

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ПАРАМЕТРИЧНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

Методичні вказівки до практичних занять
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 101 Екологія. Освітня програма «Екологія»

Обговорено і рекомендовано
на засіданні кафедри
харчових технологій
Протокол № 5
від 18.12.2023р.

Чернігів 2024

Параметричне забруднення довкілля. Методичні вказівки до практичних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 101 Екологія. Освітня програма «Екологія» / Укл.: Костенко І.А.– Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – 50 с.

В методичних вказівках наведені практичні роботи з дисципліни «Параметричне забруднення довкілля». Вони містять: короткі теоретичні відомості, приклади розв'язання задач, практичні завдання за варіантами та необхідний довідковий матеріал для успішного виконання кожної роботи.

Укладач: КОСТЕНКО ІГОР АНДРІЙОВИЧ,
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри харчових технологій

Відповідальний за випуск: ЧЕЛЯБІЄВА ВІКТОРІЯ МИКОЛАЇВНА, завідувач
кафедри харчових технологій та екології, кандидат
технічних наук

Рецензент: БУЯЛЬСЬКА НАТАЛІЯ ПАВЛІВНА,
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри харчових технологій

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	4
Вступ.....	5
Практична робота 1. Оцінка ефективності захисту довкілля від вібрацій.....	6
Практична робота 2. Визначення безпечних рівнів шуму у довкіллі.....	13
Практична робота 3. Визначення меж санітарно-захисних зон РТО.....	20
Практична робота 4. Оцінка ефективності захисту від електромагнітних випромінювань	30
Практична робота 5. Прогнозування радіаційно-екологічного стану атмосферного повітря.....	36
Практична робота 6. Прогнозування радіаційно-екологічного стану ґрунтів..	40
Практична робота 7. Прогнозування міграції радіонуклідів до рослин.....	45
Рекомендована література.....	49

Перелік умовних скорочень

АЗ –	акустичне забруднення
ГДР –	гранично допустимий рівень
ГПЕ –	густина потоку енергії
ЕД –	еквівалентна доза
ЕД –	еквівалентна доза
ЕМП –	електромагнітне поле
ЕП –	електричне поле
ЗПМ –	звукопоглинальний матеріал
ІВ –	іонізуюче випромінювання
МП –	магнітне поле
НС –	навколишнє середовище
ПЕД –	потужність еквівалентної дози
ПРН –	природні радіонукліди
РТО –	радіотехнічний об'єкт
СЗЗ –	санітарно-захисна зона
ШР –	штучні радіонукліди

Вступ

Забруднення довкілля – це внесення в довкілля, виникнення або раптове підвищення в ньому значень чи концентрацій хімічних, фізичних, біологічних, інформаційних або будь-яких інших традиційних чи новостворених агентів і факторів, що спричиняє втрату рівноваги і завдає шкоди для частини або більшості видів екосистеми, де сталося це явище.

Можна виділити забруднення за ознакою ступеню втручання людини в природні процеси, окремим видом яких є параметричне забруднення – пов'язане зі зміною якісних параметрів навколишнього.

Параметричні забруднення – це забруднювачі неречовинного характеру, тобто такі, що не можна ізолювати, виділити у вигляді певної речовини і зважити їх, встановити їх шкідливу дію за значеннями ГДК. До них віднесені польові форми матерії - шкідливі для здоров'я людини випромінювання, дію яких оцінюють за їх гранично допустимими рівнями (ГДР). Найнебезпечніші з параметричних забруднень радіоактивні випромінювання, магнітні, електричні, електромагнітні поля.

Під час виконання практичних робіт ЗВО має набути або розширити наступні загальні та спеціальні компетентності, передбачені освітньою програмою:

К01. Знання та розуміння предметної області та професійної діяльності.

К18. Здатність до оцінки впливу процесів техногенезу на стан навколишнього середовища та виявлення екологічних ризиків пов'язаних з виробничою діяльністю.

К20. Здатність проводити екологічний моніторинг та оцінювати поточний стан навколишнього середовища.

Під час виконання практичних робіт ЗВО має досягти або вдосконалити наступні програмні результати навчання (ПР), передбачені освітньою програмою:

ПР02. Розуміти основні екологічні закони, правила та принципи охорони довкілля та природокористування.

ПР03. Розуміти основні концепції, теоретичні та практичні проблеми в галузі природничих наук, що необхідні для аналізу та прийнятті рішень в сфері екології, охорони довкілля та оптимального природокористування.

ПР05. Знати концептуальні основи моніторингу та нормування антропогенного навантаження на довкілля.

ПР07. Розв'язувати проблеми у сфері захисту навколишнього середовища із застосуванням загальноприйнятих та/або стандартних підходів та міжнародного та вітчизняного досвіду.

ПР09. Демонструвати навички оцінювання передбачуваних екологічних проблем і обдуманого вибору шляхів їх вирішення.

ПР11. Уміти прогнозувати вплив технологічних процесів та виробництв на навколишнє середовище.

ПР22. Брати участь у розробці проектів і практичних рекомендацій щодо збереження довкілля.

Практична робота 1

Оцінка ефективності захисту довкілля від вібрацій

1.1 Мета роботи: оцінити ефективність захисту довкілля з використанням віброізоляції.

1.1. Короткі теоретичні відомості.

Загальні методи боротьби з вібрацією базуються на аналізі рівнянь котрі описують коливання машин у виробничих умовах і класифікуються наступним чином:

- зниження вібрацій в джерелі виникнення шляхом зниження або усунення збуджувальних сил;
- відлагодження від резонансних режимів раціональним виборем приведеної маси або жорсткості системи, котра коливається;
- вібродемпфування — зниження вібрацій за рахунок тертя демпферного пристрою, тобто переведення коливної енергії в тепло;
- динамічне гасіння — введення в коливну систему додаткові мас або збільшення жорсткості системи;
- віброізоляція — введення в коливну систему додаткового пружного зв'язку, з метою послаблення передавання вібрацій, суміжному елементу конструкції або робочому місцю;
- використання індивідуальних засобів захисту.

Віброізоляція полягає у зниженні передачі коливань від джерела збудження до об'єкта, що захищається, шляхом введення в коливну" систему додаткового пружного зв'язку. Цей зв'язок запобігає передачі енергії від коливного агрегату до основи або від коливної основи до людини або до конструкцій, що захищаються.

Віброізоляція реалізується шляхом встановлення джерела вібрації на віброізолятори. В комунікаціях повітропроводів розташовуються гнучкі вставки. Застосовуються пружні прокладки у вузлах кріплення повітропроводів, в перекриттях, несучих конструкціях будівель, в ручному механізованому інструменті.

Для віброізоляції стаціонарних машин з вертикальною змушувальною силою використовують віброізолюючі опори у вигляді прокладок або пружин. Однак можлива їх комбінація. Комбінований віброізолятор поєднує пружинний віброізолятор з пружною прокладкою. Пружинний віброізолятор пропускає високочастотні коливання, а комбінований забезпечує необхідну ширину діапазону коливань, що гасяться. Пружні елементи можуть бути металевими, полімерними, волокнистими, пневматичними, гідравлічними, електромагнітними.

Розрахунок віброізоляторів зводиться до визначення їх пружності і геометричних параметрів: висоти, площі і кількості гумових прокладок чи діаметра, числа витків і радіуса дроту пружин.

Вихідною передумовою для розрахунку є необхідність виконання умови $f / f_0 = 3 \dots 4$ Гц, де f - частота коливань сили, що збуджує, f_0 - відповідна власна частота коливань устаткування на віброізоляторах. Це відповідає оптимальній віброізоляції з погляду значення коефіцієнта передачі $KП$ і експлуатаційних характеристик. Коефіцієнт передачі $KП$ розраховується за наступною формулою

$$KП = A_{норм} / A_{осн} = [(f / f_0)^2 - 1]^{-1}, \quad (1.1)$$

де $A_{норм}$ – нормативне значення амплітуди зсуву основи відповідно ДСН 3.3.6.039-99, м; $A_{осн}$ – амплітуда зсуву вимушених коливань плити основи, що віброізолюється, м.

Частота коливань збуджуючої сили визначається за формулою $f = n / 60$, де n – наприклад, кількість обертів двигуна. При наявності декількох джерел для розрахунку використовують найменше з отриманих значень. За відомим f визначають f_0 системи $f_0 = f / (3 \dots 4)$.

При низькочастотних вібраціях, рекомендується використання пружин в якості віброізоляції. При цьому слід зазначити, що пружини довше зберігають свої пружні властивості, ніж гумові прокладки. Як пружинні амортизатори найчастіше застосовуються сталеві кручені пружини, виготовлені з прутка круглого перерізу.

Послідовність розрахунку пружинних амортизаторів. Для розрахунку пружини, призначеної для віброізоляції, необхідні наступні вихідні дані:

- а) статичне навантаження $P_{ст1}$, що припадає на один амортизатор, Н;
- б) амплітуда коливального зсуву верхнього торця пружини при робочому режимі машини ξ_1 , м;
- в) пружність пружини у вертикальному напрямку k_1 , Н/м;
- г) напруга, що допускається, на крутіння матеріалу пружини τ , Н/м² (таблиця 1.1);
- д) модуль пружності на зсув, G , Н/м² (таблиця 1.1).

1 Розрахункове навантаження P_1 , Н, на одну пружину:

$$P_1 = P_{ст1} + 1,5 \cdot P_{дин1} \quad (1.2)$$

де $P_{ст1}$ – статичне навантаження, що припадає на одну пружину, Н,

$$P_{ст1} = \frac{P}{n}, \quad (1.3)$$

де P - вага машини, Н; n – кількість пружин;

$P_{дин1}$ – динамічне навантаження, що припадає на одну пружину, Н,

Таблиця 1.1 – Напруги, що допускаються, для пружинних сталей

Сталь		Модуль пружності на зсув G , $\cdot 10^{10}$ Н/м ²	Напруги, що допускаються		Призначення
Група	Марка		Режим роботи	τ , $\cdot 10^8$ Н/м ²	
Вуглецева	70	7,83	Легкий	4,11	Для пружин з відносно низькими напругами при діаметрі дроту менш 8 мм
			Середній	3,73	
			Важкий	2,47	
Хромванадієва загартована в олії	50ХФА	7,7	Легкий	5,49	Для пружин, які сприймають динамічне навантаження, при діаметрі прутка не менш 12,5 мм
			Середній	4,90	
			Важкий	3,92	
Кремніста	55 С 2; 60 С 2; 60 С 2 А; 63 С 2 А	7,45	Легкий	5,49	Для пружин, які сприймають динамічне навантаження, при діаметрі прутка більш 10 мм, а також для ресор
			Середній	4,41	
			Важкий	3,43	

$$P_{\text{дин1}} = \xi \cdot k_1, \quad (1.4)$$

де k_1 – жорсткість одного амортизатора у вертикальному напрямку, Н/м; ξ – амплітуда вертикальних коливань об'єкта на робочій частоті, м,

$$\xi = \frac{P}{(P/g) \cdot \omega^2 - k_c}, \quad (1.5)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²; ω – кутова частота коливань системи, рад/с;

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f, \quad (1.6)$$

де f – частота, Гц;

k_c – загальна жорсткість всіх амортизаторів у вертикальному напрямку:

$$k_c = m \cdot (2 \cdot \pi \cdot f_0)^2, \quad (1.7)$$

де m – маса механізму, що підлягає віброізоляції (включаючи масу основи), кг, $m = P/g$; f_0 – частота власних коливань системи, Гц:

$$f_0 = \frac{f}{\Psi} = \frac{f}{(3 \div 4)}, \quad (1.8)$$

де f – частота збуджуючої сили, Гц;

Ψ – коефіцієнт відносини частоти сили, що збуджує, до частоти власних коливань (рекомендується $\Psi = 3 \div 4$).

$$k_1 = \frac{k_c}{n} = \frac{m}{n} \cdot (2 \cdot \pi \cdot f_0)^2. \quad (1.9)$$

Множник 1,5, на який збільшується $P_{\text{дин}}$ (формула 1.2), забезпечує необхідний запас втомної міцності пружини.

1 Діаметр сталевого прутка пружини у метрах визначається за формулою:

$$d = 1,6 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot P_1 \cdot \varepsilon}{\tau}}, \quad (1.10)$$

де k – коефіцієнт, який враховує додаткову напругу зрізу (рисунок 1.1), що виникає в точках перерізу прутка, розташованих ближче усього до осі пружини; ε – індекс пружини:

$$\varepsilon = \frac{D}{d} \cong 4 \div 10 \quad (1.11)$$

де D – середній діаметр пружини, м;

d – діаметр дроту, м;

τ – напруга зсуву, що допускається, при крутінні, Н/м² (таблиця 1.1).

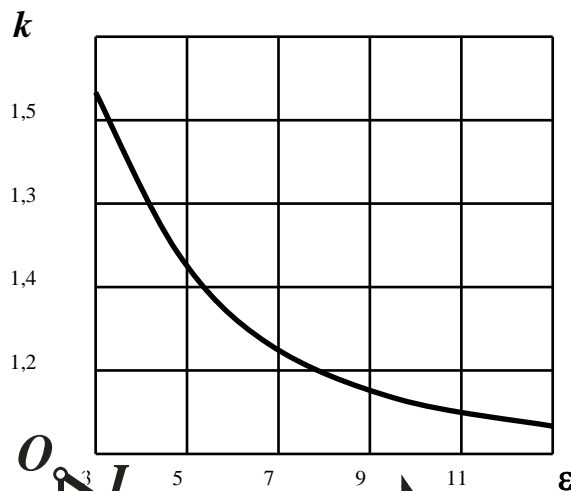
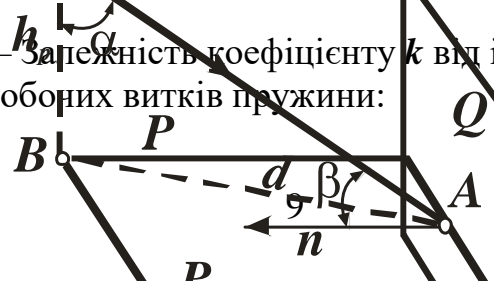


Рисунок 1.1 – Залежність коефіцієнту k від індексу пружини
3 Кількість робочих витків пружини:



$$i_1 = \frac{G \cdot d}{8 \cdot k_1 \cdot \varepsilon^3}, \quad (1.12)$$

де G – модуль зсуву матеріалу пружини, Н/м^2 (таблиця 1.1).

4 Загальна кількість витків пружини

$$i = i_1 + i_2, \quad (1.13)$$

де i_2 – кількість неробочих витків пружини (при $i_1 > 7 \rightarrow i_2 = 2,5$, при $i_1 < 7 \rightarrow i_2 = 1,5$).

Крок витка дорівнює $h = 0,25D$.

5 Висота ненавантаженої пружини:

$$H_0 = i \cdot h + (i_2 - 0,5) \cdot D. \quad (1.14)$$

Отримане значення висоти ненавантаженої пружини має бути $H_0 \leq 2 \cdot D$.

6 Ефективність віброізоляції, дБ:

$$\Delta h = 40 \cdot \lg \frac{f}{f_0}. \quad (1.15)$$

7 Вибір готової пружини, що випускається промисловістю.

Перевірочний розрахунок обраної пружини здійснюється за наступною схемою:

1 Визначається максимально припустиме статичне навантаження:

$$[P_{ст}] = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot [\tau]}{8 \cdot k \cdot D} - 1,5 \cdot P_{дин}. \quad (1.16)$$

2 Визначається жорсткість пружини у вертикальному напрямку

$$k_1 = \frac{G \cdot d}{8 \cdot \varepsilon^3 \cdot i}. \quad (1.17)$$

2 Знаходиться кількість пружин з умови:

$$\frac{Q}{[P_{ст}]} \leq n \leq \frac{k_c}{k_1}, \quad (1.18)$$

де Q – вага машини, Н , k_c – жорсткість всіх амортизаторів.

Установка машин на пружинні амортизатори більш ефективна, чим на гумові, тому що забезпечує більш низькі власні частоти коливань віброуючого механізму.

Центр жорсткості віброізоляторів слід розташовувати на одній вертикалі з центром ваги маси машини, яка встановлена на спеціальну підставу.

Приклад розрахунку. Розрахувати віброізолятори типа пружин для плити масою 340 кг. Додаткова можлива маса, що може опинитися на плиті 60 кг. Вібрація виникає за рахунок роботи двигуна з кількістю обертів $n = 1440$ об/мін. Значення амплітуди вібрації дорівнює $0,167 \cdot 10^{-3}$ м.

Рішення. Визначаємо частоту коливань збуджуючої сили: f

$$=1440/60=24 \text{ Гц.}$$

Користуючись ДСН 3.3.6.039-99 визначаємо нормативне значення амплітуди зсуву $A_{\text{норм}}=0,0209 \cdot 10^{-3}$ м. Відповідно рівнянню (1.1) знаходимо коефіцієнт передачі КП:

$$\text{КП} = \frac{0,0209 \cdot 10^{-3}}{0,167 \cdot 10^{-3}} = \frac{1}{8}.$$

Визначаємо власну частоту коливань з формули 1.1:

$$f_0 = \frac{f}{\sqrt{1/\text{КП}+1}} = \frac{24}{\sqrt{8+1}} = 8 \text{ Гц.}$$

Розраховуємо необхідну загальну жорсткість системи віброізоляції у вертикальному напрямку за формулою (1.7). Загальну масу визначаємо як суму маси основи та маси, що може опинитися на плиті $m=340+60=400$ кг.

$$k_c = 400 \cdot (2 \cdot 3,14 \cdot 8)^2 = 1009623 \text{ Н/м.}$$

Визначаємо жорсткість одного віброізолятора за формулою (1.9). Кількість віброізоляторів беремо 8:

$$k_1 = k_c / 8 = 126203 \text{ Н/м.}$$

Розрахункове навантаження на одну пружину визначається за формулами 1.2...1.5:

$$P_1 = \frac{400 \cdot 9,8}{8} + 1,5 \cdot \frac{400 \cdot 9,8 \cdot 126203}{400 \cdot (2 \cdot 3,14 \cdot 24)^2 - 1009623} = 582 \text{ Н.}$$

За формулою 1.10 визначаємо діаметр дроту пружини. Приймаємо, що $\varepsilon=8$, тоді за рисунком 2 $k=1,2$. Значення $\tau = 2,47 \cdot 10^8$ Н/м² беремо з таблиці 1.1 для важких навантажень спочатку для вуглеводистій сталі, яка використовується для пружин з відносно низькими напругами при діаметрі дроту менш 8 мм:

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{1,2 \cdot 582 \cdot 8}{2,47 \cdot 10^8}} = 0,76 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Після розрахунку перевіряємо, щоб діаметр дроту відповідав типу сталі (таблиця 1.1). У нашому випадку вуглеводиста сталь використовується саме для пружин з діаметром дроту до 8 мм. Якщо діаметр дроту не відповідає типу сталі, слід вибрати дані τ для розрахунків за формулою 1.10 для другого типу сталі.

Беремо діаметр дроту пружини $d=8$ мм, тоді діаметр пружини

$$D = \varepsilon d = 8 \cdot 0,008 = 0,064 \text{ м.}$$

Розраховуємо кількість витків пружини згідно з формулою 1.12. Значення модуля пружності на зсув G беремо з таблиці 1.1.

$$i_1 = \frac{7,83 \cdot 10^{10} \cdot 0,008}{8 \cdot 126203 \cdot 8^3} = 1,2.$$

Беремо $i_1=2$ шт.

За формулою 1.13 визначаємо загальну кількість витків пружини (з урахуванням неробочих витків). Значення $i_2=1,5$, так як $i_1 < 7$.

$$i = 2 + 1,5 = 3,5.$$

Розраховуємо шаг витка $h=0,25 \cdot 0,064=0,016$ м.

Висота ненавантаженої пружини згідно з формулою 1.14:

$$H_0=3,5 \cdot 0,016+(1,5-0,5) \cdot 0,008=0,064 \text{ м.}$$

За допомогою спеціальної літератури відповідно отриманим даним вибирають пружини, які найбільш всього відповідають отриманим розрахункам. Потім виконують перевірочний розрахунок за формулами 1.16...1.18.

1.3 Завдання до практичної роботи

Розрахувати віброізолятори типа пружин для плити масою m_1 кг з можливою додатковою масою m_2 кг. Вібрація виникає за рахунок роботи двигуна з кількістю обертів n . Значення амплітуди вібрації дорівнює $A_{осн}$.

Таблиця 1.3 – Варіанти завдання

Варіант	m_1 , кг	m_2 , кг	$A_{осн} \cdot 10^{-3}$, м	n , об/мін
1	310	50	0,15	1400
2	320	60	0,16	1500
3	315	70	0,17	1600
4	300	80	0,18	1700
5	310	90	0,19	1800
6	350	55	0,2	2000
7	345	65	0,19	1900
8	320	75	0,18	1850
9	325	85	0,17	1750
10	330	60	0,16	1650

1.4 Висновки. На основі обчислень зробити висновки за роботою.

1.5 Контрольні питання

1. Дайте визначення поняттю “вібрація”.
2. Якими параметрами характеризується вібрація?
3. Як класифікують джерела вібрацій?
4. В чому полягає небезпека вібрацій для довкілля?
5. Як відбувається нормування вібрацій?
6. Які основні методи захисту від вібрацій?
7. Охарактеризуйте захист за допомогою віброізоляції.
8. В яких випадках використовується комбінований віброізолятор?
9. В чому полягає розрахунок віброізоляторів?
10. Як оцінюється ефективність віброізоляції?

Практична робота 2

Визначення безпечних рівнів шуму у довкіллі

2.1 Мета роботи: оцінити рівень шуму, який створюється декількома джерелами в навколишньому середовищі; запропонувати засоби захисту, за допомогою яких можна досягти зниження шуму.

2.2 Короткі теоретичні відомості

Відповідно до Закону України „Про охорону навколишнього природного середовища“ органи державної виконавчої влади, місцевого самоврядування, підприємства, установи, організації та громадяни при здійсненні своєї діяльності зобов'язані вживати необхідні заходи щодо запобігання та недопущення перевищення встановлених рівнів акустичного впливу на навколишнє природне середовище і здоров'я людини. Використання джерел, які генерують цей вид параметричного забруднення у виробництві, побуті та з іншою метою, допускається за умови дотримання санітарних норм, які передбачені *Державними санітарними правилами планування і забудови населених пунктів від 19 червня 1996 року* (останні зміни та доповнення 20018рік).

Правила розрізняють джерела зовнішнього техногенного та біогенного акустичного забруднення. Джерелами техногенного акустичного забруднення є всі види транспорту, промислові підприємства, комунальні об'єкти (котельні, трансформатори, компресорні станції тощо). До джерел біогенного акустичного забруднення відносять стадіони, базари, майдани для мітингів, танцмайданчики, спортмайданчики, дискотеки, зоопарки, ринки для продажу тварин, тваринницькі ферми.

З метою відвернення, зниження і досягнення безпечних рівнів шумів повинні забезпечуватися певні заходи, як це передбачено в статті 21 *Закону України “Про охорону атмосферного повітря”*:

- створення і впровадження малошумних машин і механізмів;
- удосконалення конструкцій транспортних та інших пересувних засобів і установок та умов їх експлуатації, а також утримання в належному стані залізничних і трамвайних колій, автомобільних шляхів, вуличного покриття;
- розміщення підприємств, транспортних магістралей, аеродромів та інших об'єктів з джерелами шуму під час планування і забудови населених пунктів відповідно до встановлених законодавством санітарно-гігієнічних вимог, будівельних норм та карт шуму;
- виробництво будівельних матеріалів, конструкцій, технічних засобів спорудження житла, об'єктів соціального призначення та будівництво споруд з необхідними акустичними властивостями;
- організаційні заходи для відвернення і зниження виробничих, комунальних, побутових і транспортних шумів, включаючи запровадження раціональних схем і режимів руху транспорту та інших пересувних засобів і установок у межах населених пунктів.

Відповідно до *Закону України “Про охорону атмосферного повітря”* в галузі охорони атмосферного повітря встановлюються нормативи гранично допустимого впливу фізичних факторів стаціонарних та пересувних джерел. Нормативи гранично допустимих рівнів впливу на атмосферне повітря встановлюються для кожного стаціонарного джерела та для кожного типу пересувних джерел з врахуванням сучасних технічних рішень щодо зниження рівнів впливу фізичних факторів, в тому числі шуму.

Рівні впливу цього фактору на стан атмосферного повітря, вимоги до їх скорочення встановлюються відповідним дозволом на основі затверджених відповідно до санітарних норм нормативів. Господарська чи інші види діяльності, якщо вони пов'язані з порушенням передбачених дозволом рівнів акустичного впливу на стан атмосферного повітря, може бути обмежена, тимчасово заборонена (зупинена) або припинена відповідно до законодавства (*ст. 12 Закону України “Про охорону атмосферного повітря”*).

Як це передбачено Державними будівельними нормами України (*ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій*), допустимі рівні шуму на різних об'єктах, територіях різного господарського призначення не повинні перевищувати показників санітарних норм наведених в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Норми шуму для окремих територій

Території	Еквівалентний рівень шуму, дБА		Максимальний рівень, шум, дБА	
	>з 7 до 23	>з 23 до 7	>з 7 до 23	>з 23 до 7
Сельбищні зони населених місць	55	45	70	60
До житлової забудови, що реконструюється	60	50	70	60
Території житлової забудови поблизу аеродромів та аеропортів	65	55	75	65
Зони масового відпочинку і туризму	50	35-40	85	75
Санітарно-курортна зона	40-45	30-35	60	65
Території заповідників і заказників	< 25	<20	50	45

Для оцінки та аналізу шумів весь слуховий діапазон частот ($f = 20 \dots 20000$ Гц) розбивають на смуги – октави – смуга частот, у якій відношення верхньої частоти до нижньої дорівнює двом.

Характеристикою кожної смуги є середньгеометрична частота $f_{сг}$, яка для

октави вираховується за виразом $f_{ce} = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$. Значення f_{cr} для восьми стандартизованих октавних смуг дорівнюють 63, 125, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Для фізіологічної оцінки інтенсивності та звукового тиску використовують відносні величини – рівень інтенсивності звуку L_I та рівень звукового тиску L_p , одиницею вимірювання яких є децибел (дБ):

$$L_I = 10 \lg(I/I_0), \quad (2.1)$$

а рівень звукового тиску L_p в дБ:

$$L_p = 10 \lg (P/P_0)^2 = 20 \lg(P/P_0), \quad (2.2)$$

де I і P відповідно інтенсивність і звуковий тиск в даній точці, а I_0 і P_0 – інтенсивність і звуковий тиск порогу чутності (за частоти 1000 Гц поріг чутності для звукового тиску складає $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па, а для інтенсивності звуку – $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м²)

Для орієнтовної гігієнічної оцінки параметрів постійного широкосмужного шуму, що нормуються, дозволяється за характеристику постійного шуму приймати рівень звуку в дБА, який вимірюється за шкалою “А” шумоміра:

$$L_A = 20 \lg(P_A/P_0), \quad (2.3)$$

де P_A – середньоквадратичний звуковий тиск з урахуванням коригування “А” шумоміра, Па; P_0 – порогове значення звукового тиску, Па.

Коригування полягає у введенні поправок до рівнів звукового тиску в залежності від частоти. Коригований рівень звукового тиску дорівнює:

$$L_A = L - \Delta L_A, \quad (2.4)$$

де L – значення загального рівня шуму; ΔL_A – корекція, дБ.

Коригування необхідне, для наближення результатів об’єктивних вимірювань до суб’єктивного сприйняття шуму людиною. Стандартні значення коригування такі:

Частота, Гц	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ΔL , дБ	80	42	26,3	16,1	8,6	3,2	0	-1,2	-1,0	-1,1

Визначення рівнів шуму за одночасно працюючих джерелах шуму

Сумарний рівень звукового тиску від декількох джерел шуму визначається за формулою:

$$L_s = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i} \quad (2.5)$$

де L_i – октавний рівень звукового тиску розглядуваного джерела, дБ ;
 i – номер джерела ; n – загальна кількість джерел в приміщенні.

В разі n однакових джерел шуму формула має вигляд:

$$L_s = L_i + 10 \cdot \lg n \quad (2.6)$$

де L_i – октавний рівень звукового тиску одного джерела, n – кількість джерел.

При двох різних джерелах шуму $L_1 > L_2$:

$$L_s = L_1 + \Delta L \quad (2.7)$$

де ΔL – корегувальна добавка, дБА, в залежності від різниці $L_1 - L_2$.

Різниця двох додаваних рівнів	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
Корегувальна добавка ΔL до більш високого рівня	3	2,5	2	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0

Якщо кількість джерел $n > 2$, то користуючись корегувальними добавками необхідно послідовно додавати рівні, починаючи з максимального. Спочатку визначають різницю двох додаваних рівнів, потім – добавку до більш високого з додаваних рівнів. Після цього добавку слід додати до більшого з додаваних рівнів.

Приклад розрахунку. Рівні звукового тиску від п'яти джерел шуму становлять відповідно 81, 83, 87, 90, 91 дБ. Знайти сумарний рівень шуму в окремій точці.

Рішення. Для того, щоб знайти сумарний рівень звукового тиску L_s спочатку знаходимо різницю між значенням звукового тиску найбільш інтенсивного джерела і джерела із наступною інтенсивністю: $L_{\text{різн1}} = 91 - 90 = 1$; із таблиці вибираємо $\Delta L_{\text{дод1}} = 2,5$. Знаходимо сумарний рівень звукового тиску для двох джерел L_{s1} , додаючи ΔL_1 до значення звукового тиску найбільш інтенсивного джерела: $L_{s1} = 91 + 2,5 = 93,5$ дБ. Далі шукаємо різницю між знайденим $L_{\text{різн2}}$ двох джерел із наступним значенням звукового тиску:

$$L_{\text{різн2}} = 93,5 - 87 = 6,5, \text{ отже } \Delta L_2 = 0,9, \text{ тоді } L_{s2} = 93,5 + 0,9 = 94,4 \text{ дБ};$$

$$L_{\text{різн3}} = 94,4 - 85 = 9,4; \Delta L_3 = 0,5; L_{s3} = 94,4 + 0,5 = 94,9 \text{ дБ};$$

$$L_{\text{різн4}} = 94,9 - 83 = 11,9; \Delta L_4 = 0,3; L_{s4} = 94,9 + 0,3 = 95,2 \text{ дБ}$$

$$L_{\text{різн5}} = 95,2 - 81 = 14,2; \Delta L_5 = 0,2; L_{s5} = 95,2 + 0,2 = 95,4 \text{ дБ}$$

Знайдемо сумарний рівень звукового тиску від даних п'яти джерел за формулою 5.5.

$$L_s = 10 \cdot \lg(10^{0,1 \cdot 81} + 10^{0,1 \cdot 83} + 10^{0,1 \cdot 85} + 10^{0,1 \cdot 87} + 10^{0,1 \cdot 90} + 10^{0,1 \cdot 91}) = 95,3 \text{ дБ}.$$

Методи та засоби захисту від шуму

Для боротьби з шумом застосовують методи і засоби колективного та індивідуального захисту. Методи колективного захисту поділяють на: архітектурно-планувальні, інженерні, організаційні та акустичні.

Серед акустичних методів захисту найбільш поширеним методом є застосування звукоізоляції у вигляді кожухів, екранів, огорожень, кабін спостереження (при дистанційному керуванні). В основу методу звукоізоляції покладений принцип відбиття – більша частина звукової енергії I , що падає на огороження відбивається і тільки незначна її частка (близько 0,001) проникає через огороження. Ефективність звукоізоляції R , дБ характеризується коефіцієнтом звукопровідності τ і розраховується за формулою:

$$R = 10 \lg (1/\tau), \quad (2.8)$$

де $\tau = E_{\text{прон}}/E_{\text{пад}}$ – коефіцієнт звукопровідності перешкоди, де $E_{\text{прон}}$ – енергія звукової хвилі, що проникла через звукоогороджувальну конструкцію, Вт; $E_{\text{пад}}$ – енергія звукової хвилі, що падала на звукоогороджувальну конструкцію, Вт.

За звичай $R = 20 \dots 40$ дБ. Звукоізолююча здатність багатошарової конструкції R , дБ визначається за формулою:

$$R = 20 \lg mf - 47,5, \quad (2.9)$$

де m – маса конструкції, кг/м²; f – частота коливань, Гц;

Розрахунок звукоізоляції перегородки з шаром звукопоглинального матеріалу (ЗПМ)

Розрахунок проводиться у восьми октавних смугах частот. Загальна звукоізоляція перегородки з шаром звукопоглинального матеріалу (ЗПМ) R_c визначається за формулою:

$$R_c = R + \Delta R \quad (2.10)$$

де R – звукоізоляція перегородки (вибирається з таблиці 5.2 в залежності від матеріалу перегородки);

ΔR – додаткова звукоізоляція за рахунок шару ЗПМ, дБ визначається за формулою:

$$\Delta R = 8,7\beta \cdot \delta + 20 \lg [(m_n + m_{\text{пс}})/m_n] \quad (2.11)$$

де β – коефіцієнт затухання, 1/м, (визначається за таблицею 5.3);

δ – товщина шару ЗПМ, м;

m_n – поверхнева густина матеріалу перегородки, кг/м² (коливається від 150 до 600).

$m_{\text{пс}}$ – поверхнева густина шару ЗПМ, кг/м² знаходиться за формулою:

$$m_{nc} = \rho \cdot \delta, \quad (2.12)$$

де, ρ – об’ємна густина ЗПМ, $\rho = 20 \text{ кг/м}^3$; δ – товщина шару ЗПМ, м.

Таблиця 2.2 – Звукоізоляція стін і перегородок, дБ

Конструкція	Товщина, мм	Поверхня ва густина, кг/м^2	Середньгеометрична частота октавної смуги, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Цегляна кладка	140	220	32	39	40	42	48	54	60	60
	270	420	36	41	44	51	58	64	65	65
	410	620	41	44	48	55	61	65	62	65
Залізобетон на панель	100	250	38	38	38	44	50	58	60	60
	160	400	43	43	43	51	60	63	63	63
	200	500	40	42	44	51	59	65	65	65
	300	750	44	44	50	58	65	69	69	69
Гіпсобетонна панель	80	115	32	32	33	39	47	54	60	60
Шлакобетон на панель	140	250	39	39	39	46	53	60	60	60
	250	400	42	42	42	50	59	64	64	64

Таблиця 2.3 – Коефіцієнти затухання β , 1/м

Звупоглинаючий матеріал	Середньгеометрична частота октавної смуги, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Полотно із супертонкого скловолокна	3	5	6	9	14	24	34	45
Полотно із супертонкого базальтового волокна	3	6	8	11	25	34	37	38

2.3 Завдання для практичної роботи

Завдання 2.3.1. В офісному приміщенні одночасно працюють три установки (варіанти завдань вибрати із таблиці 2.4). Рівні звукового тиску, що випромінюються кожним джерелом наведені в таблиці 2.4. Визначити сумарні октавні рівні звукового тиску одночасно працюючих джерел послідовним сумуванням (формула 2.7) і за формулою 2.5. Порівняти отримані результати.

Таблиця 5.4 – Вихідні дані до завдання 2.3.1

Рівень джерела шуму, дБА	Варіанти									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
А, 80	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-
Б, 84	-	+	-	-	+	+	-	+	-	+
В, 81	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-
Г, 92	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-
Д, 95	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+
Е, 96	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+

Завдання 2.3.2. Визначити сумарний рівень звукового тиску при n однакових одночасно працюючих джерелах шуму, рівновіддалених від розрахункової точки, за даними таблиці 2.5, користуючись формулою 2.6.

Таблиця 2.5 – Вихідні дані до завдання 2.3.2

Вихідні дані	Варіанти									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Звуковий тиск L_i , дБ	92	90	87	83	81	78	75	70	75	60
Кількість джерел звуку, n	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3

Завдання 2.3.3. Розрахувати звукоізоляцію перегородки з шаром звукопоглинального матеріалу (ЗПМ). Матеріал для перегородки і ЗПМ взяти згідно варіанту із таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Вихідні дані до завдання 2.3.3

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Матеріал перегородки, мм	Цегляна кладка			Залізобетонна панель				Гіпсо-бетонна панель	Шлакобетонна панель	
Товщина перегородки, мм	140	270	410	100	160	200	300	80	140	250
ЗПМ	Полотно із супертонкого скловолокна					Полотно із супертонкого базальтового волокна				
Товщина шару ЗПМ, мм	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80

2.4 Висновки: Зробити висновки за кожним пунктом роботи.

2.5 Контрольні запитання

1. Які норми встановлює Закон України „Про охорону навколишнього природного середовища“ щодо акустичного забруднення?
2. Якими Державними санітарними правилами обумовлюються безпечні рівні шуму?
3. В чому різниця між техногенним та біогенним акустичним забрудненням?
4. З метою відвернення, зниження і досягнення безпечних рівнів шумів які заходи, передбачено Законом України “Про охорону атмосферного повітря”?
5. Які допустимі рівні шуму на різних об’єктах та територіях встановлюються?
6. Які покарання передбачаються за порушення шумового режиму при веденні господарської діяльності?
7. Як оцінюється сумарний рівень звукового тиску від декількох джерел шуму?
8. В чому полягає метод звукоізоляції? Які ви знаєте звукоізолюючі матеріали?
9. Як визначається ефективність звукоізоляції?
10. Яка ефективність методу звукопоглинання у боротьбі зі зниженням шуму? Назвіть звукопоглинальні матеріали.

Практична робота 3

Визначення меж санітарно-захисних зон РТО

3.1 Мета роботи: оволодіти навичками оцінки розмірів санітарно-захисних зон для захисту від негативного впливу ЕМП.

3.2 Короткі теоретичні відомості

З появою джерел забруднення антропогенного характеру, електромагнітні поля (ЕМП) стали чинити негативний вплив на здоров’я людей, і на природу в цілому. Так з’явилося явище електромагнітного смогу.

Електромагнітне забруднення становить небезпеку для екології, оскільки негативно впливає на мембранну структуру клітин живих організмів. Перш за все, забруднюється вода, змінюються її властивості, відбуваються функціональні порушення. Також випромінювання уповільнює регенерацію тканин рослин і тварин, призводить до зниження виживаності і підвищення смертності. Крім цього, електромагнітне опромінення сприяє розвитку мутації. В результаті забруднення цього типу у рослин змінюються розміри стебел, квіток, плодів, змінюється їх форма. У деяких видів фауни при впливі електромагнітного поля сповільнюється розвиток і зростання, підвищується агресія. У них страждає центральна нервова система, порушується обмін речовин, погіршується функціонування репродуктивної системи аж до безпліддя. Також забруднення сприяє порушенню чисельності видів різних представників в межах однієї екосистеми.

Одним з методів захисту довкілля від небезпечної дії ЕМП є захист відстанню. З цією метою поряд з діючими радіотехнічними об'єктами згідно ДСНіП №239-96 „Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань” встановлюються санітарно-захисні зони та зони обмеженої забудови.

Санітарно-захисною зоною вважається територія, де на висоті до 2 м від поверхні землі перевищуються гранично допустимі рівні (ГДР) електромагнітного випромінювання.

Зоною обмеження забудови вважається територія, де на висоті понад 2 м від поверхні землі перевищуються гранично допустимі рівні.

Гранично допустимі рівні ЕМП ($E_{ГД}$, В/м) для населення в діапазоні частот $30 \text{ кГц} < f < 300 \text{ МГц}$ (крім телебачення) представлені в таблиці 3.1.

Гранично допустимі рівні ЕМП, які створюються телевізійними центрами в діапазоні частот від 48 до 1000 МГц, визначають: $E_{ГД}=21f^{-0,37}$. Гранично допустимі рівні електромагнітних полів для населення в діапазоні частот $300 \text{ МГц} < f < 300 \text{ ГГц}$, а саме гранично допустимий рівень густини потоку енергії (ГПЕ) не повинен перевищувати 100 мкВт/см^2 (1 Вт/м^2). З метою приведення нормування ЕМП до світових стандартів у 2021 році згідно з рекомендацією Ради Європи 1999/519/ЕС було встановлено це значення (до цього 10 мкВт/см^2).

Таблиця 3.1– Гранично допустимі рівні електромагнітних полів для населення(крім телебачення, згідно з ДСНіП №239-96)

Діапазон частот	Діапазон довжин хвиль	ГДР($E_{д}$)
30 ...300 кГц	10...1 км	25 В/м
0,3 ...3 МГц	1...0,1 км	15 В/м
3 ... 30 МГц	100...10м	$3 \lg \square$, В/м
30 ... 300 МГц	10...1 м	3 В/м

У джерел ЕМП розрізняють ближню (індукції), проміжну (Френеля) і дальню (випромінювання) зони впливу. Ближня зона реалізується на відстанях де ЕМП ще не повністю сформувалося. Внаслідок цього одна з складових поля кількісно значно менше іншої (як правило це магнітна складова), тому частіше вплив ЕМП на людину і довкілля характеризується напруженістю електричної складової. В дальній зоні ЕМП повністю сформувалося, обидві складові чітко виражені і тому ЕМП оцінюють за поверхневою густиною потоку енергії – ГПЕ.

Для ізотропних джерел випромінювання: ближня зона реалізується на відстані:

$$r_{бз} \leq \lambda / (2\pi), \quad (3.1)$$

проміжна зона:

$$\lambda / \pi \leq r_{зф} \leq \lambda / (2\pi) \quad (3.2)$$

дальня зона випромінювання:

$$(r_{дз} \geq \lambda/\pi). \quad (3.3)$$

На практиці приймається $r_{дз} \geq \lambda$.

Для параболічних круглих спрямованих випромінюючих антен:

$$r_{бз} \leq D^2/(4\lambda), \quad r_{дз} \geq D^2/(\lambda) \quad (3.4)$$

де: D - максимальний розмір (діаметр) розкриву антени.

Для інших типів спрямованих випромінюючих антен:

$$r_{бз} \leq L_1 \cdot L_2/(4\lambda), \quad r_{дз} \geq L_1 \cdot L_2/\lambda \quad (3.5)$$

де: L_1 і L_2 - максимальні розміри розкриву антени.

Якщо визначається інтенсивність ЕМП у діапазоні частот $30 \text{ кГц} < f < 300 \text{ МГц}$, у якому нормується напруженість E , то без урахування спотворення поля поблизу розрахункової точки від сторонніх предметів:

- напруженість E для ближньої зони лінійного ізотропного випромінювача може бути визначена за наступною формулою:

$$E_{бл} = I \cdot l / (2\pi \cdot \omega \cdot \varepsilon \cdot r^3); \quad (3.6)$$

де: I - сила струму в провіднику (антені), А; l - довжина провідника (антени), м; ω - кругова частота поля, ($\omega = 2\pi f$); ε - діелектрична проникність середовища, Ф/м;

$$\varepsilon = \varepsilon R \cdot \varepsilon_0; \quad (3.7)$$

де εR - відносна діелектрична проникність середовища (для повітря $\varepsilon R = 1$); ε_0 - діелектрична проникність вакууму, $1/(36 \cdot \pi) \cdot 10^{-9}$ Ф/м; r - відстань від джерела випромінювання до розрахункової точки, м;

- напруженість E для дальньої зони ізотропного або спрямованого випромінювача може бути визначена за формулою:

$$E_{д} = \sqrt{30PG}/r \quad (3.8)$$

де: P - потужність випромінювання; Вт;

G - коефіцієнт підсилення антени (для ізотропного випромінювача $G=1$);

r - відстань від джерела випромінювання до розрахункової точки, м.

Якщо визначається інтенсивність ЕМП у діапазоні частот $300 \text{ МГц} < f < 300 \text{ ГГц}$, у який нормується ГПЕ, то для ізотропних та направлених випромінювачів, без урахування спотворення поля поблизу розрахункової точки від сторонніх предметів і впливу землі, можуть бути використані наступні формули:

для ближньої зони - (спрямований випромінювач)

$$ГПЕ_{бл} = 3 \cdot P/S; \quad (3.9)$$

для проміжної зони Френеля) – (спрямований випромінювач)

$$ГПЕ_{з.ф.} = 3P/S(r_{\phi}/r^2); \quad (3.10)$$

для дальньої зони - (спрямований або ізотропний випромінювач)

$$ГПЕ_{\delta} = PG/(4\pi r^2 L_3); \quad (3.11)$$

де: P - потужність випромінювання; Вт (у разі імпульсного режиму випромінювання використовується середня потужність випромінювання $P_{сер}$, Вт, яка визначається за наступною формулою:

$$P_{сер} = P_{имп} \cdot \tau / T, \quad (3.12)$$

де $P_{имп}$ - потужність випромінювання в імпульсі, Вт);

τ - тривалість імпульсу, с;

T - період повторення імпульсів, с;

S - площа випромінювання антени, м²;

r - відстань від джерела випромінювання до розрахункової точки, м;

G - коефіцієнт підсилення антени (для ізотропних випромінювачів $G=1$);

L_3 - затухання (послаблення) ЕМП на шляху його розповсюдження (У повітрі швидкість поширення електромагнітних хвиль майже та сама, що й у вакуумі і тому можна приймати $L_3 \approx 1$).

Реальне середовище, у котрому можливо опромінення ЕМП, завжди відмінно від вільного повітряного простору і в першу чергу тим, що на деяких кінцевих відстанях від випромінюючої антени знаходяться: земля, виробничі будинки, різноманітне устаткування, прилади і самі люди. Всі вони мають електродинамічні властивості, що відмінні від властивостей повітряного середовища, і таким чином суттєво впливають на поширення електромагнітних хвиль у цьому середовищі, відбиваючи, переломляючи і поглинаючи їх.

Для того щоб врахувати вплив землі на поширення електромагнітних хвиль над нею, у відповідності з теорією розповсюдження електромагнітних хвиль, вводиться коефіцієнт F , що враховує зміну поля в точці прийому за рахунок складання прямого та відбитого електромагнітного поля:

$$ГПЕ = P \cdot G \cdot F^2 / (4\pi r^2 L_3) \quad (3.13)$$

Коефіцієнт F у загальному випадку є складною періодичною функцією багатьох змінних і використовувати його для інженерних розрахунків у загальному виді досить важко. Проте для найбільш поширених на практиці окремих випадків, у разі виконання відповідних умов, формула для знаходження коефіцієнта F значно спрощується.

I. При дифузійному відбитті від негладкої поверхні землі (при великій висоті нерівностей, зокрема трав'яного покриву), відбиття безпосередньо в напрямку на точку спостереження, особливо при вертикальній поляризації хвилі, невелике і умови поширення наближаються до умов у вільному просторі ($F=1$).

При відбитті від гладкої, рівної поверхні землі, коли виконується критерій Релея $h < \lambda/(8\sin \gamma)$ - висота нерівностей поверхні землі, γ - кут між падаючим променем і поверхнею землі, існують 4 різні формули для визначення ГПЕ з урахуванням впливу землі:

- 1) для великих γ і $r \leq 4h_a h_c / \lambda$ (де h_a - висота антени над поверхнею землі, h_c - висота розрахункової точки спостереження, λ - довжина хвилі, r - відстань) у точках максимумів функції F :

$$ГПЕ_{\delta} = P \cdot G / (4\pi \cdot r^2) (1 + R)^2, \quad (3.14)$$

де: $R=f(\sigma; \epsilon')$ - коефіцієнт відбиття радіохвиль від землі; σ - питома провідність середовища; ϵ' - дійсна частина комплексної діелектричної проникності середовища.

- 2) для $\gamma \leq 3^\circ$ і $r \leq 4h_a h_c / \lambda$ в точках максимумів функції F :

3)

$$ГПЕ_{\delta} = P \cdot G / (4\pi \cdot r^2), \quad (3.15)$$

- 3) для малих γ і $4h_a h_c / \lambda \leq r \leq 18h_a h_c / \lambda$

4)

$$ГПЕ_{\delta} = (P \cdot G / (4\pi \cdot r^2)) (\sin(2\pi h_a h_c / \lambda r))^2 \quad (3.16)$$

- 5) для малих γ і $r \geq 18h_a h_c / \lambda$

6)

$$ГПЕ_{\delta} = \pi P \cdot G (2\pi h_a h_c / \lambda r^2)^2 \quad (3.17)$$

При наявності кількох джерел випромінювання, в тому числі тих, що працюють в різних радіочастотних діапазонах, рівень ЕМП, що створюються всіма джерелами на межі санітарно-захисної зони, повинен відповідати наступній вимозі:

$$\Sigma[(E_i/E_{\text{доп}})^2 + (H_i/H_{\text{доп}})^2 + (ГПЕ_i/ГПЕ_{\text{доп}})] \leq 1 \quad (3.18)$$

де: E_i - напруженість електричної складової ЕМП, створюваного i -м джерелом у діапазоні частот $30 \text{ кГц} < f < 300 \text{ МГц}$;

$E_{\text{доп}}$ - гранично допустимий рівень напруженості електричної складової ЕМП для i -го джерела у діапазоні частот $30 \text{ кГц} < f < 300 \text{ МГц}$;

H_i - напруженість електричної складової ЕМП, створюваного i -м джерелом у діапазоні частот $30 \text{ кГц} < f < 300 \text{ МГц}$;

$H_{\text{доп}}$ - гранично допустимий рівень напруженості електричної складової ЕМП для i -го джерела у діапазоні частот $30 \text{ кГц} < f < 300 \text{ МГц}$;

GPE_i - густина потоку енергії ЕМП, створюваного i -м джерелом у діапазоні частот $300 \text{ МГц} < f < 300 \text{ ГГц}$;

$GPE_{\text{доп}}$ - гранично допустимий рівень густини потоку енергії ЕМП для i -го джерела, що працює у діапазоні частот $300 \text{ МГц} < f < 300 \text{ ГГц}$;

Приведені вище формули дозволяють робити розрахунок інтенсивності ЕМП у заданій точці вільного простору з урахуванням впливу землі з задовільною точністю.

Спроби розрахунку інтенсивності ЕМП з урахуванням впливу довільно розташованих поблизу розрахункової точки сторонніх предметів (радіоконтрастних середовищ), а також розрахунку інтенсивності ЕМП з урахуванням паразитного випромінювання поки що не призвели до задовільних результатів.

Найкращим методом оцінки інтенсивності ЕМП в цих випадках все ще залишається метод вимірювання.

У разі застосування вище розглянутих методів розрахунку інтенсивності ЕМП джерел ЕМВ на РТО для визначення меж санітарно-захисних зон, необхідно враховувати той факт, що у більшості випадків, межа санітарно-захисної зони РТО, як правило, знаходиться поза межами дальньої зони випромінювання джерел ЕМВ, розташованих на території РТО, і це, безумовно, значно спрощує проведення необхідних розрахунків.

Приклад 1 розрахунку. Визначити межу (радіус) санітарно-захисної зони РТО. РТО – базова станція стільникового мобільного зв'язку:

- тип джерела ЕМВ: *спрямована випромінююча антена*;
- кількість джерел ЕМВ на РТО: $N = 1$;
- частота ЕМВ: $f_{\text{ЕМВ}} = 900 \text{ МГц}$;
- потужність джерела ЕМВ: $P = 30 \text{ Вт}$;
- коефіцієнт підсилення антени: $G = 11 \text{ дБ}$;
- максимальні розміри розкриву антени: $L_1 = 0,31 \text{ м}$, $L_2 = 0,28 \text{ м}$;
- відстань до найближчої зеленої зони не перевищує 52 м .

Рішення. Розраховуємо межу (радіус) дальньої зони випромінювання $r_{\text{дз}}$ джерела ЕМВ РТО за формулою 3.5: $r_{\text{дз}} \geq 0,31 \cdot 0,28 / 0,333 = 0,26 \text{ м}$ ($\lambda = 3 \cdot 10^8 / 900 \cdot 10^6 = 0,333 \text{ м}$). З розрахунку видно, що радіус дальньої зони випромінювання набагато менше відстані до найближчої зеленої зони. Розрахуємо густину потоку енергії на межі дальньої зони випромінювання - $GPE_{\text{д}} = 30 \cdot 11 / (4\pi \cdot 0,26^2 \cdot 1) = 388,7 \text{ Вт/м}^2$, що в 15,5 рази перевищує допустиме значення ($GPE_{\text{доп}} = 1 \text{ Вт/м}^2$). Виходячи з цього визначаємо розмір санітарно

захисної зони: $r_{\text{сзз}} \geq \sqrt{\frac{PG}{GPE_{\text{доп}} \cdot 4\pi L_3}} \geq (30 \cdot 11 / (1 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 1))^{0,5} \geq 5,12 \text{ м}$.

Приклад 2 розрахунку. Визначити межу (радіус) санітарно-захисної зони РТО. РТО – базова станція УКХ радіозв’язку.

- тип джерел ЕМВ: *лінійні ізотропні випромінювачі*;
- кількість джерел ЕМВ на РТО: $N = 3$;
- коефіцієнт підсилення антени для всіх джерел: $G = 1$.
- робоча частота 1-го джерела ЕМВ: $f_{EMB} = 30$ МГц;
- потужність 1-го джерела ЕМВ: $P = 60$ Вт;
- робоча частота 2-го джерела ЕМВ: $f_{EMB} = 38$ МГц;
- потужність 2-го джерела ЕМВ: $P = 55$ Вт;
- робоча частота 3-го джерела ЕМВ: $f_{EMB} = 92$ МГц;
- потужність 3-го джерела ЕМВ: $P = 40$ Вт;
- відстань до найближчих житлових будівель не перевищує 100 м.

Рішення. Розраховуємо межу (радіус) дальньої зони випромінювання окремо для кожного з джерел ЕМП (за формулою 3.3): $r_{дз1} \geq 10/3,14 = 3,18$ м ($\lambda_1 = 3 \cdot 10^8 / 30 \cdot 10^6 = 10$ м); $r_{дз2} \geq 7,89/3,14 = 2,51$ м ($\lambda_2 = 3 \cdot 10^8 / 38 \cdot 10^6 = 7,89$ м); $r_{дз3} \geq 3,26/3,14 = 1,03$ м ($\lambda_3 = 3 \cdot 10^8 / 92 \cdot 10^6 = 3,26$ м). За формулою 3.8 оцінюємо допустимий рівень електричної складової в дальній зоні: $E_{\partial 1} = \sqrt{30 \cdot 60 \cdot 1}/3,18 = 13,3$ В/м; $E_{\partial 2} = \sqrt{30 \cdot 55 \cdot 1}/2,51 = 16,2$ В/м; $E_{\partial 3} = \sqrt{30 \cdot 40 \cdot 1}/1,03 = 33,6$ В/м. Всі три джерела випромінюють в одному радіочастотному діапазоні і для них $E_{доп} = 3$ В/м, що у всіх випадках перевищує значення напруженостей ЕМП у дальній зоні. Далі робимо обрахунки розміру санітарно-захисної зони для кожного джерела: $r_{сзз1} \geq \sqrt{30 \cdot 60 \cdot 1}/3 \geq 14,14$ м; $r_{сзз2} \geq \sqrt{30 \cdot 55 \cdot 1}/3 \geq 13,54$ м; $r_{сзз3} \geq \sqrt{30 \cdot 40 \cdot 1}/3 \geq 11,54$ м. Тобто, вибираємо найбільший розмір санітарно-захисної зони - 14,14 м, який не перевищує відстані до житлової забудови.

3.3 Завдання для практичної роботи

Завдання 3.3.1 Визначити радіус санітарно-захисної зони базової станції стільникового мобільного зв’язку з максимальними розмірами розкриву антени: $L_1 = 0,31$ м, $L_2 = 0,28$ м за варіантом завдання з таблиці 3.2. Відстань до найближчих житлових будівель не перевищує 30 м.

Таблиця 3.2 – Варіанти завдання 3.3.1

Варіант	f, МГц	P, Вт	G, дБ	Відстань до зеленої зони, м
1	900	20	17	30
2	900	30	18	31
3	900	20	19	32
4	900	30	20	33
5	900	20	21	34
6	1800	30	22	35
7	1800	20	23	36
8	1800	30	24	37
9	1800	20	25	38
10	1800	30	26	39

Завдання 3.3.2 Визначити межу (радіус) санітарно-захисної зони базової станції УКХ радіозв'язку з трьома ізотропними випромінювачами ЕМП. Коефіцієнт підсилення антени для всіх джерел: $G = 1$. Вихідні дані наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Дані для розрахунку

Варіант	f_1 , МГц	P_1 , Вт	f_2 , МГц	P_2 , Вт	f_3 , МГц	P_3 , Вт
1	30	20	33	22	34	40
2	30	30	36	24	39	42
3	39	40	39	26	35	44
4	60	45	60	28	61	46
5	60	50	62	30	63	48
6	69	55	64	32	65	50
7	72	60	73	34	70	52
8	72	20	75	34	71	54
9	72	30	92	36	91	56
10	72	40	82	38	96	58

Завдання 3.3.3 Визначити межу (радіус) санітарно-захисної зони РТО. РТО – базова станція ВЧ радіозв'язку з двома спрямованими антенами. Відстань до найближчих житлових будівель не перевищує 40 м. Максимальні розміри розкриву антени 1-го джерела ЕМВ: $L1 = 0,38$ м, $L2 = 0,36$ м. Максимальні розміри розкриву антени 2-го джерела ЕМВ: $L1 = 0,12$ м, $L2 = 0,10$ м.

Таблиця 3.3 – Варіанти завдання 3.3.3

Варіант	f_1 , МГц	P_1 , Вт	G_1 , дБ	f_2 , ГГц	P_2 , Вт	G_2 , дБ
1	800	20	14	2,1	40	15
2	800	30	15	2,3	45	16
3	800	20	16	2,3	50	17
4	800	30	17	2,4	40	18
5	800	20	14	2,5	45	19
6	650	30	15	2,6	50	14
7	850	20	16	2,7	40	15
8	850	30	17	2,1	45	16
9	850	20	18	2,3	50	17
10	850	30	19	2,3	50	14

Вказівки до розрахунку:

1. Розрахувати межу (радіус) дальньої зони випромінювання окремо для кожного з джерел ЕМВ, що використовуються на РТО (формули 3.5) та впевнитися у тому, що ця межа (радіус) не перевищує відстань до найближчих житлових будівель та інших споруд.

2. Згідно з вимогами ДСНіП №239-96 визначити гранично допустимий рівень (ГДР) ЕМП для кожного з джерел ЕМВ.

3. Розрахувати межу (радіус) санітарно-захисної зони $r_{сзз}$ для наступних умов експлуатації РТО:

А) Робота тільки 1-го джерела ЕМВ.

Б) Робота тільки 2-го джерела ЕМВ.

С) Одночасна робота обох (1-го та 2-го) джерел ЕМВ.

Завдання 3.3.4 Визначити межу (радіус) санітарно-захисної зони базової станції КХЧ радіозв'язку, яка має два *параболічні круглі* спрямовані випромінюючі антени (ПКСВА). Максимальний розмір (діаметр) розкриву першої антени 0,24м, а другої 0,18м. Відстань до найближчих житлових будівель та інших споруд не перевищує 33 м. Умови завдання наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Варіанти завдання 3.3.4

Варіант	f_1 , ГГц	P_1 , Вт	G_1 , дБ	f_2 , ГГц	P_2 , Вт	G_2 , дБ
1	26	1	14	30	1,1	15
2	26	2	15	30	1,2	16
3	26	3	16	30	1,3	17
4	26	4	17	30	1,4	18
5	26	5	14	30	1,5	19
6	28	1	15	33	1,1	20
7	28	2	16	33	1,2	21
8	28	3	17	33	1,3	22
9	28	4	18	33	1,4	23
10	28	5	19	33	1,5	24

Вказівки до розрахунку:

1. Розрахувати межу (радіус) дальньої зони випромінювання окремо для кожного з джерел ЕМВ, що використовуються на РТО (формули 3.4) та впевнитися у тому, що ця межа (радіус) не перевищує відстань до найближчих житлових будівель та інших споруд.

2. Згідно з вимогами ДСНіП №239-96 визначити гранично допустимий рівень (ГДР) ЕМП для кожного з джерел ЕМВ.

3. Розрахувати межу (радіус) санітарно-захисної зони $r_{сзз}$ для наступних умов експлуатації РТО:

А) Робота тільки 1-го джерела ЕМВ.

Б) Робота тільки 2-го джерела ЕМВ.

С) Одночасна робота обох (1-го та 2-го) джерел ЕМВ.

Завдання 3.3.5 Визначити межу (радіус) санітарно-захисної зони радіопередавальної телевізійної станції з двома ізотропними джерелами електромагнітного випромінювання з коефіцієнтом підсилення антен: $G = 1$. Відстань до найближчих житлових будівель та інших споруд не перевищує 350 м. Умови завдання наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.4 – Варіанти завдання 3.3.5

Варіант	f_1 , МГц	P_1 , Вт	f_2 , МГц	P_2 , Вт
1	48	600	470	300
2	49	650	500	350
3	50	700	530	400
4	60	600	560	300
5	80	650	600	350
6	100	700	630	400
7	150	600	530	300
8	200	650	560	350
9	220	700	600	400
10	230	700	630	400

1. *Вказівки до розрахунку:* Розрахувати межу (радіус) дальньої зони випромінювання окремо для кожного з джерел ЕМВ, що використовуються на РТО (дивись формули 3.3 та 3.11) та впевнитися у тому, що ця межа (радіус) не перевищує відстань до найближчих житлових будівель та інших споруд.

2. Згідно з вимогами ДСНіП №239-96 визначити гранично допустимий рівень (ГДР) ЕМП для кожного з джерел ЕМВ.

3. Розрахувати межу (радіус) санітарно-захисної зони $r_{сзз}$ для наступних умов експлуатації РТО:

А) Робота тільки 1-го джерела ЕМВ.

Б) Робота тільки 2-го джерела ЕМВ.

В) Одночасна робота 2-х (1-го та 2-го) джерел ЕМВ.

3.4 Висновки: Зробити висновки за кожним завданням окремо.

3.5 Контрольні запитання

1. Дайте визначення поняттю „Санітарно-захисна зона“.
2. Дайте визначення поняттю „Зона обмеженої забудови“.
3. Яким чином встановлюються гранично допустимі рівні ЕМП?
4. Чим характеризується ближня зона впливу ЕМП?
5. Чим характеризується проміжна зона впливу ЕМП?
6. Чим характеризується дальня зона впливу ЕМП?
7. Як визначають радіуси зон впливу для параболічних круглих спрямованих випромінюючих антен?
8. Як визначають ГПЕ для ізотропних та направлених випромінювачів в ближній зоні?
9. Як визначають ГПЕ для ізотропних та направлених випромінювачів в зоні Френеля?
10. Як визначають ГПЕ для ізотропних та направлених випромінювачів в дальній зоні?

Практична робота 4

Оцінка ефективності захисту від електромагнітних випромінювань

4.1 Мета роботи: ознайомитись із засобами та заходами захисту від електромагнітного випромінювання; придбати практичні навички в екрануванні джерел електромагнітних випромінювань.

4.2 Короткі теоретичні відомості

Екранування джерел випромінювання використовується для зниження інтенсивності електромагнітного поля. Застосовуються екрани з металевих листів або сіток у вигляді замкнених камер, шаф або кожухів. Основна характеристика екрана – ступінь послаблення електромагнітного поля, тобто ефективність екранування, що є відношенням $E, H, ГПЕ$ в даній точці при відсутності екрана до $E_e, H_e, ГПЕ_e$ в тій же точці з екраном. Ступінь послаблення електромагнітного поля залежить від глибини проникнення високочастотного струму в товщину екрана (рисунок 4.1). Чим більша магнітна проникність екрана і чим вища частота екранованого поля, тим менша глибина проникнення і необхідна товщина екрана.

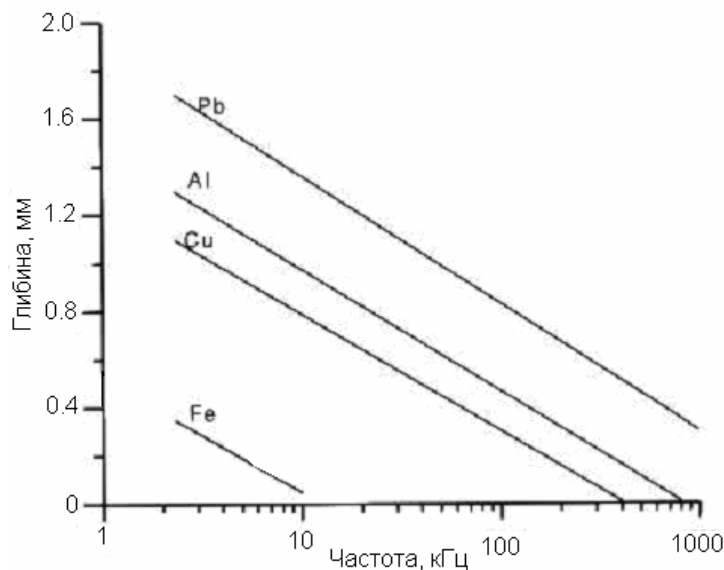


Рисунок 4.1 – Залежність глибини проникнення електромагнітного поля для різних матеріалів

Конструкції і розміри екранів можуть бути різними відповідно до умов застосування. Конструкції можуть бути замкненими або незамкненими, відбивними або поглинаючими. Для поглинаючих екранів використовують основу з каучуку, поролону, полістиролу тощо з електропровідними добавками (активоване вугілля, сажа, порошок карбонільного заліза), а також керамічно-металеві композиції. Для відбивних екранів найкращими матеріалами є мідь, латунь, алюміній, а також сталь. Ефективність екранів залежить від частоти ЕМП, матеріалу екрана, його розмірів і якості конструкції. Екрани можуть бути суцільними і сітчастими. Ефективність екранування E_x , виражається з формули:

$$E_x = H_x / H_{XE} \quad (4.1)$$

де H_x і H_{XE} – максимальні значення напруженості магнітної складової поля на віддалі X , м, від джерела відповідно без екрана і з екраном, А/м. Напруженість H_x може бути визначена з виразу:

$$H_x = \frac{\omega I a^2}{4X^2} \beta_m \quad (4.2)$$

де ω та a – кількість витків та радіус котушки, м; I – сила струму в котушці, А; X – відстань від джерела (котушки) до робочого місця, м; β_m – коефіцієнт, що визначається співвідношенням X/a (при $X/a > 10$ $\beta_m = 1$)

Якщо допустима електрична складова поля E_d регламентується, магнітна може бути визначена з виразу:

$$H = 1,27 \cdot 10^5 \frac{E_d}{Xf} \quad (4.3)$$

Дійсна ефективність екранування:

$$E_{DE} = \frac{R e^{\frac{d}{\delta}}}{2\sqrt{2} \delta \mu'_e} \quad (4.4)$$

де R – радіус екрану, м; d – товщина екрана,

м; δ – глибина проникнення ЕМП до екрану, м; μ'_e – відносна магнітна проникність:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\sigma_e \mu_e \omega f}} \quad (4.5)$$

де σ_e – питома провідність матеріалу екрана, $\frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$; μ_e – абсолютна магнітна проникність матеріалу екрана, Гн/м; ω – кількість витків котушки.

$$\mu'_e = \mu_e / \mu_0, \quad (4.6)$$

де μ'_e – відносна магнітна проникність матеріалу, Гн/м; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

Для немагнітних матеріалів $\mu'_e = 1$; для алюмінію $\mu'_e = 1$, $\frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$, $\sigma_e = 3,55 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$; для сталі $\mu'_e \approx 2000$, $\sigma_e = 1 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$.

Приклад розрахунку. Розрахувати ефективність алюмінієвого екрану радіусом $R = 0,35\text{ м}$ для захисту від джерела ЕМП, якщо задано: $f = 6 \cdot 10^4 \text{ Гц}$; $I = 380\text{ А}$; $\omega = 70$; $a = 0,1 \text{ м}$; $l = 0,3 \text{ м}$; $X = 0,8 \text{ м}$.

Рішення. Визначаємо допустиму величину магнітної складової ЕМП а формулою 4.4 з врахуванням, що допустима напруженість поля $E_d = 25 \text{ В/м}$ (за ДСНіП №239-96 дивись практичну роботу 3):

$$H_d = 1,27 \cdot 10^5 \cdot 25 / (0,8 \cdot 6 \cdot 10^4) = 66,1 \text{ А/м.}$$

Напруженість магнітної складової при відсутності екрана визначаємо за формулою 4.2:

$$H_X = 70 \cdot 380 \cdot 0,1^2 / (4 \cdot 0,8^2) = 103,5 \text{ А/м.}$$

Необхідна ефективність екранування находимо з формули 4.1: $E_{HX} = 103,5 / 66,1 = 1,57$. Глибина проникнення ЕМП до екрану за формулою 4.5:

$\delta = 1 / (3,55 \cdot 10^7 \cdot 1,4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 70 \cdot 6 \cdot 10^4)^{0,5} = 0,07 \text{ мм}$. З конструктивних міркувань приймаємо $d = 0,1 \text{ мм}$.

Дійсна ефективність екранування з формули 4.4: $E_{DE} = \frac{0,35 e^{\frac{0,1}{0,32}}}{2\sqrt{2 \cdot 7 \cdot 10^{-5} \cdot 1}} = 71$.

Таким чином, вибраний екран забезпечує необхідний захист на даному робочому місці, оскільки $E_{DE} > E_{HX}$ ($71 > 1,57$).

У разі врахування втрат енергії в захисному екрані та ослаблення магнітного поля в самому джерелі, наприклад, в індукційній котушці (індукційної печі гартованого індуктора) для розрахунку необхідні такі дані:

- радіус котушки a (м);
- довжина l (м);
- кількість витків w ;
- сила струму в котушці I (А);
- робоча напруга U (В);
- робоча частота f (кГц);
- радіус осердя (металу, виробу, що нагріваються) a_s (м);
- довжина осердя l_s (м);
- припустимі втрати потужності W (Вт) (звичайно $\sim 1\%$ від потужності установки);
- припустиме ослаблення поля усередині котушки в результаті екранування ΔH (звичайно $\sim 5\%$);
- відстань від котушки до робочого місця ρ (м).

Спочатку також, як і в попередньому випадку, визначають глибину проникнення поля в екран за формулою 4.5.

Як правило, глибина проникнення поля в екран менше 1 мм, але, виходячи з міцності екрана, товщину його стінок d варто приймати не менш 1 мм. При цьому $d > \delta$. У цьому випадку втрати енергії W , Вт у циліндричному екрані розраховують за такими формулами:

- для котушок без осердя, що задовольняють умові $l > 1,5(A - a)$

$$W = (2\pi\omega^2 I^2 a^4)/(lA^3\sigma\delta) \quad (4.7)$$

де A – радіус екрана, м. Спочатку орієнтовно можна прийняти $A \approx 3a$;

- для котушок без осердя, що задовольняють умові $l < 1,5(A - a)$

$$W = ([3\pi(A - a) + 2a]\omega^2 I^2 a^4)/(2A^4(A - a)\sigma\delta) \quad (4.8)$$

- для котушок із осердям, що задовольняють умові $l > 1,5(A - a)$ $lc \ll l$,

$$W = \frac{2\pi\omega^2 I^2 a^4}{lA^3 \left[1 + \frac{a_c^2 (A^2 - a^2) l_c}{A^2 (a^2 - a_c^2) l} \right]^2 \sigma_3 \delta}, \text{ Вт.} \quad (4.9)$$

Для котушок із сердечником, що задовольняють умові $l < 1,5(A - a)$ варто зробити розрахунок двічі та прийняти менший з отриманих результатів. У випадку екрана квадратного перетину величина A приймається рівною половині сторони квадрата. Знайдену величину втрат W варто порівняти з припустимою величиною втрат W_p . Якщо $W < W_p$, то можна зменшити радіус екрана A , коли цьому не заважає конструкція самої установки. Якщо $W > W_p$, то варто збільшити радіус екрана A' і знову призвести розрахунок. Якщо для сталевих екранів прийнятних розмірів втрати енергії виявляються неприпустимими, варто прийняти алюмінієвий екран. Щоб уникнути додаткових втрат енергії в торцевих стінках екрана, відстань від цих стінок до найближчих витків котушки потрібно брати не менше $1/\gamma_c$, де γ_c – постійна згасання симетричної хвилі, що поширюється уздовж осі екрана: $\gamma_c = 3,83/A$ – для циліндричного екрана радіусом A ; $\gamma_c = 3,14/A$ для екрана квадратного перетину зі стороною $2A_1$.

Ослаблення екраном поля усередині котушки розраховують для циліндричного екрана радіусом A . При розрахунку екрана квадратної форми його варто замінити циліндричним, думаючи, що $A = 2A_1/\sqrt{\pi}$, де $2A_1$ – сторона квадрата (при цьому площа квадрата дорівнює площі круга).

Ослаблення магнітного поля ΔH (%), обумовлене екрануванням, визначають за формулами: – для котушки без осердя за умови $l > 2a$, $l > 2(A - a)$

$$\Delta H = 100a^2/A^2 \quad (4.10)$$

– те ж, за умови $l < 2a$

$$\Delta H = 100a^3/A^3 \quad (4.11)$$

– те ж, за умови $l < 2(A - a)$, $l > 2a$

$$\Delta H = 100la^2/A^3 \quad (4.12)$$

– для котушки із сердечником за умови $l > 2(a - ac)$, $l > 2(A - a)$, $lc = l$

$$\Delta H = 100(a^2 - ac^2)/(A^2 - ac^2) \quad (4.13)$$

Розраховане ослаблення варто порівняти з припустимим (дивись умови задачі). Якщо знайдене ослаблення перевищує припустиме, потрібно збільшити радіус екрана A . Перевірку екрана котушки на ефективність екранування проводять у такий спосіб. Необхідну ефективність екранування $E_{тр}$ знаходять шляхом розподілу величини напруженості поля, створюваного котушкою на робочому місці при відсутності екрана (H_p), на величину припустимої напруженості поля (H_n) за санітарними нормами:

$$E_{тр} = H_p / H_n \quad (4.14)$$

Значення H_p можна знайти за формулою:

$$H_p = \omega I a^2 / 4\rho^3 \quad (4.15)$$

де ρ – відстань від котушки до робочого місця, м.

Необхідну величину ефективності екранування потрібно порівняти з фактичною. Для суцільного циліндричного екрана радіусом A чи квадратного зі стороною $2A$ ефективність екранування при $d > \delta$ буде:

$$E' = A e^{\frac{d}{\delta}} / 2\sqrt{2} \mu_e \quad (4.16)$$

де μ_e – відносна магнітна проникність матеріалу екрана; d – товщина матеріалу, м.

Ефективність екрана, що має форму труби, відкритої з одного кінця, при відсутності проникнення поля безпосередньо крізь матеріал екрана визначають за формулою:

$$E'' = e^{\gamma N z} \quad (4.17)$$

де z – відстань від відкритого кінця екрана до найближчого витка котушки уздовж осі екрана, м; $\gamma = 1,84/A$ – для циліндричного екрана радіусом A ; $\gamma = 1,57/A_1$ – для екрана квадратного перетину зі стороною $2A_1$.

Якщо екран має форму відкритої з двох сторін труби, то також можна користатися формулою 4.17, підставляючи менше з двох значень z . Фактична

ефективність екранування дорівнює меншій з величин E' та E'' .

4.3 Завдання для практичної роботи

Завдання 4.3.1. Розрахувати ефективність алюмінієвого екрану радіусом R згідно варіанту завдання (таблиця 4.1). Відсутні дані для розрахунку взяти з відповідного прикладу.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані до завдання 4.3.1

Варіант	R , м	X , м	f , кГц	ω
1	0,35	0,5	20	100
2	0,36	0,6	30	80
3	0,37	0,7	40	60
4	0,38	0,8	50	40
5	0,39	0,9	60	20
6	0,40	0,5	70	15
7	0,41	0,6	80	10
8	0,42	0,7	90	15
9	0,43	0,8	100	10
10	0,44	0,9	100	15

Завдання 4.3.2. Розрахувати параметри екрану для індукційної котушки, вихідні дані якої наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Вихідні дані до завдання 4.3.2

№ вар.	a , м	l , м	w	I , А	U , В	f , кГц	a_c , м	l_c , м	ρ , м	W , Вт	ΔH , %	Матеріал екрана
1	1,5	7	60	200	800	8	1,0	5,0	5	1000	4	Алюміній
2	1,0	10	80	400	400	4	0,7	8,0	6	900	5	Мідь
3	1,2	5	32	78	800	18	1,0	3,0	4	500	3,5	Сталь
4	0,9	8	65	90	400	70	0,6	5,0	7	300	4	Алюміній
5	0,8	5	52	120	800	65	0,6	4,0	5	700	3	Срібло
6	1,1	3	28	200	400	55	0,9	2,5	4	700	4	Латунь
7	1,4	2	20	300	800	90	1,2	1,5	3	2000	5	Золото
8	2,0	5	62	200	400	70	1,6	4,0	5	700	4	Нікель
9	1,0	6	70	65	800	10	0,6	5,0	6	500	5	Сталь легована
10	1,5	5	150	40	800	18	1,2	4,0	3	300	4	Олово

4.4 Висновки: Зробити висновки за кожним завданням роботи.

4.5 Контрольні запитання

1. З якою метою застосовують захист екраном від ЕМП?

2. З яких матеріалів виготовляють екрани для захисту від ЕМП?
3. За яким принципом дії поділяють екрани для захисту від ЕМП?
4. Наведіть залежність глибини проникнення ЕМП для різних матеріалів.
5. Які матеріали застосовуються для виготовлення екранів з метою захисту від ЕМП?
6. Від яких параметрів залежить ефективність екранування ЕМП?
7. Як оцінити ефективність екранування ЕМП?
8. Як визначається максимальне значення напруженості магнітної складової ЕМП на відстані X ?
9. Якщо допустиме значення електричної складової ЕМП регламентується, то як може бути визначена його магнітна складова?
10. Як можна оцінити глибину проникнення ЕМП до матеріалу екрану?

Практична робота 5

Прогнозування радіаційно-екологічного стану атмосферного повітря

5.1 Мета роботи: оволодіти способами та методами обчислення і прогнозування показників радіаційно-екологічного стану атмосферного повітря.

5.2 Короткі теоретичні відомості

На радіаційно-екологічний стан навколишнього середовища впливають природні та штучні радіонукліди, які відрізняються активністю та періодом напіврозпаду.

Природні радіонукліди (ПРН) це радіоактивні ізотопи, які поширені в природних умовах і створені без втручання людини. Їх умовно поділяють на 2 групи:

1) Ізотопи стабільних хімічних елементів, які не належать до радіоактивних родин, це зокрема:

^{40}K (з типом β -, γ -випромінювань і $T_{1/2} = 1,28 \cdot 10^9$ років);

^{144}Nd (з типом α -випромінювання і $T_{1/2} = 2,4 \cdot 10^{15}$ років) та інші.

2) Ізотопи нестабільних хімічних елементів, ядра яких зазнають поступового α -розпаду, що зумовлює появу рядів (родин) інших радіонуклідів. Такими ізотопами є:

^{238}U (з типом α -випромінювання і $T_{1/2} = 4,51 \cdot 10^9$ років);

^{232}Th (з типом α -випромінювання і $T_{1/2} = 1,41 \cdot 10^{10}$ років) та інші [1].

Штучні радіонукліди (ШРН) це радіоактивні ізотопи, які створені людиною із застосуванням спеціальних технологій. Ці ізотопи характеризуються різним типом випромінювання та періодом напіврозпаду. Серед них в окремі групи виділяють радіонукліди, які утворились:

- безпосередньо в результаті поділу ядра з непарним масовим числом (тобто з надлишком нейтронів або протонів) та зазнали β -розпаду, наприклад,

^{90}Sr (з типом β -випромінювання і $T_{1/2} = 28,1$ років),

^3H (з типом β -випромінювання і $T_{1/2} = 12,3$ років);

• внаслідок захоплення ядрами стабільних хімічних елементів електронів, які вилетіли з інших ядер внаслідок ядерного поділу, наприклад,

^{60}Co (з типом β -, γ -випромінюваннями і $T_{1/2} = 5,26$ років), ^{24}Na (з типом β -, γ -випромінюваннями і $T_{1/2} = 14,8$ годин), ^{59}Fe (з типом β -, γ -випромінюваннями і $T_{1/2} = 45$ діб);

• внаслідок захоплення нейтронів ядрами Урану або Плутонію, які нездатні до розпаду, наприклад,

^{241}Am (з типом α -, β -випромінюваннями і $T_{1/2} = 431$ рік),

^{239}Pu (з типом α -, β -випромінюваннями і $T_{1/2} = 24400$ років).

В прогнозуванні радіаційно-екологічного стану довкілля, зокрема, поширення радіонуклідів в атмосферному повітряному середовищі, застосовуються *гаусові моделі розсіювання*, враховуються значення показників активності, висоти, тривалості викидів, швидкості вітру, стану атмосфери і рельєфу земної поверхні. На їх основі обчислюється *метеорологічне розведення* (G), яке відображає кратність зменшення початкової активності викидів в точках з координатами x , y , z на територіях поширення хмари радіоактивних опадів [1]. Виявлення доз радіоактивного забруднення здійснюється на основі результатів обчислення показників об'ємної активності радіонуклідів в повітрі та поверхневої активності в ґрунті.

Об'ємна активність радіонуклідів в повітрі обчислюється за формулою:

$$A_v = Q \cdot G, \quad (5.1)$$

де: A_v – об'ємна активність радіонукліда в повітрі ($\text{Бк} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-3}$); Q – загальне значення активності викиду (Бк); G – метеорологічне розведення ($\text{с} \cdot \text{м}^{-3}$).

Поверхнева активність радіонуклідів в ґрунті обчислюється за формулою:

$$A_s = A_v \cdot v_g, \quad (5.2)$$

де: A_s – поверхнева активність радіонукліду в ґрунті ($\text{Бк} \cdot \text{м}^{-2}$); A_v – об'ємна активність радіонукліду в повітрі ($\text{Бк} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-3}$); v_g – швидкість осідання радіонуклідів з атмосфери на ґрунт (0,001-0,01 м/с).

Результати обчислень за формулами 5.1 і 5.2, використовуються в подальшому, для виявлення значень показника зовнішнього опромінення в середині хмари радіоактивних викидів. Дозу опромінення при зовнішніх β - та γ -випромінюваннях оцінюють із застосуванням відповідних коефіцієнтів.

Доза зовнішнього β -опромінення в середині хмари з радіоактивними газами обчислюється за формулою:

$$D_v = A_v \cdot K_{v\beta}, \quad (5.3)$$

де: D_v – доза зовнішнього опромінення в середині хмари радіоактивних газів (Зв); A_v – об'ємна активність радіонукліда в повітрі ($\text{Бк} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-3}$); $K_{v\beta}$ – коефіцієнт дози β опромінення в середині хмарирадіоактивних газів ($\text{Зв} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Бк}^{-1}$).

Доза зовнішнього γ -опромінення в середині хмари з радіоактивними газами обчислюється за формулою:

$$D_v = A_v \cdot K_{v\gamma}, \quad (5.4)$$

де: D_v – доза зовнішнього опромінення в середині хмари радіоактивних газів (Зв); A_v – об'ємна активність радіонукліда у повітрі ($\text{Бк} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-3}$); $K_{v\gamma}$ – коефіцієнт дози γ опромінення в середині хмари радіоактивних газів ($\text{Зв} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Бк}^{-1}$)

Потужність еквівалентної дози опромінення в повітрі над поверхнею ґрунту обчислюється за формулою:

$$H_s = A_s \cdot K_{s\gamma}, \quad (5.5)$$

де: H_s – потужність еквівалентної дози зовнішнього опромінення в повітрі над поверхнею ґрунту ($\text{Зв} \cdot \text{год}^{-1}$); A_s – коефіцієнт дози γ опромінення ($\text{Зв} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{Бк}^{-1}$); $K_{s\gamma}$ – об'ємна активність радіонукліда в повітрі ($\text{Бк} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-3}$).

Потужність еквівалентної дози за час, що минув з моменту потрапляння радіонукліду на поверхню ґрунту обчислюється за формулою:

$$D_s(t) = H_s [1 - \exp(-\lambda_{\text{eff}} \cdot t)] \cdot \lambda_{\text{eff}}^{-1}, \quad (5.6)$$

де: $D_s(t)$ – що минув з моменту потрапляння радіонукліду на поверхню ґрунту (Зв); H_s – потужність еквівалентної дози зовнішнього опромінення в повітрі над поверхнею ґрунту ($\text{Зв} \cdot \text{год}^{-1}$); λ_{eff} – постійна розпаду пов'язана з радіоактивним розпадом і вертикальною міграцією радіонуклідів в глибші шари ґрунту (наближено дорівнює періоду напіврозпаду досліджуваного радіонукліду) (год^{-1}); t – обсяг часу з моменту потрапляння радіонукліду на поверхню ґрунту (год^{-1}).

5.3 Завдання для практичної роботи

Завдання 5.3.1 За даними таблиці 5.1 та таблиці 5.2, згідно варіанту завдання, обчисліть об'ємну активність радіонуклідів в повітрі (A_v), поверхневу активність радіонуклідів в ґрунті (A_s), дози зовнішнього β - та γ -випромінювань в середині хмари з радіоактивними газами (D_v), потужність еквівалентної дози опромінення в повітрі над поверхнею ґрунту (H_s).

Завдання 5.3.2 Обчисліть потужність еквівалентної дози опромінення ($D_s(t)$) за t -час, що минув після радіоактивних викидів, використовуючи дані таблиці 5.1 та таблиці 5.2.

Таблиця 5.1 – Умови завдання для 1 - 5 варіантів

	<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>
Радіонуклід (<i>x</i>)	^{58}Co	^{144}Ce	^{106}Ru	^{137}Cs	^{58}Co
Період напіврозпаду (<i>y</i>)	267 діб	284 доби	364 доби	30,12 років	267 діб
Активність викиду (<i>Q</i>)	$1,12 \cdot 10^{-12}$	$1,17 \cdot 10^{-12}$	$1,11 \cdot 10^{-12}$	$1,15 \cdot 10^{-12}$	$1,12 \cdot 10^{-12}$
Відстань до джерела (м)	9000	4000	1500	500	1000
Метеорологічне розведення (<i>G</i>)	$1,72 \cdot 10^{-5}$	$1,68 \cdot 10^{-5}$	$1,77 \cdot 10^{-5}$	$1,85 \cdot 10^{-5}$	$1,72 \cdot 10^{-5}$
Коефіцієнт дози ($K_{\nu\beta}$)	$2,39 \cdot 10^{-14}$	$2,43 \cdot 10^{-14}$	$2,48 \cdot 10^{-14}$	$2,53 \cdot 10^{-14}$	$2,39 \cdot 10^{-14}$
Коефіцієнт дози ($K_{\nu\gamma}$)	$4,24 \cdot 10^{-14}$	$4,22 \cdot 10^{-14}$	$4,19 \cdot 10^{-14}$	$4,27 \cdot 10^{-14}$	$4,24 \cdot 10^{-14}$
Коефіцієнт дози ($K_{S\gamma}$)	$3,29 \cdot 10^{-13}$	$3,31 \cdot 10^{-13}$	$3,34 \cdot 10^{-13}$	$3,38 \cdot 10^{-13}$	$3,29 \cdot 10^{-13}$
Швидкість осідання (м/с)	0,003	0,004	0,002	0,001	0,003
<i>t</i> -час (год ⁻¹)	7584	7272	7349	7454	7584
Постійна розпаду λ_{eff} (год ⁻¹)	$3,12 \cdot 10^{-6}$	$3,28 \cdot 10^{-6}$	$3,22 \cdot 10^{-6}$	$3,17 \cdot 10^{-6}$	$3,12 \cdot 10^{-6}$

Таблиця 5.2 – Умови завдання для 6 - 10 варіантів

	<i>Варіант 6</i>	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Радіонуклід (<i>x</i>)	^{91}Sr	^{225}Ra	^{136}Cs	^{140}La	^{136}Cs
Період напіврозпаду (<i>y</i>)	9,7 годин	15 діб	13 діб	40,2 годин	13 діб
Активність викиду (<i>Q</i>)	$1,29 \cdot 10^{-12}$	$1,27 \cdot 10^{-12}$	$1,22 \cdot 10^{-12}$	$1,18 \cdot 10^{-12}$	$1,22 \cdot 10^{-12}$
Відстань до джерела (м)	11000	7000	3400	2500	3400
Метеорологічне розведення (<i>G</i>)	$1,93 \cdot 10^{-5}$	$1,89 \cdot 10^{-5}$	$1,87 \cdot 10^{-5}$	$1,83 \cdot 10^{-5}$	$1,87 \cdot 10^{-5}$
Коефіцієнт дози ($K_{\nu\beta}$)	$2,67 \cdot 10^{-14}$	$2,61 \cdot 10^{-14}$	$2,56 \cdot 10^{-14}$	$2,58 \cdot 10^{-14}$	$2,56 \cdot 10^{-14}$
Коефіцієнт дози ($K_{\nu\gamma}$)	$4,37 \cdot 10^{-14}$	$4,33 \cdot 10^{-14}$	$4,29 \cdot 10^{-14}$	$4,22 \cdot 10^{-14}$	$4,29 \cdot 10^{-14}$

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5	6
Коефіцієнт дози (K_{Sy})	$3,49 \cdot 10^{-13}$	$3,47 \cdot 10^{-13}$	$3,43 \cdot 10^{-13}$	$3,37 \cdot 10^{-13}$	$3,43 \cdot 10^{-13}$
Швидкість осідання (м/с)	0,004	0,003	0,002	0,001	0,002
t -час (год ⁻¹)	7677	7589	7521	7451	7521
Постійна розпаду λ_{eff} (год ⁻¹)	$3,39 \cdot 10^{-6}$	$3,32 \cdot 10^{-6}$	$3,16 \cdot 10^{-6}$	$3,19 \cdot 10^{-6}$	$3,16 \cdot 10^{-6}$

5.4 Висновки: Зробити висновки за кожним завданням окремо.

5.5 Контрольні запитання

1. Що називають природними радіонуклідами?
2. На які групи поділяють природні радіонукліди?
3. Які ізотопи стабільних хімічних елементів не належать до радіоактивних родин?
4. Які ізотопи нестабільних хімічних елементів належать до радіоактивних родин?
5. Які речовини відносять до штучних радіонуклідів?
6. На які групи поділяють штучні радіонукліди?
7. Назвіть показники, на основі яких обчислюється об'ємна активність радіонукліда в повітрі?
8. Назвіть показники, на основі яких обчислюється поверхнева активність радіонукліду в ґрунті.
9. Назвіть показники, на основі яких обчислюється потужність еквівалентної дози зовнішнього опромінення в повітрі над поверхнею ґрунту.
10. На основі яких показників здійснюється обчислення значень зовнішнього опромінення в середині хмари радіоактивних викидів?

Практична робота 6

Прогнозування радіаційно-екологічного стану ґрунтів

6.1 Мета роботи: оволодіти способами, методами обчислення і прогнозування показників радіаційно-екологічного стану ґрунтів.

6.2 Короткі теоретичні відомості

На радіаційно-екологічний стан ґрунтів впливає багато різноманітних факторів, серед них основними є дифузія та вологе конвективне перенесення радіонуклідів.

Дифузійна міграція радіонуклідів – полягає у переміщенні радіонуклідів, які є іонами ґрунтового розчину, в напрямі градієнту активності (від більшої концентрації до меншої).

Волога конвективна міграція радіонуклідів – полягає в переміщенні радіонуклідів разом з ґрунтовою вологою.

Дослідження міграції радіонуклідів у вертикальному профілі ґрунтів спрямовані на виявлення радіоактивного забруднення родючих шарів та ймовірності потрапляння радіонуклідів в нижні шари ґрунтових вод.

В польових умовах зразки ґрунту отримують застосуванням спеціальних трубчастих пробовідбірників (рисунок 6.1). Отриманий в цих пробовідбірниках ґрунтовий керн ділять на окремі частини, які є зразками кожного шару досліджуваного вертикального профілю ґрунту. У кожній відокремленій частині (прошарку) ґрунту, визначають її активність і масу. Обчислення активності кожного шару ґрунту відображають у відносних одиницях і обчислюють за формулою:



Рисунок 6.1 – Пробовідбірник ґрунту.

$$q_i = \frac{AU_i \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n (AU_i \cdot m_i)}, \quad (6.1)$$

де: q_i – активність i -го шару ґрунту (відн. одиниць); AU_i – питома активність i -го шару ґрунту ($\text{Бк}/\text{кг}^{-1}$); m_i – маса i -го шару ґрунту (кг); n – кількість ґрунтових шарів

Опис міграції радіонуклідів у вертикальному профілі ґрунту здійснюється із застосуванням *рівняння дифузії Фіка*, яке відображає залежність активності радіонуклідів від часу і координати на вісі y :

$$q(y,t) = \frac{A \cdot e^{-\lambda t}}{\sqrt{\pi D t}} e^{\left(\frac{-y^2}{4 D t}\right)} \quad (6.2)$$

де: q – активність в i -му шарі ґрунту (відн. одиниць); y – глибина відбору шару ґрунту (см); t – обсяг часу з моменту початку міграції радіонукліду (с); A – активність радіонукліду в i -му шарі ґрунту (Бк/кг); π – $\approx 3,14$; D – коефіцієнт дифузії ($\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$); λ – постійна розпаду (с^{-1}).

При обчислення коефіцієнту дифузії (D) знаходять натуральні логарифмивід двох частин формули 6.2. Рівняння набуває іншого вигляду:

$$\ln[q(y,t)] = \ln\left(\frac{A \cdot e^{-\lambda t}}{\sqrt{\pi D t}}\right) + \left(-\frac{y^2}{4 D t}\right) \quad (6.3)$$

Для спрощення подальших обчислень здійснюють заміну параметрів:

$$\ln[q(y, t)] = z, \quad (6.4)$$

$$\ln\left(\frac{A \cdot e^{-\lambda t}}{\sqrt{\pi D t}}\right) = a \quad (6.5)$$

$$\left(\frac{1}{4 D t}\right) = b \quad (6.6)$$

$$y^2 = x \quad (6.7)$$

На кінцевому етапі математичних перетворень отримаємо лінійне рівняння:

$$z = a - bx \quad (6.8)$$

тоді

$$z_i = \ln(q_i) \quad (6.9)$$

При розв'язанні рівняння 6.8, обчислення значень показників a та b здійснюють за формулами лінійної залежності:

$$b = \frac{\sum(x \cdot z) - \sum x \cdot \frac{\sum z}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}, \quad (6.10)$$

$$a = \frac{\sum z}{n} - b \frac{\sum x}{n} \quad (6.11)$$

6.3 Завдання для практичної роботи

Завдання 6.3.1 За даними таблиць 6.1 та 6.2 обчисліть прогнозовану активність радіонуклідів у вертикальному профілі ґрунту для t -часу = 7 років. Результати обчислень оформіть у вигляді таблиць 6.3 та 6.4.

Таблиця 6.1 – Умови завдання для 1-5 варіантів

№ грунтового шару, <i>i</i>	Глиби на відбору шару грунту, <i>y</i> (см)	Маса шару грунту, <i>m_i</i> (кг)	Питома активність <i>i</i> -го шару ґрунту, AU_i , (Бк/кг ⁻¹)				
			Варіанти				
			1	2	3	4	5
Радіонуклід			¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²²⁶ Ra
Період напіврозпаду, років			30,12	30,12	30,12	1620	1620
1	1,0	0,02	395	1890	4370	740	1180
2	2,5	0,06	143	815	1017	378	772
3	4,0	0,10	74	367	383	146	489

Таблиця 6.2 – Умови завдання для 6-10 варіантів

№ грунтового шару, <i>i</i>	Глиби на відбору шару грунту, <i>y</i> (см)	Маса шару грунту, <i>m_i</i> (кг)	Питома активність <i>i</i> -го шару ґрунту, AU_i , (Бк/кг ⁻¹)				
			Варіант и				
			6	7	8	9	10
Радіонуклід			¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²²⁶ Ra	²²⁶ Ra	²²⁶ Ra
Період напіврозпаду, років			30,12	1620	1620	1620	1620
1	1,0	0,02	4370	780	1180	2410	2890
2	2,5	0,06	1017	390	772	1890	774
3	4,0	0,10	383	150	450	800	400

Таблиця 6.3 – Прогнозована активність радіонуклідів

№ ґрунтового шару, i	Глибина відбору шару ґрунту, y (см)	Маса шару ґрунту y, m_i (кг)	Питома активність шару ґрунту, AU_i , (Бк/кг ⁻¹)	Активність шару ґрунту, $AU_i \cdot m_i$	
				Абсолютна, (Бк)	Відносна, q_i
1	y_1	m_1	AU_1	$AU_1 \cdot m_1$	q_1
2	y_2	m_2	AU_2	$AU_2 \cdot m_2$	q_2
3	y_n	m_n	AU_n	$AU_n \cdot m_n$	q_n
				$\Sigma (AU_i \cdot m_i)$	Σq_i

Таблиця 6.4 – Значення активність радіонуклідів

№ ґрунтового шару, i	$x_i = y_i^2$	$z_i = \ln(q_i)$	$x_i \cdot z_i$
1	x_1	z_1	$x_1 \cdot z_1$
2	x_2	z_2	$x_2 \cdot z_2$
3	x_n	z_n	$x_n \cdot z_n$
		Σx_i	Σz_i
			$\Sigma (x_i \cdot z_i)$

Завдання 6.3.2 Визначте активність кожного шару ґрунту в абсолютних та відносних одиницях виміру, коефіцієнт дифузії (D), значення параметрів a та b (дивись рівняння 6.8). Результати обчислень оформити у вигляді таблиць 6.3 та 6.4.

6.4 Висновки: Зробити висновки за кожним завданням окремо.

6.5 Контрольні запитання

1. На основі яких показників здійснюється прогнозування радіаційно-екологічного стану ґрунтів?
2. Назвіть основні фактори, які впливають на радіаційно-екологічний стан ґрунтів.
3. Які засоби використовують в польових умовах для отримання зразків ґрунту?
4. Що дозволяють виявити дослідження міграції радіонуклідів у вертикальному профілі ґрунтів?
5. В чому полягає дифузійна міграція радіонуклідів?

6. В чому полягає волога конвективна міграція радіонуклідів?
7. На основі яких показників здійснюється обчислення активності кожного шару ґрунту?
8. В яких одиницях вимірюють радіоактивність кожного шару ґрунту?
9. Що відображає рівняння дифузії Фіка в описі міграції радіонуклідів у вертикальному профілі ґрунту?
10. На основі яких показників здійснюється обчислення коефіцієнту дифузії радіонуклідів в ґрунті

Практична робота 7

Прогнозування міграції радіонуклідів до рослин

7.1 Мета роботи: оволодіти способами, методами обчислення і прогнозування показників інтенсивності міграції радіонуклідів у рослин.

7.2 Короткі теоретичні відомості

В рослини радіонукліди потрапляють:

- з атмосфери по надземним органам (листкам, стеблам, квіткам);
- з ґрунту по кореневій системі.

При потраплянні радіонуклідів з атмосферного повітря на надземні органи рослин, інтенсивність міграційних процесів залежить від *коефіцієнту первинного затримання* поверхні надземних органів рослин. Цей коефіцієнт обчислюється за формулою:

$$K_f = A_f/A_s \quad (7.1)$$

де: K_f – коефіцієнт первинного затримання (від 0,01 до 1); A_f – активність радіонукліду на поверхні надземних органів рослин (на 1 м²); A_s – активність радіонукліду на поверхні ґрунту (на 1 м²).

Активність радіонуклідів на поверхні надземних органів рослин може з часом зменшуватись внаслідок приросту фітомаси та видалення радіоактивних частинок потоками вітру, сніговими і дощовими опадами. В навколишнє середовище радіонукліди можуть потрапляти внаслідок одноразових та багаторазових радіоактивних викидів. При одноразових радіоактивних викидах питома активність радіонуклідів в рослинах обчислюється за формулою:

$$AU_t = \frac{A_s}{m} K_f \cdot e^{(-\lambda_{eff} \cdot t)}, \quad (7.2)$$

де: AU_t – питома активність радіонукліду в рослині на момент часу t (Бк · кг⁻¹); A_s – поверхнева активність радіонукліду в ґрунті (Бк · м²); m – фітомаса (кг · м⁻²); K_f – коефіцієнт первинного затримання при одноразовому викиді (від 0,01 до 1); $\lambda_{(eff)}$ – ефективна постійна втрат ($\lambda_{(eff)} = \ln(2) \cdot T_{eff}^{-1}$ (добу⁻¹); t – обсяг часу з моменту радіоактивних викидів (діб).

Значення показника ефективної постійної втрат λ_{eff} , при наявності радіонуклідів з середнім і довготривалим напіврозпадом, становить у сільськогосподарських рослин 10-25 діб, у лісових рослин – до 500 діб. Багаторазові радіоактивні викиди радіонуклідів зумовлені, переважно, впливом діяльності підприємств ядерного паливного циклу. При постійній швидкості осідання радіоактивних частинок питома активність радіонуклідів в рослинах за певний обсяг часу (t) обчислюється за формулою:

$$AU_{tb} = \frac{As}{m} K_{fb} \cdot \frac{1 - e^{(-\lambda_{\text{eff}} \cdot t)}}{\lambda_{\text{eff}}}, \quad (7.3)$$

де: AU_{tb} – питома активність радіонукліду в рослині на момент часу t при багаторазових викидах ($\text{Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$); As – поверхнева активність радіонукліда в ґрунті ($\text{Бк} \cdot \text{м}^{-2}$); m – фітомаса ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$); K_{fb} – коефіцієнт первинного затримання при багаторазових викидах (0,01-1); λ_{eff} – ефективна постійна втрат ($\lambda_{\text{eff}} = \ln(2) \cdot T_{\text{eff}}^{-1}$ (добу $^{-1}$)); t – обсяг часу з моменту радіоактивних викидів (діб).

При потраплянні радіонуклідів в рослину по кореневій системі, вони накопичуються в тканинах рослин нерівномірно. Наприклад, радіоактивні ізотопи стронцію накопичуються, переважно, в клітинних стінках старіючих тканин, які характеризуються низькою фізіологічною активністю. Ізотопи цезію, навпаки, накопичуються в тканинах з високою фізіологічною активністю. Накопичення радіонуклідів в рослині характеризується відповідним коефіцієнтом накопичення, який обчислюється за формулою:

$$Kn = \frac{AU_t}{AU_i}, \quad (7.4)$$

де: Kn – коефіцієнт накопичення радіонуклідів; AU_t – питома активність радіонукліду в рослині на момент часу t ($\text{Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$); AU_i – питома активність i -го шару ґрунту ($\text{Бк}/\text{кг}^{-1}$).

7.3 Завдання для практичної роботи

Завдання 7.3.1 За даними таблиці 7.1, обчисліть питому активність радіонуклідів (AU_t) в фітомасі на момент t -часу, при різних відстанях від джерела *одноразових* радіоактивних викидів. Результати обчислень оформіть у вигляді таблиці 7.2.

Таблиця 7.1 – Варіанти завдання 7.3.1

Варіант	Радіо- нуклід	Рослинний об'єкт	Відстань до джерела r (м)	A_s	K_f	m	t , (діб)	T_{eff} , (діб)	AU_i
1	^{137}Cs	трави	200	0,95	0,5	4,2	2	17	5890
2	^{90}Sr	кущі	230	0,91	0,6	1,7	28	12	815
3	^{137}Cs	кущі	650	0,82	0,6	1,5	9	18	3267
4	^{137}Cs	зерно	650	0,35	0,03	0,7	3	24	298
5	^{90}Sr	трави	1800	0,73	0,5	4,3	10	31	104
6	^{90}Sr	зерно	1700	0,61	0,03	0,9	10	27	63
7	^{137}Cs	дерева	2400	0,23	0,8	3,7	28	22	1014
8	^{90}Sr	дерева	720	0,84	0,8	3,2	9	23	312
9	^{137}Cs	кущі	850	0,82	0,6	1,5	9	18	326
10	^{137}Cs	зерно	550	0,35	0,03	0,7	3	24	300

Таблиця 7.2 – Результати обрахунків завдання 7.3.1

Варіант	Відстань до радіоактивного джерела r (м)	Радіонуклід	AU_t	t	T_{eff}^{-1}	K_n

На основі даних отриманих в таблиці 7.2, порівняйте питому активність радіонуклідів на різній відстані до джерела радіоактивного забруднення. Важливо пам'ятати, що допустимою питомою активністю вважається для:

$$^{90}\text{Sr} = 1000 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1};$$

$$^{137}\text{Cs} = 10000 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}.$$

Завдання 7.3.2 За даними таблиці 7.3, обчисліть питому активність радіонуклідів (AU_{tb}) в фітомасі на момент t -часу, при різних відстанях від джерела багаторазових радіоактивних викидів. Результати обчислень оформіть у вигляді таблиці 7.4.

На основі даних отриманих в таблиці 16, порівняйте питому активність радіонуклідів на різній відстані до джерела радіоактивного забруднення. Допустимою питомою активністю вважається:

$$^{90}\text{Sr} = 1000 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$$

$$^{137}\text{Cs} = 10000 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}.$$

Таблиця 7.3 – Дані для розрахунку завдання 7.3.2

Варіант	Радіо- нуклід	Рослинний об'єкт	Відстань до джерела (м)	A_s	K_{fb}	m	t (діб)	T_{eff} , (діб)	AU_i
1	^{90}Sr	кущі	4200	0,37	0,4	1,2	3	12	891
2	^{90}Sr	трави	950	0,91	0,2	3,7	8	15	1815
3	^{137}Cs	кущі	1100	0,82	0,7	2,4	12	18	267
4	^{137}Cs	зерно	440	0,35	0,3	0,6	7	14	3298
5	^{90}Sr	трави	2300	0,73	0,05	5,3	9	27	98
6	^{90}Sr	зерно	370	0,28	0,09	2,9	8	22	463
7	^{137}Cs	дерева	2400	0,23	0,3	4,7	24	18	2014
8	^{137}Cs	дерева	720	0,84	0,9	2,2	5	11	1312
9	^{137}Cs	зерно	400	0,35	0,3	0,6	7	14	3000
10	^{90}Sr	трави	2000	0,73	0,05	5,3	9	27	99

Таблиця 7.4 – Результати обрахунків завдання 7.3.2

Варіант	Відстань до радіоактивного джерела	Радіонуклід	AU_{tb}	t	T_{eff}^{-1}	K_n

7.4 Висновки: Зробити висновки за кожним завданням окремо.

7.5 Контрольні запитання

1. Назвіть характерні особливості міграції радіонуклідів у фітоценозах.
2. Назвіть основні шляхи потрапляння радіонуклідів у рослини.
3. Що відображає коефіцієнт первинного затримання, при потраплянні радіонуклідів в рослини з повітря?
4. Назвіть показники, на основі яких здійснюється обчислення коефіцієнту первинного затримання радіонуклідів.
5. Які фактори з часом можуть зумовлювати зменшення активності радіонуклідів на поверхні надземних органів рослин?
6. На основі яких показників обчислюється питома активність радіонуклідів в рослинах, за умов одноразового радіоактивного викиду?
7. Назвіть показники, на основі яких обчислюється питома активність радіонуклідів в рослинах, при постійній швидкості осідання радіоактивних частинок.

8. Розкрийте особливості накопичення радіоактивних ізотопів стронцію, при їх потраплянні в рослину по кореневій системі з ґрунту.
9. Розкрийте особливості накопичення радіоактивних ізотопів цезію, при їх потраплянні в рослину по кореневій системі з ґрунту.
10. Назвіть показники, на основі яких здійснюється обчислення коефіцієнту накопичення радіонуклідів.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. ETSI EN 300 220-2 V2.4.1 (2012-05): Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 25 MHz to 1 000 MHz frequency range with power levels ranging up to 500 mW; Part 2: Harmonized EN covering essential requirements under article 3.2 of the R&TTE Directive.
2. Khalifa T. Electromagnetic Pollution Emitted from Base Station. // International Journal of Science and Research / A. Alnabi // International Journal of Science and Research. – 2015. – Vol. 4. – P. 1125-132.
3. Акустична екологія: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.А.Луньова. – Електронні текстові. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 169 с.
4. Галак С.С. Електромагнітний фон базових станцій систем рухомого зв'язку і напрямки його зниження / С.С. Галак, В.М. Павлик, А.П. Безверха // Гігієна населених місць. – 2012. – Вип. 60. – С. 204-207.
5. Григор'єва Л. І. Іонізуюче випромінювання та його вплив на людину: [навч. посіб.] / Л.І. Григорєва, Ю. А. Томілі, І. М. Рожков. – Миколаїв: МДГУ ім. Петра Могили, 2008. – 208 с.
6. Давиденко В. М. Радіобіологія: [навч. посіб] / В. М. Давиденко. – Миколаїв: МДАУ, 2010. – 229 с.
7. ДБН В.1.1-31 Захист будинків і споруд від шуму. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=56317.
8. Державні санітарні норми допустимих рівнів шуму в приміщеннях будинків. Затверджений Міністерством охорони здоров'я України. Наказ № 463 від 22.02.2019. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0281-19#Text>.
9. Дідковський В.С., Акименко В.Я., Запорожець О.І., Савін В.Г., Токарев В.І. Основи акустичної екології.- Кіровоград: ПВЦ ТОВ "Імекс ЛТД", 2001. – 520 с.
10. ДСанПіН 3.3.6.096-2002 "Державні санітарні норми та правила під час роботи з джерелами електромагнітних полів". Затверджений Міністерством охорони здоров'я України. Наказ № 476 від 18.12.2002. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03#Text>.
11. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму,

ультразвуку та інфразвуку». – Київ: 1999.

12. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=6372.

13. ДСП 173-96 Державні санітарні правила планування і забудови населених пунктів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsp_173_96_derzhavni_sanitarni_pravila_planuvannya_i_zabudovi_naselenikh_punktiv/25-1-0-1815.

14. ДСП 6.177-2005-09-02 Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України : Державні санітарні правила :. К. : 2005. 62 с.

15. ДСП-239-96. Державні санітарні норми та правила захисту населення від впливу електромагнітного випромінювання.: Затверджений Міністерством охорони здоров'я України. Наказ № 239 від від 01.08.1996. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0488-96#Text>.

16. ДСТУ EN 50360:2007 Обладнання систем радіозв'язку абонентське. Підтвердження відповідності базовим граничним рівням, пов'язаним з дією електромагнітних полів від 300 МГц до 3 ГГц на людину (EN 50360:2001, IDT). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=69647.

17. Закон України “Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання” № 15/98-ВР від 14.01.1998 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/15/98-вр#Text>.

18. Іванов Є.А. Радіоекологічні дослідження : навч. посібник. – Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2004. 149 с.

19. Кіцно В.О., Поліщук С.В., Гудков І.М. Основи радіобіології та радіоекології. К. : Хай-Тех Прес, 2008 (2009, 2010). 314 с.

20. Клименко М. О., Клименко О. М., Клименко Л. В. К49 Радіоекологія : підручник. – Рівне : НУВГП, 2020. – 304 с.

21. Коваленко В.В. Методологія визначення захисних властивостей електромагнітних екранів / В.В. Коваленко, О.М. Тихенко // Теорія і практика будівництва КНУБА. – 2015. – Вип. 16. – С. 11–14.

22. Л. І. Соломенко. Екологія людини.- К.: Центр навчальної літератури, 2017. – 120 с.

23. Лапига І. В. Радіоекологія: лабораторний практикум / І. В. Лапига. – К: НПУ імені М. П. Драгоманова, 2018. – 53 с.

24. Норми радіаційної безпеки України; доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0116488-00#Text>.

25. Транспортна екологія / під ред. О.І.Запорожця. – К.: Центр навчальної літератури, 2017.- 508 с.