

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГУМАНІТАРНО-ПЕДАГОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ ТА БІОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ

ДИПЛОМНА РОБОТА
МАГІСТРА

Вплив електромагнітного поля урбоекосистеми на живі організми
(на прикладі міста Хмельницького)

Галузь знань – 10 Природничі науки

Спеціальність – 101 Екологія

ДРЕКОЛ 022123.01.02.00

Виконав: студент 2 курсу групи ЕКОЛм-22-1 _____ А.П. Форостовський

Керівник _____ Н.Г. Міронова

Нормоконтролер _____ С.М. Шевченко

До захисту допускаю:

Зав. кафедри _____ Н.Г. Міронова

14 грудня 2023 року

ЗАВДАННЯ

АНОТАЦІЯ

Тема – Вплив електромагнітного поля урбоекосистеми на живі організми (на прикладі міста Хмельницького).

Автор – студ. ЕКОЛмз-22-1 А.П. Форостовський

Керівник – завідувач кафедри екології та біологічної освіти, доктор сільськогосподарських наук, професор Н.Г. Міронова.

Дипломна робота викладена на 73 сторінках, містить 12 таблиць, 4 рисунка та перелік джерел посилання, що включає 50 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПОЛЯ, УРБОЕКОСИСТЕМА, БІОТА, ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ, БІОТЕСТУВАННЯ, ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ.

У магістерській роботі охарактеризовано параметри та нормування електромагнітного забруднення. Проаналізовано його вплив на людину та біорізноманіття в умовах урбоекосистем. Узагальнено антропогенні джерела формування електромагнітних полів в урбоекосистемах та визначено джерела електромагнітного забруднення на території урбоекосистеми міста Хмельницького. Проведено вимірювання електричного та магнітного полів міста Хмельницького. Визначено їх вплив на живі організми шляхом біотестування (біотести – *Lepidium sativum* L., *Allium cepa* L.). Розроблено рекомендації щодо зменшення його впливу на людину при користуванні побутовими приладами.

12.12.2023 р.

А.П. Форостовський

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	5
1. Електромагнітне забруднення в урбоекосистемах та його вплив на живі організми.....	7
1.1 Характеристика параметрів та нормування.....	7
1.2 Вплив на людину.....	21
1.3 Вплив на біоту.....	29
1.4 Джерела утворення електромагнітних полів в урбоекосистемах...	41
2. Програма та методи досліджень.....	46
3. Дослідження електромагнітних полів урбоекосистеми міста Хмельницького та його впливу на живі організми.....	48
3.1 Характеристика урбоекосистеми міста Хмельницького та джерел електромагнітного випромінювання.....	48
3.2 Дослідження електромагнітних полів.....	56
3.3 Визначення токсичності електромагнітних полів методом біотестування.....	58
3.4 Визначення електромагнітного випромінювання від побутових приладів та розробка рекомендацій щодо зменшення їх негативного впливу на людину.....	61
Висновки.....	64
Перелік джерел посилання.....	67

Додаток А. Результати апробації проведених досліджень.....	74
--	----

ВСТУП

Актуальність теми. Електромагнітні поля (ЕМП) випромінюються багатьма природними та штучними джерелами, які відіграють важливу роль у повсякденному житті. Швидким розвитком таких технологій, як телерадіомовлення та система мобільного зв'язку, люди все більше піддаються впливу ЕМП. Сучасні технології стали причиною повсюдного електромагнітного забруднення (електросмогу) через генеровані ЕМП та випромінювання. Антропогенні джерела ЕМП включають медичне обладнання, електричні прилади, а також різноманітне бездротове, телекомунікаційне та радіомовне обладнання. При цьому цей вплив однозначно зростатиме, оскільки до мільйонів радіочастотних передавачів, що вже функціонують, додаються такі нові технології, як 5G, інтернет речей тощо.

Найбільше антропогенні джерела ЕМП локалізовані у містах. У зв'язку з цим, дослідження рівня електромагнітного забруднення в урбоекосистемах є актуальними і необхідними для пошуку рішень щодо поліпшення якості життя населення та збереження міської біоти. Дослідженням електромагнітних полів в урбоекосистемах світу та України займалась ціла когорта вчених, які досліджували його на території великих і середніх міст. Водночас такі дослідження на території міста Хмельницького – відсутні.

Метою роботи є визначення електромагнітного поля урбоекосистем та його вплив на живі організми на прикладі урбоекосистеми міста Хмельницького.

Для досягнення поставленої мети були визначені такі завдання:

- узагальнити дані щодо електромагнітного забруднення в урбоекосистемах та його вплив на живі організми;
- розробити програму та методику досліджень;
- дослідити електромагнітне поле урбоекосистеми міста

Хмельницького;

– визначити токсичний вплив електромагнітних полів в умовах хмельницької урбоекосистеми методом біотестування;

– розробити рекомендації щодо зменшення негативного впливу електромагнітних полів на людину.

Об’єкт дослідження: електромагнітне забруднення та його вплив на живі організми.

Предмет дослідження: електромагнітне забруднення урбоекосистеми міста Хмельницького та його токсичний вплив.

Гіпотеза дослідження: електромагнітне забруднення чинить негативний вплив на стан людей і біорізноманіття та є ваговою складовою параметричного забруднення в умовах урбоекосистем.

Методи дослідження: загальнонаукові (узагальнення, порівняння, аналіз та синтез, теоретико-методичного обґрунтування); математичної статистики; польові (натурні вимірювання електромагнітних полів на території хмельницької урбоекосистеми); біотестування (тест-об’єкт – крес-салат), Allium test.

Інноваційність одержаних результатів: вперше досліджено та проведено оцінку електромагнітного поля урбоекосистеми міста Хмельницького та визначено його токсичний вплив методом біотестування.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено рекомендації щодо зменшення негативного впливу електромагнітних полів. Результати роботи передано у відділ екології управління з питань екології та контролю за благоустроєм міста Хмельницької міської ради.

Апробація результатів дипломної роботи і публікації з теми дослідження. Робота була апробована на Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, 2023 р.). Публікація з теми дослідження (додаток А): «Вплив електромагнітного поля урбоекосистеми на живі організми (на прикладі міста Хмельницького)».

1 ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ЗАБРУДНЕННЯ В УРБОЕКОСИСТЕМАХ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ЖИВІ ОРГАНІЗМИ

1.1 Характеристика параметрів та нормування

Електромагнітне випромінювання – це електричні та магнітні збурення, що поширюються в просторі зі швидкістю світла ($2,998 \cdot 10^8$ м/с). Прикладами електромагнітного випромінювання є радіохвилі та мікрохвилі, а також інфрачервоне, ультрафіолетове, гамма та рентгенівське випромінювання. Деякі джерела електромагнітного випромінювання включають джерела в космосі (наприклад, сонце та зірки), радіоактивні елементи та промислові пристрої.

Енергія, що передається різними довжинами хвиль, може перетворюватися на інші форми енергії лише після того, як вона поглинається речовиною. За довжиною хвиль електромагнітне випромінювання поділено на спектр променів:

- гамма-промені;
- рентгенівські;
- ультрафіолетові;
- видиме світло;
- інфрачервоні;
- мікрохвильові;
- радіохвилі.

Радіохвилі мають найдовшу довжину хвилі та найнижчу частоту. Гамма-промені є хвилями з найвищою енергією, мають найкоротшу довжину хвилі та найвищу частоту.

Електромагнітне випромінювання поширюється у вигляді хвилі з постійною швидкістю. Хвильові характеристики електромагнітного випромінювання визначаються як співвідношення швидкості до довжини хвилі (відстань по прямій лінії одного циклу) і частоти (циклів на секунду, або герц, Гц) [1].

Електромагнітне випромінювання в оточенні людини створюється як природними, так і штучними джерелами. Природні джерела включають:

- електромагнітне випромінювання сонця, яке створює щільність потоку потужністю 1400 Вт/м^2 у широкому діапазоні радіочастоти над атмосферою Землі, а на поверхні землі не більше 100 Вт/м^2 ;

- електростатичне (до декількох В/м) та магнітне (до 40 А/м) поля, що випромінюються земними джерелами;

- електромагнітне випромінювання, спричинене природними явищами на землі, наприклад, грозовими розрядами, турбулентністю в іоносфері тощо.

Природні випромінювачі створюють протягом усього існування людства на Землі електромагнітний фон менше, ніж 1 мкВт/см^2 , до якого людство давно пристосувалося.

За останні 100 років спостерігається зростання рівня електромагнітного фону, що зумовлено швидким розвитком штучних джерел електромагнітного випромінювання (рисунок 1.1, www.solpass.org).

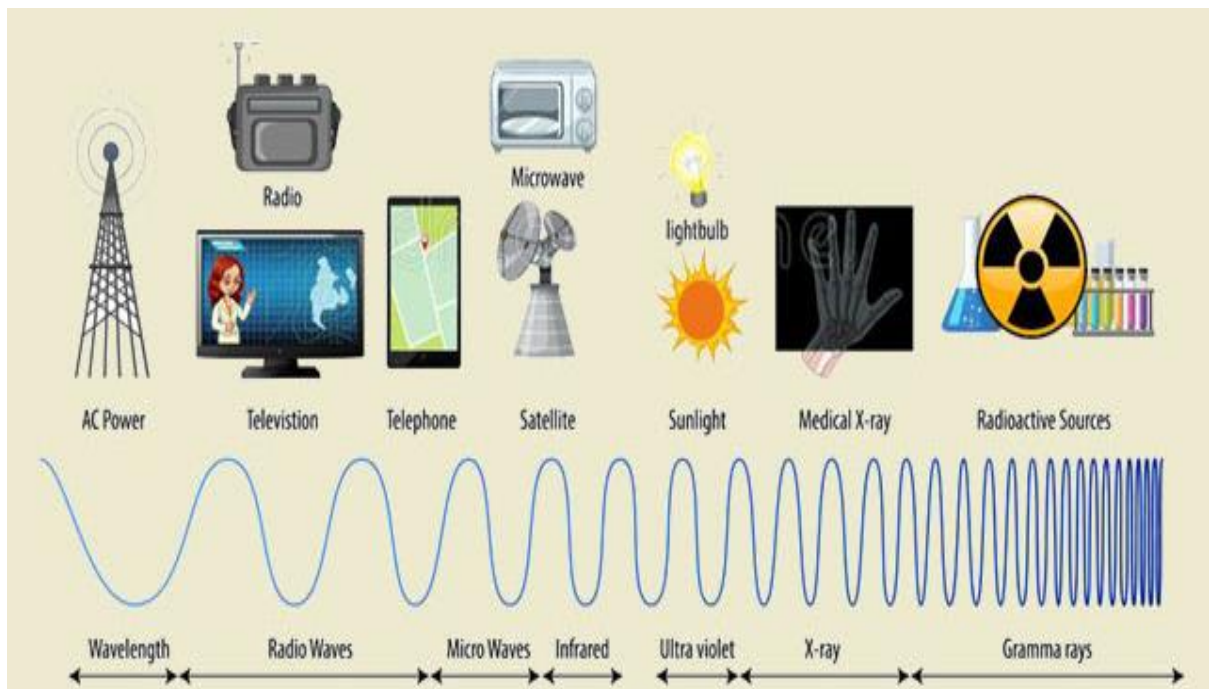


Рисунок 1.1 – Штучні джерела електромагнітного випромінювання

В цілому їх можна поділити на дві великі групи:

– радіосистеми: радіотелевізійні станції, радары, радіонавігаційні системи, радіорелейні лінії зв'язку, системи мобільного зв'язку, технологічні установки в промисловості, фізіотерапевтичні установки тощо;

– пристрої, які не призначені для випромінювання електромагнітної енергії, але в яких протікає електричний струм, внаслідок чого вони є джерелами ЕМП: трансформаторні підстанції, високовольтні лінії електропередач, електричні плити, електрообігрівачі, холодильники, телевізори, мікрохвильові печі тощо.

Глобальна система мобільного зв'язку (GSM, 850–900 МГц і 1850–1990 МГц) на даний момент є найрозгалуженішою системою мобільного зв'язку в усьому світі. Моделі мобільних телефонів (1800–2200 МГц), ноутбуки (1000–3600 МГц) і бездротові мережі, які використовуються сьогодні, працюють з високочастотним (2,45 ГГц) мікрохвильовим випромінюванням.

Електромагнітні поля різних діапазонів довжин хвиль є біологічно активними і можуть впливати на живі організми.

Організм людини свідомо реагує тільки на електромагнітні хвилі оптичного діапазону, тоді як для інших діапазонів хвиль люди не мають чутливих органів (можливо, під час еволюції їх чутливість була втрачена). Однак, як показує практика та дослідження, найбільш чутливими органами до таких випромінювань є: очі, центральна нервова система, серцево-судинна, гормональна та репродуктивна системи.

Незважаючи на численні дослідження впливу електромагнітних полів на здоров'я людини, поки що є лише розрізнена інформація про дію певних діапазонів електромагнітних хвиль з відповідними потоками потужностей та часу експозиції. Тому для забезпечення безпеки в усіх країнах світу діють стандарти норм безпеки опромінення електромагнітним випромінюванням. Наступні параметри були обрані як основа для нормування впливу електромагнітного поля:

– питома потужність ЕМП, мВт/см²;

- питома швидкість поглинання, SAR (ступінь питомого поглинання), мВт/г, Вт/кг;
- максимально допустиме опромінення, мВт/см²;
- час експозиції, хв.

В останні десятиріччя практично у всіх країнах посилились вимоги національних законодавств і нормативів з охорони навколишнього середовища, що регламентують пріоритетність забезпечення екологічної безпеки у всіх видах діяльності, що торкнулось і нормування електромагнітного опромінення.

В цілому стандарти, що регламентують вплив ЕМП поділяють на дві групи:

- норми безпеки для персоналу, який працює з установками, що випромінюють електромагнітні поля;
- стандарти безпеки для населення.

Такий підхід використовується у країнах Європи, США, Японії тощо.

Норми безпеки перебування персоналу в зоні електромагнітного випромінювання, розроблені різними інститутами та комітетами країн світу:

- CENELEC (Європейський комітет з електротехнічної стандартизації) розробив і затвердив документ ES 59005 у жовтні 1998 р., яким визначено, що найбільший SAR в діапазоні частот від 30 МГц до 6 ГГц: для тканин рук, ніг за час до 6 хв. не повинен перевищувати 20 мВт/г; для інших тканин (не кінцівок) – не має перевищувати 10 мВт/г; для всього робочого тіла персоналу не більше 0,4 мВт/г.

Допустимі значення електромагнітного опромінення всього тіла персоналу в діапазоні частот, що використовується мобільним зв'язком, не повинна перевищувати за час 6 хв. $SAR \leq 0,4$ мВт/г.

Стандарти безпеки для населення зазвичай приблизно від 5 разів до 10 разів повинні бути меншими, ніж допустимі норми, прийняті для обслуговуючого персоналу. Допустимі норми безпеки електромагнітних випромінювань для населення, прийняте в різних стандартах:

– CENELEC ES 59005, 1998: для тканин ніг, рук тощо середнє значення SAR за час $\tau \leq 6$ хв. має не перевищувати значення: $SAR \leq 4$ мВт/г; для інших тканин (м'язів тощо) середнє значення SAR протягом $\tau \leq 6$ хв. не повинна перевищувати значень: $SAR \leq 2$ мВт/г; для всього тіла людини при $\tau \leq 6$ хв., середнє значення $SAR \leq 0,08$ мВт/г, тобто у 5 разів менше, ніж для персоналу.

Показник SAR активно використовується для нормування рівнів електромагнітного випромінювання мобільних телефонів. У таблиці 1.1 наведено експериментальні значення SAR (біля вуха та біля тіла) для мобільних телефонів, виготовлених провідними компаніями.

Тблиця 1.1 – SAR для мобільних телефонів, мВт/г [2]

Виробник - модель	SAR (біля вуха)	SAR (біля тіла)
1	2	3
Apple - iPhone SE	0,72	0,97
Apple - iPhone 8	1,32	1,36
Apple - iPhone X	0,92	0,95
Samsung - Galaxy Note8 DUOS	0,17	1,29
Samsung - Galaxy J1	0,99	1,17
Samsung - Samsung Galaxy S9+	0,294	1,35
Xiaomi - Redmi 4X LTE Dual SIM	0,39	1,41
Xiaomi - Xiaomi Mi A1	1,75	0,76
Sony Mobile - Xperia X Compact	1,08	1,25
Sony Mobile - Xperia XZ Premium	1,21	1,16

Nokia 7 Plus	0,361	1,776
--------------	-------	-------

Кінець таблиці 1.1

1	2	3
LG V30	0,48	1,23
Huawei - Huawei P20 Pro Dual SIM	0,73	1,22
Apple - iPhone SE	0,72	0,97

Максимальне значення SAR, що менше або дорівнює 1,7 мВт/г для мобільних телефонів перевищує допустимі норми відповідно до стандарту CENELEC. Тому використання мобільних телефонів абонентами стільникового рухомого зв'язку на кордонах стільникового зв'язку (тобто на значній відстані мобільних станцій від базової, для стандарту GSM на відстанях від 10 км до 30 км), коли передавач мобільної станції працює на максимальній потужності, бажано мати короткий час розмови – не більше 2 хв.

Нормування електромагнітного випромінювання в Україні працівників на робочих місцях регламентується «Державними санітарними нормами та правилами при роботі з джерелами електромагнітних полів», що затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 18.12.2002 N 476.

Для населення ці норми 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, а також ДБН В.2.5-24:2012 «Електрична кабельна система опалення».

Державні санітарні норми для населення включають розділи «Санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних полів, що створюють радіотехнічні об'єкти (РТО)» та «Санітарні норми і правила

захисту населення від впливу електричного поля, що створюють пристрої електропередачі змінного струму промислової частоти».

Електромагнітна енергія, що випромінюється антенами передавальних РТО, поширюється в просторі, утворюючи ЕМП, яке прийнято характеризувати двома нерозривно пов'язаними складовими:

- електричною (Е);
- магнітною (Н).

Напруженість електричного поля – векторна фізична величина (Е), яка є основною кількісною характеристикою електричного поля, що виражається відношенням сили, що діє з боку поля на електричний заряд, до величини заряду, вимірюється у вольтах на метр (В/м).

Напруженість магнітного поля – векторна фізична величина (Н), яка є кількісною характеристикою магнітного поля, виражає силу, з якою поле діє на одиницю довжини прямолінійного провідника, із силою струму в одну одиницю, розміщеного перпендикулярно до напрямку магнітних силових ліній, вимірюється в амперах на метр (А/м). Встановлені Державними санітарними нормами гранично допустимі рівні (ГДР) ЕМП поширюються на діапазон частот від 30 кГц до 300 ГГц (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Номенклатура діапазонів частот (хвиль)

Номер діапазону	Діапазон частот	Діапазон хвиль	Відповідний метричний розподіл діапазонів
1	2	3	4
5	Від 30 кГц до 300 кГц	Від 10^{-4} м до 10^{-3} м	Кілометрові хвилі (низькі частоти, НЧ)
6	Від 300 кГц до 3000 кГц	Від 10^{-3} м до 10^{-2} м	Гектометрові хвилі (середні частоти, СЧ)
7	Від 3 МГц до 30 МГц	Від 10^{-2} м до 10 м	Декаметрові хвилі (високі частоти, ВЧ)
8	Від 30 МГц до	Від 10 м до 1 м	Метрові хвилі (дуже високі

	300 МГц		частоти, ДВЧ)
--	---------	--	---------------

Кінець таблиці 1.2

1	2	3	4
9	Від 300 до 3000 МГц	Від 1 м до 0,1 м	Дециметрові хвилі (ультрависокі частоти, УВЧ)
10	Від 3 до 30 ГГц	Від 10 см до 1 см	Сантиметрові хвилі (надвисокі частоти, НВЧ)
11	Від 30 до 300 ГГц	Від 1 см до 0,1 см	Міліметрові хвилі (надзвичайно високі частоти, НЗВЧ)

Електромагнітне поле в діапазонах частот від 5 до 8 оцінюється напруженістю поля, В/м.

Електромагнітне поле в діапазонах частот від 9 до 11 оцінюється поверхневою густиною потоку енергії (ГПЕ), Вт/м².

Гранично допустимі рівні напруженості електричного поля (електрична складова ЕМП), що виражаються середньоквадратичним (ефективним) значенням, і рівень ГПЕ, який виражається середнім значенням, визначаються в залежності від частоти (довжини хвилі) і режиму випромінювання за таблицями 1.3 – 1.4.

Таблиця 1.3 – Гранично допустимі рівні електромагнітних полів (безперервне випромінювання, амплітудна або кутова модуляція)

№ діапазону	Метричний розподіл діапазонів	Частоти	Довжини хвиль	ГДР, В/м
1	2	3	4	5

5	Кілометрові хвилі (низькі частоти, НЧ)	30-300 кГц	10:1 км	25
---	---	---------------	---------	----

Кінець таблиці 1.3

1	2	3	4	5
6	Гектаметрові хвилі (середні частоти, СЧ)	0,3-3 МГц	1:0,1 км	15
7	Декаметрові хвилі (високі частоти, ВЧ)	3-30 МГц	100:10 м	(див. таблицю 1.3)
8	Метрові хвилі	30-300 МГц	10-1 м	6

Таблиця 1.4 – Гранично-допустимі рівні напруженості електромагнітного поля, створюваного радіопередавальними станціями декаметрового діапазону

Частота, МГц	Довжина хвилі, м	ГДР, В/м	Частота, МГц	Довжина хвилі, м	ГДР, В/м
1	2	3	4	5	6
3	100,0	6	17	17,6	3,7
4	75,0	5,6	18	16,7	3,7
5	60,0	5,3	19	15,8	3,6
6	50,0	5,1	20	15,0	3,5
7	42,9	4,9	21	14,3	3,5
8	37,5	4,7	22	13,6	3,4
9	33,3	4,6	23	13,0	3,3

10	30,0	4,4	24	12,5	3,3
11	27,3	4,3	25	12,0	3,2
12	25,0	4,2	26	11,5	3,2

Кінець таблиці 1.4

1	2	3	4	5	6
13	23,1	4,1	27	11,1	3,1
14	21,4	4,0	28	10,7	3,1
15	20,0	3,9	29	10,3	3,0
16	18,8	3,8			

Гранично допустимий рівень ЕМП для РТО, що працюють у діапазонах дуже високих, ультрависоких, надвисоких та надзвичайно високих частот, встановлюється на рівні 100 мкВт/см^2 або $19,42 \text{ В/м}$.

Майданчики для розміщення проєктованих РТО необхідно вибирати з урахуванням потужності передавачів, характеристик спрямованості випромінювання, висоти розташування і конструктивних особливостей антен, рельєфу місцевості, функціонального призначення прилеглих територій, висоти забудови для того, щоб рівні ЕМП на території, призначеній для забудови, не перевищували ГДР.

Санітарно-захисною зоною вважається територія, де на висоті до 2 м від поверхні землі перевищуються гранично допустимі рівні ЕМП. Санітарно-захисна зона, як правило, прилягає до технічної території РТО. Зовнішня межа санітарно-захисної зони визначається на висоті до 2 м від поверхні землі за гранично допустимими рівнями ЕМП.

Територію зони обмеження забудови дозволяється використовувати для розміщення забудов різного функціонального призначення при умові дотримання в місцях перебування населення ГДР відповідно до вимог. З цією

метою в існуючій чи проектованій забудові необхідно вжити захисні заходи, які забезпечують зниження рівня ЕМП до нормативних значень з урахуванням можливих перевипромінювань.

У зоні обмеження забудови будівлі лікувально-профілактичних установ зі стаціонарами, оздоровчих, дитячих дошкільних і шкільних закладів, будинків інвалідів і престарілих потрібно розміщувати на ділянках території, де створюється радіотінь.

При розміщенні об'єктів громадського будівництва в зоні обмеження забудови слід враховувати можливість зниження рівня ЕМП на майданчиках відпочинку та спорту за рахунок екрануючого ефекту будинків і споруд, а в приміщеннях – за рахунок розташування житлових, громадських і промислових будинків торцем або фасадом з якнайменшою площею застакнення до джерела ЕМП. При необхідності розташування будинків фасадом до джерела можна використовувати будинки галерейного типу, орієнтовані житловими приміщеннями у бік, протилежний від джерела випромінювання.

При проектуванні забудови в зоні обмеження забудови необхідно передбачати густоту житлового фонду за нижньою межею будівельних норм і правил. У зоні обмеження забудови рекомендується передбачати спорудження огорожувальних конструкцій і покрівель житлових, громадських і промислових будинків із матеріалів з високими радіоекрануючими властивостями (наприклад, із залізобетону), або з покриттям заземленою металевією сіткою. Крім того, слід враховувати можливість застосування захисних стінок, піддашся, глибоких лоджій тощо.

Територія зони обмеження забудови повинна бути озеленена, площа твердого покриття проїздів, тротуарів і пішохідних доріжок – мінімальною. Перевагу слід надавати піщаним, ґрунтовим або гравійно-щебеним покриттям.

Електричні мережі створюють в навколишньому середовищі електричне поле (ЕП), напруженість якого знижується в міру віддалення від них.

Елементами електричних мереж є повітряні лінії електропередачі (ПЛ) змінного струму промислової частоти (50 Гц), електричні і трансформаторні підстанції, розподільні пристрої, струмопроводи, підземні та підводні кабельні лінії електропередачі, підстанції тощо.

У залежності від доступності для людей, транспорту та сільськогосподарських машин, місцевість, по якій проходить ПЛ, поділяється на такі категорії:

- до населеної місцевості відносять територію міст, селищ, сіл, промислових і сільськогосподарських підприємств, садівничих товариств, портів, пристаней, залізничних станцій, парків, бульварів, пляжів з урахуванням меж їх розвитку на найближчі 10 років;

- до ненаселеної місцевості відносять незабудовану територію, частково відвідувану людьми, доступну для транспорту і сільськогосподарських машин, а також городи, сади поза присадибними ділянками, сади і місцевості з окремими, рідко розташованими будинками і тимчасовими спорудами;

- до важкодоступної – територію, не доступну для транспорту і сільськогосподарських машин.

Розміри межі зони житлової забудови визначаються постановами місцевих органів управління.

Електричне поле, в залежності від його рівня, може здійснювати шкідливий вплив на людину. Відповідно до Державних санітарних правил і норм озрізняють такі види впливу:

- безпосередній вплив, який проявляється при перебуванні в ЕП, причому ефект впливу посилюється зі збільшенням напруженості поля і часу перебування в ньому;

– вплив електричних розрядів (імпульсного струму), які виникають при дотику людини до незаземлених конструкцій, корпусів машин і механізмів на пневматичному ходу і протяжних провідників або при дотику людини, ізольованої від землі, до рослин, заземлених конструкцій та інших заземлених об'єктів;

– вплив струму, який проходить через людину, що знаходиться в контакті з ізольованими від землі об'єктами (великогабаритними предметами, машинами і механізмами, протяжними провідниками), – струму стікання.

За ГДР прийняті такі значення напруженості ЕП:

- всередині житлових будинків – 0,5 кВ/м;
- на території зони житлової забудови – 1 кВ/м;
- у населеній місцевості, поза зоною житлової забудови (землі в межах міста з урахуванням перспективного розвитку на 10 років, приміські та зелені зони, курорти, землі селищ міського типу, в межах селищної межі і сільських населених пунктів, в межах цих пунктів), а також на території городів і садів – 5 кВ/м;
- на ділянках перетину ПЛ з автомобільними шляхами I-IV категорій – 10 кВ/м;
- у ненаселеній місцевості (незабудована територія, яку відвідують люди, доступна для транспорту, та сільськогосподарські угіддя) – 15 кВ/м;
- у важкодоступній місцевості (не доступній для транспорту і сільськогосподарських машин) та на ділянках, спеціально відгороджених для виключення доступу населення – 20 кВ/м.

З метою захисту населення від впливу ЕП встановлюються санітарно-захисні зони. Санітарно-захисною зоною вважається територія, на якій напруженість ЕП перевищує 1 кВ/м. Це земельна ділянка, межі якої регламентуються по обидві сторони від неї на певній відстані від проекції крайніх фазних проводів на землю, в перпендикулярному до ПЛ напрямку:

- 20 м для ПЛ напругою 300 кВ;

- 30 м для ПЛ напругою 500 кВ;
- 40 м для ПЛ напругою 750 кВ;
- 55 м для ПЛ напругою 1150 кВ.

Якщо напруженість ЕП перевищує ГДР, необхідно вжити заходи щодо її зниження. У місцях можливого перебування людей напруженість ЕП може бути зменшена шляхом:

- віддалення житлової забудови від ПЛ або ПЛ від житлової забудови;
- застосування екрануючих пристроїв та інших засобів зниження напруженості ЕП.

ГДР електричних полів частотою 50 Гц визначаються залежно від часу дії цього фактора на організм людини за робочу зміну. Перебування в електричному полі напруженістю до 5 кВ/м включно допускається протягом 8 годин робочого дня.

При напруженості електричного поля від 20 кВ/м до 25 кВ/м час перебування персоналу в електричному полі не повинен перевищувати 10 хвилин. Перебувати в електричному полі напруженістю понад 25 кВ/м без застосування засобів захисту забороняється.

Рівні напруженості магнітного поля частотою 50 Гц при постійному впливі не повинні перевищувати 1,4 кА/м протягом робочого дня (8 год).

Документом регламентуються значення ГДР напруженості електричної (Е) і магнітної (Н) складових залежно від тривалості їх дії. Оцінка рівнів дії постійних магнітних полів, а також змінних ЕМП у діапазонах частот 50 Гц, від 1 кГц до 300 МГц здійснюється шляхом вимірювання напруженості електричної і магнітної складових ЕМП, у діапазоні частот від 300 МГц до 300 ГГц – шляхом вимірювання ЩПЕ з урахуванням часу перебування персоналу в зоні опромінювання.

Гігієнічна регламентація та дослідження впливу магнітного поля на людину, що проводяться за ініціативи Всесвітньої організації охорони здоров'я, досі тривають. У діючих документах використовується показник напруженості магнітного поля (А/м), який унормований лише для робочої

зони. Рівні постійних магнітних полів протягом робочого дня не повинні перевищувати 8 кА/м.

Відповідно до Європейських рекомендацій, наведених в Додатку Е ДБН В.2.5-24:2012, магнітне поле у приміщеннях житлового та громадського призначення не повинно перевищувати 0,1 μT (одиниця вимірювання індукції магнітного поля).

В українській нормативно-правовій базі міститься норма лише для магнітного поля кабельних ліній (Правила улаштування електроустановок), яка відповідає 0,5 μT всередині житлових приміщень.

1.2 Вплив на людину

Електромагнітні поля всіх частот являють собою один із найпоширеніших і швидко зростаючих впливів навколишнього середовища, щодо якого існує тривога та поширюються припущення. Зараз різним ступенем опромінення ЕМП охоплені всі популяції світу і з розвитком технологій цей вплив продовжуватиме зростати.

Сьогодні думки дослідників щодо впливу електромагнітного забруднення на людину розділилися. Це пов'язано з тим, що попередні дослідження дуже неоднозначно вказували на негативний або позитивний, а іноді й нейтральний вплив електромагнітних полів та/або електромагнітного випромінювання.

Історично ХІХ століття було золотим віком для електрики і магнетизму та часом їх бурхливого розвитку як наукових галузей. У ті часи була поширеною думка про позитивний вплив електрики та магнетизму на організм людини. Проте до кінця 60-х років 20 століття ця позитивна думка почала змінюватися у відповідь на нові відкриття, що супроводжували розвиток відповідних напрямків сучасної науки. Багато вчених, які намагалися описати механізми спостережуваних явищ, частіше схилилися до думки про нейтральний вплив електрики і магнетизму на живі організми.

Одним із перших звітів про їх потенційно шкідливий вплив на живі організми був опублікований у 1979 році [4]. В ньому наведено результати перевірки здоров'я дітей з Денвера (штат Колорадо, США), які жили в будинках, підданих впливу магнітних полів високої інтенсивності від ліній електропередач поблизу будинків. Автори стверджують, що діти, які піддавалися впливу магнітних полів більшої інтенсивності, мали дещо вищий ризик розвитку лейкемії, ніж діти, які не піддавалися цьому впливу.

З 1980 по 2002 рік було опубліковано понад 200 досліджень про вплив електромагнітних полів, створюваних лініями електропередач, на людину. Близько 60 % з них вказали на відсутність негативних наслідків цих полів, тоді як решта 40 % повідомили про деякі менші або більші негативні наслідки [4].

Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) у 1996 році заснувала Міжнародний проект ЕМП для оцінки наукових доказів можливого впливу ЕМП на здоров'я в частоті діапазон від 0 Гц до 300 ГГц. Проект ЕМП заохочує цілеспрямовані дослідження, щоб заповнити важливі прогалини у знаннях і сприяти розробці прийнятих на міжнародному рівні стандартів, що обмежують вплив ЕМП [5]. Завданням Міжнародного проекту ЕМП є оцінка впливу на здоров'я та навколишнє середовище статичних і змінних у часі електричних і магнітних полів у діапазоні частот від 0 Гц до 300 ГГц. Для цілей проекту ЕМП цей діапазон поділяється на:

- статичні (0 Гц);
- надзвичайно низькі частоти (ЕМП, від 0 Гц до 300 ГГц);
- проміжні частоти (від 300 Гц до 10 МГц);
- радіочастоти (від 10 МГц до 300 ГГц).

У 2007 році ВООЗ представила підсумковий звіт міжнародної дослідницької програми «Електромагнітні поля» [6], у якому була зазначена необхідність обережної оцінки впливу електромагнітних полів, що пов'язано із браком наукової інформації з питань їх впливу на населення, у тому числі з

боку таких джерел, як системи безпеки та розмагнічування, індукційне приготування їжі, водонагрівальні прилади, мобільний зв'язок тощо.

Було висловлено занепокоєння, що вплив магнітних полів надзвичайно низької частоти (50/60 Гц) може призвести до збільшення захворюваності на рак у дітей та інших негативних наслідків для здоров'я. Докази були отримані переважно в епідеміологічних дослідженнях. Ці дослідження показували, що діти, які піддаються впливу таких магнітних полів, мають підвищений ризик лейкемії.

Радіочастотні (РЧ) поля використовуються з великою користю в багатьох аспектах повсякденного життя, таких як радіо- та телевізійна передача, телекомунікації (наприклад, мобільні телефони), діагностика та лікування захворювань, а також у промисловості для нагрівання та ущільнення матеріалів.

З появою і швидким поширенням мобільних телекомунікаційних пристроїв, особливо серед населення, значна увага науковців зосередилася на проблемах, пов'язаних із радіочастотним опроміненням ближнього поля і його впливом на людину від маленької випромінюючої антени мобільних телефонів. Крім того, існує занепокоєння, що специфічні наслідки для здоров'я будуть формуватись через вплив імпульсних та амплітудно-модульованих радіочастотних полів.

З розвитком суспільства широке використання певних технологій призводить до збільшення впливу статичних електричних і магнітних полів. Особливо це стосується промисловості, транспорту, передачі електроенергії, досліджень і медицини. Можливий вплив статичних полів на здоров'я досі належним чином не оцінювався. Враховуючи швидке поширення медичних пристроїв і неминуче впровадження, потенційно у великих масштабах, транспортних систем магнітної левітації, які використовують сильні статичні магнітні поля, необхідно належним чином оцінити будь-який вплив на здоров'я.

У рамках програми ВООЗ було розглянуто понад 1100 різноманітних наукових публікацій і звітів про дослідження. У розділі доповіді, присвяченому впливу магнітних полів низької частоти 50 Гц і 60 Гц, було зазначено, що немає вагомих підстав посилювати ліміти струму для тривалого впливу цих полів, однак, рекомендується бути обережним [5].

У травні 2011 року в Ліоні Міжнародне агентство з дослідження раку (IARC) і ВООЗ кваліфікували електромагнітні поля радіочастот як такі, що, можливо, збільшують ризик розвитку злоякісного раку мозку, гліоми, що в основному пов'язаний з використанням мобільних телефонів [6].

Проведена у 2018 році оцінка більш ніж двох тисяч досліджень (включно з дослідженнями *in vitro* та *in vivo*) показала, що в більшості досліджень (68,2 %) були продемонстровані біологічні ефекти або ефекти для здоров'я людини, що пов'язані з впливом антропогенних ЕМП [7].

Завдяки хімічним реакціям, які відбуваються в рамках нормальних функцій організму, в організмі людини існують невеликі електричні струми, навіть за відсутності зовнішніх електричних полів. Наприклад, нерви передають сигнали, передаючи електричні імпульси. Більшість біохімічних реакцій, від травлення до діяльності мозку, відбуваються разом із перегрупуванням заряджених частинок. Навіть серце є електрично активним – діяльність, яку лікар може відстежити за допомогою електрокардіограми. Водночас збільшення впливу антропогенних ЕП може змінити природні властивості організму людини та перебіг природних процесів у ньому, що потребує детального вивчення цих впливів для кожного варіанту ЕП.

Низькочастотні електричні поля. Впливають на організм людини так само, як вони впливають на будь-який інший матеріал, що складається із заряджених частинок. Коли електричні поля діють на провідні матеріали, вони впливають на розподіл електричних зарядів на їх поверхні. Вони викликають течію струму через тіло до землі.

Низькочастотні магнітні поля. Викликають циркулюючі струми в тілі людини. Сила цих струмів залежить від інтенсивності зовнішнього

магнітного поля. Якщо ці струми достатньо великі, вони можуть викликати стимуляцію нервів і м'язів або впливати на інші біологічні процеси.

І електричні, і магнітні поля індукують напругу та струми в тілі, але навіть безпосередньо під високовольтною лінією електропередачі індуковані струми дуже малі порівняно з пороговими значеннями для створення удару та інших електричних ефектів.

Нагрівання є основним біологічним ефектом електромагнітних полів радіочастотних хвиль. У мікрохвильових печах цей факт використовується для розігрівання їжі. Рівні радіочастотних полів, яким зазвичай піддаються люди, набагато нижчі, ніж ті, які необхідні для значного нагрівання. Нагрівальний ефект радіохвиль є основою для поточних рекомендацій. Вчені також досліджують можливість того, що ефекти, нижчі за пороговий рівень нагрівання тіла, виникають у результаті тривалого впливу. На сьогоднішній день не було підтверджено жодних негативних наслідків для здоров'я від низького рівня тривалого впливу радіочастот або полів потужної частоти, але вчені активно продовжують досліджувати цю область.

Біологічні ефекти – це вимірні відповіді на подразник або зміну навколишнього середовища. Ці зміни не обов'язково є шкідливими для здоров'я. Тіло має складні механізми, щоб пристосовуватися до численних і різноманітних впливів, з якими ми стикаємося в навколишньому середовищі. Постійні зміни є нормальною частиною нашого життя. Але, звичайно, організм не має адекватних механізмів компенсації всіх біологічних впливів. Зміни, які є незворотними та навантажують систему протягом тривалого часу, можуть становити небезпеку для здоров'я.

Несприятливий вплив на здоров'я викликає помітне його погіршення для особи, що зазнала впливу, або її нащадків; біологічний вплив може призводити до несприятливих наслідків для здоров'я, а може і ні.

Не заперечується, що електромагнітні поля вище певного рівня можуть викликати біологічні ефекти. Експерименти зі здоровими добровольцями

показують, що короточасний вплив ЕП не викликає жодних очевидних шкідливих наслідків. Більш потужний вплив, що може бути шкідливим, обмежується національними та міжнародними нормами. Поточні дебати зосереджені на тому, чи може тривалий низький рівень впливу викликати біологічні реакції та впливати на здоров'я людей.

Вплив на вагітність. Багато різних джерел випромінювання і впливів ЕП у житловому та робочому середовищі, включаючи екрани комп'ютерів, електричні коври, радіочастотні зварювальні машини, обладнання для діатермії та радари, були оцінені ВООЗ та іншими організаціями. Були періодичні повідомлення про зв'язок між ймовірним впливом електромагнітних полів і проблемами зі здоров'ям вагітних жінок, зокрема це повідомлення про недоношеність і низьку вагу при народженні дітей працівниць електронної промисловості [8].

В огляді [9] для вивчення впливу ЕМП під час вагітності на ризик спонтанного аборту проаналізовано шість повідомлень: п'ять досліджень підтвердили вплив електромагнітних хвиль на спонтанні аборти. Також було зазначено, що ризик викидня у вагітних жінок, які зазнали впливу ЕМП, був у 1,69 рази вищий, ніж ризик для жінок, які не зазнали впливу. Існує значний зв'язок між впливом низькочастотного ЕМП (від 3 Гц до 3000 Гц), створюваного джерелами вдома, та ризиком викидня у вагітних жінок на терміні менше 14 тижнів вагітності. Дослідники також виявили, що тривалість використання мобільного телефону протягом дня та інтервали між використанням мобільного телефону впливають на ризик викидня.

Катаракта. Повідомлялося про загальне подразнення очей і катаракту у працівників, які піддавалися впливу високого рівня радіочастотного та мікрохвильового випромінювання, але дослідження на тваринах не підтверджують ідею про те, що такі форми пошкодження очей можуть виникати на рівнях, які не є термічно небезпечними [10].

Нервова система. Найбільш уразливої для впливу магнітних полів є нервова система. Виділено 3 синдроми порушення нервової регуляції внаслідок хронічного впливу ЕМП [8]:

- астенічний;
- астеновегетативний або синдром вегетосудинної дистонії;
- гіпоталамічний.

Часті головні болі, дратівливість, підвищена стомлюваність, порушення сну, періодичні болі в області серця, артеріальна гіпотонія й брадикардія характерні для астенічного синдрому, що має місце в початковій стадії захворювання. В окремих важких випадках виникають кризи, що супроводжуються характерним головним болем приступоподібного характеру, емоційною лабільністю, гіперзбудливістю, порушенням сну й зниженням пам'яті, тремором пальців рук, зниженою температурою рук і ніг. Серед працюючих у зоні промислових частот і населення, що проживає поблизу ЛЕП, поширені депресивні стани [11].

Електромагнітні поля і онкологічні захворювання. Незважаючи на численні дослідження, докази будь-якого ефекту залишаються дуже суперечливими. Результати, отримані на сьогоднішній день, містять багато невідповідностей, але значного збільшення ризику будь-якого раку у дітей чи дорослих виявлено не було. Ряд епідеміологічних досліджень свідчать про незначне підвищення ризику розвитку лейкемії у дітей під час впливу низькочастотних магнітних полів вдома. Проте вчені не дійшли загального висновку, що ці результати вказують на причинно-наслідковий зв'язок між впливом полів і хворобою (на відміну від артефактів у дослідженні чи ефектів, не пов'язаних із впливом поля) [8]. Частково цей висновок був зроблений тому, що дослідження на тваринах і лабораторні дослідження не змогли продемонструвати будь-яких відтворених ефектів, які б узгоджувалися з гіпотезою про те, що поля викликають або сприяють раку. У зв'язку з тим, що останнім часом широкого поширення отримав стільниковий (мобільний) зв'язок, найбільш гостро постає питання розгляду механізмів дії

високоенергетичних ЕМП, що відносяться до мікрохвильового діапазону. Область опромінення під час роботи телефону – головний мозок і рецептори вестибулярного й зорового аналізаторів. Розрахунки поглиненої енергії ЕМП у мозку людини показують, що при використанні радіотелефону потужністю 0,6 Вт із робочою частотою 900 МГц, «питома» енергія поля в головному мозку становить від 120 мкВт/см² до 230 мкВт/см². Тривалий вплив гранично припустимих доз випромінювання призводить до посилення хвиль альфа-діапазону біоелектричної активності головного мозку під час і після вимикання ЕМП. Особливому ризику піддаються люди, що розмовляють по радіотелефону усередині автомашини. Якщо антена апарата перебуває усередині автомашини, то її корпус є резонатором і в декілька разів підсилює дозу поглиненого випромінювання. У зв'язку з окремими повідомленнями про розвиток пухлин головного мозку в користувачів стільникового (мобільного) зв'язку останнім часом особлива увага приділяється негативним ефектам ЕМП, що виникають при його роботі. Локальний вплив ЕМП інтенсивністю від 10 МГц до 10 ГГц веде до інтенсивного нагрівання структур головного мозку, що може призводити до розвитку раку.

Аналіз можливого впливу електромагнітного випромінювання мобільного телефону на людину вказує на те, що при інтенсивності менше 10 мВт/см² температура тканин тіла людини практично не збільшується. Скоріше за все, взаємодія електромагнітного поля і тканинної структури відбувається на клітинному рівні і рівні мембран.

При інтенсивності електромагнітного випромінювання більше 10 мВт/см² у діапазоні частот від 100 МГц до 3000 МГц можуть формуватися такі ефекти [12]:

- підвищення місцевої температури, особливо в області ока та тканин мозку;
- підвищення температури шкіри;

- комплексна взаємодія електромагнітного поля з нейронами головного мозку, зміна біоритмів, умов передачі та зберігання інформації, викликаючи певний ефект «радіозвуку»;
- умови, що ініціюють утворення пухлин головного мозку;
- незворотні зміни кришталика ока (поява катаракти), зміни процесів, що відбуваються в очному дні;
- зміна процесів, що відбуваються в організмі на мембранному рівні, що може викликати порушення обміну речовин;
- зміна в'язкості крові, загальна зміна гідродинаміки крові у кровоносних судинах і пов'язані з цим процеси тромбоутворення;
- поява доброякісних і злоякісних пухлин в тканинах, розташованих в зонах підвищеного електромагнітного випромінювання;

Оскільки дія електромагнітного поля прихована і практично не проявляється відразу, за виключенням інтенсивності 100 мВт/см^2 і вище, тривале та регулярне користування мобільними телефонами може мати накопичувальний ефект.

Підвищена електромагнітна чутливість і депресія. Деякі люди повідомляють про «гіперчутливість» до електричних або магнітних полів через скарги на головні болі, депресію, млявість, розлади сну і навіть конвульсії та епілептичні припадки. Наразі існує мало наукових доказів, які підтверджують ідею електромагнітної гіперчутливості, як і не існує загальноприйнятого біологічного механізму для пояснення гіперчутливості. Дослідження цього питання є складним, оскільки може бути залучено багато інших суб'єктивних реакцій, окрім прямого впливу самих полів. На цю тему тривають додаткові дослідження [8].

Водночас дані, які на сьогодні вже є, стали причиною для колективного звернення 244 вчених з 41 країни до ВООЗ та ООН з проханням вжити негайних заходів щодо зниження впливу штучних електромагнітних полів та радіації на населення.

1.3 Вплив на біоту

Негативний вплив електромагнітних полів на біорізноманіття вивчений менше і, в основному, досліджується закордонними вченими. Ними на сьогодні визначено, що ця проблема зачіпає багато біологічних груп.

Численні види фауни мають дуже особливу вразливість до антропогенних ЕМП через унікальну фізіологію, яка залежить від статичних геомагнітних полів Землі та постійно використовується ними для сезонної міграції/орієнтації, будівництва гнізд/барлог, спарювання, розмноження, догляду за потомством, пошуку їжі, територіальної оборони, простих щоденних/сезонних циркадних ритмів, довголіття та виживання. Електромагнітні фактори сприйняття включають багатосистемні видово-специфічні механізми середовища. Багато видів мають спеціалізовані електрорецепторні клітини та/або магніторецепторні здібності, пов'язані з їхнім середовищем, які значно перевершують людську чутливість. Наприклад, багато видів можуть відчувати природні магнітні поля постійного струму різними способами, включаючи: перелітних птахів; численні види комах, зокрема медоносних бджіл; рибу; ссавців; кажанів; молюсків і бактерії.

Деякі види птахів можуть насправді «бачити» магнітні поля Землі за допомогою складних можливостей магніторецепції, розташованих у їхніх очах і дзьобах. Деякі тварини реагують на надзвичайно низькі рівні електромагнітних полів, як правило, на частотах від постійного струму до надзвичайно низьких частот зазвичай спеціалізованими рецепторами.

Відгуки організмів тварин на вплив ЕМП, які були виявлені під час тривалих досліджень різними вченими, можна вокремити у такі групи [13]:

– стимуляція нервових структур електричними та магнітними полями та пов'язаними з ними струмами в організмі. Понад порогом, що залежить від частоти, ці струми сприймаються як больовий синдром, який посилюється разом із інтенсивністю струму. Повідомлялося, що

електроенцефалографічна активність у кішок та кроликів змінюється під впливом амплітудно-модульованого джерела радіохвиль;

– поведінкові зміни. Щури, поміщені в човникову коробку, як правило, залишалися на стороні, захищеній від імпульсних радіочастотних полів. Оскільки щури також мали тенденцію уникати пульсуючих звукових хвиль, дослідники припустили, що уникнення щурів радіочастотних полів могло бути пов'язане з відчуттям імпульсних полів. Реакція на імпульсне поле сильніша, ніж на безперервне поле, і почуті імпульси є більш ефективним сигналом для втечі, ніж нагрівання, яке є результатом безперервного поля. Також зафіксовано повідомлення про щурів і кроликів, які піддавалися впливу від однієї до кількох годин на день протягом тижнів або місяців ЕМП щільність від $0,6 \text{ мкВт/см}^2$ до $30\,000 \text{ мкВт/см}^2$, що сприяло зміні умовних рефлексів.

Багато морських тварин розвинули сенсорні здібності для використання електричних і магнітних сигналів у важливих аспектах життя, таких як виявлення здобичі, хижаків і партнерів, а також для орієнтації та міграції. Водночас все частіше у прибережних водах по всьому світу встановлюють кабелі через зростаючий попит на електроенергію та телекомунікації. Це безперечно пливає на електромагнітне середовище, яке також використовують електро- та магніточутливі види гідробіонтів. Автори [14] кількісно оцінили біологічно значущу поведінкову реакцію передбачуваного магнітосприйнятливого американського омара та електрочутливого маленького коника на випромінювання ЕМП підводного кабелю постійного струму високої напруги, який використовували для електропостачання населення. Автори довели вражаюче збільшення пошукової поведінки у коників у відповідь на ЕМП і більш тонку пошукову реакцію у омарів. Інші приклади досліджень реакції морських видів на ЕМП наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Реакції представників морських екосистем на ЕМП [14]

Представники морських екосистем	Реакції
1	2
Бактерії	Деякі види є магнітотактичними і тому можуть реагувати на ЕМП
Поліхети	Зміни в поведінці поліхет у відповідь на магнітні поля
Двостулкові	Вплив магнітних полів призводить до змін імунологічних шляхів або генотоксичних і цитотоксичних реакцій у двостулкових молюсків (балтійських молюсків і блакитних мідій)
Омари	Дорослі американські омари змінили свою дослідницьку поведінку у відповідь на ЕМП кабелю. Молоді європейські омари не реагували на градієнт магнітного поля під час дослідження в акваріумі

Кінець таблиці 1.5

1	2
Краби	Під час досліджень в акваріумах їстівних крабів приваблювали укриття, піддані впливу магнітних полів, і у них у відповідь на сильніші магнітні поля відбувалися гормональні зміни. Інші польові дослідження в США показали, що краби можуть перетинати кабелі, і це не вплинуло на їх уловлюваність
Коник та скати (Elasmobranchs)	Змінюють свою дослідницьку та пошукову поведінку у відповідь на ЕМП кабелю
Котячі акули (ластожаберні, хрящові риби)	Акваріумні дослідження котячих акул показали здатність розрізняти поля змінного та постійного струму, але вони не відрізняли штучні поля від

	природних
Лосось	Косяки лосося змогли пройти ЕМП кабелю та продовжили свою міграцію, було виявлено певну ступінь неправильного спрямування
Вугри	Європейські вугри змогли перетнути кабель, але їх рух сповільнився. Триває робота в цій галузі.

Дослідження впливу антропогенних ЕМП проводилось для комах, зокрема їх негативний вплив визначений для бджіл, які належать до видів, що використовують для навігації чутливу до антропогенних ЕМП магніторецепцію [15-16].

Відомо, що ще один далекомігруючий вид – відомий метелик монарх (*Danaus plexippus*) у США – має магнетит в своїх антенах [17-18] і містить криптохроми [19-20]. Дослідження 1982 року [21] виявило, що голова та грудна клітка монархів містять магнітні матеріали, а дослідження 2014 року [22] виявило, що найдовша осіння міграція монархів із Канади до місць зимівлі в Мексиці має супровід, подібний до магнітного компасу.

Вплив ЕМП та/або електромагнітного випромінювання на бактерії *Escherichia coli* та *Bacillus subtilis* досліджували багато дослідників протягом багатьох років [4]. Ці два типи бактерій сьогодні визнані грамнегативними та грампозитивними модельними організмами головним чином завдяки їх добре ідентифікованому та задокументованому метаболізму, структурі та спадковості. Зростання *E. Coli* та *B. Subtilis* є відносно простим, і пов'язані з цим витрати низькі, в той же час поділ клітин триває близько десятків хвилин, а процес ідентифікації результируючих мутацій є достатньо простим. З цих двох бактерій ендоспори *B. Subtilis* не тільки дуже легко ідентифікуються, але також є значно більш стійкими до несприятливих умов навколишнього середовища.

У період з 1944 по 2013 рік було опубліковано велику кількість наукових праць, у яких узагальнено результати досліджень впливу електромагнітних полів на *E. coli* та *B. subtilis* у сфері охорони здоров'я, захисту харчових продуктів та тваринництва. В одній з перших робіт Флемінг піддав бактерії *E. coli* електромагнітному випромінюванню різних частот у діапазоні від 11 МГц до 350 МГц. Отримані результати свідчать про можливість інактивації клітин бактерій електромагнітним випромінюванням без локального підвищення температури, однак пізніше ці результати не змогли відтворити. У 1967 році було визначено, що електромагнітне випромінювання високих частот 2,45 ГГц може взаємодіяти з обома типами бактерій. У 1968 році метаболізм *E. Coli* досліджувався під впливом електромагнітного випромінювання частотою 136 ГГц, під час дослідження спостерігалось уповільнення поділу клітин і призупинення деяких метаболічних процесів. Через рік було встановлено, що поглинання електромагнітного випромінювання певних частот різними клітинними стінками може призвести до змін у важливих метаболічних процесах.

Останні результати показують, що спостережувані порушення росту бактерій *E. coli* можуть бути результатом електромагнітного випромінювання частот у діапазоні від 70,6 ГГц до 73 ГГц [4].

Одночасно було описано, що бактерії мають високу стійкість до електромагнітного випромінювання завдяки механізмам авторегуляції багатьох біологічних процесів. На закінчення було зазначено, що незначні зміни температури на клітинному рівні відповідають за прискорення метаболізму бактерій.

Дослідження впливу ЕМП та постійного магнітного поля на ріст та розмноження бактерій *Staphylococcus aureus*, а також дріжджоподібних грибів *Candida tenuis* встановили, що бактерії і гриби по-різному реагують на дію ЕМП та магнітного поля, що, очевидно, зумовлено особливостями їх будови, хімічного складу та метаболізму. На бактерії ці поля мають

тимчасово пригнічувальний вплив, що проявлявся тільки в першу добу після опромінення. Дріжджі *C. tenuis* виявились чутливішими до дії цих полів [23].

Досліджено вплив електромагнітного випромінювання на швидкість росту молочнокислих бактерій роду *Bifidobacterium*. Виявлено збільшення питомої швидкості росту бактерій на 60 % під впливом електромагнітного випромінювання. Визначено, що оптимальними умовами для отримання біологічних ефектів дії електромагнітного випромінювання є обробка бактерій не більше 20 хв. [24].

Протягом останніх двох десятиліть у всьому світі відбулося широкомасштабне розгортання телефонних опор, і протягом багатьох років у науковому співтоваристві відбуваються дискусії щодо можливого впливу базових станцій мобільного зв'язку на навколишнє середовище. Древа мають кілька переваг перед тваринами як експериментальними суб'єктами, у зв'язку з цим проводилось дослідження, метою якого була перевірка наявності зв'язку між незвичайним пошкодженням дерева та радіочастотним опроміненням, якому воно піддавалось. Для цього було проведено детальне довгострокове (2006–2015 рр.) польове моніторингове дослідження в містах Бамберг і Гальштадт (Німеччина). Під час моніторингу одночасно проводилась фіксація незвичайних пошкоджень (погіршення стану) дерев, а також вимірювання потужності електромагнітного випромінювання. У 2015 році в цих містах було проведено 144 вимірювань електромагнітних полів на висоті 1,5 м на вулицях і парках у різних місцях. Шляхом інтерполяції 144 точок було складено карту електромагнітного поля в Бамберзі та Гальштадті. Також було обрано 60 пошкоджених дерев, 30 випадково вибраних дерев і 30 дерев у зонах з низьким рівнем ЕМП. Вимірювання дерев виявило значні відмінності між стороною, зверненою до телефонної вежі, та протилежною стороною. Встановлено, що відмінності вимірюваних значень питомої потужності ЕМП відповідають відмінностям у стані дерев. 30 відібраних дерев у зонах з низьким рівнем питомої потужності (відсутність візуального контакту з будь-якою телефонною вежею та ЕМП потужністю до

50 мкВт/м²) не мали пошкоджень. Статистичний аналіз показав, що електромагнітне випромінювання від веж мобільних телефонів шкідливе для дерев, пошкодження дерев зазвичай починається з одного боку, з часом поширюючись на все дерево [25].

Наслідки метаболічних та морфогенетичних порушень [26] після впливу на рослину високочастотного випромінювання наведені відповідно в таблицях 1.6. – 1.7.

Таблиця 1.6 – Метаболічні порушення після впливу на рослинний організм ЕМП [26]

Ферменти або метаболіти	Метаболічні шляхи	Організми	Умови експозиції	Реакція на ЕМП
1	2	3	4	5
Фенілаланін амоніаза	фенілпропаноїди	<i>Physalis alkekengi</i>	900 МГц, до 4 год., 8,55 мкВт/см ²	синергічна дія з регуляторами росту.

Продовження таблиці 1.6

1	2	3	4	5
Поліфенол-оксидаза	поліфеноли	<i>Vigna radiata</i>	900 МГц, до 4 год., 8,55 мкВт/см ²	8,5-кратне збільшення.
α - і β -амілази	метаболізм крохмалю	<i>Vigna radiata</i>	900 МГц, до 4 год., 8,55 мкВт/см ²	2,5- і 15-кратне збільшення для α - і β -амілаз відповідно.
Водорозчинні цукри	метаболізм цукру	<i>Physalis alkekengi</i>	900 МГц, до 4 год., 8,55 мкВт/см ²	2-кратне зниження водорозчинних цукрів.
Кислотні та	метаболі-	<i>Zea mays</i>	1800 МГц,	1,8- і 2,6-кратне

лужні інвертази	лізм сахарози		до 4 год, 332 мкВт/см ²	збільшення для кислотних і лужних форм відповідно.
Вміст АТФ і енергетичний заряд аденілату (АЕС)	енергетичний метаболізм	<i>Solanum lycopersicon</i>	900 МГц, 10 хв, 5 В/м	падіння вмісту АТФ (30 %) і АЕС (від 0,8 до 0,6) через 30 хв.
Пероксидази	окислювальний метаболізм	<i>Vigna radiata</i> , <i>Lemna minor</i>	900 МГц, від 1 до 4 год, 8,55 мкВт/см ²	підвищення активності пероксидази.

Кінець таблиці 1.6

1	2	3	4	5
Білковий обмін – пошкодження ДНК	окислювальний білок і пошкодження ДНК	<i>Nicotiana tabacum</i>	900 МГц, 23 В/м	вміст карбонілу та значення ДНК хвоста зросли (в 1,8 рази та на 30% відповідно).
Білковий обмін	вміст білка	<i>Phaseolus vulgaris</i> , <i>Vigna radiata</i> , <i>Triticum</i>	мобільний телефон, 4 год	зниження вмісту білка у <i>Phaseolus</i> (71%), <i>Vigna</i> (57 %), <i>Triticum</i> (50 %).

		<i>aestivum</i>		
--	--	-----------------	--	--

Таблиця 1.7 – Морфогенетичні реакції, що спостерігаються після впливу на рослину ЕМП [26]

Види рослин	Умови експозиції	Реакція на вплив ЕМП
1	2	3
<i>Raphanus sativus</i>	10,5 ГГц, 14 мВт, експозиція насіння та гіпокотилів	пригнічення проростання (45 %), зменшення подовження гіпокотилю (40 %).
<i>Lens culinaris</i>	стільниковий телефон, 1800 МГц, 1 мВ/м	зменшення росту коренів проростків (60 %) та мітотичного індексу (12 %). Збільшення аномального мітозу (52 %).

Продовження таблиці 1.7

1	2	3
<i>Vigna radiata</i>	стільниковий телефон, 900 МГц, 8,55 мкВт/см ²	різогенез (кількість і довжина коренів) сильно порушений. Пригнічення проростання (50 %), гіпокотилю (46 %) і росту коренів (59 %). Суха маса зменшена на 43 %.
<i>Phaseolus aureus</i> , <i>Vigna radiata</i>	мобільний телефон, витримка 4 год	сильно порушені морфологічні показники коренів і стебла (44 % та 39 % відповідно).
<i>Vigna radiata</i> , <i>Lablab purpureus</i>	1,8 ГГц, від 0,48 мкВт/см ² до 1,45 мкВт/см ²	зниження росту та свіжої ваги.

<i>Zea mays</i>	1 ГГц, від 1 год. до 8 год., 0,47 Вт/см ²	зниження росту 12-денних рослин (приблизно на 50 % після 8 годин впливу).
<i>Zea mays</i>	1800 МГц, 4 години, 332 мВт/см ²	зниження росту коренів і колеоптиля (16 % і 22% відповідно).
<i>Vigna radiata</i> , <i>Triticum</i> <i>aestivum</i>	мобільний телефон, 900 МГц, 4 год.	зменшення росту на 21 % і 50% у <i>Vigna</i> і <i>Triticum</i> відповідно.
<i>Triticum</i> <i>aestivum</i> , <i>Cicer</i> <i>arietinum</i> , <i>Vigna radiata</i> , <i>Vigna</i> <i>aconitifolia</i>	генератор ЕМП на основі клітронну, 9,6 ГГц, від 1 дБм до 3,5 дБм	зростання та зменшення біомаси.

Кінець таблиці 1.7

1	2	3
<i>Vigna radiata</i> , <i>Iromoea</i> <i>aquatica</i>	425 МГц, 2 години, 1 мВт/см ²	стимуляція росту первинного кореня.
<i>Гліцин макс</i>	900 МГц, від 5,7 В/м до 41 В/м	пригнічення росту епикотилу та/або коренів, залежно від налаштувань впливу.
<i>Lemna minor</i>	від 400 МГц до 1900 МГц, від 23 В/м до 390 В/м, вплив на всю рослину	зростання сповільнюється, принаймні в перші дні після впливу.

<i>Trigonella foenum-graecum, Pisum sativum</i>	900 МГц, від 0,5 год. до 8 год.	збільшення розміру кореня, кількості та розміру вузликів.
<i>Гібіскус сабдаріффа</i>	результуюче поле від базової антени GSM (не виміряно)	зменшення опадання квіткових бруньок зі збільшенням відстані від антени.
<i>Linum usitatissimum</i>	стільниковий телефон або генератор, 105 ГГц, 2 год.	вироблення епідермальних меристем в умовах дефіциту кальцію.
<i>Роза гібридна</i>	900 МГц, від 5 В/м до 200 В/м	затримка та зниження (45 %) росту вторинних вісей.

Вплив електромагнітних полів може бути вагомим на різних стадіях розвитку рослини (насіння, розсада або цілі рослини), ЕМП можуть впливати на різні органи або процеси розвитку, включаючи проростання насіння, ріст стебла та кореня і навіть біологічні зразки невеликих розмірів (кілька міліметрів) здатні сприймати їх вплив.

Щодо впливу ЕМП на насіння на сьогодні є різні результати, зокрема повідомлялось про зниження швидкості проростання, тоді як в інших наукових повідомленнях негативний вплив на проростання не спостерігався або навіть відбувалось стимулювання [26]. Зазначається, що різні ефекти впливу на рослини можуть бути пов'язані з фундаментальною різницею фізичних властивостей самих ЕМП, а також видів рослин і стадій їх розвитку.

Вплив ВЧ-ЕМП на розсаду або рослини (а не на насіння) зазвичай призводив до пригнічення росту. Доведено, що ризогенез (кількість і довжина коренів) серйозно порушується після впливу випромінювання мобільного телефону, можливо, через активацію кількох пов'язаних зі стресом ферментів (пероксидази та поліфенолоксидази). Ріст коренів у насінні *Lens culinaris* був знижений майже на 60 % при ЕМП-випромінюванні в 1800 МГц. Одночасно збільшується кількість ферментів, пов'язаних з АФК, перекисне окислення ліпідів і накопичення проліну, причому всі ці реакції є характерними для відповідей рослин на стресові умови. При впливі 72-годинної експозиції мобільного телефону (900 МГц) на насіння як однодольних (пшениця), так і дводольних (квасоля мунг) змін у проростанні не спостерігалось, тоді як проростки обох видів продемонстрували пригнічення росту, зниження вмісту білка та сильне підвищення ферментативної активності метаболізму АФК. Ріст ряски (*Lemna minor*) також значно сповільнюється при опроміненні на частотах від 400 МГц до 1900 МГц, принаймні в перші дні після впливу [26]. Варто зазначити, що ці види впливу не спричинили будь-якого нагрівання рослин.

Професор Шкорбатов [27] розглянув можливі механізми взаємодії ЕМП з живими організмами. Хоча всі класичні мішені (взаємодія з мембранами, вільними радикалами та внутрішньоклітинними регуляторними системами) спостерігалися в рослинах, все ще необхідна переконлива інтерпретація точного механізму взаємодії ЕМП із живим матеріалом. Альтернативні випадки отримали пояснення через електромагнітний резонанс, досягнутий після надзвичайно високочастотної стимуляції, яка відповідає певній архітектурі органу. Однак реальність цього явища *in vivo* (вивченого поки що лише за допомогою чисельного моделювання) та його формальний внесок у регуляцію розвитку рослин ще не встановлені експериментально.

1.4 Джерела утворення електромагнітних полів в урбоєкосистемах

На сьогоднішній день розвиток великих та середніх міст України, йде в напрямку значного порушення містобудівної діяльності, невизначеності загальнодержавних стратегій щодо населених пунктів, складних соціально-економічних умов проживання в містах. Водночас, спостерігається тенденція до збільшення територіальної площі міст, нераціонального використання земель. Через погіршення стану компонентів довкілля під загрозою є екологічна безпека міських агломерацій.

Електромагнітні поля в урбоекосистемах формуються в умовах зовнішнього середовища та внутрішнього середовища будівель, в яких мешкає населення. Виходячи з цього на формування електромагнітного поля середовища будуть впливати різні джерела.

У таблиці 1.8 наведені джерела ЕМП, що впливають на їх формування у зовнішньому середовищі та ступінь поширення.

У таблиці 1.9 наведені джерела ЕМП, що функціонують у будівлях населених пунктів.

Таблиця 1.8 – Джерела ЕМП у зовнішньому середовищі (за межами будівлі) та їх характеристика

№ з/п	Найменування	Діапазон частот випромінювання	Характеристика
1	2	3	4
1	Системи стільникового зв'язку, трекінговий зв'язок	від 450 МГц до 2100 МГц	практично повсюдно поширені джерела.

2	Радіорелейний зв'язок	від 0,3 ГГц до 300 ГГц	
3	Супутниковий зв'язок	від 1,5 ГГц до 30 ГГц	
4	Аматорський радіозв'язок (КВ, УКХ)	від 150 кГц до 1 ГГц	малопотужні джерела.
5	Радіозв'язок на транспортних засобах	від 30 кГц до 3 ГГц	залізничний зв'язок, радіус дії від 5 км до 10 км.
6	Телебачення	від 30 МГц до 3 ГГц	потужне джерело.
7	Радіо телемовлення	від 30 кГц до 3 ГГц	потужне джерело.
8	Радіолокаційні станції, радары	від 3 МГц до 110 ГГц	
9	Транспорт з електроприводом (залізничний, електропоїзди, метро, тролейбус, трамвай)	від 0 Гц до 1000 Гц	потужним джерелом магнітного поля є електродвигуни.

Кінець таблиці 1.8

1	2	3	4
10	Високовольтні лінії електропередач (ЛЕП)	50 Гц	ЛЕП (за містом до 1000 кВ; у місті – 220 кВ).
11	Міські лінії освітлення	50 Гц	напруга 380 В потужність до 100 кВт.
12	Системи виробництва,	до 105 Гц	за межами міста напруга до 750 кВ.

	передачі, розподілу та споживання електроенергії (трансформаторні підстанції, розподільчі підстанції)		У межах міста – 220 кВ.
13	Електростанції (ГЕС, АЕС, ТЕЦ)	50 Гц	Наявність різних частот ЕМП залежить від обладнання, яким забезпечений об'єкт.

Таблиця 1.9 – Джерела ЕМП, що функціонують у будівлях

№ з/п	Найменування	Діапазон частот випромінювання	Характеристика
1	2	3	4
1	Електропобутові прилади (кавоварка, мікрохвильова піч, холодильник, тощо)	від 20 Гц до 1 ГГц	малопотужні джерела (радіус дії до 10 м).

Продовження таблиця 1.9

1	2	3	4
2	Стільникові телефони	450 МГц, 900 МГц, 1800 МГц, 2100 МГц	
3	Wi-Fi, Bluetooth	від 2,4 ГГц до 5,2 ГГц	малопотужні джерела (радіус дії до 50 м).
4	Радіотелефони	1000 МГц	малопотужні джерела

			(радіус дії до 10 м).
5	Засоби візуального відображення інформації на електроннопроменеві трубки (Монітори, телевізори)	від 20 Гц до 1 ГГц	малопотужні джерела (радіус дії до 5 м).
6	Промислове обладнання на електроживленні	50 Гц	
7	Медичні терапевтичні та діагностичні установки	від 50 Гц до 1 ГГц	
8	Технологічне обладнання різного призначення, що використовує	від 3 ГГц до 30 ГГц	

Кінець таблиця 1.9

1	2	3	4
	надвисокочастотне випромінювання, змінні та імпульсні магнітні поля		
9	Персональні комп'ютери	від 50 Гц до 1000 МГц	малопотужні джерела (радіус дії до 5м).

10	Електропроводка, домашня електромережа	50 Гц	
11	Електрощити	50 Гц	

Таким чином, кількість джерел ЕМП полів є ваговою, при цьому ступінь їх біологічного впливу залежить від частоти коливань, інтенсивності, напруги, режиму генерації (імпульсне або безперервне), тривалості випромінювання. Вплив полів різних частот і діапазонів відрізняється. Вважається, що чим менша довжина хвилі, тим більшу потенційну енергію вона має. Насамперед, негативному впливу піддаються нервова, імунна, серцево-судинна та статеві системи людини. Ефект негативного впливу ЕМП за умови тривалого впливу може накопичуватися.

Оцінюючи небезпеки джерел електромагнітного випромінювання значущим є те, що поглинання енергії хвилі відбувається нерівномірно. Наслідком цього можуть бути зміни структури нервових клітин мозку, що особливо небезпечно в умовах збільшення використання засобів мобільного зв'язку.

2 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Програма досліджень включала три етапи: підготовчий, польовий та лабораторний (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Програма досліджень

Вимірювання електромагнітного випромінювання здійснювалось з використанням приладу TM-190 Multi-Field EMF Meter, який дозволяє вимірювати одночасно магнітні та електричні поля.

Вимірювання проводили біля джерел випромінювання, а також на ділянках, для яких характерний природний фон (рекреаційні зони). Вимірювання проводились тричі в кожній точці з подальшим розрахунком середнього значення.

Визначення токсичності. Токсичність впливу електромагнітних полів визначали методом біотестування. Для цього насіння крес-салату (*Lepidium sativum* L.) висівали в чашки Петрі по 100 насінин в кожену та поливали відстояною водопровідною водою. Дослідні зразки розміщували в електромагнітному полі, значення якого відповідало максимуму, що був зафіксований при дослідженні електромагнітного забруднення хмельницької урбоекосистеми – 1,16 μT . Контрольні зразки вирощували в умовах електромагнітного впливу, що відповідає мінімуму, що був зафіксований при визначенні електромагнітного поля хмельницької урбоекосистеми – 0,01 μT . Протягом 10 днів зразки (контрольний, дослідний) зволожували однаковою кількістю води (10 мл). Енергія проростання насіння визначалась на 3 день, схожість – на 5 день. Через 10 днів проростки виймалися із землі, промивалися, висушувалися, зважувалися, далі проводилось вимірювання довжини наземної та підземної частин лінійкою з точністю до 1 мм.

Також для встановлення токсичності електромагнітних полів, характерних для урбоекосистеми міста Хмельницького, як тест-систему використовували чотириденні проростки *Allium cepa* L. Кінчики корінців зрізали на стадії найбільшої мітотичної активності (від 8 години до 10 години ранку) через чотири доби після початку пророщування, після чого проводили вимірювання їх морфологічних показників.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ УРБОЕКОСИСТЕМИ МІСТА ХМЕЛЬНИЦЬКОГО ТА ЙОГО ВПЛИВУ НА ЖИВІ ОРГАНІЗМИ

3.1 Характеристика урбоєкосистеми міста Хмельницького та джерел електромагнітного випромінювання

Місто Хмельницький розташоване в центральній частині Хмельницької області в межах Подільської височини. Воно розкинулося на березі річки Південний Буг, де в неї впадає права притока – р. Плоска. Географічні координати міста – 49°25' пн. ш., 27°0' сх. д. Протяжність міста з північного заходу на південний схід становить 15 км, а в перпендикулярному напрямі – 10 км.

За Проектом коригування генерального плану площа міста становить 9305,0 га, але планується збільшити її на 1386,8 га, включаючи землі Хмельницького району. Таким чином, проектна площа міста складатиме біля 10691,8 га. Чисельність наявного населення м. Хмельницького станом на 01.01.2022 року за даними Головного управління статистики у Хмельницькій області становила 274,5 тис. осіб. Динаміка чисельності населення має стійку тенденцію до зростання за рахунок як природного, так і міграційного приростів, обумовлених повномасштабним вторгненням в Україну російської федерації [28].

Місто Хмельницький виступає адміністративним, економічним і культурним центром Хмельницької області і може пишатися майже 600-річною історією. Воно виникло на основі невеликого поселення Плоскирів і хоча точна дата його заснування невідома, перші згадки свідчать про існування Плоскирова ще у XV столітті, а саме в 1431 році. Статус міста Хмельницький має з 1937 року.

Географічний центр області практично співпадає з місцем розташування міста Хмельницького, що є значущим фактором для соціально-

економічного розвитку цієї території. Після закінчення Другої світової війни, 16 січня 1954 року Проскурів отримав нову назву – Хмельницький, на честь гетьмана Богдана Хмельницького [28].

За функціональним використанням територія м. Хмельницького поділяється на такі зони:

- зона житлової забудови;
- промислова зона;
- зона рекреації та територій природно-заповідного фонду;
- зона водних об'єктів.

Місто не має офіційного поділу на адміністративні райони, але можна виділити такі території: Гречани, Дубове, Заріччя, Книжківці, Лезневе, Озерна, Південно-Західний, Ракове, Ружична, Центральний) (рисунок 3.1).

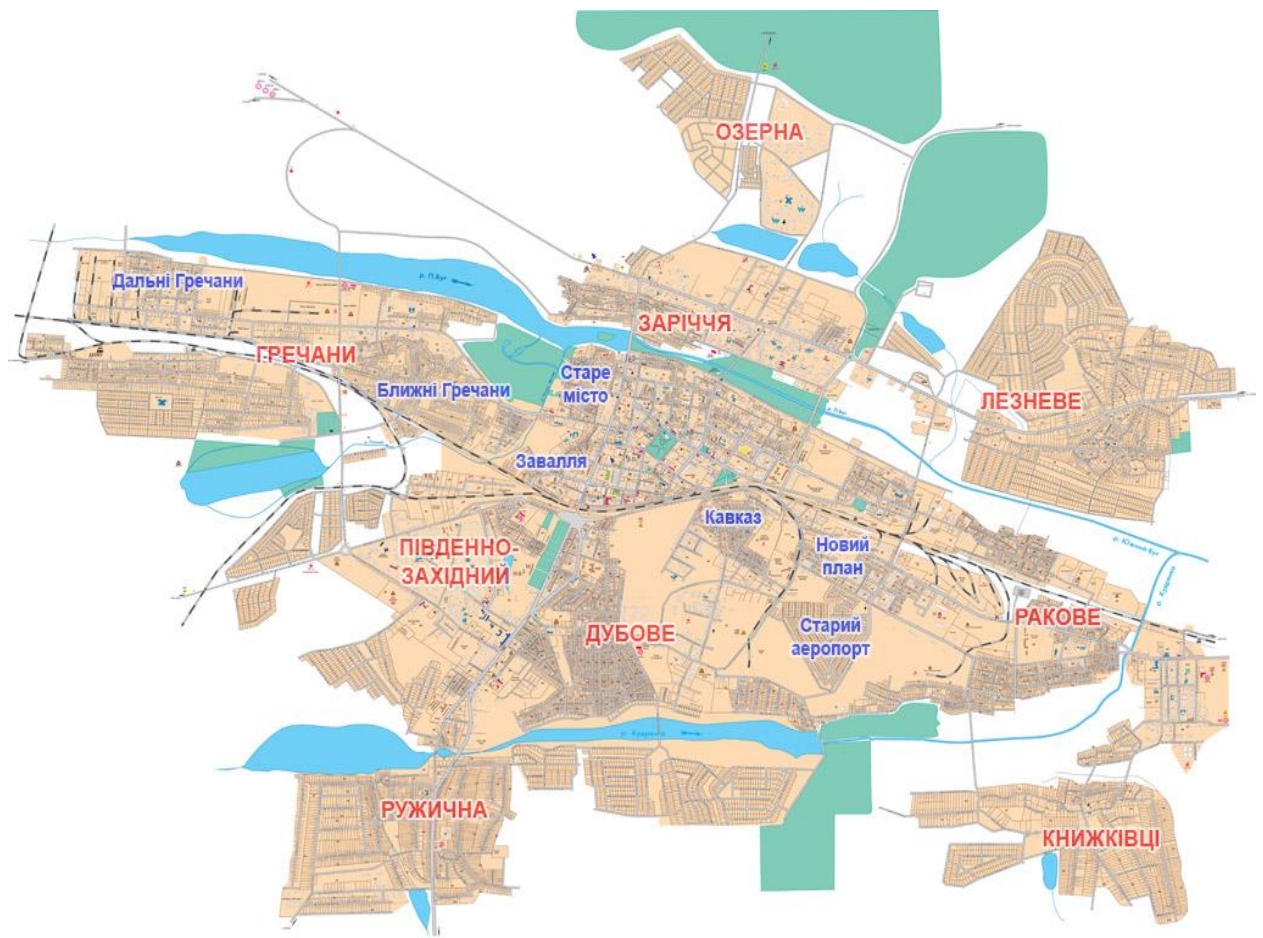


Рисунок 3.1 – Основні райони (неофіційні) та історичні частини міста Хмельницького [28]

Хмельницький належить до категорії великих міст. Економіка Хмельницького має потужну промислову базу.

На підприємствах міста виробляється чимала кількість промислової продукції, адже для їх розвитку тут є усі необхідні умови: достатня кількість трудових ресурсів, нерудних копалин, сільськогосподарської сировини. Промисловий комплекс міста представлений 192 підприємствами [28], які виготовляють широкий спектр продукції: гумові і пластмасові вироби, преформи для виробництва ПЕТ-пляшок, стретч-плівка, добавки до будівельних сумішей та інша неметалева мінеральна продукція; трансформатори та трансформаторні підстанції, термопластавтомати, обладнання для міні-заводів з виробництва цегли, спецтехніка радіолокаційного та авіаційного призначення, прилади для безпечного руху на залізниці, лічильники газу та води, медична техніка, обладнання для підприємств молочної промисловості, сільськогосподарське обладнання; продукти харчування; взуття, одяг, текстиль, килими та килимові вироби; будівельні матеріали; гофрований картон, паперова та картонна тара, поліграфічна продукція тощо.

Місто є вузловою залізничною станцією, має зручні залізничні зв'язки з містами Європейських країн, зокрема Прагою, Братиславою, Варшавою, Будапештом тощо.

У місті Хмельницькому є аеропорт зі злітно-посадковою смугою у 2,2 тисячі метрів. Через місто проходять автошляхи Житомир – Чернівці і частина міжнародного маршруту Стрий – Тернопіль – Вінниця – Кропивницький – Знам'янка [28].

Територія міста простягається в межах Східноєвропейської платформи на західних схилах Українського щита, належить до Подільського блоку, який виник внаслідок тектонічних рухів [29]. Подільський блок складений відкладами різних періодів і характеризується поступовим накопиченням осадів із сходу на південний захід.

Місто Хмельницький розташований в центральній частині Подільського плато, що входить до складу Верхньобузької височини. Глибина залягання докембрійських порід у долині річки Південний Буг становить від 30 м до 50 м. Голоценові (сучасні) відклади товщиною від 5,0 м до 5,5 м розповсюджені на заплавах ділянках і представлені алювіальними відкладами піску, супіску та суглинку. Антропогенний покрив включає формування еолово-делювіального та алювіального походження. Лесові комплекси товщиною від 7 м до 10 м слугували основою для формування сучасних ґрунтів [30].

Геологічна будова території міста відзначається поширенням четвертинних еолово-делювіальних лесів, лесоподібних суглинків і супісків, їхня товщина за даними інженерно-геологічних досліджень досягає понад 30 м на межиріччі Південного Бугу і Самця (Кудрянки), що стимулювало видобуток тут матеріалів для виробництва цегли, черепиці та інших будівельних матеріалів. Підземні ресурси використовувалися тривалий час для видобування корисних копалин з метою отримання будівельної сировини, таких як леси, лесоподібні суглинки і супіски [31].

Формування сучасного рельєфу території хмельницької урбоекосистеми розпочалося у неогені, коли внаслідок відступання сарматського моря територія почала підніматися. Поступове розмивання товщ глини і вапняків річкою Південний Буг призвело до формування терас і балкової системи. На сьогоднішній день долина Південного Бугу є домінуючим елементом, а рельєф включає чотири основні елементи: заплави річки, тераси Південного Бугу, схили балок та нетерасовані схили річкових долин. Сьогодні максимальні висоти характерні для північної окраїні міста і складають до 389 м, мінімальні (до 277 м) характерні для долин річок. Перевищення відносних висот досягають від 80 м до 85 м [32].

Вплив антропогенних чинників, клімату, геологічної структури, рельєфу та інших факторів сприяли виникненню на території міста несприятливих геологічних процесів, таких як зсуви, лінійна та площинна

ерозія, заболочування та просідання [33]. Згідно з удосконаленою схемою фізико-географічного районування України м. Хмельницький розташоване у межах Східно-Європейської рівнини, зони широколистяних лісів, Західно-Українського краю, Західно-Подільської височинної області, Красилівсько-Ярмолинецького фізико-географічного району [29].

Ландшафти в урбоекосистемі міста Хмельницького сформувалися внаслідок взаємодії різних геокомпонентів – гірських порід, води, повітря та біоти – протягом тривалого часу в конкретних умовах середовища, набувши характерних особливостей у просторі. Важливим аспектом урболандшафту є його привабливість для людини.

Територія урбоекосистеми міста та його околиць відноситься до лісостепоного типу подільських ландшафтів, входячи в групу центральноподільського підтипу, Вовчко-Бужоцького природного району. Однією з особливостей міста Хмельницького є його асиметричне розташування, що визначається розташуванням на різних за морфологією берегах річки Південний Буг та впливом геоморфологічних процесів, активізованих та модифікованих антропогенним впливом [29].

Серед різноманітних ландшафтів міста Хмельницького, переважають антропогенні, їх формування пов'язане з діяльністю людини. Окрім них, представлені природно-антропогенні ландшафти – специфічна категорія антропогенних комплексів, які мають природні аналоги, такі як яри, заплавні луки тощо.

У структурі ландшафтів міста Хмельницького виділяють малоповерхові, багатоповерхові, промислово-селищні, водно-антропогенні та садово-паркові типи ландшафтів. Також визначаються дорожні й тафальні типи ландшафтів.

За індексом забруднення атмосферного повітря місто Хмельницький оцінюється як місце із середнім рівнем забруднення за останні 5 років.

Територія міста також характеризується значними ресурсами поверхневих і підземних вод. Річки, ставки та водосховища відіграють важливу роль у геоекосистемі міста.

Поверхневі води міста Хмельницького відіграють важливу роль у гідрологічній системі та екологічному стані міста. Річка Південний Буг є основною водотокою, яка перетинає місто з північного заходу на південний схід. Ця ріка має дві праві притоки та одну ліву, і в межах міста утворено міське водосховище.

Річка Південний Буг. Річка має змішаний тип живлення: навесні поповнюється талими сніговими водами, влітку – дощовими. У 1956 році введено в експлуатацію міське водосховище, призначене для відпочинку та промислового водозабезпечення.

Річка Плоска. Права притока річки Південний Буг. Належить до категорії малих річок, і її басейн сильно засвоєний.

Річка Самець. Друга права притока річки Південний Буг. Має одне водосховище «Ружичнянське» і два ставки «Дубово-1» та «Дубово-2», використовуються для риборозведення та рекреації.

Ліва притока без назви. Єдина ліва притока в межах міста. Два ставки на цій річці використовуються для риболовства та рекреації.

Води у поверхневих водоймах і водотоках м. Хмельницького слабо мінералізовані. Для них характерна достатня насиченість розчиненим киснем від 5 мг/дм³ до 10 мг/дм³.

Улітку вміст розчиненого кисню може зменшуватися, що пов'язано з витратами на окиснення органічних речовин та суттєвим антропогенним впливом, що чинить урбоекосистема на водні об'єкти. Також вагомим є внесок антропогенного чиннику на хімічний склад вод, зокрема, це викиди і скиди.

Водні ресурси міста взагалі є значущими для екосистеми та рекреаційних можливостей, але вимагають уважного контролю та управління

для забезпечення їхньої стабільності та відповідності екологічним стандартам.

Місто Хмельницький стикається з рядом екологічних проблем, пов'язаних зі станом поверхневих вод, що впливають на якість водних ресурсів та екосистему. Урбанізація та будівництво призводить до втрати природних берегових зон, що порушує природний стан водойм та може збільшити ризик ерозії.

Накопичення антропогенних відходів, таких як побутове сміття, будівельні відходи та інші, може призводити до забруднення водойм і порушення екологічного балансу.

Біотичний блок урбоекосистеми міста Хмельницького включає рослинність та тварини, які населяють територію міста. Урбофітоценози складаються з таких типів рослинності: лісова, лучна, болотна, водна, прибережно-водна, рудеральна та сегетальна. Закономірності її розподілу зумовлені рельєфом території, едафічними умовами, фізико-географічним положенням [34].

Зелена зона міста представлена умовно-природними ландшафтами, які збереглися у межах Хмельницького та його околиць, а також штучними зеленими насадженнями (парками, скверами, алеями та ін.), які позитивно впливають на стан навколишнього природного середовища і є показником екологічного благополуччя. Кількість і якість зелених насаджень – визнаний міжнародний індикатор відповідності міста принципам стійкого розвитку. Вона максимально оптимізує природне середовище [33].

Транспортна структура представлена значною кількістю приватних легкових та вантажних автомобілів, маршрутних таксі, міського електротранспорту (тролейбусів). Усі міські дороги характеризуються різним рівнем транспортного навантаження: від дуже незначного (до 15 автомобілів за 5 хв.) до високого (понад 80 автомобілів за 5 хв.). Як і промислова, транспортна структура належить до антропогенних (технічних) геосистем, що перебувають під деструктивним впливом антропогенного чинника [32].

Окрім зміни природної складової антропогенними елементами відбувається прямий вплив на компоненти довкілля (викиди продуктів згоряння в атмосферу, небезпечних хімічних речовин в ґрунти та води).

Основними структурними елементами великих урбоекосистем є:

- селитебна;
- промислова;
- транспортна;
- садово-паркова.

Кожна з них характеризується різними рівнями електромагнітного навантаження.

На підставі підрозділу 1.4 нами виділено такі основні джерела електромагнітного забруднення в урбоекосистемі міста Хмельницького:

- електричні мережі. Електропередача та розподіл електроенергії створюють електричні поля, особливо навколо високовольтних ліній передач та трансформаторних підстанцій;

- мобільні телефони та бездротові мережі. Мобільні базові станції та Wi-Fi точки доступу створюють радіочастотні електромагнітні поля, які забезпечують бездротовий зв'язок;

- радіо- та телевізійні вежі. Вишки трансляції для радіо- та телевізійних сигналів генерують радіочастотні поля;

- побутові прилади. Побутові електричні прилади, такі як мікрохвильовки, холодильники, комп'ютери та інші електронні пристрої, також можуть створювати електромагнітні поля;

- транспортні системи. Електричні системи транспорту, такі як трамваї та електробуси, також можуть вносити свій внесок у рівень електромагнітних полів в місті.

Основні аспекти, які вивчаються в контексті електромагнітних полів в містах, включають можливість впливу на здоров'я людей. Багато наукових досліджень проводяться для оцінки ризиків і встановлення стандартів експозиції, які забезпечують безпеку для населення. До цього часу науковці

не прийшли до єдиного висновку щодо впливу електромагнітних полів на здоров'я, і дослідження у цьому напрямку продовжуються.

Лінії електропередач надвисокої напруги є джерелами потужних електромагнітних полів, які існують навколо фазних проводів лінії. Ці електромагнітні поля чинять значний негативний вплив на екосистеми, що знаходяться поблизу трас ліній електропередач надвисокої напруги. В умовах урбоекосистем розрізняють два типи впливу електромагнітних полів на біологічні організми: тепловий та інформаційний.

Інформаційний проявляється в електромагнітних полях надвисокої частоти (300 МГц і більше) і на сьогодні вивчений недостатньо. Для полів промислової частоти 50 Гц ліній надвисокої напруги основним є тепловий вплив. В цілому розрізняють такі види впливу [35-37]:

- безпосередній вплив, який проявляється при перебуванні людини в електричному полі. Ефект впливу підсилюється зі збільшенням напруженості поля і часу експозиції;
- вплив електричних зарядів (імпульсного струму), що виникають внаслідок дотику людини до ізольованих від землі конструкцій або при дотику людини, яка ізольована від землі, до рослин і різного роду заземлених конструкцій;
- вплив струму витоку.

Поля, створювані трансформаторами, електродвигунами та іншими пристроями, носять більш локальний характер.

3.2 Дослідження електромагнітних полів

Дослідження електромагнітних полів в урбоекосистемах проводили як вітчизняні так і закордонні вчені [38-45].

Нами були проведені вимірювання, як біля основних джерел, так і в різних частинах урбоекосистеми міста Хмельницького, у тому числі на ділянках зелених насаджень (таблиця 3.1).

Найменші значення магнітного поля склали від 0,01 μT до 0,02 μT ; показник, що характеризує електричну складову поля (напруженість електричного поля) коливався у межах від 3 В/м до 6 В/м; найбільші показники магнітної та електричної складової ЕМП дорівнювали відповідно від 1,00 μT до 1,16 μT та від 1200 В/м до 1400 В/м.

Таблиця 3.1 – Значення електромагнітних полів урбоекосистеми міста Хмельницького

№ з/п	Magnetic Field, μT	Electric Field, В/м	№ з/п	Magnetic Field, μT	Electric Field, В/м
1	2	3	4	5	6
1	0,01	3	18	0,04	6
2	0,01	6	19	0,32	71,7
3	0,01	6	20	0,01	6
4	0,04	23	21	0,18	6
5	0,07	3	22	0,16	6
6	0,26	53	23	0,06	6
7	0,65	660	24	0,09	6
8	1,16	1200	25	0,04	6
9	0,13	30	26	0,04	6
10	1,00	600	27	0,03	6
11	0,40	1400	28	0,04	6
12	0,03	6	29	0,03	6
13	0,02	13	30	0,35	3
14	0,01	6	31	0,02	6
15	0,01	6	32	0,02	6
16	0,23	12,6	33	0,02	3
17	0,35	6	34	0,05	116

Максимальні значення показників ЕМП характерні для околиць міста (чотири точки), де розташовані високопотужні лінії електропередач. З наближенням до центру міста сила ЕМП послаблюється.

У жилих мікрорайонах та на рекреаційних ділянках із зеленими насадженнями інтенсивність ЕМП найменша. Згідно з Державними санітарними нормами і правилами захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань, затверджених Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 01.08.1996 № 239 за гранично допустимі рівні (ГДР) прийняті такі значення напруженості електричного поля: всередині житлових будинків – 500 В/м, на території зони житлової забудови – 1000 В/м, у населеній місцевості, поза зоною житлової забудови – 5000 В/м.

Таким чином виміряні параметри напруженості електричного поля в умовах хмельницької урбоекосистеми у різних функціональних зонах не перевищують ГДР, проте подальша розбудова міста потребуватиме виважених містобудівних рішень, особливо якщо розширення селітебної забудови міста плануватиметься за рахунок територій його околиць.

Гігієнічна регламентація та дослідження впливу магнітного поля на людину, що проводяться за ініціативи Всесвітньої організації охорони здоров'я, досі тривають. У діючих документах використовується показник напруженості магнітного поля (А/м), який унормований лише для робочої зони. Відповідно до Європейських рекомендацій, наведених в ДБН В.2.5-24:2012 (Додаток Е), магнітне поле у приміщеннях житлового та громадського призначення не повинно перевищувати 0,1 μ Т. Близько 60 % проведених нами вимірювань мають значення менші, ніж 0,1 μ Т, при цьому із зменшенням напруженості електричного поля зменшується і магнітне (коефіцієнт кореляції складає 0,95). В цілому можна зазначити, що для більшої частини міста характерний комфортний низький рівень магнітного поля.

3.3 Визначення токсичності електромагнітних полів методом біотестування

Електромагнітний вплив на рослини визначали методом біотестування на крес-салаті та цибулі.

Результати біотестування з використанням в якості тест-об'єкта крес-салату представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати біотестування (крес-салат)

Параметри	Контроль		Дослідний зразок	
	пагін	корінь	пагін	корінь
Схожість насіння, %	49		63	
Середня довжина, см	2,33	1,57	3,15	2,19
Середня маса, г	0,014	0,005	0,017	0,009

Паростки з'явилися в обох зразках на третій день, різниця схожості насіння відповідно у дослідному та контрольному зразках складає 14 %.

У цілому спостерігається тенденція більших параметрів дослідних зразків, а саме: середня довжина та маса коренів у дослідному зразку відповідно в 1,4 та 1,8 рази вища, ніж в контролі, а середня довжина та маса пагонів – відповідно в 1,4 та 1,22 рази вища в дослідному зразку, ніж в контролі.

Зразки контролю, хоча і мали менші розміри, проте при візуальному огляді, особливо пагонів, звертало на себе увагу те, що і пагони, і коріння були набагато цупкішими та пружнішими. На восьмий день дослідні зразки почали в'янути.

Таким чином, на перших етапах проростання та росту тест-об'єктів електромагнітний вплив обумовлював більший приріст довжини і маси, проте морфологічні характеристики були гірші, також менш насиченим був зелений колір паростків, а наприкінці досліду починали з'являтися ознаки в'янення. Це узгоджується з результатами дослідження [37], в якому досліджували вплив ЕМП на 10 трав'янистих рослин (від проростання насіння до дозрівання). Сценарій опромінення, який був застосований, моделював реальні параметри ЕМП, які зазвичай зустрічаються у приміських та сільських районах. В результаті проведення експерименту деякі зразки також показували певну стимуляцію росту, а потім швидке старіння.

Оцінку впливу електромагнітного випромінювання проводили також з використанням *Allium cepa* L. Після чотириденного пророщування під впливом електромагнітного випромінювання, значення якого відповідали найбільшим показникам, визначених на території хмельницької урбоекосистеми (1,16 μT), відділяли корені та проводили їх морфометричну оцінку, результати якої представлені на рисунку 3.2.

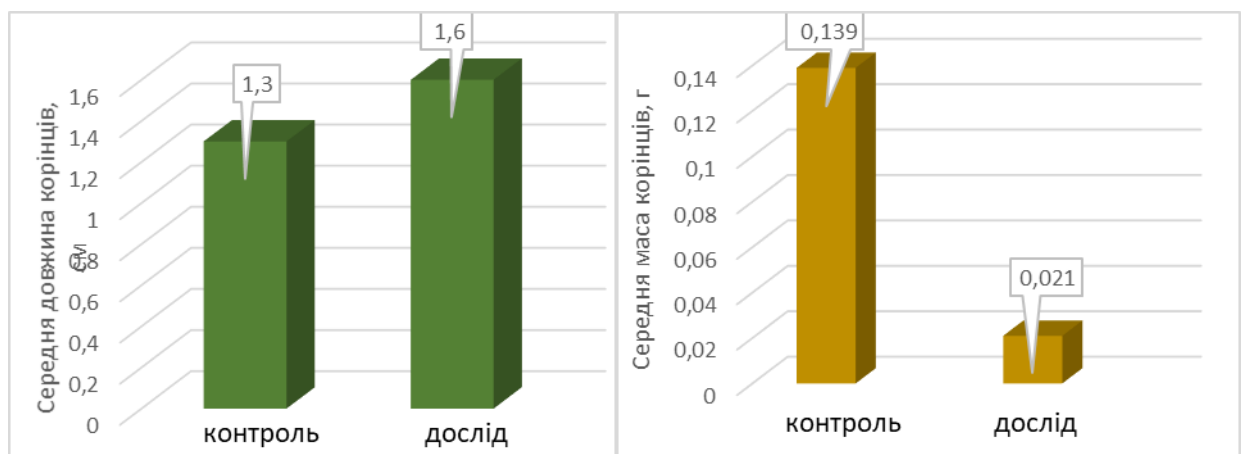


Рисунок 3.2 – Результати біотестування з використанням *Allium cepa* L.

Середня довжина корінців у досліді майже на 20 % вища, ніж у контролі, проте їх маса майже у 6 разів менша, отже ріст корінців дослідних зразків стимулюється високими значеннями ЕМП і водночас випереджає накопичення маси.

Як і в досліді з крес-салатом, це призводить до погіршення структури та зовнішнього вигляду. В цілому це свідчить про стимулюючий вплив ЕМП у межах 1,1 μT магнітного поля на рослини на початковому етапі, але в подальшому це призводить до деформації співвідношення морфологічних показників і погіршення стану дослідних зразків порівняно із контролем.

3.4 Визначення електромагнітного випромінювання від побутових приладів та розробка рекомендацій щодо зменшення їх негативного впливу на людину

У кожному будинку присутня велика кількість приладів, які генерують електромагнітне випромінювання. Проведені нами вимірювання показали, що найвищі показники магнітного поля характерні для мікрохвильової печі (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Величина магнітного поля біля побутових приладів

№ з/п	Назва приладу	Щільність магнітного потоку (μT)		
		на відстані 3 см	на відстані 30 см	на відстані 1 м
1	Пилосос	1,20 – 1,40	0,2 – 0,5	0,03 – 0,05
2	Мікрохвильова піч	1,75 – 2,00	0,4 – 0,8	0,05 – 0,06
3	Телевізор	1,10 – 1,90	0,4 – 0,6	0,01 – 0,05
4	Пральна машина	0,50 – 0,80	0,15 – 0,3	0,01 – 0,05
5	Роутер	1,20 – 1,70	0,70 – 1,0	0,02 – 0,03
6	Мобільний телефон	0,75 – 0,90	0,05 – 0,07	0,01 – 0,03

Перша мікрохвильова піч була розроблена північноамериканською компанією Raytheon у 1951 році, демонструючи потенціал мікрохвиль, які забезпечують швидке та ефективне нагрівання.

У 1970-х роках мікрохвильовий генератор був перероблений японськими інженерами в домашню мікрохвильову піч. В останні роки мікрохвильова або радіохвильова область електромагнітного спектру була досліджена для можливого використання в харчовій промисловості з успішними результатами у мікробній інактивації.

Роутер – пристрій, який є у кожному будинку, і без якого ми не можемо уявити сучасне життя. Попри всі важливі для нас функції, які виконує цей прилад, він формує досить велике магнітне поле. Для меншого впливу потрібно вимикати роутер, коли в ньому немає потреби.

Під час розмови по телефону ми також підлягаємо впливу магнітного випромінювання, щоб цьому уникнути, ми можемо вимикати гучномовець, або тримати телефон на відстані, хоча б у декілька сантиметрів.

Заходи [46-47], які рекомендують для зменшення електромагнітного навантаження включають три групи:

- організаційні;
- інженерно-технічні;
- лікарсько-профілактичні.

Організаційні заходи реалізують шляхом:

– зменшення часу контакту з джерелом електромагнітного випромінювання;

– збільшення відстані між людиною і джерелом випромінювання;

– екранування (в основі цього принципу лежить екранування безпосереднього місця перебування людини за допомогою екранів, що поглинають і відбивають ЕМП, такі властивості мають сучасні матеріали) [48-50];

– вибору джерел, які мають менший вплив на людину;

– дистанційного керування.

Інженерно-технічні заходи передбачають застосування засобів колективного та індивідуального захисту.

Колективні інженерно-технічні заходи включають: захист групи будинків, районів, населених пунктів та локальні: окремі будівлі, приміщення з одного боку, а з іншого передбачення конструктивної можливості працювати на зниженій потужності.

Індивідуальний захист передбачає: використання захисного одягу, заземлюючих пристроїв тощо.

Лікарсько-профілактичні заходи передбачають: проведення систематичних медичних оглядів працівників, які перебувають у зоні дії електромагнітних полів, обмеження в часі перебування людей в зоні підвищеної інтенсивності електромагнітних випромінювань.

За результатами огляду літературних джерел щодо захисту людей від ЕМП можна зробити висновок, що темі захисту від електромагнітного смогу в міських умовах при надшвидкому темпі розвитку технологій приділяється недостатня увага, зважаючи на ризики негативного впливу на живі організми. Це обумовлює необхідність пошуку та розробки сучасних конструктивних методів захисту від ЕМП різних діапазонів.

ВИСНОВКИ

Широкий спектр електромагнітних хвиль сьогодні випромінюють радари, комунікаційне обладнання, базові станції мобільних телефонів, високовольтні лінії, радіо- та телевізійні передавачі, підстанції та електричне обладнання вдома і на роботі, у навколишньому середовищі, що нас оточує. Рівні опромінення радіочастотним електромагнітним полем у діапазоні частот близько 1 ГГц, який зазвичай використовується для бездротового зв'язку, зросли на величину 10^{18} від природного рівня. Найбільш потужно це проявляється в урбоекосистемах. У зв'язку з цим зростає занепокоєння, що ця швидка зміна навколишнього середовища може мати негативні наслідки для живих організмів.

Для зменшення цього негативного впливу національними та міжнародними нормативно-технічними актами унормовано обсяги впливу ЕМП для персоналу, який працює з установками, що випромінюють електромагнітні поля, а також для населення. Стандарти безпеки для населення орієнтовно від 5 разів до 10 разів є меншими, ніж допустимі норми, що прийняті для персоналу.

Електромагнітні поля різних діапазонів є біологічно активними і можуть впливати на живі організми. На основі аналізу літературних джерел визначено, що вплив електромагнітного випромінювання на здоров'я людини залежить від інтенсивності і може призводити до негативних наслідків через вплив на вагітність у жінок, утворення катаракти, погіршення психологічного, фізіологічного стану, порушення нервової системи, а також розвиток онкологічних захворювань.

Негативний вплив ЕМП на біорізноманіття вивчений менше і, в основному, досліджується закордонними вченими. Численні види фауни мають дуже особливу вразливість до антропогенних електромагнітних полів

через унікальну фізіологію, яка залежить від статичних геомагнітних полів Землі та постійно використовується ними для сезонної міграції/орієнтації, будівництва гнізд/барлог, спарювання, розмноження, догляду за потомством, пошуку їжі, територіальної оборони, простих щоденних/сезонних циркадних ритмів, довголіття та виживання.

Електромагнітне випромінювання також може бути шкідливим для рослин. Зокрема доведено, що від веж мобільного зв'язку пошкоджуються дерева. Наслідками також може бути пригнічення проростання, зниження росту та біомаси рослин.

Електромагнітні поля в містах є результатом використання електричної та електронної технологій, які поширені в міському середовищі. В урбоекосистемі міста Хмельницького нами визначені такі джерела електромагнітного випромінювання, як: електричні мережі; мобільні телефони та бездротові мережі; радіо- та телевізійна вежа; побутові прилади; транспортні системи. Більша частина джерел рівномірно поширена в урбоекосистемному просторі за виключенням високовольтних ліній електропередач, що локалізовані на околицях міста, які останнім часом активно розбудовуються.

Найменші значення магнітного поля складали від 0,01 μT до 0,02 μT ; для електричного поля – від 3 В/м до 6 В/м; найбільші показники дорівнювали відповідно 1,16 μT та 1400 В/м. Більша частина урбоекосистеми знаходиться в умовах низького електромагнітного випромінювання, проте околиці міста потерпають від електромагнітного забруднення, що пов'язано з проходженням високопотужних ліній електропередач. Таким чином, подальша розбудова міста вимагає виважених містобудівних рішень, особливо якщо мова йде про околиці.

Визначення впливу електромагнітного випромінювання, характерного для хмельницької урбоекосистеми, на живі організми методом біотестування показали, що в цілому спостерігається тенденція більших параметрів дослідних зразків у порівнянні з контрольними. Вдочас у дослідних зразках

спостерігається дисбаланс між масою та морфологічними показниками, а також проявляється швидше старіння.

В цілому токсичний вплив на живі організми ЕМП в умовах хмельницької урбоєкосистеми відсутній, проте за найвищих показників можливий на перших етапах стимулюючий ефект, який з часом зникає і проявляється погіршення стану тест-об'єктів.

На стан людини впливає не тільки навколишнє середовище. У кожному будинку присутня велика кількість побутових приладів, які генерують магнітні поля. Проведені вимірювання показали, що найвищі показники магнітного поля характерні для мікрохвильової печі, найменші – для пральної машини.

Для зменшення інтенсивності електромагнітного опромінення нами запропоновано інженерно-технічні та організаційні заходи, останні включають такі варіанти: робота з меншими активностями; зменшення часу контакту з джерелом випромінювання; збільшення відстані між людиною і джерелом; екранування; вибір джерел, які мають менший вплив на людину; а також дистанційне керування.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Кундельська Т. В. Дослідження електромагнітного забруднення, ускладненого впливом базових станцій стільникового зв'язку, на урбанізованій території міста Івано-Франківська / Т. В. Кундельська, М. Т. Микицей // Екологічна безпека та природокористування. – 2017. – № 1. – Вип. 2 (23). – С. 21–27.

2. Federal Office for Radiation Protection EU. Available: https://www.bfs.de/SiteGlobals/Forms/Suche/BfS/EN/SARsuche_Formular.html?nn=6008110&submit=Search. [Accessed: November 18, 2018].

3. Омеляненко Г. В. Екологічні аспекти впливу електричних полів ліній електропередач надвисокої напруги на навколишнє середовище / Г. В. Омеляненко, Д. В. Мельник // Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції магістрантів та аспірантів (18–21 квітня 2017 року, м. Харків) ; за ред. проф. Є.І. Сокола. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – С. 129–130.

4. 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, doi: 10.1155/2015/234098.

5. World Health Organization. The International EMF Project. Geneva, Switzerland: WHO; 1996. – Режим доступу : <https://www.who.int/initiatives/the-international-emf-project>.

6. World Health Organization. Extremely Low Frequency Fields. Geneva, Switzerland: WHO; 2007. (Environmental Health Criteria Monograph). – Режим доступу : <https://www.who.int/publications/i/item/9789241572385>.

7. Priyanka Bandara, David Carpenter. Planetary electromagnetic pollution: it is time to assess its impact, *Planetary-health*. Vol 2, pp. 512–514, 2018. – Режим доступу : <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S2542-5196%2818%2930221-3>.

8. 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.

9. 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. – doi: 10.21315/mjms2023.30.5.6.

10. Non-Thermal Electromagnetic Radiation Damage to Lens Epithelium / Elvira Bormusov, Usha P. Andley, Naomi Sharon, etc. // *Open Ophthalmol J*. – 2008. - № 2. – P. 102–106.- doi: 10.2174/1874364100802010102.

11. 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. – Режим доступу: doi.org/10.31713/vs220197.

12. 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*. – 2005. – vol. 330. – P. 1290–1299.

13. National Research Council. 1993. Assessment of the Possible Health Effects of Ground Wave Emergency Network. Washington, DC: The National Academies Press. doi.org/10.17226/2046.

14. Anthropogenic electromagnetic fields (EMF) influence the behaviour of bottom-dwelling marine species / Zoë L. Hutchison, Andrew B. Gill, Peter Sigray act. // *Scientific Reports*. – 2020. – Vol. 10. – Режим доступу : <https://www.nature.com/articles/s41598-020-60793-x>.

15. Priyanka Bandara. Planetary electromagnetic pollution: it is time to assess its impact / Priyanka Bandara, David Carpenter // *Planetary-health*. – 2018.

– Vol. 2. – Режим доступу :
<https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S2542-5196%2818%2930221-3>.

16. 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.* – 2017. – Vol. 5. – P. 1527–1529.

17. Kirschvink J. L. Biogenic magnetite as a basis for magnetic field sensitivity in animals / J. L. Kirschvink, J. L. Gould // *Biosystems.* – 1981. - Vol. 13. – Режим доступу : doi: 10.1016/0303-2647(81)90060-5.

18. Kirschvink J. L. Birds, bees and magnetism: a new look at the old problem of magnetoreception / J. L. Kirschvink // *Trends Neurosc.* – 1982. - Vol. 5(160). – Режим доступу : doi: 10.1016/0166-2236(82)90090-X.

19. Insect cryptochromes: gene duplication and loss define diverse ways to construct insect circadian clocks / Q. Yuan, D. Metterville, A. D. Briscoe, S. M. Reppert // *Mol. Biol. Evol.* – 2007. – Vol. 54. – Режим доступу : doi: 10.1093/molbev/msm011

20. Kyriacou C. P. Clocks, cryptochromes and Monarch migrations / C. P. Kyriacou // *J. Biol.* – 2009. – Vol. 8 (55). – Режим доступу : doi: 10.1186/jbiol153.

21. Jones D. S. Induced magnetization in the Monarch butterfly, *Danaus Plexippus* (Insecta, Lepidoptera) / D. S. Jones, B. J. MacFadden // *J. Exp. Biol.* – 1982. – Vol. 96. – Режим доступу : doi: 10.1242/jeb.96.1.1.

22. Guerra P. A magnetic compass aids monarch butterfly migration / P. Guerra, R. J. Gegear, S. M. Reppert // *Nature Comm.* – 2014. – Vol. 5. – Режим доступу : doi: 10.1038/ncomms5164.

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

24. 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. – Режим доступу : doi: <https://doi.org/10.18372/2306-6407.1.6672>.

25. 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. – Режим доступу : doi:10.1016/j.scitotenv.2016.08.045.

26. Alfonso 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. – Режим доступу : doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.077.

27. Shckorbatov Yuriy G. Impact of electromagnetic radiation on human and animal cells: Approaches, results, perspectives / Yuriy G. Shckorbatov // 8th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS). – 2016. – Режим доступу : DOI: 10.1109/UWBUSIS.2016.7724149.

28. Хмельницький. [Електронний ресурс] // Офіційний сайт міської ради. – Режим доступу: <https://khm.gov.ua> (дата звернення 01.10.2023 р.).

29. Удосконалена схема фізико-географічного районування України / О.М. Маринич, Г.О. Пархоменко, О.М. Петренко, П.Г. Шищенко // Український географічний журнал. – 2003. – № 1. – С. 16–20.

30. Геоекологічний моніторинг урбосистеми Хмельницького / Т. Дзюблюк, І. Ковальчук, О. Колтун [та ін.]; за ред. проф. І. Ковальчука. – Львів : Вид. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2005. – 108 с.

31. Природа Хмельницької області / за ред. К. І. Геренчука. – Львів : Вища школа, 1980. – 152 с.

32. Колтун О. Проблема антропогенного впливу на рельєф у працях українських вчених 20-40-х років ХХ століття / О. Колтун // Історія української географії. – 2002. – Вип.1(5) . – С. 53-56.

33. Кирилюк Л. Особливості висотної диференціації антропогенних ландшафтів «молодого» акумулятивного висотно-ландшафтного рівня на території Поділля / Л. Кирилюк, В. Корінний // Вісник Вінницького педагогічного університету. Серія : Географія. – 2014. – Вип. 656. – С. 31-33.

34. Юглічек Л.С. Стан охорони зелених зон м. Хмельницького як складових екомережі / Л.С. Юглічек // Шляхи оптимізації природно-заповідного фонду міст України як основи формування локальних екомереж. – Полтава : Дивосвіт, 2013. – С. 31-36.

35. Мельник Д. В. Екологічні аспекти впливу електричних полів ліній електропередач надвисокої напруги на навколишнє середовище / Д. В. Мельник, Г. В. Омеляненко // Матеріали XI Міжн. науково-практичної конференції магістрантів та аспірантів, 2017, Ч. 2. – С. 129-130. – Режим доступу : <https://core.ac.uk/download/pdf/323538216.pdf>.

36. Здановський В. Г. Дослідження рівня магнітних полів енергетичних об'єктів / В.Г. Здановський, В.А. Глива, Х.В. Паньків // Проблеми охорони праці в Україні. – 2013. – Вип. 25. – С. 22-29.

37. Do electromagnetic fields used in telecommunications affect wild plant species? A control impact study conducted in the field / Marek Czerwiński, Alain Vian, Ben A. Woodcock act. // Ecological Indicators. – 2023. – Vol.e 150. – Режим доступу : <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110267>.

38. Нікітіна Н. Г. Вплив електромагнітних випромінювань на здоров'я населення / Н. Г. Нікітіна // Гігієна населених місць. – 2007. – № 50. – С. 209-214.

39. Орфанова О. Електромагнітне забруднення урбосистем / О. Орфанова // матеріали всеукр. наук.-практ. інтернет-конф., Харків, 2-3 листопада 2022 р., Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – С.16-18.

40. Балабак О. А. Глобальне електромагнітне навантаження та шумове забруднення довкілля в екологічному стані сучасної урбоекосистеми / О. А. Балабак, А. В. Балабак, О. В. Василенко // Таврійський науковий вісник.

– 2021. – № 117. – С. 264-270. – Режим доступу : DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.36>.

41. Результати досліджень електромагнітного поля промислової частоти в прикордонних містах Закарпаття / Я. О. Адаменко, М. В. Штогрин, В. М. Чупа, Б. В. Герасименко // матеріали міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., Харків, 2–3 листопада 2021 р., Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – С. 77-78.

42. Analysis of the relationship between electromagnetic radiation characteristics and urban functions in highly populated urban areas / Chao Tang, Chuanjun Yang, Regan Siquang Cai et al. // Science of The Total Environment. 2019. – Vol. 654. – P. 535-540. – Режим доступу : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.143>.

43. Bolte J.F.B. Personal radiofrequency electromagnetic field measurements in the Netherlands: exposure level and variability for everyday activities, times of day and types of area / J.F.B. Bolte, T. Eikelboom // Environ. Int. – 2012. – № 48. – P. 133-135.

44. Long term variations measurement of electromagnetic field exposures in Alcalá de Henares (Spain) / R. Sánchez-Montero, C. Aléncordero, P.L. Lópezespí et al. // Sci. Total Environ. – 2017. – № 598. – P. 657-668.

45. Calin M.D. Electromagnetic environment characteristics in an urban area / M.D. Calin, Corneliu Ursachi, Elena Helerea // Electrical and Electronics Engineering (ISEEE), 4th International Symposium. – 2013. – Режим доступу : DOI:10.1109/ISEEE.2013.6674381.

46. 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.

47. Глива В. А. Методологія оцінки та прогнозування електромагнітного та шумового навантаження у приміщеннях / В. А. Глива // Гігієна населених місць. – 2008. – № 52. – С. 184-189.

48. 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.

49. Запорожець О. І. Оцінка захисних властивостей магнітом'яких матеріалів / О. І. Запорожець, А. В. Лук'янчиков, В. А. Глива [та ін.] // Проблеми охорони праці в Україні. – 2007. – Вип.14. – С. 35-42.

50. 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.

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

Результати апробації досліджень



CERTIFICATE

IS PRESENTED TO

**Nataliia Mironova, Olha Yefremova,
Arthur Forostovskyi, Yana Hurovska**

for participation in XXIII International Science Conference
"Ecology. Human. Society"
with the theme of

The influence of the electromagnetic field of the urban
ecosystem on living organisms
(on the example of the city of Khmelnytskyi)

Kyiv, 07 December 2023

Dr. Anatoliy MELNYCHENKO
Vice-rector of
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute



Dr. Daniel BENATOV

Head of the
Organizing
Committee

Digitally signed by Daniel Benatov
DN: cn=Daniel Benatov, o=Igor
Sikorsky Polytechnical Institute, ou,
email=kp@benatov.kiev.ua, c-UA
Date: 2023.12.08 00:07:38 +02'00'