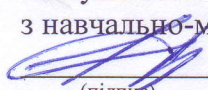


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Відокремлений структурний підрозділ  
«Криворізький фаховий коледж Національного авіаційного університету»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник начальника коледжу  
з навчально-методичної роботи

  
Галина ДАНИЛІНА  
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

« 30 » 08 2024 р.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

з навчальної дисципліни «Екологія»  
(назва навчальної дисципліни)  
спеціальності 073 «Менеджмент»  
(код та назва спеціальності)  
освітнього ступеня бакалавр

Методичні вказівки до проведення практичних занять для здобувачів освіти денної форми навчання з навчальної дисципліни «Екологія»,

(назва навчальної дисципліни)

складені на основі навчальної програми, затвердженої « 30 » 08 2024р.

та навчального плану МБ/П/1-10/03.12-078/24

затвердженого « 30 » 05 2024р.

Укладач: викладач, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Тихоступ Вікторія Володимирівна

(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Методичні вказівки до проведення практичних занять обговорено на засіданні циклової комісії

філологічних і природничих дисциплін

(повна назва циклової комісії)

Протокол № 12

від « 26 » 08 2024 р.

Голова циклової комісії

ЛПЧ Тетяна ЛІТОВКА  
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

ПОГОДЖЕНО

Завідувач

навчально-методичного кабінету

Марина КОЛЬЧАК  
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

« 27 » 08 2024 р.

## 1 Вступ

Мета викладання навчальної дисципліни полягає у надбанні здобувачами вищої освіти знань, які вони зможуть активно використовувати у майбутній практичній діяльності. Знання та розуміння екологічних законів допоможе сучасному фахівцю вирішувати складні екологічні проблеми сьогодення.

Практичні заняття мають на меті розкриття теоретичних положень екології та формування навичок науково-дослідної діяльності у здобувачів освіти. Для опанування загальних засобів організації роботи пропонується схема послідовності дій, якою варто користуватися під час підготовки до практичних занять.

## 2 Тематичний план практичних занять

		Практичні	Семестр
1	2	3	4
3 семестр			
Розділ №1 «Основи теоретичної екології та сучасний стан навколишнього природного середовища України»			
1.1	Визначення концентрації шкідливих речовин у природних водоймах і стічних водах	2	3
1.2	Моніторинг та прогнозування забруднення атмосфери	2	
Всього за розділом №1		4	
Розділ №2 «Вплив транспорту на навколишнє середовище»			
2.1	Аналіз забруднення літосфери	2	3
2.2	Методика розрахунку шумового забруднення зони аеропорту	2	
2.3	Методика розрахунку емісії двигунів повітряних суден	2	
Всього за розділом №2		6	
Розділ №3 «Еколого-економічні та правові аспекти екології»			
3.1	Розрахунок еколого-економічних збитків	2	3
3.2	Визначення концентрації шкідливих речовин у повітрі	2	
3.3	Розрахунок забруднення атмосфери викидами одиночного джерела	2	
3.4	Визначення співвідношення енергії харчування, паливної та сонячної для певних регіонів	2	
3.5	Розрахунок необхідного ступеня очистки стічних вод перед їх скиданням у природні водні джерела	1	
Всього за розділом №3		9	
Всього за 3 семестр		19	
Всього за навчальною дисципліною		19	

### Підготовка до практичної роботи

Перед виконанням практичної роботи здобувач освіти повинен засвоїти теоретичний матеріал теми навчальної дисципліни, що викладається, проаналізувати сутність екологічних процесів та підготуватися до розв'язку завдань з теми практичного заняття. Звіт здається викладачу після рішення завдань практичного заняття та захисту.

## 4 Практичні заняття

### Розділ №1 «ОСНОВИ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЕКОЛОГІЇ ТА СУЧАСНИЙ СТАН НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА УКРАЇНИ»

#### Практичне заняття №1.1

**Тема:** «Визначення концентрації шкідливих речовин у природних водоймах і стічних водах»

**Мета:** навчитись розраховувати концентрації шкідливих речовин у природних водоймах і стічних водах.

#### Теоретична частина

Показано, що важливим є принципи встановлення ГДК шкідливих речовин у природних водоймах з врахуванням показників шкідливості, залежно від категорії прісних вод. ГДК<sub>В</sub> і ГДК<sub>ВР</sub>, які регламентують концентрацію шкідливих речовин у природних водоймах, мають різну мету. Значення ГДК<sub>ВР</sub> для шкідливих речовин, у більшості випадків менше від значення ГДК<sub>В</sub>, що зумовлено високою чутливістю деяких гідробіонтів до дії токсичних речовин. Крім того, враховується явище біологічного накопичення токсичних інгредієнтів. Значення ГДК деяких шкідливих речовин наведено в табл. 1

Таблиця 1 – Гранично-допустимі концентрації шкідливих речовин у водоймах

Речовина-забруднювач	ГДК, мг/дм <sup>3</sup>	
	Для водоїм I-II категорії (ГДК <sub>В</sub> )	Для водоїм III – IV категорії (ГДК <sub>ВР</sub> )
Купрум (Cu <sup>2+</sup> )	0,1	0,01
Арсен (As <sup>3+</sup> )	0,05	0,05
Ніколь (Ni <sup>2+</sup> )	1,0	0,01
Нітрати (в перерахунку на нітроген)	10,0	-
Полакриламід (ПАА)	2,0	-
Меркурій (Hg <sup>2+</sup> )	0,005	0,0001
Сульфати (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	500,0	-
Нафта і нафтопродукти в емульсованому стані	0,5	0,05
Феноли	0,001	0,001

**Приклад.** У водойму санітарно-побутового призначення потрапляють стічні води об'ємом 150 м<sup>3</sup>/год., які містять 8 г тривалентного арсену. Чи буде концентрація арсену в місті скиду стічних вод перевищувати ГДК<sub>В</sub>?

**Рішення.** Знаходимо концентрацію арсену у стічній воді, враховуючи масу арсену в мг та об'єм стічних вод в дм<sup>3</sup> :

$$C(\text{As}) = m(\text{As})/V = 8000\text{мг}/150000\text{дм}^3 = 0,053\text{мг}/\text{дм}^3$$

Порівнюючи розраховане значення концентрації арсену у воді зі значенням ГДК<sub>В</sub>, яке складає 0,05 мг/дм<sup>3</sup>, видно, що концентрація арсену у стічній воді дещо перевищує ГДК<sub>В</sub>. Це вимагає очистки стічних вод від сполук арсену.

#### Завдання 1

Обчисліть, чи буде небезпечною для людини та гідробіонтів потрапляння стічних вод в таких концентраціях, запропонованих у Ваших варіантах. Обчислення необхідно проводити за даними таблиці 2. (за Вашим варіантом). Чи буде концентрація хімічних речовин в місті скиду стічних вод перевищувати ГДК<sub>В</sub> та ГДК<sub>ВР</sub>? Проаналізуйте, за допомогою табл.1. для різних категорій водоїм.

Таблиця 2

Варіант	Об'єм стічних вод (V), м <sup>3</sup> /год	Арсен (As <sup>3+</sup> ), г	Об'єм стічних вод (V), м <sup>3</sup> /год	Сульфати (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), г	Об'єм стічних вод (V), м <sup>3</sup> /год	Феноли, г
1	75	3	200	15	123	15
2	230	4	245	7	145	2
3	89	6	116	4	114	56
4	56	8	126	11	178	3
5	156	2	181	15	200	6
6	261	12	162	6	245	12
7	148	17	170	7	116	13
8	129	26	148	2	126	22
9	89	7	111	3	181	4
10	159	8	137	8	162	7
11	167	15	109	9	170	8
12	175	7	104	10	99	9
13	90	4	117	27	123	10
14	99	11	203	3	145	6
15	123	15	89	4	114	2
16	145	6	159	6	178	5
17	114	7	167	8	200	9
18	178	2	175	2	116	15
19	200	3	198	12	126	7
20	245	8	99	17	181	4
21	116	9	75	26	162	11
22	126	10	230	7	170	15
23	181	27	89	8	148	6
24	162	21	56	15	111	7
25	170	13	156	7	163	2
25	148	20	261	4	225	3
26	111	6	148	11	176	8
27	137	5	129	12	183	9
28	109	4	89	3	159	10
29	104	16	159	4	216	27
30	117	9	167	7	180	11

### Контрольні питання:

1. Назвати шкідливі хімічні речовини у природних водоймах.
2. Проаналізувати, чи впливає концентрація хімічних речовин на стан природних водойм.
3. Дати визначення ГДК<sub>В</sub> та ГДК<sub>ВР</sub>

### Практичне зняття №1.2

**Тема:** «Моніторинг та прогнозування забруднення атмосфери»

**Мета:** опанувати методику розрахунку оптимальної відстані від забруднювачів до житлового сектору.

### Теоретичні відомості

Забруднення – це внесення у навколишнє середовище або виникнення в ньому нових, зазвичай не характерних хімічних і біологічних речовин, агентів або внесення в надлишковій кількості будь-яких уже відомих речовин, які чинять шкідливий вплив на природні екосистеми й людину і яких природа не здатна позбутися самоочищенням. Речовини, які спричинюють забруднення навколишнього природного середовища, називають забрудниками, або поллютантами.

Для керування процесом охорони природи, раціонального природокористування та забезпечення екологічної безпеки навколишнього природного середовища потрібна організація обліку антропогенних змін та їх проявів як в окремих регіонах, так і в глобальних масштабах (державні, континентні, біосферні). Такий облік потрібно здійснювати з метою запобігання будь-яким негативним наслідкам у повсякденному господарюванні та погіршенню якості природного середовища, а також для прогнозування змін у середовищі та їх наслідків. Ці завдання вирішують за допомогою екологічного моніторингу.

**Екологічний моніторинг** – це комплексна науково-інформаційна система спостережень, оцінки й прогнозування змін стану навколишнього середовища та живих організмів під впливом антропогенних факторів.

Ефективним методом зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище та забезпечення екологічної безпеки біосфери є застосування в господарській діяльності безвідходних технологій з повним використанням усіх компонентів сировини. Однак нинішній рівень розвитку техніки не дає змоги розробити подібні технології, а тому поки що основним напрямом охорони довкілля є нормування кількості викидів, стоків та відходів і контроль за ними. В основі нормування лежить установа **гранично допустима концентрація** (ГДК) шкідливих речовин (полютантів) в атмосферному повітрі, воді й ґрунті та харчових продуктах. При встановленні ГДК приймають найнижчий рівень забруднення, який ґрунтується на санітарно-гігієнічних нормах. **ГДК полютанта** – це такий його максимальний вміст у природному середовищі (воді, повітрі, ґрунті) або продукті, який не знижує працездатності та самопочуття людини, не шкодить її здоров'ю в разі постійного контакту, а також не викликає небажаних (негативних) наслідків у нащадків.

Для нормування різних викидів в атмосферу і скидів у водойму забруднювальних речовин запропоновано ще один норматив – гранично допустимий викид в атмосферу (ГДВ) або граничне допустимий скид у водойму (ГДС). **Гранично допустимі викиди** – це кількість шкідливих речовин, яка не повинна перевищуватися під час викиду в повітря за одиницю часу, щоб концентрація забрудників повітря на межі санітарної зони не була вищою від ГДК. Встановлюють ГДВ на основі розрахунку розсіювання домішок в атмосфері.

**Санітарно-захисні зони (СЗЗ)** – це ділянки землі навколо підприємств, що відокремлюють їх від житлових масивів з метою зменшення шкідливого впливу цих підприємств на здоров'я людини, їх розташовують з підвітряного боку підприємств і засаджують пило стійкими деревами та чагарниками, що мають бактерицидні властивості (береза, біла акація, грецький горіх, дуб, канадська тополя, сосна, смерека, бузина, смородина та ін.).

Згідно із санітарними нормами проектування промислових підприємств, виділяють 5 класів промислових об'єктів із СЗЗ завширшки від 50 м до 3000 м з урахуванням ступеня забруднення повітря поблизу виробництва. Перший клас поділяють на підкласи 1А з СЗЗ завширшки 3000 м та 1Б – 1000 м. До першого класу А з СЗЗ завширшки 3000 м відносять особливо небезпечні об'єкти (АЕС та ін.)- До першого класу Б з СЗЗ завширшки 1000 м належать хімічні, нафтопереробні, паперово-целюлозні та металургійні заводи й підприємства, що займаються випалюванням коксу, вторинною переробкою кольорових металів, видобутком нафти, природного газу та кам'яного вугілля. До другого класу із СЗЗ завширшки 500 м належать цементні, гіпсові, вапнякові та азбестові заводи і підприємства, що виробляють свинцеві акумулятори, пластичні маси, видобувають горючі сланці, кам'яне, буре та інше вугілля. До третього класу із СЗЗ завширшки 300 м належать підприємства з виробництва скловати, керамзиту, толю й руберойду, вугільних виробів для електропромисловості, різних лаків та оліф, ТЕЦ, заводи залізобетонних виробів, асфальтобетонні, кабельні заводи тощо. До четвертого класу СЗЗ завширшки 100 м відносять підприємства металообробної промисловості, машинобудівні заводи, електропромисловість з невеликими ливарними цехами, виробництва неізолюваного кабелю, котлів, цегли, металевих електродів, будівельних матеріалів з відходів ТЕС. До п'ятого класу із СЗЗ завширшки 50 м включено підприємства легкої промисловості, металообробної промисловості з термічною обробкою без ливарних цехів, виробництва лужних акумуляторів, приладів для електротехнічної промисловості без застосування ртуті й лиття,

друкарні, виробництва харчової промисловості, пункти очищення й промивання цистерн, виробництво стиснутих і зріджених продуктів розділення повітря.

### Приклад розв'язку задачі

Хімкомбінат ВАТ «Рівнеазот» побудовано на північно-західній околиці міста Рівне. В процесі виробництва азотних і складних добрив в атмосферу викидають понад 1200 інгредієнтів інтенсивністю  $Q=1000 \text{ м}^3/\text{с}$  через труби висотою  $H=85 \text{ м}$  з температурою  $t_1=165^\circ\text{C}$ . Розрахована температура найхолоднішого місяця (січня) становить  $t_2= -14^\circ\text{C}$ . Дати оцінку стану забруднення атмосфери і за необхідністю, обґрунтувати та розрахувати радикальні заходи захисту. Розрахунки провести лише по 5-основним інгредієнтам забруднення, які надані в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Інгредієнти забруднення атмосфери

№ п/ п	Інгредієнти	Фактична концентрація інгредієнтів –С, мг/м <sup>3</sup>											ГДК інгредієнтів, мг/м <sup>3</sup>
		Варіанти											
		прикл	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Вінілацетат	0,25	0,28	0,31	0,27	0,24	0,23	0,29	0,30	0,34	0,22	0,21	0,2
2	Сірководень	0,045	0,035	0,048	0,049	0,039	0,040	0,041	0,047	0,044	0,046	0,039	0,008
3	Акролеїн	0,03	0,02	0,01	0,05	0,02	0,03	0,01	0,04	0,03	0,02	0,04	0,03
4	Оксид сірки	0,1	0,15	0,3	0,23	0,25	0,17	0,18	0,11	0,2	0,23	0,1	0,05
5	Оксид азоту	0,098	0,087	0,089	0,078	0,088	0,093	0,095	0,092	0,091	0,090	0,096	0,085

- 1) Розв'язок даної задачі виконуємо на підставі вимог санітарних норм СН 245-71, визначаємо клас шкідливості промислового підприємства Клас шкідливості (I) і відповідно розміри санітарно-захисної зони (L) повинні мати 1000 м
- 2) Розраховуємо коефіцієнт забруднення основними інгредієнтами (С), як відношення фактичної концентрації забруднення до гранично-допустимого значення (ГДК)

$$K = \sum \frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} \dots \leq 1$$

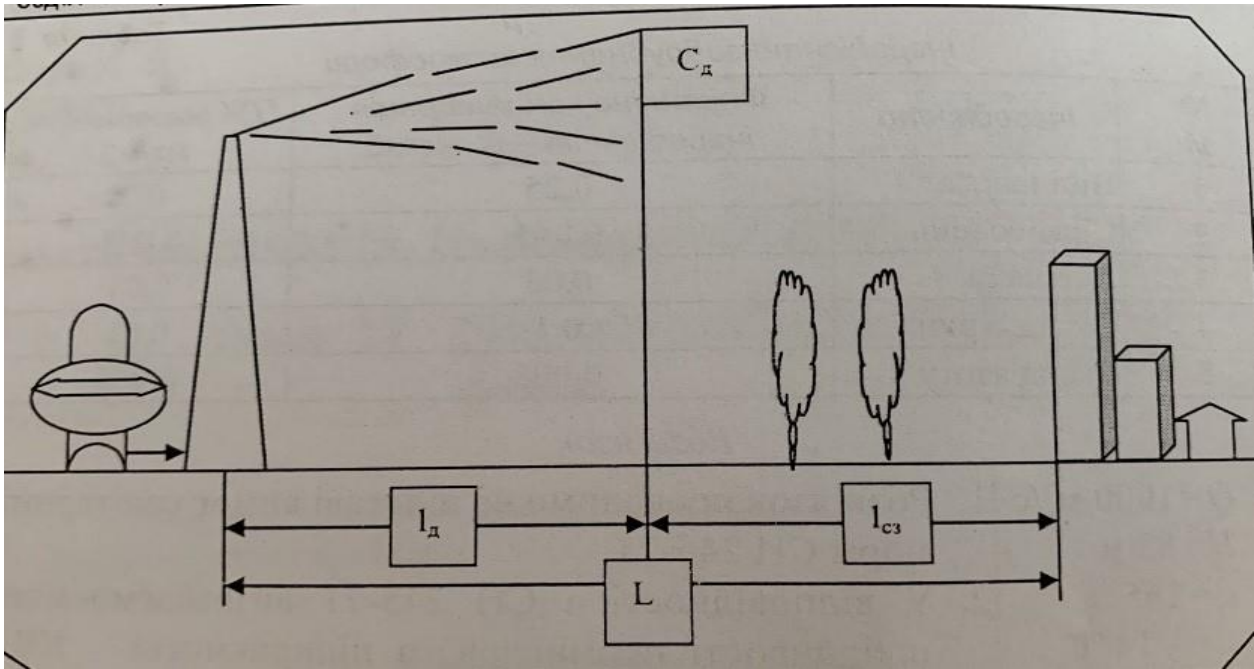
$$K = \sum \frac{0,25}{0,2} + \frac{0,045}{0,008} + \frac{0,03}{0,03} + \frac{0,1}{0,05} + \frac{0,098}{0,085} = 1,25 + 6,235 + 1 + 2 + 1,15 = 11,02$$

- 3) Порівнюємо коефіцієнт забруднення з шкалою шкідливості (токсичності) забруднення (таблиця 2.2)

Таблиця 2.2 – Шкала шкідливості забруднення (за СН 245-71)

№	K	Шкідливість забруднення
1	менше 1	не шкідливе
2	1...1,99	відчутне
3	2...2,99	суттєве
4	3...3,99	інтенсивне
5	4...4,99	дуже шкідливе
6	більше 5	катастрофічне

- 4) Так як забруднення катастрофічне, то необхідно передбачити комплекс радикальних заходів захисту:
  - санітарна зона з зеленими насадженнями;
  - оптимальна відстань від забруднювача до житлового сектору - (L)



- 5) Згідно вимог СН необхідно виконати перевірку, чи всі природоохоронні заходи слід впроваджувати. Для цього слід оцінити перевищення миттєвої концентрації викидів над допустимою  $C_{max} = \geq, \leq C_d$
- 6) Розраховуємо відстань від промислового підприємства, на якій забруднення матиме допустиму концентрацію  $I = 20 * H = 20 * 85 = 1700 \text{ м}$
- 7) Визначаємо допустиму концентрацію забруднення на цій відстані  
 $C_d = 1/H^2 = 1/85^2 = 1/7225 = 0,00014 \text{ мг/м}^3$
- 8) За СН 369-74 розраховуємо максимально можливу миттєву концентрацію викидів  

$$C = \frac{A * \sum V * K}{H^2 * \sqrt[3]{Q(t_1 - t_2)}} = \frac{160 * 0,523 * 3}{85^2 * \sqrt[3]{1000 * (165 - (-14))}} = \frac{251,04}{7225 * 56,4} = 0,00062 \text{ мг/м}^3$$
де А – коефіцієнт, що враховує кількість змін метеорологічних умов протягом року, для України; А=160;  
 $\sum V$  - сумарна середня концентрація викидів розрахункових інгредієнтів;  $\sum V = 0,523$ ;  
К – коефіцієнт, що враховує характер викидів, К=3;
- 9) Порівнюємо концентрацію миттєвих викидів з допустимою концентрацією  
 $C_{max} = 0,00062 > C_d = 0,00014$ , перевищення становить  
 $\Delta C = C_{max} - C_d = 0,00062 - 0,00014 = 0,00048 \text{ мг/м}^3$
- 10) Розраховуємо відсоток перевищення миттєвої над допустимою концентрацією  

$$P = \frac{\Delta C}{C_d} * 100 = \frac{0,00048}{0,00014} * 100 = 343,0\%$$

$$P = 343,0\% > P_p = 15\%$$
- 11) Розраховуємо оптимальну відстань від підприємства до м. Рівне  
 $L = I_{c3} + I_d = 1000 + 1700 = 2700 \text{ м}$



Таблиця вихідних даних

<i>Варіанти</i>	<i>Інтенсивність інгредієнтів Q, м<sup>3</sup>/с</i>	<i>Висота труби (H), м</i>	<i>Температура нагрітого викиду, t<sub>1</sub><sup>0</sup>C</i>	<i>Розрахункова температура найхолоднішого місяця (січня) становить, t<sub>2</sub><sup>0</sup>C.</i>
1	1020	50	173	-12
2	1030	45	181	-13
3	1018	42	163	-16
4	1030	67	167	-11
5	1028	76	168	-10
6	1037	83	172	-17
7	1042	89	179	-14
8	1043	79	184	-15
9	1029	78	179	-12
10	1036	82	174	-18

### Контрольні питання:

1. Дати визначення екологічному моніторингу.
2. Визначити межі санітарно-захисних зон та навести приклади видів зелених насаджень.
3. Охарактеризувати методику розрахунку оптимальної відстані від забруднювачів до житлового сектору.

## РОЗДІЛ №2 «ВПЛИВ ТРАНСПОРТУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ»

### Практичне заняття №2.1

**Тема:** «Аналіз забруднення літосфери»

**Мета:** опанувати методику розрахунку залежності відстані від концентрації забруднювача свинцю автошляхами України

#### Теоретичні відомості

Великої шкоди навколишньому природному середовищу завдають *важкі метали* – мідь, нікель, свинець, кадмій, ртуть та ін. *Свинець* може міститися в ґрунтах, воді й повітрі. У великих містах у дощових водах і снігу вміст свинцю сягає 250—350 мкг/л. Головним джерелом його надходження в природне середовище є автотранспорт. Свинець у вигляді аерозольних часточок викидається з вихлопними газами, які утворюються в двигунах внутрішнього згоряння при використанні етильованого бензину. В складі останнього як антидетонатор використовують тетраетилсвинець. Сполуки плюмбуму, які дуже шкодять здоров'ю людини, містяться також у свинцевих фарбах, свинцевих покриттях водогінних труб, різних прокладках, ізоляціях електрокабелів тощо.

Наявність незначної кількості свинцю в організмі призводить до тяжких захворювань, зниження інтелектуального розвитку, перезбудження, розвитку агресивності, неухважності, глухоти, безпліддя, затримки росту, порушень вестибулярного апарату тощо. Навіть незначні домішки свинцю в повітрі, воді чи їжі шкодять нервовій та кровоносній системам дітей. У промислово розвинених країнах (Японії, США, Англії, Франції, Швеції та Німеччині) було прийнято рішення і припинено виробництво етильованого бензину та свинцевих фарб. Таке саме рішення прийняла незалежна Україна.

У середньому в організмі людини міститься 120 мкг свинцю, розподіленого у всіх органах, тканинах і кістках. З м'яких тканин свинець поступово виводиться, а з кісток скелета – дуже повільно (десятки років). Органічні сполуки плюмбуму надходять в організм людини через шкіру, слизові оболонки, з водою та їжею, а неорганічні – переважно через дихальні шляхи. Нині мешканець великого міста щодня вдихає з повітрям та поглинає з їжею до 45 мкг

свинцю, з яких в його організмі затримується до 16 мкг. Цей свинець проникає в кров і розподіляється в кістках (90 %), печінці та нирках. Іноді загальна його кількість в організмі досягає 0,5 г і більше, що значно перевищує ГДК в крові (50 –100 мкг/100 мл).

Людина є однією з останніх ланок ланцюга живлення. А в межах цього ланцюга концентрація свинцю від ланки до ланки зростає: у донних водоростях, які поглинають свинець із забруднених вод, його концентрація підвищується в 700 разів, у фітопланктоні – в 4000, у зоопланктоні – в 3000, у молюсках – у 4000 разів.

**ГДК свинцю в ґрунті становить 20 мг/кг**

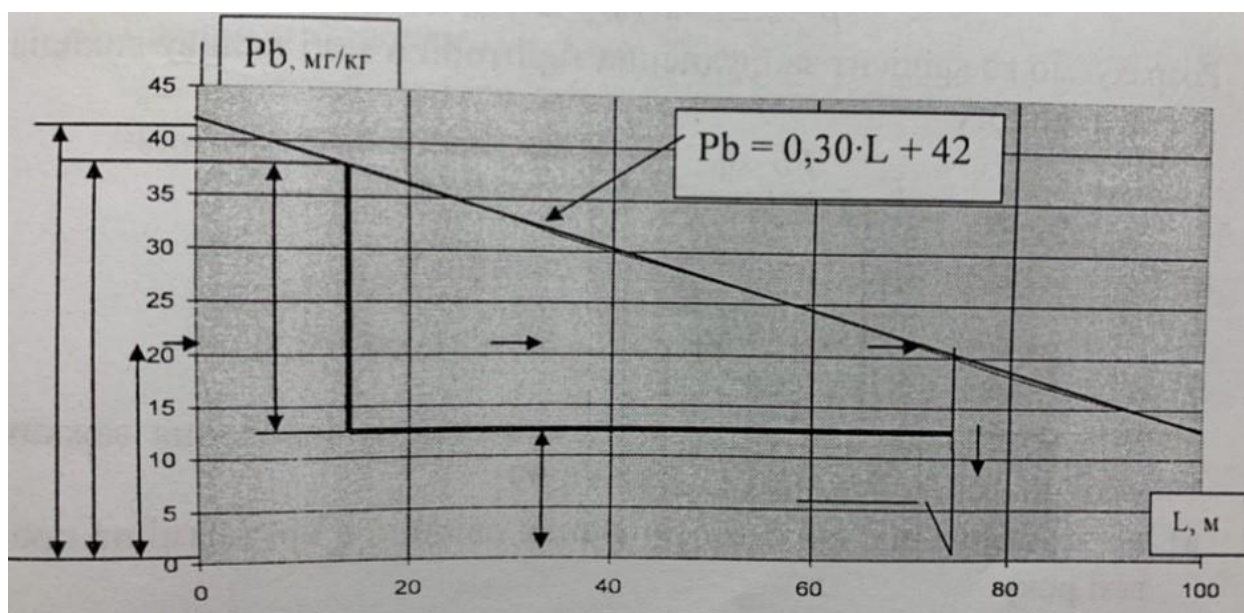
### Приклад розв'язку задачі

Вздовж автотраси Київ–Львів на різних її ділянках, в залежності від завантаження траси автотранспортом, було досліджено розподіл свинцю траси на відстані до 100 м в обидва боки. Розподіл свинцю подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Забруднення придорожньої смуги викидами автотранспорту

Відстань автотраси L, м	Забруднення свинцем –Pb, мг/кг										
	Варіанти										
	<i>приклад</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	42	39	44	49	50	46	48	51	47	45	43
10	40	32	41	40	40	41	40	46	40	41	40
20	38	33	40	36	36	40	36	37	36	40	36
30	35	34	29	36	36	29	36	36	36	29	36
40	29	26	34	33	33	34	33	33	33	34	33
50	27	30	23	31	31	23	31	31	31	23	31
60	25	27	26	19	19	26	19	19	19	26	19
70	19	24	23	17	17	23	17	17	17	23	17
80	22	17	20	21	21	20	21	21	21	20	21
90	18	14	18	19	19	18	19	19	19	18	19
100	13	16	15	14	14	15	14	14	14	15	14

12) Будуємо графік розподілу свинцю вздовж траси в зручному масштабі



13) Візуально розподіл свинцю підпорядковується оберненій лінійній залежності.

14) Загальний вигляд рівняння, яким можна описати розподіл свинцю такий:

$$Pb = -a \cdot L + b$$

15) Розраховуємо коефіцієнти рівняння  $a = tqa = \frac{c}{d} = \frac{42-30}{40-0} = \frac{12}{40} = 0,30$ ,  $b = 42$

16) Аналітичний вираз розподілу в реальних координатах матиме вигляд

$$Pb = -0,30 * L + 42$$

17) Розраховуємо відстань від траси, на якій розподіл свинцю матиме допустиме значення:

- за графіком  $Lq=75$  м;

- за формулою  $20 = -0,30 * L + 42$

$$-42 + 20 = -0,30 * L$$

$$L = \frac{-22}{-0,30} = 73,33 \text{ м}$$

18) Розраховуємо відсоток похибки  $p = \frac{Lq-L}{L} * 100 = \frac{75-73,33}{73,33} * 100 = 2,27\%$

Для подальших розрахунків можемо користуватись лише графіком, бо

$$p = 2,27\% < p_d = 5\%$$

19) Розраховуємо коефіцієнт забруднення території в зоні впливу викидів автотранспорту

$$K_3 = \frac{Pb_c + \varphi}{\Phi} = \frac{31 + 0,99}{5} = 6,14,$$

де  $Pb_c$  - середнє значення розподілу свинцю

$$Pb_c = \frac{Pb_{\max} + Pb_{20}}{2} = \frac{42 + 20}{2} = 31 \text{ мг/м}^3$$

$K_3$  - коефіцієнт, що враховує неможливість виведення важких металів з організму

$K_3 = 1 \dots 0,98$  (0,99);

$\varphi$  - фізіологічна норма накопичення свинцю в організмі протягом

року =  $4 \dots 6 = 5 \text{ мг/кг}$  в рік;

20) Порівнюємо коефіцієнт забруднення з шкалою  $K_3 = 6,14 > K_3 = 5$

Таблиця 3.2 – Шкала шкідливості забруднення (за СН 245-71)

№	K	Шкідливість забруднення
1	менше 1	не шкідливе
2	1...1,99	відчутне
3	2...2,99	суттєве
4	3...3,99	інтенсивне
5	4...4,99	дуже шкідливе
6	більше 5	катастрофічне

#### Забруднення - катастрофічне

21) Необхідно передбачити радикальні природоохоронні заходи і розрахувати їх ефективність.

Цими заходами є лісосмуги на відстані 15-20 м від проїжджої частини з обох сторін. Значення свинцю за графіком становить  $38 \text{ мг/кг}$ . Ефективність лісосмуги за санітарними нормами СН 245-71 становить  $E = 65 \dots 75\%$ , або 0,7

22) Розраховуємо реальне значення ефективності (E)  $\Delta Pb_{15} * E = 38 * 0,7 = 26,6 \text{ мг/кг}$

23) Розраховуємо залишкове значення свинцю в ґрунті за лісосмугою становить

$Pb_{15} = Pb_{75} - \Delta Pb = 38 - 26,6 = 11,4 \text{ мг/кг}$ , тому корегуємо зміни на графіку на відстані 15 м

Висновок: лісосмуга затримує  $26,6 \text{ мг/кг}$  свинцю, формує ефект (E) = 70%, проектування лісосмуги дозволяє зменшити смугу забруднення з 75 м до 15 м, або на 60 м

#### Контрольні питання:

1. Обґрунтувати екологічний моніторинг автошляхів України.
2. Визначити межі санітарно-захисних зон та навести приклади видів зелених насаджень.
3. Охарактеризувати методику розрахунку залежності відстані від концентрації забруднювача свинцю автошляхами України.

## Практичне заняття №2.2

**Тема:** «Методика розрахунку шумового забруднення зони аеропорту»

**Мета:** розглянути методику розрахунку шумового забруднення зони аеропорту.

### Теоретичні відомості

Основні критерії, які використовують для оцінювання несприятливого впливу авіаційних шумів(АШ) є гучність і рівень гучності шуму.

**Гучність звуку** – інтенсивність звукового відчуття, що викликана даним [звуком у людини](#) з нормальним [слухом](#). Гучність залежить від [сили звуку](#) і виражається кількістю [децибел](#), на які даний звук перевищує за інтенсивністю звук, прийнятий за поріг чутливості.

**Бел** – одиниця вимірювання різниці [рівнів звукової гучності](#) або потужності та потужності інших фізичних величин. Назва "бел" походить від прізвища винахідника телефону [Александера Белла](#).

**Поріг чутливості** – найтихіший [звук](#), який ще здатна чути [людина](#) на [частоті](#) 1 000 [Гц](#), що відповідає звуковому тиску  $2 \times 10^{-5}$  [Н/м<sup>2</sup>](#). Одиниця вимірювання гучності – [фон](#).

**Рівень гучності звуку** - відносна величина, що вимірюється у [фонах](#) і чисельно дорівнює [рівню звукового тиску](#) (в [децибелах](#) - дБ), створюваного синусоїдальним тоном частотою 1 [кГц](#) такої ж гучності, для інших частот використовують виправлення з таблиці або спеціального графіку – [кривих рівних гучностей](#), що представляє собою стандартизоване (ISO 226) сімейство кривих, названих також ізофонами.

Ці криві відображають частотну залежність сприйняття звуків слуховим апаратом людини. Найбільша чутливість сприйняття – в діапазоні частот 1000 – 3000 Гц.

Рівень гучності  $L_A$  розраховують за формулою:

$$L_A = 10 \lg (p_A^2 / p_0^2), \quad (1)$$

$L_A$  – рівень гучності або рівень звуку, дБ;

$p_0$  – граничне значення звукового тиску, тобто найменше значення, яке може бути виявлене вухом людини і дорівнює  $2 \cdot 10^{-6}$  Па (середнє значення рівня звукового тиску на відстані 1 м від вуха дорівнює дБ, для нормального голосу – 57 дБ, крику – 85 дБ);

$p_A$  – рівень звукового тиску, що враховує особливості сприйняття шуму людиною і вимірюється по шкалі «А» шумоміра, Па.

Таблиця 1 – Співвідношення відчуттів людини на рівень звуку

Суб'єктивні відчуття	Звуковий тиск, Па	Рівень звуку або гучності, дБ або фон
<u>Больовий поріг</u>	20	120
	2	100
	$2 \cdot 10^{-1}$	80
	$2 \cdot 10^{-2}$	60
	$2 \cdot 10^{-3}$	40
	$2 \cdot 10^{-4}$	20
<u>Поріг чутливості</u>	$2 \cdot 10^{-5}$	0

Для оцінювання реакції населення на дію транспортного шуму введено залежність «доза-ефект», яка визначає частку населення у відсотках, що виявляє роздратування високого ступеня під час впливу шуму  $L_{Аекв}$  транспортного походження за певний період часу.

Таблиця 2 – Відносна частка населення за реакцією роздратування за різних  $L_{Аекв}$ .

Рівень звуку, $L_{Аекв}$ , дБ.	45	50	55	60	65	70	75	80	85
Частка населення з реакцією роздратування, %.	1,1	2,1	4	7,5	13,6	22	37	53,2	68,8

Аналіз даних, наведених в табл. 2, дає можливість зробити такі висновки:

1. Шум може впливати на результати людської життєдіяльності як у середині приміщень, так і зовні. Порівнюючи рівні зовнішнього та внутрішнього шуму, необхідно враховувати

звукоізоляцію будівель і споруд: для теплого сезону року («вікна відчинені») звукоізоляція нормальної конструкції житлової споруди становить 15 дБ; для холодного («вікна зачинені») – 25 дБ.

2. Рівень шуму  $L_{\text{Аекв}} = 75$  дБ є порогом, що забезпечує захист від пошкодження слуху.
3. Порухення сну не відбувається за рівнів шуму  $L_{\text{Аекв}} = 35-45$  дБ.
4. Максимальний рівень шуму, що забезпечує спокійне спілкування з нормальним голосовим зусиллям і 100-% розбірливість слів, - 45 дБ.
5. Відповідно прийом теле- і радіопередач, прослуховування музичних записів забезпечується без перешкод за рівня шуму 45 дБ.
6. Нормальний мовний зв'язок забезпечується за рівнів шуму 45 – 65 дБ.
7. Транспортний шум до 60 дБ впритул біля вуха людини не впливає на точність та ефективність розумової діяльності.
8. Роздратування як інтегральну характеристику реакції населення на акустичне середовище також ураховують, визначаючи нормативні значення шуму, наприклад при 65 дБ 13 % населення зазнає сильного роздратування.

Таблиця 3 – Нормативні значення показників зони заборони житлової забудови з умов авіаційних шумів (АШ) для деяких країн і відповідні цим значенням одиниці  $L_{\text{Аекв}}$ .

Країна	Одиниця вимірювання	Нормативне значення	Відповідне значення $L_{\text{Аекв}}$
США	$L_{\text{dn}}$ , дБ	75	75
Німеччина	$L_{\text{Аекв}}$ , дБ	75	75
Великобританія	$L_{\text{Аекв}}$ , дБ	83	83
Данія	$L_{\text{den}}$ , дБ	70	70
Україна (день)	$L_{\text{Аекв}}$ , дБ	65	65
Україна (ніч)	$L_{\text{Аекв}}$ , дБ	55	55

Нормативна база регулювання АШ навколишнього середовища (тобто шуму на місцевості та поблизу аеропортів) різних країн відрізняється одна від одної. Критерій  $L_{\text{Аекв}}$  отримав на цей час найбільшу підтримку в процесі його впровадження в нормативну практику регулювання шуму взагалі і АШ зокрема. Нормативні значення рівня шуму для зони заборони житлової і громадської забудови є нормативами екологічної безпеки для АШ навколо аеропортів цивільної авіації. На Україні вони є жорсткішими ніж в більшості країн світу.

Таблиця 4 – Рівні  $L_{\text{Аmax}}$  обмеження АШ навколо аеропортів, дБ

Країна	Україна	США, аеропорт Кеннеді	Великобританія, аеропорт Хітроу	Нідерланди, аеропорт Схіпхол	Швейцарія, аеропорт Клотен
День	85	99	97	98	100
Ніч	75	89	89	98	95

*Відстань у ШРВ-залежності* – це найкоротша відстань від точки контролю до траєкторії польоту, тобто перпендикуляр, опущений на поточний відрізок траєкторії з точки контролю (розрахунку). У методичці найкоротша відстань має назву радіус шуму і позначається  $R_{\text{ш}}$ .

Для розрахунків ШРВ-залежність використовується в такій формі:

$$L_{\text{АШРВ}} = A + B \lg R_{\text{ш}} + C (\lg R_{\text{ш}})^2, (2)$$

Де коефіцієнти А, В, С визначаються окремо для кожного типу ПС і кожного характеру режиму польоту (режиму двигуна) таблиця 5.

Таблиця 5 – Значення коефіцієнтів апроксимації характеристик шуму літаків

№	Тип літака	Злітний режим			Номінальний режим			Дросельний режим			Посадочний режим		
		А	В	С	А	В	С	А	В	С	А	В	С
1	АН-124	130.94	-3.49	-3.41	123.46	0.30	-4.43	120.59	0.96	-4.93	125.4	-4.89	-3.93
2	АН-24	128.11	4.98	-5.77	139.10	-7.01	-3.77				120.3	1.03	-5.41
3	ЕМВ145	116.53	4.87	-6.27	121.05	0.48	-5.56				127	-10.5	-3.39

4	АН-148	112.69	9.93	-7.74				107.09	11.69	-8.04	105.2	10	-8.35
5	A320	131,16	-3.49	-3.41	123.46	0.30	-4.43	120.59	0.96	-4.93	125.4	-4.89	-3.93
6	B737	127.28	4.98	-5.77	139.10	-7.01	-3.77				120.3	1.03	-5.41
7	АН-70	115.95	4.87	-6.27	121.05	0.48	-5.56				127	-10.5	-3.39
8	АН-132	112.44	9.93	-7.74				107.09	11.69	-8.04	105.2	10	-8.35
9	B777	132,12	-3.49	-3.41	123.46	0.30	-4.43	120.59	0.96	-4.93	125.4	-4.89	-3.93
10	A350	126.88	4.98	-5.77	139.10	-7.01	-3.77				120.3	1.03	-5.41
11	EMB110	115.95	4.87	-6.27	121.05	0.48	-5.56				127	-10.5	-3.39
12	АН-2	113.69	9.93	-7.74				107.09	11.69	-8.04	105.2	10	-8.35
13	АН-70	115.95	4.87	-6.27	121.05	0.48	-5.56				127	-10.5	-3.39
14	A320	131,16	-3.49	-3.41	123.46	0.30	-4.43	120.59	0.96	-4.93	125.4	-4.89	-3.93
15	АН-24	128.11	4.98	-5.77	139.10	-7.01	-3.77				120.3	1.03	-5.41

### Приклад 1

Визначити чи можлива забудова території, яка знаходиться на відстані 10 км від аеропорту, якщо рівень звукового тиску не перевищує 2Па.

*Розв'язування:*

Для того щоб визначити чи можлива забудова території потрібно розрахувати рівень звуку або гучності  $L_A$  за формулою (1):

$$L_A = 10 \lg(2^2 / (2 * 10^{-6})^2) = 10 \lg(4/4 * 10^{-12}) = 120 \text{ дБ.}$$

*Відповідь:* забудова території неможлива тому, що рівень звуку на даній території перевищує нормативні дані.

### Приклад 2

Виконати розрахунки рівнів авіаційного шуму (АШ) під траєкторією зльоту і посадки ПС на території України. Точки контролю шуму знаходяться на відстані 10 і 20 км.

**Основні терміни, які використовуються при розв'язуванні задачі:**

*Авіаційний шум* – шум, що утворюється ПС і щодо впливу на навколишнє середовище кваліфікується як шкідливий чинник.

*Характеристика шуму ПС* – залежність рівня шуму ПС на місцевості від відстані до розрахункової точки до певного режиму польоту повітряного судна – залежність типу «шум – режим польоту(режим роботи двигуна) – відстань» (ШРВ-залежність).

*Радіус шуму* – найкоротша відстань від траєкторії польоту ПС до точки визначення шуму на місцевості. Значення радіуса шуму відповідає значенню відстані в ШРВ-залежності, яка використовується для обчислення рівня шуму в точці на місцевості для заданого режиму польоту.

**Позначення, які використовуються в задачі:**

$L_A$  – рівень звуку, коригований за частотною шкалою «А»;

$L_{Amax}$  – максимальний рівень звуку;

$L_{Aекв}$  – еквівалентний рівень звуку;

$R_{ш}$  – радіус шуму;

A, B, C – коефіцієнти для типу літака, таб. 5.

*Розв'язання:*

Траєкторію зльоту поділяють на такі сегменти(відрізки):

**1** – розбіг ПС по злітній смузі (злітний режим), відстань від 0 до 1000м.

**2** – початковий зліт і набирання висоти (злітний режим), відстань від 1000 м до 5000м.

**3** – набирання висоти, дроселювання двигунів (дросельний режим), відстань від 5000м до 15000м.

**4** - номінальний режим роботи двигунів. Відстань від 15 000м і вище.

Для розв'язання задачі необхідно виконати такі дії:

1. Побудувати траєкторію зльоту й набирання висоти літака ПС.

2. Позначити на графіку точки контролю шуму (за умовою задачі) в даному випадку 10 і 20 км і визначити радіуси шуму між точками контролю і траєкторією за допомогою побудови

перпендикулярів, відповідно:  $R_1 = 550\text{м}$  (точка контролю на відстані 10 км),  $R_2 = 1150\text{м}$  (точка контролю на відстані 20 км).

3. Для даного типу ПС за формулою (2) розрахувати значення рівня шуму, використовуючи коефіцієнти А, В, С (табл. 5) для режиму, який здійснюється вздовж відрізка траєкторії.

Для першої точки контролю(злітний режим):

$$L_{\text{АШРВ}} = 131 - 3.5 \lg 550 - 3.4 (\lg 550)^2 = 89.6 \text{ дБ}$$

Для другої точки(режим номінальний):

$$L_{\text{АШРВ}} = 123.5 + 0.3 \lg 1150 - 4.4 (\lg 1150)^2 = 83.2 \text{ дБ}$$

4. Рівень шуму порівняти для кожної точки контролю з нормативною величиною(табл.4): 85 дБ – для дня і 75 дБ – для ночі.

*Відповідь:* рівень шуму в першій точці контролю перевищує обидва нормативи, в другій точці контролю – перевищує норматив нічного періоду доби.

**Задача № 2.1.** Виконати розрахунки рівнів авіаційного шуму (АШ) під траєкторією зльоту і посадки ПС на території України. Точки контролю шуму знаходяться на відстані  $R_1$  і  $R_2$ .

*Значення даних для задачі по кожному варіанту:*

Варіант №	Перша точка контролю, м	$R_1$ , (по першій точці), м	Друга точка контролю, м	$R_2$ , (по другій точці), м
1	5000	380	17500	1040
2	4500	280	12500	760
3	4250	240	16500	1000
4	2000	40	11000	600
5	2450	80	7500	440
6	20000	1150	8000	480
7	5100	400	19550	1120
8	9500	520	15000	960
9	10000	550	18000	1080
10	1100	20	16250	950
11	10500	640	20250	1200
12	17250	1020	10250	560
13	17500	1040	8000	480
14	12500	760	4250	240
15	19500	1110	2260	60

#### Контрольні питання:

1. Дати визначення гучності звуку.
2. Визначити поріг чуливості.
3. Охарактеризувати методику розрахунку шумового забруднення зони аеропорту.

#### Практичне заняття №2.3

**Тема:** «Методика розрахунку емісії двигунів повітряних суден»

**Мета:** ознайомитися з проблемою забруднення навколишнього середовища авіатранспортом; засвоїти методики оцінки рівня емісії авіадвигунів та еколого-економічної оцінки збитків, спричинених емісією

#### Теоретична частина

Авіація – це екологічно небезпечна галузь господарювання країни (оскільки в процесі діяльності цієї галузі відбувається забруднення навколишнього середовища та шкідливий вплив на людей).

Повітряні судна забруднюють атмосферу викидами шкідливих речовин з відпрацьованими газами авіаційних двигунів. Газу викидаються в атмосферне повітря соплами і вихлопними патрубками двигунів. Цей процес називають **емісією** авіаційних двигунів.

Склад відпрацьованих газів (інгредієнтів), які забруднюють атмосферу, сучасних авіаційних двигунів (пальне – гас):

1. Монооксид вуглецю – CO (чадний газ);
2. Вуглеводні, які не повністю згоріли –  $C_xH_y$  (метан  $CH_4$ , ацетилен  $C_2H_2$ , етан  $C_2H_6$ , бензол  $C_6H_6$  та ін.)
3. Альдегіди (формальдегід  $HCHO$ , акролін  $CH_2=CH=CHO$ , оцтовий альдегід  $CH_3CHO$  та ін.) (виділяється у невеликих кількостях).
4. Оксиди азоту  $NO_x$ .
5. Оксиди сірки  $SO_x$  (виділяється невелика кількість).
6. Бензопірен (канцерогенна речовина) – виділяється у кількості 2...4 мг за 1 хв роботи двигуна (при тому, що допустимий рівень забруднення – 0,0001 мг на  $100\text{ м}^2$  площі).
7. Сажа (дрібнодисперсні частинки чистого вуглецю) – виділяється у вигляді шлейфу за соплами двигунів під час зльоту літака, (сажі виділяється загалом небагато).

Оскільки літаки в процесі роботи переміщуються з одного місця в інше (з аеропорту в аеропорт), то атмосфера забруднюється в глобальних масштабах, тобто забруднення має місце як в зонах аеропортів, так і на трасах польоту.

За 1 рік сучасний трансконтинентальний лайнер може виконувати до 300 зльотів і посадок. При цьому тільки за 1 добу (в середньому) двигунами авіалайнера в атмосферне повітря викидається близько 3,7 т CO, 2 т  $C_xH_y$  і 1,7 т  $NO_x$ .

Тобто, має місце значне забруднення атмосфери. Причому, якщо на трасах польоту (на висоті 8-12 км) шкода від цього забруднення невелика, то в зоні аеропорту не рахуватися з таким забрудненням не можна. Дослідження в деяких аеропортах світу показали, що забруднення атмосферного повітря значно перевищувало допустимий рівень. Наприклад:

Аеропорт Лос-Анджелес, забруднення CO (чадним газом):

45% на рік – концентрація CO складала  $14,5\text{ мг/м}^3$ ;

1 день в місяць – концентрація CO сягала  $25\text{ мг/м}^3$ ;

1 день в рік – концентрація CO складала  $35,5\text{ мг/м}^3$ .

При тому, що допустимий рівень забруднення (тобто, такий, що не має шкідливого впливу на організм людини) чадним газом складає  $5\text{ мг/м}^3$ .

Аеропорт у Варшаві, забруднення  $NO_x$  (оксидами азоту):

Зимово-весняний період -  $3,1\text{ мг/м}$ ;

Літній період -  $4,0\text{ мг/м}$ .

При тому, що допустимий рівень забруднення оксидами азоту складає  $0,085\text{ мг/м}^3$ .

Оскільки кожний розроблений двигун (для літаків) перед запуском у серійне виробництво проходить серію випробувань (сертифікацію), серед яких є дослідження на екологічну безпечність, тому Міжнародна організація цивільної авіації (ІКАО) розробила жорсткі **норми на емісію авіаційних двигунів**.

Кількісною характеристикою викидів шкідливих речовин авіаційними двигунами є **індекс емісії EI**, який показує, скільки грамів даної шкідливої речовини викидається в повітря при спалюванні 1 кг пального в двигуні. Тобто,  $[EI=\text{г/кг}]$  існують  $EI_{CO}$ ,  $EI_{C_xH_y}$ ,  $EI_{NO_x}$  і т. ін.

Надалі, як приклад, будемо розглядати тільки ці три інгредієнти, оскільки вони найбільше забруднюють атмосферу, тому що викиди їх найвищі.

**EI** характеризує якість організації процесу згорання в камері згорання кожного зразка двигуна і тому пов'язаний з конструктивними і експлуатаційними характеристиками камери. Тому EI часто називають емісійною характеристикою двигуна.

Індекси емісії визначаються в процесі їх сертифікаційних випробувань. Вміст інгредієнтів CO та  $C_xH_y$  у відпрацьованих газах авіадвигунів обумовлений неповним згоранням палива в двигуні, а цей процес, в свою чергу, залежить від характеристики його параметрів згорання, тобто, величини коефіцієнта повноти згорання  $\eta$  та режиму роботи двигуна.

*Максимальна повнота згорання палива в двигуні має місце на розрахунковому режимі - злітному (режимі максимальної тяги двигуна). На цьому режимі сучасні двигуни мають  $\eta=0,97\dots 0,99$ , ( $\eta=1,0$  при абсолютно повному згоранні, чого в дійсності досягнути неможливо). На всіх інших режимах  $\eta$  нижча, тобто, повнота згорання менша, ( $\eta=0,75\dots 0,85$ ), у двигуна в*



атмосферу викидається більше продуктів неповного згорання (CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> та інших), і, відповідно, забруднення повітря збільшується.

*Вміст інгредієнта NO<sub>x</sub> у відпрацьованих газах авіадвигуна залежить від:*

- величини температури суміші в камері згорання (чим вона вища, тим більше утворюється NO<sub>x</sub>), а вона максимальна (2500...3000 K) на злітному режимі;
- часу перебування суміші в камері згорання (чим він більший, тим більше утворюється NO<sub>x</sub>), а це має місце на невеликих швидкостях літака.

Тобто, максимальний викид NO<sub>x</sub> має місце на злітному режимі двигуна і режимах, близьких до нього (при здійсненні зльоту літака і при наборі ним висоти польоту).

Під **зоною аеропорту** розуміють простір, обмежений висотою 1000 м і розмірами аеродрому.

Очевидно, що викид шкідливих речовин (тобто, емісія авіадвигуна) залежить від режиму його роботи і тривалості роботи на цьому режимі.

Таблиця 1 – Середньо-статистичні значення деяких параметрів сучасних авіадвигунів залежно від режимів роботи та їх тривалості (для великих аеропортів світу)

№ режиму	Назва режиму роботи двигуна	Відносна тяга $\bar{R}$	Тривалість режиму t, хв
1	Режим малого газу (холостий хід) при рулінні перед зльотом	0,07	15
2	Злітний режим	1	0,7
3	Режим набору висоти 1000м	0,85	2,2
4	Режим заходу на посадку	0,3	4
5	Режим малого газу (холостий хід) при рулінні після посадки	0,07	7

де R - тяга двигуна при заданому режимі.

З таблиці ми бачимо, що найбільш тривалим і небезпечним з екологічної точки зору є режим малого газу (відносна тяга складає 3...9% від її максимального значення). Такі мінімальні значення відносної тяги двигуна мають місце при рулінні перед зльотом і після посадки, а також під час прогрівання двигуна після запуску.

Визначаючи під час сертифікаційних випробувань індекси емісії шкідливих речовин на відповідних режимах роботи двигуна, знаходять **контрольний параметр емісії**

$\frac{M_i}{R_0} \left[ \frac{z}{\text{кН}} \right]$  випробуваного двигуна, по якому встановлені норми ІКАО. Цей параметр характеризує "ступінь шкідливості" двигуна.

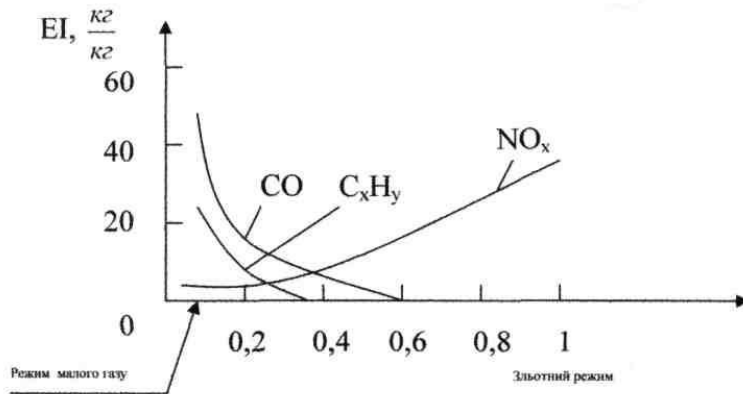
M<sub>i</sub> – маса в грамах і-тої шкідливої речовини (інгредієнта) за деякий визначений час роботи двигуна; R<sub>0</sub> – злітна тяга двигуна в кілоньютонах.

**Злітна тяга двигуна** - це тяга, що забезпечує підйом в повітря необхідної та встановленої для даного типу судна ваги.

**Норми ІКАО по контрольному параметру емісії для сучасних авіаційних двигунів:**

$$\frac{M_{CO}}{R_0} = 118 \frac{z}{\text{кН}}; \quad \frac{M_{C_xH_y}}{R_0} = 19,6 \frac{z}{\text{кН}}; \quad \frac{M_{NO_2}}{R_0} = (40 \dots 80) \frac{z}{\text{кН}}$$

**Залежність емісії шкідливих речовин від режиму роботи типового сучасного авіадвигуна**



### Практична частина

Емісія, тобто викиди забруднюючих речовин авіадвигунами, буде неоднаковою в зоні аеропорту і під час польоту по маршруту, так як двигуни в цих випадках працюють на принципово різних режимах.

Як видно з наведених таблиці і графіка, забруднення в зоні аеропорту є більш шкідливим (на маршруті значення відносної тяги лежить в межах 0,6-0,8). Крім того, локальне забруднення приземного шару повітря в зоні аеропорту, де працює багато людей, є більш концентрованим і стійким, ніж загальне забруднення верхніх шарів тропосфери на маршруті польоту, оскільки робота двигунів є стабільною на великих швидкостях, а забруднюючі речовини швидко розсіюються.

Тому розрахунок емісії (рівня забруднення) двигунами авіалайнерів в зоні аеропорту є більш важливим і ми приділимо йому більше уваги.

«Ступінь шкідливості» кожного авіадвигуна характеризується його контрольними

$$\frac{M_i}{R_0}$$

параметрами емісії за різними інгредієнтами –

Тобто, задача розрахунку емісії двигуна зводиться до визначення маси кожного інгредієнта, викинутого з двигуна за деякий визначений час його роботи, -  $M_i$  (бо  $R_0$  – тяга двигуна на злітному режимі - величина, відома з документації, зокрема, з формуляра двигуна).

Будемо розраховувати величини  $M_i$  для зони аеропорту, тобто  $M_i = M_{\text{зп}}$ , на тих режимах роботи і за той період часу його роботи, поки повітряне судно знаходиться в цій зоні з працюючими двигунами.

В зоні аеропорту повітряне судно здійснює **злітно-посадковий цикл**, який складається з таких етапів:

1. Запуск і прогрівання двигунів.
2. Руління на виконавчий старт.
3. Зліт.
4. Набирання висоти (1000 м).
5. Зниження з висоти (1000 м).
6. Пробіг.
7. Руління до зупинки двигунів.

Проте двигуни на кожному з цих етапів працюють також на принципово різних режимах. Тому, для зручності розрахунку, розділимо злітно-посадковий цикл повітряного судна на два види операцій:

- наземні операції ( $M_{\text{ін}}$ );
- злітно-посадкові операції ( $M_{\text{зп}}$ ). Тобто

$$M_{\text{зп}} = M_{\text{ін}} + M_{\text{зп}}$$

**Наземні операції** – це запуск двигунів, їх прогрівання, руління корабля перед зльотом і після посадки.

Головною характеристикою цих операцій (з точки зору розрахунку емісії авіадвигунів) є те, що двигуни повітряного корабля працюють на одному режимі - режимі малого газу (холостого ходу) – і за часом це самі тривалі операції в зоні аеропорту.

Визначення  $M_{i\text{ап}}$  (маси шкідливих інгредієнтів, які утворюються внаслідок викиду авіадвигунами в зоні аеропорту), ведеться за формулою:

$$M_{i\text{ап}} = K_{i\text{ап}} \cdot G_{\text{пн}} \cdot N \cdot n$$

де  $K_{i\text{ап}}$  – коефіцієнт викиду  $i$ -того інгредієнта під час наземних операцій,

Очевидно, що  $K_{i\text{ап}} = 10^{-3} \cdot EI_{i\text{ап}}$ . Тобто, це той же індекс емісії (за визначенням). Як і  $EI_{i\text{ап}}$ ,  $K_{i\text{ап}}$  визначається під час сертифікаційних випробувань двигунів (див. **табл. 2**).

$G_{\text{пн}}$  – маса пального (кг), витраченого двигуном повітряного судна під час наземних операцій злітно-посадкового циклу.

$$G_{\text{пн}} = C_{\text{питМГ}} R_{\text{МГ}} t_{\text{МГ}},$$

$C_{\text{питМГ}}$  – питома витрата пального під час роботи двигуна на режимі малого газу (наводиться в

формулярі двигуна як одна із його важливих технічних характеристик),  $\frac{\text{кг}}{\text{Н} \cdot \text{год}}$ .

$R_{\text{МГ}} = R_0 \cdot \bar{R}$  – тяга двигуна на режимі малого газу, Н.

$t_{\text{МГ}}$  – напрацювання двигуна на режимі малого газу за злітно-посадковий цикл, год (режими 1,5 в **табл. 1**);

$N$  – річна кількість зльотів-посадок усіх повітряних кораблів даного типу в аеропорту;

$n$  – кількість двигунів на даному типі ПК.

**Операції зліт-посадка** – це зліт, набирання висоти 1000 м, зниження з висоти 1000 м і посадка.

В цьому випадку для розрахунку емісії авіадвигунів повітряного судна, яке знаходиться в

повітрі, емісійною характеристикою є масова швидкість емісії  $W_{i, \left( \frac{\text{кг емісії}}{\text{год}} \right)}$ , (а не індекс емісії), яка показує, скільки даної шкідливої речовини виділяється на даному режимі роботи двигуна за одиницю часу.  $W_i$  також визначається під час сертифікаційних випробувань двигуна (див. **табл. 3**).

Визначення  $M_{i\text{з-п}}$  ведеться за формулою:

$$M_{i\text{з-п}} = (W_{i1} T_{1\text{з-п}} + W_{i2} T_{2\text{з-п}} + W_{i3} T_{3\text{з-п}}) \cdot N \cdot n,$$

де  $W_{i123}$  – масова швидкість емісії інгредієнтів і при відповідних режимах роботи двигуна

відповідно на зльоті, під час набору висоти 1000 м і під час зниження з висоти 1000 м,  $\frac{\text{кг}}{\text{год}}$ .

$T_{1,2,3}$  – режимне напрацювання двигуна відповідно на зльоті, під час набору висоти 1000 м та зниження з висоти 1000 м (див. **табл. 1**).

На основі отриманої маси забруднюючої речовини в зоні аеропорту  $M_{i\text{ап}} = M_{i\text{ап}} + M_{i\text{з-п}}$ ,

розраховують контрольний параметр емісії двигуна  $\frac{M_i}{R_0}$  (де  $M_i$  – маса забруднюючої речовини, що викидається одним двигуном ПК, г/год;  $R_0$  – злітна тяга двигуна, кН) і порівнюють його з нормами ІСАО, роблячи висновок про відповідність даного двигуна сучасним екологічним вимогам з емісії у відношенні даного інгредієнта.

Таблиця 2 – Індеси емісії CO і NO<sub>2</sub> під час наземних операцій авіадвигунів різних типів (кілограм шкідливої речовини/кілограм палива)

№ варіанта	Тип ПК	Максимальна тяга двигуна R <sub>0</sub> , кН	Тип авіадвигуна	Кількість двигунів, <i>n</i>	С <sub>ПВИТМГ</sub> , кг/Н·год	<i>k</i>	
						CO	NO <sub>x</sub>
1	АН-124	68	Д-30-П	2	0,059	0,0276	0,0067
2	АН-24	65	Д-36	3	0,037	0,0193	0,0084
3	EMB145	115	Д-30КУ	3	0,049	0,0546	0,0054
4	АН-148	115	Д-30КУ	4	0,049	0,0546	0,0054
5	A320	115	Д-30КП	4	0,049	0,0546	0,0054
6	B737	105	НК-8-2У	3	0,061	0,0312	0,0049
7	АН-70	105	НК-8-2У	3	0,061	0,0312	0,0049
8	АН-132	105	НК-8-4	4	0,046	0,0277	0,0055
9	B777	15	AI-25	3	0,039	0,1457	0,0022
10	A350	15	AI-25 бездимною камерою згорання	3	0,039	0,0814	0,0146

Таблиця 3 – Масові швидкості емісії CO і NO<sub>x</sub> двигунів повітряних кораблів різних типів

№ варіанта	Тип повітряного корабля	Кількість рейсів на рік, <i>N</i>	Відносна тяга $\bar{R}$ відповідного режимів (2, 3, 4)	Масові швидкості емісії <i>M<sub>i</sub></i> , кг/год	
				CO	NO <sub>x</sub>
1	АН-124	40	1 0,85 0,3	5,5 5,5 6,0	80 50 10
2	АН-24	80	1 0,85 0,3	0,2 0,2 0,3	96 59 10
3	EMB145	100	1 0,85 0,3	6,0 7,5 18,0	89 61 11
4	АН-148	85	1 0,85 0,3	6,0 7,5 18,0	89 61 11

5	A320	85	1 0,85 0,3	6,5 7,5 18,0	95 61 11
6	B737	90	1 0,85 0,3	12,2 10,2 19,1	104 76 12
7	АН-70	75	1 0,85 0,3	12,2 10,2 19,1	104 76 12
8	АН-132	120	1 0,85 0,3	12,5 11,0 20,5	110 65 10
9	B777	140	1 0,85 0,3	7,9 10,4 17,0	9,2 4,5 1,6
10	A350	60	1 0,85 0,3	3,1 4,5 6,5	9,5 6,0 1,5

#### Контрольні питання:

1. Охарактеризувати основний склад відпрацьованих газів (інгредієнтів) сучасних авіаційних двигунів, які забруднюють атмосферу.
2. Дати характеристику злітної тяги двигуна.
3. Що розуміють під зоною аеропорта?

### РОЗДІЛ №3 «ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ ТА ПРАВОВІ АСПЕКТИ ЕКОЛОГІЇ»

#### Практичне заняття №3.1

**Тема:** «Розрахунок еколого-економічних збитків забруднення навколишнього природного середовища»

**Мета:** розглянути методику розрахунку еколого-економічних збитків забруднення навколишнього природного середовища.

#### Теоретичні відомості

Викиди та скиди забруднюючих речовин в навколишнє середовище призводить до погіршення якості земель, вод, надр, рослинного і тваринного світу, до погіршення здоров'я людини. Як наслідок – це призводить до збитків.

Згідно з Законом України «Про охорону навколишнього середовища» одним із засобів охорони довкілля є стягнення плати за забруднення природного середовища і погіршення якості природних ресурсів та компенсації шкоди, заподіяної порушенням законодавства про охорону природного середовища.

Так, тільки при забрудненні атмосферного повітря фахівці вирізняють економічні, соціально-економічні, соціальні та екологічні збитки.

Платежі за викиди й скиди забруднюючих речовин і розміщення відходів у природному середовищі стягують із підприємств незалежно від форм власності.

Ліміт на викиди та скиди забруднюючих речовин та інші види шкідливого впливу встановлюються Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України. Стягнення

платежів не звільняє від відшкодування збитків, завданих порушенням чинного законодавства про охорону природного середовища.

Ліміти викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами визначають для підприємств, установ, організацій з урахуванням гранично -допустимих обсягів викидів і зазначають обсяг викидів забруднюючих речовин по кожному компоненту. Ліміти викидів для підприємств також встановлює Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України у формі видачі дозволів на викиди.

Базові нормативи плати ( $H_{\delta i}$ ) за забруднення навколишнього природного середовища, затвердженні Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України, залежать від токсичності ЗР, наприклад 1 т аміаку має  $H_{\delta i} = 10$  грн.

Під час розрахунків за забруднення природного середовища стаціонарними джерелами ЗР мають базовий норматив плати ( $H_{\delta i}$ ), який залежить від добової ГДК.

Для речовин, що не мають затвердженої середньої ГДК, базові нормативи плати беруть залежно від класу небезпечності забруднюючих речовин.

Таблиця 6.1 – Залежність нормативу плати від класу небезпечності викидів

Клас небезпечності забруднюючих речовин	Норматив базової плати $H_{\delta i}$ , грн./т
I клас	381,0
II клас	87,0
III клас	13,0
IV клас	3,0

Для забруднюючих речовин, на які не встановлені класи небезпечності, за норматив плати беруть величину, що дорівнює  $H_{\delta i}$  забруднюючих речовин I класу.

Для пересувних джерел забруднення атмосфери викидами забруднюючих речовин норматив базової плати залежить від виду пального:

Таблиця 6.2 – Норматив плати залежно від виду пального

Вид пального	Базовий норматив плати $H_{\delta i}$ , грн./т
Дизельне паливо	3
Бензин етильований	4
Бензин неетильований	3
Зріджений газ	4
Стиснений природний газ	2

*Приклад 1.* Обчислити платежі за викиди в атмосферу забруднюючих речовин пересувними джерелами забруднення (спецавтотранспортом). Річний обсяг використання дизельного пального і бензину двигунами спецавтотранспорту 750 т і 600 т відповідно.

Розв'язання:

Платежі  $\Pi_{\text{вп}}$  за викиди в атмосферу ЗР спецавтотранспортом розраховують за формулою (1):

$$\Pi_{\text{вп}} = \sum_{i=1}^n (M_i H_{\delta i} K_{\text{нас}} K_{\phi}),$$

де  $M_i$  – кількість використаного пального  $i$ -того виду, т;

$H_{\delta i}$  - норматив збору за 1 т  $i$ -того пального, грн./т(таб.2);

$K_{\text{нас}}$  – коригувальний коефіцієнт, враховує кількість жителів населеного пункту(таб.3);

$K_{\phi}$  – коригувальний коефіцієнт, що враховує народногосподарське значення населеного пункту (табл. 6.4).

Таблиця 6.3 – Коефіцієнт, що встановлюється залежно від кількості жителів населеного пункту

Кількість населення	Коефіцієнт	Кількість населення	Коефіцієнт
До 100 000	1	500001 – 1000000	1,55
100001 – 250000	1,2	Понад 1000000	1,8
250001 - 500000	1,55		

Таблиця 6.4 – Коефіцієнт, що встановлюється залежно від народногосподарського значення населеного пункту.

Тип населеного пункту	Коефіцієнт
Організаційно-господарські та культурно-побутові центри місцевого значення з переважанням аграрно-промислових функцій (районні центри, селища, села).	1
Багатофункціональні центри, центри з переважанням промислових і транспортних функцій (обласні центри, республіканські центри, міста державного, республіканського, обласного значення).	1,25
Населенні пункти, віднесені до курортних	1,65

Платежі за використання 750 т дизельного пального та 600 т бензину становлять:

$$P_{\text{вп}} = (750 * 3 + 600 * 4) * 1,8 * 1,65 = 13\,950 \text{ грн.}$$

За отриманими результатами аналізуємо клас небезпечності забруднюючих речовин (табл.6.1) 13 950 грн : 750 т = 18,6 грн/т (II клас небезпечності)

13 950 грн : 600 т = 23,25 грн/т (II клас небезпечності) та формуємо висновки.

**Задача.** Розрахувати платежі за викиди в атмосферу забруднюючих речовин пересувними джерелами, якщо річний обсяг використання дизельного пального становить 940 т, стисненого природного газу - 630 т, бензину – 360 т

Таблиця варіантів 6.5

Варіант	Місто	Чисельність населення
1	Олександрівка	35000
	Гайворон	47000
	Кропивницький	227000
2	Косарі	17000
	Сміла	65000
	Черкаси	270000
3	Городище	13000
	Тернопіль	216000
	Кривий Ріг	640000
4	Олександрівка	32000
	Олександрія	157000
	Миколаїв	370000
5	Попасна	12000
	Лугова	43000
	Харків	1600000
6	Софіївка	17000
	Кам'янське	340000
	Дніпро	1000000
7	Світловодськ	31000
	Миргород	60000
	Полтава	520000
8	Чигирин	18000
	Лубни	75000
	Суми	280000
9	Кривий Ріг	640000
	Софіївка	17000
	Дніпро	997000
10	Олександрівка	20000
	Чигирин	17000
	Кропивницький	270000
11	Софіївка	18000
	Кам'янське	300000
	Дніпро	996000
12	Нікополь	116000

	Зеленодольськ Кривий Ріг	13000 640000
13	Моршин Лугова Харків	6000 45000 1419000
14	Олександрівка Гайворон Скадовск	30000 43000 17000
15	Трускавець Миргород Полтава	35000 70000 650000
16	Олександрівка Кременчук Жовті Води	35000 219000 44000
17	Косарі Конотоп Прилуки	17000 85000 54000
18	Шостка Павлоград Кривий Ріг	74000 109000 640000
19	Коростень Олександрія Миколаїв	63000 15700 370000
20	Попасна Лугова Харків	12000 43000 1419000
21	Софіївка Золотоноша Дніпро	17000 28000 996000
22	Краматорськ Миргород Полтава	157000 60000 520000
23	Чигирин Лубни Суми	18000 75000 280000
24	Кривий Ріг Софіївка Первомайськ	640000 17000 64000
25	Олександрівка Чигирин Вознесенськ	20000 17000 34000
26	Софіївка Ізмаїл Бердянськ	18000 72000 114000
27	Біла Церква Маріуполь Хмельник	204000 446000 27000
28	Вінниця Чернігів Херсон	371000 285000 289000
29	Івано-Франківськ Луцьк Житомир	230000 214000 267000
30	Львів Луганськ Полтава	722000 410000 284000



### Контрольні питання:

1. Для речовин, що не мають затвердженої середньої ГДК, базові нормативи як беруть плату?
2. Охарактеризувати, хто встановлює ліміт на викиди?
3. До чого призводять викиди та скиди забруднюючих речовин в навколишнє середовище?

### Практичне заняття №3.2

**Тема:** «Визначення концентрації шкідливих речовин у повітрі»

**Мета:** Навчитись розраховувати значення концентрації шкідливих речовин у повітрі

### Теоретична частина

Важливими величинами, які характеризують вплив шкідливих речовин на живі організми (передусім людину) є гранично допустимі концентрації цих речовин в повітрі. ГДК шкідливих речовин у повітрі бувають трьох видів: максимально разова ГДК<sub>МР</sub>, середньодобова ГДК<sub>СД</sub> і робочої зони ГДК<sub>РЗ</sub>. Ці величини мають різну мету (ГДК<sub>МР</sub> і ГДК<sub>СД</sub> встановлюються для населених міст) і при їх розрахунку враховують стан здоров'я людей, що піддаються дії шкідливої речовини та тривалість дії забруднюючих речовин на організм людини. Значення ГДК деяких шкідливих речовин в повітрі наведено в табл.1.

Таблиця 1

Забруднююча речовина	ГДК, мг/ м <sup>3</sup>		
	ГДК <sub>МР</sub>	ГДК <sub>СД</sub>	ГДК <sub>РЗ</sub>
Пил нетоксичний, цемент	0,5	0,15	5,0
Діоксид сульфуру (SO <sub>2</sub> )	0,5	0,05	1,0
Діоксид нітрогену (NO <sub>2</sub> )	0,085	0,04	2,0
Оксид карбону (CO)	5,0	3,0	20,0
Сірководень (H <sub>2</sub> S)	0,03	0,005	-
Аміак	0,2	0,04	5,0
Кіптява	0,15	0,05	3,0
Сполуки плюмбуму	0,03	0,0003	0,05
Фенол	0,01	0,003	0,3
Формальдегід	0,035	0,003	0,5
Метиловий спирт (метанол)	1,0	-	5,0
Бензен	1,5	0,3	15,5
Бенз(а)пірен	-	0,000001	-

**Приклад.** Чи буде небезпечною для людини короткочасна сумарна дія діоксиду сульфуру і діоксиду нітрогену, якщо вони містяться у повітрі відповідно у таких концентраціях:

$$C(\text{SO}_2) = 0,3 \text{ мг/ м}^3; C(\text{NO}_2) = 0,06 \text{ мг/м}^3?$$

Діоксиди сульфуру і нітрогену мають однонапрямлену дію, тому сумарну їх дію на організм людини оцінюють за значенням безрозмірного коефіцієнту g.

Розраховуємо величину g:

$$g = C_1/(\text{ГДК}_1) + C_2/(\text{ГДК}_2) = 0,3/0,5 + 0,06/0,085 = 0,6 + 0,7 = 1,3$$

Розраховане значення g > 1, з чого можна зробити висновок, що сумарна дія зазначених сполук в таких концентраціях буде небезпечною для людини.

### Завдання 1

Обчисліть, чи буде небезпечною для людини короткочасна (максимально разова) сумарна дія діоксиду сульфуру і діоксиду нітрогену, якщо вони містяться у повітрі відповідно у таких концентраціях.

Обчислення необхідно проводити за даними таблиці 2 (за Вашим варіантом).

### Завдання 2

Обчисліть, чи буде небезпечною для людини в робочій зоні сумарна дія фенолу і бензену, якщо вони містяться у повітрі відповідно у таких концентраціях

Обчислення необхідно проводити за даними таблиці 2. (за Вашим варіантом).

### Завдання 3

Обчисліть, чи буде небезпечною для людини середньодобова сумарна дія пилу нетоксичного, цементу і сірководню, якщо вони містяться у повітрі відповідно у таких концентраціях

Обчислення необхідно проводити за даними таблиці 2. (за Вашим варіантом).

Таблиця 2

Варіант	концентрація діоксиду сульфуру С (SO <sub>2</sub> )	концентрація діоксиду нітрогену С (NO <sub>2</sub> )	концентрація фенолу	концентрація бензену	концентрація пилу нетоксичного, цементу	концентрація сірководню
1	0,44	0,03	0,02	13,5	0,27	0,12
2	1,2	0,02	0,10	12,3	1,65	0,56
3	1,7	0,91	0,67	1,8	1,78	0,26
4	0,15	0,31	0,22	0,9	2,67	0,02
5	0,26	0,23	0,01	3,5	3,79	0,06
6	0,6	0,01	0,08	12,3	5,47	0,36
7	0,9	0,08	0,04	3,67	3,62	0,22
8	0,45	0,03	0,76	3,89	0,13	0,01
9	0,7	0,83	0,22	6,89	1,78	0,08
10	1,6	0,05	0,03	5,90	3,65	0,03
11	0,89	0,04	0,08	2,78	2,89	0,83
12	2,5	0,17	0,05	3,52	3,54	0,05
13	1,6	0,14	0,31	0,37	0,11	0,04
14	0,99	0,34	0,02	0,84	2,67	0,17
15	0,67	0,54	0,06	1,78	1,71	0,14
16	0,45	0,37	0,34	0,59	0,47	0,34
17	3,6	0,07	0,21	5,83	0,81	0,54
18	1,7	0,08	0,15	4,67	0,99	0,37
19	2,6	0,05	0,17	8,22	1,84	0,07
20	0,36	0,03	0,23	14,7	1,70	0,08
21	0,5	0,09	1,02	1,89	1,72	0,03
22	0,23	0,03	1,08	0,95	1,90	0,02
23	0,44	0,12	0,09	0,48	0,85	0,91
24	1,83	0,23	0,03	6,77	0,92	0,31
25	2,43	0,45	1,02	8,43	1,67	0,23
26	2,54	0,87	1,05	9,54	4,32	0,01
27	0,33	0,65	0,03	11,9	2,87	0,08
28	0,42	0,02	0,01	16,7	6,32	0,03
29	0,68	0,09	0,34	12,8	3,67	0,59
30	0,59	0,01	0,08	0,46	1,59	0,06

### Контрольні питання:

1. Для речовин, які розраховані, відповідно до варіантів назвати ГДК і їх вплив на навколишнє середовище?
2. Охарактеризувати, шкідливі викиди і їх вплив на здоров'я людини?
3. Дати визначення ГДК?

### Практичне заняття №3.3

**Тема:** «Розрахунок забруднення атмосфери викидами одиночного джерела»

**Мета:** навчитись розраховувати максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини, відстань від джерела викидів, величину небезпечної швидкості вітру та величини концентрацій шкідливої речовини по осі факелу викиду на різних відстанях для випадку джерела з круглим гирлом.

#### Теоретична частина

1. Максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини  $C_M$  (мг/м<sup>3</sup>) при викиді газоповітряної суміші з одиночного джерела з гирлом у формі кола досягається за несприятливих метеорологічних умов на відстані  $X_M$ (м) від джерела та знаходиться за формулою:

$$C_M = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}$$

$A$  – коефіцієнт, який залежить від температурної стратифікації атмосфери;

$M$  (г/с) – маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу за одиницю часу;

$F$  – безрозмірний коефіцієнт, який враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосферне повітря;

$m, n$  – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду;

$H$  (м) – висота джерела викиду над рівнем землі (для наземних джерел при розрахунках приймається  $H=2$  м);

$\eta$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості; у випадку рівної або слабопересіченої місцевості з перепадом висот, які не перевищують 50 м на 1 км,  $\eta = 1$ ;

$\Delta T$  (°C) – різниця між температурою газоповітряної суміші  $T_p$ , що викидається та температурою оточуючого атмосферного повітря  $T_B$ ;

$V_1$  (м<sup>3</sup>/с) – витрати газопилової суміші, які визначаються за формулою:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \omega_0,$$

$D$ (м) – діаметр гирла джерела викиду;

$\omega_0$  (м/с) – середня швидкість виходу газопилової суміші з гирла джерела викиду.

2. Значення коефіцієнту  $A$ , що відповідає несприятливим метеорологічним умовам, при яких концентрація шкідливих речовин в атмосферному повітрі максимальна, приймається рівним:

а) 200 – для європейської території СНГ: для районів Росії південніше 50<sup>0</sup> с.ш., для інших районів Нижнього Поволжя, Кавказу, Молдавії; для Казахстану, Дальнього Сходу та іншої території Сибірі та Середньої Азії;

б) 180 – для європейської території СНГ і Уралу від 50 до 52<sup>0</sup> с.ш. за виключенням підпадаючих в цю зону приведених вище районів і України;

в) 160 – для європейської території СНГ та Уралу північніше 52<sup>0</sup> с.ш., а також для України (для розташованих на Україні джерел висотою менш 200 м в зоні від 50 до 52<sup>0</sup> с.ш. – 180, південніше 50<sup>0</sup> с.ш. – 200).

3. Значення потужності викиду  $M$  (г/с) та витрати газопилової суміші  $V_1$ (м<sup>3</sup>/с) при проектуванні підприємств визначається розрахунком в технологічній частині проекту або приймається в відповідності з нормативами.

4. При визначенні значення  $\Delta T$  (°C) слід прийняти температуру оточуючого атмосферного повітря  $T_B$  (°C), рівною середній максимальній температурі зовнішнього повітря найбільш жаркого місяцю року по СНІП 2.01.01-82, а температуру газопилової суміші  $T_p$  (°C), яка викидається в атмосферу, – за діючими для даного підприємства технологічними нормативами.

5.Значення безрозмірного коефіцієнту  $F$  приймається:

а) для газообразних шкідливих речовин та мілкодисперсних аерозолей (пилу, золи і т.д., швидкість упорядкованого осідання яких практично дорівнює нулю) – 1;

б) для мілкодисперсних аерозолей (крім указаних в п.5а) при середньому експлуатаційному коефіцієнті очищення викидів не менш 90% – 2; від 75 до 90% – 2,5; менш 75% та при відсутності очищення – 3.

6. Значення коефіцієнтів  $m$  і  $n$  визначається в залежності від параметрів  $f$ ,  $V_M$ ,  $V_M'$  і  $f_e$  :

$$f = 1000 \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T};$$

$$V_M = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}};$$

$$V_M' = 1,3 \frac{\omega_0 \cdot D}{H};$$

$$f_e = 800(V_M')^3.$$

Коефіцієнт  $m$  визначається в залежності від  $f$  за формулою:  
якщо  $f < f_e$ , то

$$f < 100 \quad m = \frac{1}{0,67 + 0,4\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}};$$

$$f \geq 100 \quad m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}};$$

Коефіцієнт  $n$  при  $f < 100$  визначається в залежності від  $V_M$  за формулою:

$$n = 1 \quad \text{при } V_M \geq 2;$$

$$n = 0,53 V_M^2 - 2,13 V_M + 3,13 \quad \text{при } 0,5 \leq V_M < 2;$$

$$n = 4,4 V_M \quad \text{при } V_M < 0,5;$$

8. Відстань  $X_M$  (м) від джерела викидів, на якому приземна концентрація  $C$  (мг/м<sup>3</sup>) за несприятливих метеорологічних умов досягає максимального значення  $C_M$ , визначається за формулою:

$$X_M = \frac{5 - F}{4} \cdot dH;$$

де безрозмірний коефіцієнт  $d$  при  $f < 100$  знаходиться за формулами:

$$d = 2,48(1 + 0,28\sqrt[3]{f_e}) \quad \text{при } V_M \leq 0,5;$$

$$d = 4,95 \cdot V_M (1 + 0,28\sqrt[3]{f_e}) \quad \text{при } 0,5 < V_M \leq 2;$$

$$d = 7 \cdot \sqrt{V_M} (1 + 0,28\sqrt[3]{f_e}) \quad \text{при } V_M > 2.$$

При  $f > 100$  або  $\Delta T \approx 0$  значення  $d$  визначається за формулою:

$$d = 5,7 \quad \text{при } V_M' \leq 0,5;$$

$$d = 11,4 \cdot V_M' \quad \text{при } 0,5 < V_M' \leq 2;$$

$$d = 16\sqrt{V_M'} \quad \text{при } V_M' > 2.$$

9. Значення небезпечної швидкості  $U_M$  (м/с) на рівні флюгеру (звичайно 10 м від рівня землі), при якій досягається найбільше значення приземної концентрації шкідливих речовин  $C_M$  у випадку  $f < 100$  визначається за формулами:

$$U_M = 0,5 \quad \text{при } V_M \leq 0,5;$$

$$U_M = V_M \quad \text{при } 0,5 < V_M \leq 2;$$

$$U_M = V_M (1 + 0,12\sqrt{f}) \quad \text{при } V_M > 2.$$

При  $f \geq 100$  або  $\Delta T \approx 0$  значення  $U_M$  вираховується за формулами:

$$U_M = 0,5 \quad \text{при } V_M' \leq 0,5;$$

$$U_M = V_M' \quad \text{при } 0,5 < V_M' \leq 2;$$

$$U_M = 2,2 V_M' \quad \text{при } V_M' > 2.$$

10. При небезпечній швидкості  $U_M$  приземна концентрація шкідливих речовин  $C$  (мг/м<sup>3</sup>) в атмосфері по осі факелу викиду на різних відстанях  $X$  (м) від джерела викиду визначається за формулою:

$$C = S_1 \cdot C_M,$$

де  $S_1$  – безрозмірний коефіцієнт, який визначається в залежності від відношення  $X/X_M$  та коефіцієнта  $F$  за формулами:

$$S_1 = 3(x/x_M)^4 - 8(x/x_M)^3 + 6(x/x_M)^2 \quad \text{при } x/x_M \leq 1;$$

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13(x/x_M)^2 + 1} \quad \text{при } 1 < x/x_M \leq 8;$$

$$S_1 = \frac{x/x_M}{3,58(x/x_M)^2 - 35,2(x/x_M) + 120} \quad \text{при } F \leq 1,5 \text{ та } x/x_M > 8;$$

$$S_1 = \frac{1}{0,1(x/x_M)^2 + 2,47(x/x_M) - 17,8} \quad \text{при } F > 1,5 \text{ та } x/x_M > 8.$$

Для низьких та наземних джерел (висотою  $H$  не більш 10 м) при значеннях  $x/x_M < 1$  величина  $S_1$  замінюється на величину  $S_1^H$ , яка визначається в залежності від  $x/x_M$  та  $H$  за формулою:

$$S_1^H = 0,125(10 - H) + 0,125(H - 2)S_1 \quad \text{при } 2 \leq H < 10.$$

11. Розрахунки забруднення атмосфери при викидах газоповітряної суміші із джерела з прямокутним гирлом (шахти) проводяться по наведеним раніше формулам при середній швидкості  $\omega_0$  та значеннях  $D = D_E$  (м) і  $V_1 = V_{1E}$  (м<sup>3</sup>/с).

Середня швидкість виходу в атмосферу газопилової суміші  $\omega_0$  (м/с) визначається за формулою:

$$\omega_0 = \frac{V_1}{Lb},$$

де  $L$  (м) – довжина гирла;  $b$  (м) – ширина гирла.

Ефективний діаметр гирла  $D_E$  (м) визначається за формулою:

$$D_E = \frac{2Lb}{L + b};$$

Ефективні витрати викидаємої в атмосферу в одиницю часу газопилової суміші  $V_{1E}$  (м<sup>3</sup>/с), визначаються за формулами:

$$V_{1E} = \frac{nD_E^2}{4} \cdot \omega_0;$$

Примітка: для джерел з квадратним гирлом ( $L=b$ ) ефективний діаметр  $D_E$  дорівнює довжині сторони квадрата. В інших випадках розрахунки розсіювання шкідливих речовин проводять як і для викидів із джерел з круглим гирлом.

### Рішення:

Розрахунок приземних концентрацій шкідливих домішок в атмосфері на базі методик ОНД-86.

Розрахувати максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини, відстань від джерела викидів, на якій при несприятливих метеорологічних умовах вона досягається, величину небезпечної швидкості вітру та величини концентрацій шкідливої речовини по осі факелу викиду на різних відстанях для випадку джерела з круглим гирлом.

Технічні характеристики джерела слідуючи:

а) місце розташування – Дніпропетровська область;

- б) речовина, яка викидається – зола;
- в) потужність викиду – 1г/с;
- г) витрати газопилової суміші – 5 м<sup>3</sup>/с;
- д) нагрів викиду в порівнянні з повітрям – 20 °С;
- е) діаметр гирла джерела – 0,5 м;
- ж) висота джерела – 7,5 м.

1. Визначається максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини, яку спостерігали при несприятливих метеорологічних умовах.

Вибираємо значення коефіцієнту, що залежить від від температурної стратифікації атмосфери. Виходячи з географічного місця розташування джерела  $A = 200$ .

Значення безрозмірного коефіцієнту  $F$  (коефіцієнти упорядкованого осідання) приймається рівним 1.

Середня швидкість виходу газоповітряної суміші з гирла джерела:

$$\omega_0 = \frac{4 \cdot 5}{3,14 \cdot 0,5^2} = 25,4648 \text{ м/с}$$

Розраховуються проміжні коефіцієнти:

$$f = 1000 \frac{(25,4648)^2 \cdot 0,5}{(7,5)^2 \cdot 20} = 288,203$$

$$V_M = 0,65 \sqrt[3]{\frac{5 \cdot 20}{7,5}} = 1,5405$$

$$V'_M = 1,3 \frac{25,4648 \cdot 0,5}{7,5} = 2,207$$

$$f_e = 800 \cdot (2,207)^3 = 8599,9696$$

На їх основі визначаються основні коефіцієнти «m» і «n», які входять в формулу для розрахунку концентрації:

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} = 0,2244$$

$$n = 0,532 \cdot V_M^2 - 2,13 \cdot V'_M + 3,13 = 1,1112$$

Маючи в своєму розпорядженні всі необхідні величини можна визначити значення концентрації.

$$C_M = \frac{200 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,2244 \cdot 1,1112 \cdot 1}{7,5^2 \cdot \sqrt[3]{5 \cdot 20}} = \frac{10,725}{5625} = 0,1907 \text{ мг/м}^3$$

2. Визначення відстані від джерела, на якому приземна концентрація при несприятливих метеорологічних умовах досягає величини рівної  $C_M$  (свого максимального значення).

У випадку, що розглядається  $f > 100$  і  $V'_n > 2$ , тобто

$$d = 16 \cdot \sqrt{2,207} = 23,7696$$

А шукана відстань:

$$X_M = \frac{5-1}{4} \cdot 23,7696 \cdot 7,5 = 178,27$$

3. Визначається значення небезпечної швидкості, при якій досягається найбільше значення приземної концентрації шкідливої суміші.

$$V_M = 2,2 \cdot 2,207 = 4,8554 \text{ м/с}$$

4. При отриманій небезпечній швидкості визначається приземна концентрація шкідливих речовин в атмосфері по осі факелу на відстані 100 м, 200 м, 300 м, 500 м та 1000 м від джерела викиду.

$$\frac{X_{100}}{X_M} = \frac{100}{178,27} = 0,560947 \qquad \frac{X_{200}}{X_M} = \frac{200}{178,27} = 1,12198 \qquad \frac{X_{300}}{X_M} = \frac{300}{178,27} = 1,6828$$

$$\frac{X_{500}}{X_M} = \frac{500}{178,27} = 2,809 \qquad \frac{X_{1000}}{X_M} = \frac{1000}{178,27} = 5,6095$$

$$S_{100} = 3(0,560947)^4 - 8(0,560947)^3 + 6(10,560947)^2 = 0,7729366$$

$$S_{100}^H = 0,125(10 - 7,5) + 0,125(7,5 - 2) \cdot 0,7729366 = 0,843894$$

$$C_{100} = 0,843894 \cdot 0,1907 = 0,16093 \text{мг} / \text{м}^3$$

$$S_{200} = \frac{1,13}{0,13(1,1219)^2 + 1} = 0,971103$$

$$C_{200} = 0,971103 \cdot 0,1907 = 0,18519 \text{мг} / \text{м}^3$$

$$S_{300} = \frac{1,13}{0,13(1,6828)^2 + 1} = 0,82594$$

$$C_{300} = 0,82594 \cdot 0,1907 = 0,157507 \text{мг} / \text{м}^3$$

$$S_{500} = \frac{1,13}{0,13(2,809)^2 + 1} = 0,5578$$

$$C_{500} = 0,5578 \cdot 0,2907 = 0,10637 \text{мг} / \text{м}^3$$

$$S_{1000} = \frac{1,13}{0,13(5,6095)^2 + 1} = 0,022198$$

$$C_{1000} = 0,022198 \cdot 0,1907 = 0,00423 \text{мг} / \text{м}^3$$

#### Контрольні завдання:

1. Визначити максимальне значення  $C_m$ .
2. Визначити відстань від джерела  $X_m$ .
3. Визначити величину небезпечної швидкості вітру та величини концентрацій шкідливої речовини по осі факелу викиду на різних відстанях (100, 200, 300, 500, 1000).

#### Контрольні питання:

1. Які Ви знаєте шкідливі газоповітряні суміші?
2. Як визначається величина небезпечної швидкості вітру?
3. Як розрахувати максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини?
4. Як визначити відстань від джерела викидів, на яку розповсюджуються шкідливі речовини та величини їх концентрацій по осі факелу викиду на різних відстанях?

Показники	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Висота джерела, м (H)	200	150	100	50	20	60	40	25	15	10
Діаметр гирла джерела, м (D)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	2,0	1,5	1,0	1,5	0,75
Нагрів викиду в порівнянні з повітрям, °C, ΔT	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70
Витрати газопилової суміші, м³/сек	10	15	20	25	30	25	20	15	10	8
Потужність викиду, г/сек. (M)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12

Показники	Варіанти									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Висота джерела, м (H)	7,5	12	20	25	120	150	200	160	100	8
Діаметр гирла джерела, м (D)	2,0	1,75	0,75	2,5	1,5	0,75	2,8	2,5	2,0	1,0
Нагрів викиду в порівнянні з повітрям, °C, ΔT	65	75	80	90	85	95	100	110	120	125
Витрати газопилової суміші, м³/сек	5	10	15	20	25	30	35	40	15	8
Потужність викиду, г/сек. (M)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12

### Практичне заняття №3.4

**Тема:** «Визначення співвідношення енергії харчування, паливної та сонячної для певних регіонів»

**Мета:** з'ясувати уявлення про величини енергії, яку населення використовує як паливо, енергію Сонця, що досягає земної поверхні, яку населення має одержати із продуктами харчування.

#### Теоретична частина

Корисно спочатку обговорити деякі енергодовільні теми, які стосуються одночасно енергетики та захисту оточуючого середовища і часто повторюються. Це:

- порівняння обсягу енергії, що постійно використовується індустріальним суспільством, з фоновим рівнем сонячної радіації, яку ми одержуємо, та з мінімумом енергії, що є необхідною як їжа для виживання;
- кількістю палива, яке ми виробляємо, обробляємо та використовуємо;
- зміною ситуації з доступністю енергії;
- проблемами розповсюдження токсичних речовин, що супроводжує розвиток енергетики.

**Фонова сонячна радіація та енергетика харчування.** Комерційні витрати енергії суспільством можна порівняти з одержанням фонові сонячної та мінімальною необхідною енергією харчування, необхідною для виживання. На прикладі окремого регіону читач сам зможе за допомогою нескладних обчислень одержати типове співвідношення.

**Порядок проведення обчислень** продемонструємо таким прикладом.

Визначимо та порівняємо витрати енергії, або потужність потоку в одиницях [Дж, ГДж (Гігаджоуль) або В, ГВ] на рік на людину як паливо та їжу, а також сонячну радіацію для країни зі щільністю населення 20 меш./км<sup>2</sup> і площею 1 млн. км<sup>2</sup>, де як паливо витрачається 250 ГДж на мешканця за рік. Сонячна радіація, що досягає поверхні з Землі сягає 150 Вт/м<sup>2</sup>. Середній мешканець споживає їжі, що містить 2 тис. кілокалорій за добу. Зауважимо, що 1 кілокалорія = 4 182 Дж.

#### Рішення:

##### енергія палива:

$$\text{Повна енергія (Дж/рік)} = 250 \times 10^9 \text{ (Дж)} \times 20 \text{ (меш./км}^2\text{)} \times 10^6 \text{ км}^2 = 5 \times 10^{18} \text{ Дж/рік}$$

(Енергію звичайно обраховують у ватах = Дж/с)

$$E(\text{ват}) (365 \times 24 \times 3600) = 1. = 5 \times 10^{18} / (59 \times 10^{11}) \text{ Вт} = 159 \text{ ГВт}$$

$$\text{Ват/мешканець} = 1.59 \times 10^{11} / 20 \times 10^6 = 7950$$

##### сонячна енергія:

$$\text{Повна енергія (вати)} = 150 \text{ (Вт/м}^2\text{)} \times 10^6 \text{ (м}^2\text{/км}^2\text{)} \times 10^6 \text{ (км}^2\text{)} = 1,5 \times 10^{14} \text{ Вт} = 150,000 \text{ ГВт}$$

$$\text{Дж/рік} = 1,5 \times 10^{14} \text{ (Дж/с)} \times 3600 \text{ (с/год)} \times 24 \text{ (год/доба)} \times 365 \text{ (доба/рік)} = 4,7 \times 10^{21} \text{ Дж/рік}$$

$$\text{Ват/меш.} = 1,5 \times 10^{14} / 20 \times 10^6 = 7,5 \times 10^7$$

##### енергетика харчування:



$\text{Дж/рік} = 2\,000 \text{ (Ккал/добу} \cdot \text{ меш.)} \times 4182 \text{ (Дж/Ккал)} \times 365 \text{ (доба/рік)} \times 20 \times 10^6 \text{ (меш.)} = 6,1 \times 10^{16} \text{ Дж/рік}$   
 $= 1,94 \times 10^9 \text{ Дж/с} = 1,94 \text{ ГВт}$   
 $\text{Вт/меш.} = 1,94 \times 10^9 \text{ (Вт)}/20 \times 10^6 = 97$

Додаючи всі три складники, одержимо:

Енергія	Дж/рік	ГВт	Вт/меш.	Відношення	lg
Харчування	$6,1 \times 10^{16}$	1,94	97	1	1
Паливо	$5 \times 10^{18}$	159	7950	82	2,913
Сонце	$4,7 \times 10^{21}$	150 000	$7,7 \times 10^6$	77320	5,888

Зверніть увагу, на те, що, щільність популяції, розглянута в цьому прикладі ( $20 \text{ меш/км}^2$ ), є типовою для США, вона приблизно удвічі більша за щільність населення в колишньому СНД, але у чотири рази менша за щільність населення в Україні. Людські енергетичні потреби є дуже маленькі порівняно з сонячною радіацією, однак широке розсіювання (розведення) останньої створює великі перешкоди для її експлуатації. Вміст енергії у продуктах харчування є мізерним, порівнюючи з паливною енергією, хоч кожна людина генерує приблизно таку саму кількість тепла, що й електрична лампочка 100 вт.

Потреба у паливі приблизно у 80 раз більша за енергетичну потребу харчування, тобто людина індустріальної доби за своїм загальним енергетичним споживанням еквівалентна 80 предкам, що задовольнялися лише їжею.

Якщо враховувати збільшення щільності населення у 100 разів і більше (як то маємо в урбанізованих районах), то потоки паливної та сонячної енергії стають більш рівноцінними, особливо враховуючи низький потік інсоляції взимку. Як наслідок, спостерігаються і деякі кліматичні зміни. Наприклад, у великих містах часто тепліше за передмістя.

#### Контрольні питання:

1. Що входить до паливної енергії?
2. Як визначити енергію, яку Земля одержує від Сонця?
3. Як ви розумієте термін „енергетика харчування”?
4. Чому енергія палива набагато більша за енергію харчування?
5. У чому причина складності використання енергії сонячного опромінення?

#### Завдання

Визначити відносні значення (lg) енергій харчування, паливної та сонячної для наступних країн за таким даними:

В-т	Країна	Енергія Сонця, Вт/м <sup>2</sup>	Площа, тис.км <sup>2</sup>	Населення, тис.
1	Україна	140	600	49800
	Туреччина	200	780	37600
	Ізраїль	250	20	4000
2	Білорусія	100	180	8100
	Вірменія	190	150	15000
	ОАЕ	280	18	3500
3	Україна	140	600	48160
	Білорусія	100	180	7900
	Мозамбік	320	35	10500
4	Гонконг	290	30	55000
	Монголія	110	950	15000
	Естонія	80	80	4500
5	Україна	140	600	52000
	Туреччина	200	780	33000
	ОАЕ	280	18	3200
6	Ізраїль	250	20	4100
	Китай	170	1500	1500000
	Індонезія	300	50	130000

7	Вірменія	190	150	17000
	Грузія	180	170	22000
	Китай	170	1500	1500000
8	Україна	140	600	49000
	Узбекистан	210	220	17000
	Карелія	60	30	2500
9	Гонконг	290	30	55000
	Монголія	110	950	15000
	Естонія	80	80	4500
10	Україна	140	600	49000
	Туреччина	200	780	35000
	ОАЕ	280	20	3200
11	Білорусія	100	180	8200
	Вірменія	190	150	16000
	ОАЕ	280	18	3600
12	Україна	140	600	48160
	Білорусія	100	180	8000
	Мозамбік	320	35	10500
13	Україна	140	600	49800
	Туреччина	200	780	37600
	Ізраїль	250	20	4000
14	Україна	140	600	48500
	Узбекистан	210	220	17000
	Карелія	60	30	2500

### Практичне заняття №3.5

**Тема:** «Розрахунок необхідного ступеня очистки стічних вод перед їх скиданням у природні водні джерела»

**Мета:** навчитись розраховувати ступінь очистки стічних вод перед їх скиданням у природні водні джерела.

#### Теоретична частина

Перед скиданням стічних вод у природні водойми проводять розрахунок необхідного ступеня їх очистки за 7-ма основними показниками:

- нормативним показником вмісту шкідливих домішок;
- кількістю зважених речовин;
- допустимою величиною біологічного показника концентрації шкідливих речовин (БПК) у водоймищах та стічних водах;
- споживанням стічними водами розчиненого кисню;
- зміною реакції (рН) води водоймища;
- температурою води;
- забарвленням, запахом та вмістом солей у воді.

Крім того, у розрахункових зонах необхідно враховувати комплексний характер впливу шкідливих речовин на живі організми.

Розрахунок необхідного ступеня очистки стічних вод має важливе значення для інженерів-екологів, адже ці розрахунки дозволяють правильно обирати методи очистки стічних вод з врахуванням об'єму вод, ступеня очистки та фоновому стану водного джерела.

**Приклад.** Нагріті стічні води з температурою 60 °С і об'ємом 50 м<sup>3</sup>/год скидаються у літню пору в природну водойму, температура води якої складає 21 °С. Визначте необхідний ступінь охолодження стічних вод перед їх скиданням у водойми за умови, що максимальний коефіцієнт змішування складає 3.

Передусім визначаємо гранично допустиму температуру стічних вод з даних умов змішування:

$$T_{CT} \times V_{CT} + aT_B \times V = (aV + V_{CT}) \times T_{доп}, \text{ де}$$

$$T_{доп} = T_B + 3^{\circ}\text{C}.$$

$$T_{CT} = (aV + V_{CT}) \times T_{доп} - aT_B \times V / V_B = (3 \times 200000 + 50000) \times 24 - 3 \times 21 \times 200000 / 50000 = 51^{\circ}\text{C}$$

Далі розраховуємо необхідний ступінь охолодження стічної води перед її скиданням у природну водойму:

$$K_{ох} = (T_{\phi} - T_{CT}) / T_{\phi} = (60 - 51) / 60 \times 100\% = 15\%$$

Отже, необхідний ступінь охолодження стічної води перед її скиданням у природну водойму складає 15%.

Слід зазначити, що, якщо розраховане значення  $T_{CT}$  буде більшим за фактичну температуру стічної води ( $T_{\phi}$ ), немає необхідності охолодження стічної води перед її скиданням у водойми. Крім того, розрахунок допустимої температури води в місцях скиду стічної води ( $T_{доп}$ ), за виразом  $T_{доп} = T_B + 3^{\circ}\text{C}$ , справедливе лише в літню пору, коли температура води у водоймі ( $T_B$ ) наближається до максимальної.

### Завдання 1

Визначте необхідний ступінь охолодження стічних вод перед їх скиданням у водойми, з даними, запропонованими у Ваших варіантах. Обчислення необхідно проводити за даними таблиці 1 (за Вашим варіантом).

Таблиця 1

Варіант	T стічних вод, °C	Об'єм стічних вод (V), м³/год	T води, °C	коефіцієнт змішування	T стічних вод, °C	Об'єм стічних вод (V), м³/год	T води, °C	коефіцієнт змішування
1	33	47	19	1	56	56	23	2,6
2	56	67	17	2	75	45	18	4
3	45	59	18	3	56	68	20	2
4	78	48	21	4	48	58	19	1,9
5	67	58	23	5	63	47	23	4
6	65	51	25	1,5	64	54	17	2
7	39	59	24	2,7	90	61	19	2,7
8	59	52	21	3,7	89	59	20	2,2
9	72	63	22	2,6	78	48	17	2,9
10	74	54	26	4	71	58	18	3,6
11	87	78	23	2	47	51	21	4,5
12	56	67	18	1,9	58	59	23	5
13	75	56	20	4	67	52	25	3
14	56	45	19	2	49	63	24	1
15	48	68	23	2,7	43	54	21	2
16	63	58	17	2,2	39	78	22	3,7
17	64	47	19	2,9	37	67	26	2,6
18	90	54	20	3,6	67	56	23	4
19	89	61	17	4,5	49	57	18	2
20	78	59	18	5	43	63	25	1,9
21	71	48	21	3	39	54	24	4
22	47	58	23	1	37	78	21	2
23	58	51	25	2	68	67	22	4,3
24	67	59	24	3,7	66	56	26	1
25	49	52	21	2,6	46	45	19	2
25	43	63	22	4	33	68	17	3
26	39	54	26	2	56	58	18	4
27	37	78	23	1,9	45	63	21	5

28	68	67	18	4	78	68	23	3,1
29	66	56	20	2	67	72	25	3
30	46	57	18	4,3	65	76	21	4,1

#### **Контрольні питання:**

1. Перелічити основні показники очистки стічних вод.
2. Проаналізувати, чи вірно вибрані методи очистки стічних вод від хімічних речовин на прикладі власних розрахунків.

#### **4 Рекомендовані навчально-методичні матеріали**

1. Маленко Я.В., Ворошилова Н.В., Кобрюшко О.О., Перерва В.В. Загальна екологія: навчальний посібник. Кривий Ріг: КДПУ, 2023. 231 с.
2. Маленко Я.В., Ворошилова Н.В., Кобрюшко О.О. Проблеми фундаментальної екології: курс лекцій / за ред. Я.В. Маленко. Кривий Ріг: КДПУ, 2023. 195 с.
3. Маленко Я.В., Ворошилова Н.В., Перерва В.В., Поздній Є.В. Основи екології: практикум з навчальної дисципліни для здобувачів першого рівня вищої освіти спеціальності 014 Середня освіта (Біологія та здоров'я людини) / за ред. Я.В. Маленко. Кривий Ріг: КДПУ, 2023. 197 с.
4. Ракоїд О.О., Клепко А.В., Бондарь В.І. Загальна екологія. Навчально-методичний посібник для студентів ОС Бакалавр за напрямом підготовки 193 Геодезія та землеустрій. К.: НУБіП, 2023. 133 с.
5. Харченко Б.І., Харченко Н.Б., Харченко О.Б., Цимбалюк В.І. Екологія: Основи екології. Навчальний посібник. – Львів: Новий світ-2000, 2017. 233(3) с.