровадити такі організаційні, технічні та нормативні заходи:

1. Посилення обласного контролю та регулювання:
 - забезпечення нагляду за дотриманням санітарних норм під час проєктування, будівництва та експлуатації об'єктів, що генерують ЕМВ у центрі м. Луцьк;
 - проведення контролю на всіх етапах створення джерел випромінювання – від імпорту обладнання до введення об'єкта в експлуатацію, без виключень;
 - посилення контролю за роботою базових станій мобільного зв'язку, радіотехнічних об'єктів та ЛЕП, м. Луцьк.
2. Створення системи обліку та моніторингу джерел ЕМВ:
 - оновлення реєстру усіх стаціонарних джерел електромагнітного випромінювання, їхніх технічних характеристик та зон впливу;

- організація регулярного моніторингу рівнів ЕМП поблизу навчальних закладів, лікарень та природних територій (готель «Україна», Гімназія № 3);
- створення публічних карт електромагнітного фону міста з відкритим доступом для населення.

3. Оптимізація розміщення джерел ЕМВ:

- надання дозволу на встановлювання нових передавачів, антен та ЛЕП тільки з урахуванням санітарно-захисних зон і вже існуючого електромагнітного навантаження;
- заборона встановлення базових станцій на житлових будинках без попередньої експертизи рівнів ЕМП;
- розміщення високочастотних передавачів у менш заселених районах або на спеціально відведених майданчиках.

4. Впровадження технічних засобів зниження рівнів ЕМП:

- використання обладнання зі зниженим рівнем паразитних випромінювань та удосконаленими системами екранування;
- встановлення поглиначів потужності, фільтрів та ін. пристроїв, які зменшують інтенсивність випромінювання на виході передавальних систем;
- застосування конструктивних рішень для зниження електромагнітного навантаження на території (екрани, захисні кожухи, огорожувальні конструкції).

5. Атестація та паспортизація об'єктів – регулярно оновлювати документацію відповідно до фактичних рівнів випромінювання, розробляти санітарні паспорти для всіх радіотехнічних об'єктів, зокрема базових станцій, телевеж і ліній електропередач.

6. Інформаційне забезпечення та освіта:

- проводити роз'яснювальну роботу серед місцевого населення щодо безпечного користування побутовими приладами та мобільними пристроями;
- поширювати інформацію про можливі наслідки електромагнітного забруднення та методи самозахисту;
- проводити навчання для спеціалістів, які обслуговують джерела ЕМВ.

7. Розвиток наукових досліджень:

- цікавитись дослідженням з оцінки впливу ЕМВ на довкілля, біоту та здоров'я населення зарубіжними вченими;
- приділяти увагу вивченню потенційних довготривалих ефектів низькоінтенсивних полів;
- запроваджувати інноваційні методики контролю та захисту від випромінювання.

Запропоновані заходи забезпечують комплексний підхід до зменшення електромагнітного забруднення, що дає змогу створити безпечніші умови проживання, зберегти екосистеми та підвищити рівень електромагнітної безпеки загалом у населених пунктах.

На жаль, нинішнє погіршення екологічної ситуації щодо електромагнітного фактору зумовлене, перш за все, домінуванням відомчих, комерційних та споживчих підходів до використання ЕМП, недостатньо розвиненою матеріально-технічною базою для екологічного моніторингу електромагнітного середовища, обмеженим висвітленням питань електромагнітної екології в навчальних закладах, а також дефіцитом навчально-методичної літератури та інших ресурсів.

У зв'язку з цим вирішення проблеми електромагнітного забруднення довкілля є комплексним завданням, що охоплює соціальні, економічні та політичні інтереси різних відомств і промислових корпорацій, і вимагає скоординованої науково-дослідної діяльності та реалізації проєктів.

Ключовим елементом концепції безпеки екологічного середовища від впливу ЕМВ є встановлення нормативів гранично допустимих рівнів інтенсивності випромінювання для збереження стабільності організму людини та урбоекосистем.

ВИСНОВКИ:

Виходячи із проробленої роботи, ми ще раз переконались, що вивчення впливу електромагнітного забруднення на живі організми дедалі більше привертає увагу вчених у всьому світі. Тому, такому дослідженню на локальному об'єкті – м. Луцьк, ми присвятили свою кваліфікаційну роботу магістра.

По ходу дослідження даної теми, нами було виконано всі поставлені завдання, чим і було досягнуто поставленої мети.

В кінцевому результаті нашого дослідження ми дійшли наступного:

1. Наше дослідження встановило, що на електромагнітне навантаження в міському середовищі Луцька впливає поєднання техногенних джерел, зокрема застарілих повітряних ліній електропередач та мереж мобільного зв'язку.

2. Аналіз наших досліджень показав, що хоча перевищень гранично допустимих рівнів електромагнітного випромінювання не зафіксовано, деякі окремі ділянки центральної частини міста Луцьк характеризуються підвищеною напруженістю магнітного поля, що вимагає постійного моніторингу навколишнього середовища та подальшого контролю.

3. Доведено, що електромагнітне випромінювання має багатовекторний вплив на структурні компоненти міської екосистеми, здатне змінювати її функціональний баланс та спричиняти потенційні екологічні ризики.

4. Отримані результати підтверджують актуальність впровадження систематичного моніторингу рівнів електромагнітного випромінювання, покращення технічного стану комунальної інфраструктури та розробки заходів, спрямованих на мінімізацію потенційного негативного впливу на місцеве населення та міське середовище.

5. Проведене дослідження формує наукову основу для прийняття обґрунтованих управлінських рішень та підкреслює необхідність інтеграції

принципів екологічної безпеки для подальшого розвитку міської системи Луцька.

6. Тривалий вплив високочастотних та ультрависокочастотних полів може негативно впливати на здоров'я лучан, сприяючи підвищеному ризику розвитку певних патологічних станів.

7. На основі проведеного аналізу впливу електромагнітного випромінювання на навколишнє природне середовище та населення розроблено практичні рекомендації для зниження шкідливої дії ЕМП (електромагнітних полів) на здоров'я людини.

Отже, наш локальний аналіз показує, що електромагнітний вплив у Луцьку залишається значним екологічним фактором, який потребує постійного моніторингу та мотивує місцеву владу до модернізації інфраструктури та впровадження заходів, спрямованих на пом'якшення потенційних негативних наслідків у м. Луцьк.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ:

1. О.В. Бажинов, М.М. Кравцов Електромагнітна небезпека електричного та гібридного транспорту. Вісник ХНАДУ. Вип. 103. Харків, 2023. Ст. 168-175. URL: <https://surl.li/qgbfjb>
2. Балморі А. Електромагнітне забруднення від телефонних щогл. Вплив на дику природу. Патофізіологія, т. 16(2-3), с. 191-199, 2009.
3. Безверха А.П. Гігієнічна оцінка електромагнітного випромінювання, що створюється засобами транкінгового зв'язку. Ст. 111-117.
4. Бедункова О.О. Біологічні ефекти та правові аспекти при розміщенні базових станцій мобільного зв'язку в житлових зонах населених пунктів / О.О. Бедункова, О.Т. Мороз, В.О. Клименко // Вісник НУВГП, 2019. 2(86). С. 73-82.
5. Бізнес і безпека. Електромагнітний смог – техногенний вірус смерті Природи XXI віку. URL: <https://surl.lt/kaievj>
6. Василенко І.А., Півоваров О.А., Трус І.М., Іванченко А.В. Урбоекологія / І.А. Василенко, О.А. Півоваров, І.М. Трус, А.В. Іванченко Дніпро : Акцент ПП, 2017. 309 с.
7. Вплив електромагнітних полів (ЕМП) на організм людини (07 вересня 2022 р). URL: https://ifdcsms.com.ua/uk/news/245/v?utm_source=chatgpt.com
8. Всесвітня організація охорони здоров'я. Поля надзвичайно низької частоти. Том 238. Женева, Швейцарія: ВООЗ, 2007. (Монографія про критерії гігієни навколишнього середовища).
9. Глива В.А. Електричний транспорт як фактор електромагнітного забруднення міста / В.А. Глива, О.В. Панова, В.О. Кружилко // Екологічна безпека та природокористування : зб. наук. праць. / Ін-т телекомунікацій і глоб. інформ. простору ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. ; гол. ред. О. С. Волошкіна, О. М. Трофимчук. Київ, 2015. Вип.19. Ст. 13-18. URL: <https://surli.cc/labbd>
10. Глива В. А. Методологія оцінки та прогнозування електромагнітного та шумового навантаження у приміщеннях / В. А. Глива // Гігієна населених місць. 2008. № 52. С. 184-189.

11. А.М. Гуржій Електротехніка та основи електроніки : підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти. / А.М. Гуржій, С.К. Мещанінов, А.Т. Нельга, В.М. Співак – Київ : Літера ЛТД, 2020. – 288 с. URL: <https://surl.lt/giaksz>

12. ДБН В.2.5-24:2012 «Електрична кабельна система опалення».

13. Дослідження впливу електромагнітних, постійних магнітних та акустичних полів на мікроорганізми / Я. А. Клап, О. С. Яремкевич, В. Г. Червцова [та ін.] // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка» «Хімія, технологія речовин та їх застосування». 2016. Вип. 841. С. 168-173.

14. Желібо Є.П., Заверуха Н.М., Запарний В.В. Безпека життєдіяльності: Навч. посіб. / За ред, Є. П. Желібо. 6-е вид. К.: Каравела, 2008. 344 с. URL: https://kntiis.od.ua/sites/default/files/files/bgdbook.pdf?utm_source=chatgpt.com

15. Запорожець О. І. Створення електромагнітних екранів із заданими захисними властивостями / О. І. Запорожець, В. А. Глива, А. В. Лук'янчиков // Вісник Національного Авіаційного Університету. 2008. № 3. С. 139-142.

16. Іоріатті Л., Мартіnellі М., Віані Ф., Бенедетті М. та Масса А. Розподілений моніторинг електромагнітного забруднення в режимі реального часу в міському середовищі, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, том 5, с. V-100, 2009.

17. Кирилова А. С. Електромагнітні поля як чинник функціонування електротехнічних і біологічних систем / А. С. Кирилова // Авіація, промисловість, суспільство : матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Кременчук, 18 трав. 2023 р.). Кременчук-Харків : ХНУВС, 2023. С. 408-412.

18. Ковальова О. В. Вплив на організм людини електромагнітних полів антропогенного походження / О. В. Ковальова // Вісник Запорізького національного університету: Біологічні науки, 2009. № 2 С. 96-104.

19. Курназ Ч. Емпіричне моделювання електромагнітного забруднення в університетському кампусі. Appl. Comput. Electrom., том 1(2), с. 76-79, 2016.

20. Лошицький П. П. Вплив електромагнітного випромінювання на молочнокислі бактерії / П. П. Лошицький, Л. О. Косоголова, Я. В. Дем'янова,

К. М. Яблонська // Проблеми екологічної біотехнології, 2014. № 1. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/peb_2014_1_9

21. Мілих В.І. Електромагнітні поля, параметри та процеси в електротехнічних пристроях : підручник / В.І. Мілих. Харків : ФОП Панов А.М., 2020. 396 с.

22. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 року № 476 «Про затвердження правил улаштування електроустановок» URL: <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/pue.pdf>

23. Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 173 від 19.06.1996 р. «Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів».

24. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 01.08.1996 р. № 239 «Про затвердження державних санітарних правил та норм».

25. Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 1577 від 05.09.2023 р. «Про затвердження змін до Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань та пункту 2.2 розділу II Методики розрахунку розподілу рівнів електромагнітного поля»

26. Нічога В., Грудзіський Е., Кошовий В., Прудюс І. Діагностика впливу електромагнітного випромінювання базових станцій стільникового зв'язку на сільськогосподарське середовище. Міжнародна наукова конференція «Фізика в сільськогосподарських дослідженнях» (шістдесят років кафедри фізики). 12-13 червня 2008 р., Люблін, Польща. Доповіді та короткі повідомлення. С. 68-69.

27. Г. В. Омеляненко, Р. Р. Качалка /Вплив електромагнітного поля на екологію в цілому. Вісник Національного технічного університету «ХП». Серія: Енергетика, надійність та енергоефективність, № 10 (1286) 2018

URL: <https://surli.cc/trfoef>

28. Орачевський Д.А., Коробчук Л.І. Електричний смог як фактор антропогенного впливу на екологію людини та міське середовище. Innovation

Processes in Science and Education : Materials of the VII International Research and Practical Internet Conference (November 11-13, 2025) : collection of abstracts [for the general ed. Ph.D Serhii Onyshchenko]. Zdar nad Sazavou : «DEL c.z.», 2025. 57 p., Ст. 5-7 .URL: <https://surl.li/hearso>

29. Панова О.В. Екранування електромагнітних полів для електромагнітної безпеки та електромагнітної сумісності / О.В. Панова // Управління розвитком складних систем. 2015. Вип. 22. С. 207-213.

30. Погребенник В. Методи та способи захисту від електромагнітного випромінювання. Міжнародний семінар з питань впливу електромагнітного випромінювання на людину та проблеми його розуміння: тези доповідей, 17-18 вересня 2018 р., Єреван, 2018, с. 17-18.

31. Самойленко В.О. Аналіз впливу електромагнітних полів на довкілля. Тези XVII Всеукраїнської наукової on-line конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології» 15 квітня 2021 року. Житомир : Житомирська політехніка, 2021. 149 с. Ст. 90.

32. Сато, Ю. та ін. Дослідження випадків використання мобільних телефонів та ризику акустичної неврони в Японії. Біоелектромагнетика, 2011. 32(2): с. 85-93.

33. Фізичні аспекти в екології. Навчальний посібник для студентів фізичного факультету з курсу «Основи екології» / укладачі Орловська С.Г., Калінчак В.В. Одеса : ОНУ імені І.І. Мечникова, 2016. 168 с.

34. Чайка В.М., Рубежняк І.Г., Мінняйло А.А. Екологія міських екосистем (Урбоекологія). Підручник. Київ, 2017. 483 с.

35. Черніченко І.О., Думанський В.Ю., Нікітіна Н.Г., Сердюк Є.А., Соверткова Л.С., Баленко Н.В., Литвіченко О.М., Томашевська Л.А., Григоренко Л.Є., Біткін С.В., Думанський Ю.Д., Безверха А.П. Охорона здоров'я населення від впливу поєднаної дії магнітного поля промислової частоти – 50 Гц та нітрозамінів (НА). Ст. 99-111.

36. Шилова Т.О. Міська екологія: конспект лекцій / Т.О. Шилова. Київ : КНУБА, 2023. 148 с. Ст. 29

37. Шуба М., Долови К., Душинський Я. та ін. Лінії електропередач та підстанції в середовищі людини. Варшава, Польща: Реєстр оператора PSE SA, 2008.

38. A. Ahlbom, E. Cardis, A. Green, M. Linet, D. Savitz та A. Swerdlow/Environmental Health Perspectives, 2001, випуск 109 (Supplement 6), стор. 911-933.

39. A. Balmori. Anthropogenic radiofrequency electromagnetic fields as an emerging threat to wildlife orientation / Alfonso Balmori // Science of The Total Environment. 2015. Vol. 518-519. P. 58-60. URL: <https://surl.li/jgcwqq>

40. Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study / G. Draper, T. Vincent, M. E. Kroll, J. Swanson // British Medical Journal. URL: <https://surl.li/pbqbch>

41. Effect of electromagnetic radiation of cell phone tower on foraging behavior of Asiatic honey bee, *Apis cerana* F. (Hymenoptera: Apidae) / R. R. Taye, M. K. Deka, A. Rahman, M. Bathari // J Entomol Zool Stud. URL: <https://zero5g.com/wp-content/uploads/2019/11/5-3-142-590.pdf>

42. Electromagnetic Field Exposure and Abortion in Pregnant Women: A Systematic Review and Meta-Analysis / Morvarid Irani, Maryam Aradmehr, Mohammad Ghorbani, Roya Baghani // Malays J Med Sci, 2023. 30(5). P. 70-80.

29. Non-Thermal Electromagnetic Radiation Damage to Lens Epithelium / Elvira Bormusov, Usha P. Andley, Naomi Sharon, etc. // Open Ophthalmol J., 2008. № 2. P. 102-106.

43. Grzegorz Redlarski, Bogdan Lewczuk, Arkadiusz Żak, Andrzej Koncicki, Marek Krawczuk, Janusz Piechocki, Kazimierz Jakubiuk, Piotr Tojza, Jacek Jaworski, Dominik Ambroziak, Łukasz Skarbek, Dawid Gradolewski. The Influence of Electromagnetic Pollution on Living Organisms: Historical Trends and Forecasting Changes, Biomed Res. Int. 2015. URL: <https://surl.li/cceqee>

44. I. Marincu A., Greconici M., Musuroi S. The electromagnetic field around a high voltage 400 kV electrical overhead lines and the influence on the

biological systems. *Facta universitatis – series: Electronics and Energetics*, 2005, vol. 18, no. 1, pp. 105-111. URL: <https://surl.lt/kwojvr>

45. Priyanka Bandara, David Carpenter. Planetary electromagnetic pollution: it is time to assess its impact, *Planetary-health*. Vol 2, pp. 512-514, 2018. URL: <https://surl.li/zgwevc>

46. Priyanka Bandara. Planetary electromagnetic pollution: it is time to assess its impact / Priyanka Bandara, David Carpenter // *Planetary-health*, 2018. Vol. 2. URL: <https://surl.li/ohdapy>

47. Radiofrequency radiation injures trees around mobile phone base stations / Cornelia Waldmann-Selsam, Alfonso Balmori-de la Puente, Helmut Breunig act. // *The Science of The Total Environment*. 2016. № 8. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27552133/>

48. Redlarski G., Lewczuk B., Żak A., Koncicki A., Krawczuk M., Piechocki J., Jakubiuk K., Tojza P., Jaworski J., Ambroziak D., Skarbek Ł., Gradolewski D. The influence of electromagnetic pollution on living organisms: historical trends and forecasting changes. *BioMed Research International*, 2015, Article ID 234098. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4355556/?utm_source=chatgpt.com

49. World Health Organization. *Extremely Low Frequency Fields*. Geneva, Switzerland: WHO, 2007. (Environmental Health Criteria Monograph). URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241572385>