

3 ВИКОНАННЯ ЕКОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ

Розрахункова частина КР логічно пов'язана з аналітичною частиною, що відображається в індивідуальному завданні. Вид еколого-технологічних розрахунків визначається об'єктом досліджень.

3.1 Нормування забруднюючих речовин в атмосфері

Джерела забруднення атмосферного повітря поділяються на стаціонарні та пересувні. Стаціонарні джерела характеризуються сталими значеннями координат їх розміщення на місцевості, пересувні джерела – значенням швидкості їх пересування на місцевості. Розрахунки викидів в атмосферне повітря стаціонарними і пересувними джерелами відрізняються за своїми принципами.

Стаціонарні джерела можуть бути організованими та неорганізованими. Організовані джерела характеризуються наявністю обладнання відведення газів від джерела викиду в атмосферне повітря (димоходи, вентиляційне обладнання тощо). Від неорганізованих джерел забруднюючі речовини потрапляють в атмосферне повітря безпосередньо і переносяться завдяки атмосферним процесам.

Викиди стаціонарних джерел можуть бути холодними і гарячими. Температура холодних викидів дорівнює температурі повітря навколишнього середовища, до якого надходять викиди. Температура гарячих викидів вища за температуру повітря навколишнього середовища, до якого надходять викиди.

3.1.1 Якість атмосферного повітря

Нормативами якості повітря визначено граничні межі вмісту шкідливих речовин як у виробничій зоні (де розташовані промислові підприємства, дослідні виробництва, науково-дослідні інститути тощо), так і у селітебній зоні (призначена для розташування житлового фонду, громадських будівель і споруд населених пунктів тощо). Для більшості речовин, що забруднюють атмосферу, встановлено дві гранично допустимі концентрації – максимально разова та середньодобова [8-16].

Гранично допустима концентрація максимально разова ($ГДК_{\text{мр}}$), яка не спричиняє рефлекторних реакцій в організмі людини при диханні повітрям упродовж 20 хв. Значення $ГДК_{\text{мр}}$ використовують при встановленні науково-технічних нормативів гранично допустимих викидів ($ГДВ$) забруднюючих речовин. У результаті розсіювання шкідливих домішок у повітрі за несприятливих метеорологічних умов на межі санітарно-захисної зони підприємства концентрація шкідливої речовини в будь-який момент часу не має перевищувати $ГДК_{\text{мр}}$.

Гранично допустима концентрація середньодобова ($ГДК_{\text{сд}}$) – концентрація шкідливої речовини в повітрі населених пунктів, яка не чинить на

Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Курсове проектування: навчальний посібник. Навчальний посібник / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С.М. Кватернюк, В.А. Іщенко, П.М. Турчик. – Вінниця: ВНТУ, 2015.– 112 с.

людину прямого або опосередкованого впливу при необмежено тривалому споживанні людиною повітря.

При забрудненні атмосфери речовинами, для яких ГДК не визначено, МОЗ встановлює орієнтовно безпечні рівні впливу (ОБРВ), які визначають розрахунковим шляхом.

Гранично допустима концентрація шкідливої речовини в повітрі населених пунктів ($ГДК_{нп}$ - це максимальна концентрація домішки, віднесена до періоду усереднення, що при періодичному впливі або впродовж всього життя людини не здійснює на неї шкідливого впливу, включаючи віддалені наслідки).

Гранично допустима концентрація шкідливої речовини в повітрі робочої зони ($ГДК_{рз}$ - це концентрація, за якої при щоденній (окрім вихідних днів) роботі впродовж 8 год (або іншій тривалості робочого дня, однак не більше 41 год на тиждень), впродовж усього робочого стажу працівника не повинно бути захворювань або відхилень у стані його здоров'я, спричинених дією шкідливої речовини, які можуть бути виявлені сучасними методами досліджень та діагностики у процесі роботи чи в інші терміни життя сучасного або наступних поколінь [8, 14].

ГДК для територій підприємств ($ГДК_{тп}$) приймають рівною $0,3ГДК_{рз}$. Природно, що $ГДК_{тп} < ГДК_{рз}$. В останньому випадку йдеться про обмежене перебування людини в забрудненій зоні, тоді як $ГДК_{тп}$ визначає безпечне перебування людини впродовж необмеженого часу вдихання забруднюючої речовини. В умовах великих міст (з населенням понад 200 тис. чол.) та курортів $ГДК_{мр} = 0,8 ГДК_{тп}$.

3.1.2 Оцінювання стану повітряного середовища

Для оцінювання стану повітряного середовища в цілому запропоновано низку комплексних показників забруднення атмосфери (сумісно з кількома забруднюючими речовинами). Найпоширенішим є індекс забруднення атмосфери (ІЗА), який позначають I_i . ІЗА кількісно характеризує рівень забруднення окремою домішкою (забруднюючою речовиною), що враховує різницю в швидкості зростання ступеня шкідливості речовин, приведенного до ступеня шкідливості діоксиду сірки, зі зростанням підвищення $ГДК_{сді}$.

$$I_i = \left(\frac{C_{сер}}{ГДК_{сді}} \right)^{a_i}, \quad (3.1)$$

де I_i - одиничний індекс забруднення для i -ої речовини;

$C_{сер}$ - середня концентрація в повітрі i -ої речовини;

$ГДК_{сді}$ - гранично допустима концентрація середньодобова для i -ої речовини;

a_i - безрозмірна константа при-₁ведення ступеня шкідливості i -ої Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Курсове проектування: навчальний посібник. Навчальний посібник / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С.М. Кватернюк, В.А. Іщенко, П.М. Турчик. – Вінниця: ВНТУ, 2015.– 112 с.

речовини до шкідливості діоксиду сірки, яка залежить від того, до якого класу небезпечності належить забруднююча речовина.

Усі нормовані речовини поділені на класи небезпечності (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Класи небезпечності нормованих речовин

Клас небезпечності	Ступінь небезпечності	Величина ГДК, мг/м ³	a_i
I	Надзвичайно небезпечні	<0,1	1,7
II	Високонебезпечні	0,1-1,0	1,3
III	Помірнонебезпечні	1,0-10,0	1,0
IV	Малонебезпечні	> 10,0	0,9

Середнє арифметичне значення концентрації домішки - середньодобові, середньомісячні, середньорічні, середні багаторічні концентрації забруднюючих речовин (c_i) визначаються за формулою

$$C_{сер} = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{n}, \text{ мг/м}^3 \quad (3.2)$$

де n - кількість разових концентрацій, що були визначені за відповідний період.

Комплексний індекс забруднення атмосферного повітря (КІЗА) $I_{КІЗА}$ - це кількісна характеристика рівня забрудненості атмосфери, що створюється n речовинами, присутніми в атмосферному повітрі. Його розраховують як суму нормованих за $ГДК_{сд}$ і приведених до концентрації діоксиду сірки середнього вмісту різних шкідливих речовин

$$I_{КІЗА} = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_{сер}}{ГДК_{сдi}} \right)^{a_i} \quad (3.3)$$

3.1.3. Сумарна допустима концентрація забруднюючих речовин в атмосферному повітрі

Існують три основні типи комбінованої дії хімічних речовин:

- 1) синергізм, коли одна речовина посилює дію іншої;
- 2) антагонізм, коли одна речовина послаблює дію іншої;
- 3) адитивна дія, коли дія речовин у комбінації підсумовується.

У разі наявності в атмосферному повітрі кількох забруднюючих речовин, що мають здатність до сумарної дії, їх сумарно допустима концентрація має відповідати умові

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1, \quad (3.4)$$

де C_1, C_2, C_n - фактичні концентрації речовин в атмосферному повітрі при одночасному відбиранні проб в одній місцевості, мг/м³;

$ГДК_1, ГДК_2, ГДК_n$ – гранично допустимі концентрації цих речовин в атмосферному повітрі, мг/м³.

У табл. 3.2 наведено ГДК деяких найпоширеніших шкідливих речовин в атмосферному повітрі. Навіть з цього невеликого переліку видно, що нижня межа токсичності шкідливих речовин, тобто їх ГДК дуже відрізняється.

Таблиця 3.2 – Гранично допустимі концентрації деяких шкідливих речовин у повітрі населених пунктів, мг/м³

Речовина	$ГДК_{сд}$	$ГДК_{мр}$	К
Тверді речовини (пил)	0,15	0,2	3
Двоокис сірки	0,05	0,5	1,0
Двоокис азоту	0,04	0,085	0,8
Оксид азоту	0,06	0,4	1,2
Оксид вуглецю	3,0	5,0	60
Аміак	0,04	0,2	0,8
Хлористий водень	0,2	0,2	4,0
Ціанистий водень	0,01	-	0,2
Оксид кадмію	0,001	-	0,02
Свинець	0,0003	0,03	0,005
Сірководень	0,005	0,03	0,1
Бенз(а)пірен	0,000001	-	0,00002
Фенол	0,003	0,01	0,06
Формальдегід	0,003	0,035	0,06
Фтористий водень	0,005	0,2	0,1

Примітка. $K = \frac{ГДК_{сд}^{реч}}{ГДК_{сд}^{SO_2}}$,

де $ГДК_{сд}^{реч}$ - гранично допустима концентрація середньодобова забруднюючої речовини; $ГДК_{сд}^{SO_2}$ - гранично допустима концентрація середньодобова SO₂.

На територіях, що посилено охороняють, встановлюють жорсткіші вимоги – ГДК має бути зменшено на 20%.

Останнім часом зростає кількість відомостей про вплив забруднюючих речовин на біоту, у тому числі атмосферних домішок на рослинність. Дослідники пропонують встановити гранично допустимі концентрації для деяких видів забруднюючих речовин, аби використовувати ці нормативи для оцінювання збитків і обмеження шкідливого впливу на природні об'єкти, що охороняються, наприклад, заповідні території (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – ГДК забруднюючих речовин в атмосферному повітрі для рослин

Назва забруднюючої речовини	Для рослин у цілому (максимально разові)	Для деревних порід	
		Максимально разові	середньодобові
Діоксид сірки	0,02	0,03	0,015
Аміак	0,05	0,1	0,04
Бензол	0,1	0,1	0,05
Хлор	0,25	0,025	0,015
Сірководень	0,02	0,008	0,008
Формальдегід	0,02	0,02	0,003
Пил цементний	-	0,02	0,05
Метанол	0,2	0,2	0,1

Однак широке використання чутливості рослин використовують лише в біологічному моніторингу. Екологічне нормування стану атмосферного повітря на практиці майже не реалізується (можливо через те, що атмосфера є, по суті, системою Лоренцо, тобто системою, чутливою до вихідних, миттєвих параметрів).

Приклад 1. Визначити допустиму концентрацію оксиду вуглецю за умов сумарної дії його з оксидом сірки та сірководнем, зробити відповідні висновки. Дані для розрахунків: концентрація оксиду сірки в повітрі житлової зони становить 0,015; а концентрація сірководню 0,002 мг/м³.

$GDK_{CD}^{реч}$ для SO₂, H₂S та CO наведено в табл. 3.2.

Розв'язання. Формула для визначення допустимої концентрації оксиду вуглецю в атмосферному повітрі набуде такого вигляду

$$C_{CO} = \left[1 - \left(\frac{C_{SO_2}}{GDK_{CD\ SO_2}} + \frac{C_{H_2S}}{GDK_{CD\ H_2S}} \right) \right] GDK_{CD\ CO}.$$

Визначаємо допустиму концентрацію оксиду вуглецю у повітрі житлової зони:

$$C_{CO} = \left[1 - \left(\frac{0,015}{0,05} + \frac{0,002}{0,005} \right) \right] 3 = 0,9 \text{ мг/м}^3.$$

Висновок. З розрахунків видно, що з урахуванням сумарної дії кількох шкідливих компонентів повітря, концентрація оксиду вуглецю не повинна перевищувати 0,9 мг/м³, що значно нижче за його GDK_{CD} .

3.1.4 Визначення максимального значення приземної концентрації шкідливої речовини

Моделювання процесів техногенного забруднення атмосфери відіграє велику роль при проектуванні нових і реконструкції діючих підприємств, тому що при викидах в атмосферу забруднювачів важливо заздалегідь знати максимальне значення приземної концентрації. Це дає можливість забезпечити своєчасне очищення викидів і дозволяє знизити рівень забруднення атмосфери.

Максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини при викиді газоповітряної суміші з одиночного точкового джерела досягається при несприятливих метеорологічних умовах на відстані (х, м) від джерела і визначається за формулою [8, 15-24]:

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

де c_m – максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини при викиді газоповітряної суміші, мг/м³;

A – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери;

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

F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосферному повітрі;

m, n – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду; розраховуються по різних формулах;

η – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості; у випадку рівної чи слабко пересіченої місцевості з перепадом висот, що не перевищують 50 м на 1 км, $\eta = 1$;

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

V_1 – витрата газоповітряної суміші, м³/з;

ΔT – різниця між температурою газоповітряної суміші, що викидається, t, і температурою навколишнього атмосферного повітря t, °С.

Витрата газоповітряної суміші визначається за формулою:

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \cdot w_0,$$

де D – діаметр гирла джерела викиду, м;

w_0 – середня швидкість виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду, м/с.

Розрахунок забруднення атмосфери при викидах газоповітряної суміші від джерела з прямокутним гирлом (шахти) здійснюється при середніх швидкісних значеннях D – D_e і V₁ = V_{1e}.

Ефективний діаметр гирла (D_e, м):

5

Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Курсове проектування: навчальний посібник. Навчальний посібник / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С.М. Кватернюк, В.А. Іщенко, П.М. Турчик. – Вінниця: ВНТУ, 2015.– 112 с.

$$D_e = \frac{2 \cdot L \cdot b}{L + b},$$

де L і b – відповідно довжина і ширина гирла, м.

Ефективна витрата вихідної в атмосферу за одиницю часу газоповітряної суміші (V_{1e} , м³/с).

$$V_{1e} = \frac{\pi D_e^2}{4} \cdot w_0.$$

Для джерел із квадратним гирлом ($L = b$) ефективний діаметр D_e дорівнює довжині сторони квадрата.

Значення коефіцієнта A , що відповідає несприятливим метеорологічним умовам, при яких концентрація шкідливих речовин в атмосферному повітрі максимальна, приймається рівним 200 для України.

Значення потужності викиду (M) і витрати газоповітряної суміші (V_1) при проектуванні підприємств визначаються розрахунком у технологічній частині чи проекті приймаються відповідно до діючого для даного виробництва (процесу) нормативами. У розрахунку приймаються значення M і V_1 , які реально мають місце протягом року при встановлених (звичайних) умовах експлуатації підприємства, при яких досягається максимальне значення c_m .

Відзначимо, що:

- значення M варто відносити до 20 - 30-хвилинного періоду осереднення, в тому числі й у випадках, коли тривалість викиду менша 20 хв;
- розрахунки концентрацій, як правило, проводяться для тих речовин, викиди яких задовольняють вимоги:

$$\frac{M_c}{ГДК} > \Phi;$$

$$\Phi = 0,01 \bar{H} \quad \text{при } \bar{H} > 10 \text{ м,}$$

$$\Phi = 0,1 \bar{H} \quad \text{при } \bar{H} \leq 10 \text{ м,}$$

де M_c – сумарне значення викиду від усіх джерел підприємства, що відповідає найбільш несприятливим із встановлених умов викиду, включаючи вентиляційні джерела і неорганізовані викиди, г/с;

ГДК – максимально разова гранично допустима концентрація, мг/м³;

\bar{H} – середньозважена по підприємству висота джерел викиду, м.

Значення безрозмірного коефіцієнта F приймається:

– для газоподібних шкідливих речовин і дрібнодисперсних аерозолів (пилу, золи, швидкість упорядкованого осідання яких практично дорівнює нулю) – 1;

– для дрібнодисперсних аерозолів (крім зазначених вище) при середньому експлуатаційному коефіцієнті очищення викидів не менше 90 % – 2; від 75 до 90 % – 2,5; менше 75 % і при відсутності очищення – 3.

Значення коефіцієнтів n і m визначаються в залежності від параметрів f , V_M , V_M' і f_c :

$$f = 1000 \frac{w_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad v_m = 0,65 \sqrt{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}},$$

$$v_m' = 1,8 \frac{w_0 \cdot D}{H}, \quad f_e = 800 (v_m')^3.$$

Коефіцієнт m визначається в залежності від f :

при $f < 100$

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

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

при $f_e < f < 100$ значення коефіцієнта m обчислюється при $f = f_e$.

Коефіцієнт n при $f < 100$ залежить від v_m :

при $v_m \geq 2$ $n = 1$,

при $0,5 \leq v_m < 2$ $n = 0,532 \cdot v_m^2 - 2,13 \cdot v_m + 3,13$,

при $v_m < 0,5$ $n = 4,4 \cdot v_m$,

при $f \geq 100$ чи $\Delta T \approx 0$ коефіцієнт n обчислюється при $v_m' = v_m$.

Для $f \geq 100$ (чи $\Delta T \approx 0$) і $v_m' \geq 0,5$ (холодні викиди) при розрахунку V_m використовується формула

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot \eta}{H^{4/3}} \cdot K,$$

$$K = \frac{1}{7,1 \sqrt{w_0 \cdot V_1}}.$$

Відстань (x_m, m) від джерела викидів, на якому приземна концентрація ($c, \text{мг/м}^3$) при несприятливих метеорологічних умовах досягає максимального значення ($x_m, \text{см}$)

$$x_m = \frac{5 - F}{4} \cdot d \cdot H,$$

де d – безрозмірний коефіцієнт.

При $f < 100$ безрозмірний коефіцієнт d знаходиться за формулами:

при $v_m \leq 0,5$ $d = 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_e}),$

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

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

при $f > 100$ чи $\Delta T \approx 0$ значення d дорівнює:

при $v_m' \leq 0,5$ $d = 5,7$,

при $0,5 < v_m' \leq 2$ $d = 11,4 \cdot v_m',$

при $v_m' > 2$ $d = 16 \sqrt{v_m'}.$

Значення небезпечної швидкості ($u_m, \text{м/с}$) на рівні флюгера звичайно 10 м від рівня землі, при якій досягається найбільше значення приземної Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Курсове проектування: навчальний посібник. Навчальний посібник / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С.М. Кватернюк, В.А. Іщенко, П.М. Турчик. – Вінниця: ВНТУ, 2015.– 112 с.

концентрації шкідливих речовин c_m , у випадку $f < 100$ визначається за формулами:

$$\begin{aligned} \text{при } v_m \leq 0,5 & \quad u_m = 0,5 \\ \text{при } 0,5 < v_m \leq 2 & \quad u_m = v_m \\ \text{при } v_m > 2 & \quad u_m = v_m \cdot (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f}). \end{aligned}$$

при $f \geq 100$ чи $\Delta T \approx 0$ значення u_m :

$$\begin{aligned} \text{при } v_m' \leq 0,5 & \quad u_m = 0,5, \\ \text{при } 0,5 < v_m' \leq 2 & \quad u_m = v_m', \\ \text{при } v_m' > 2 & \quad u_m = 2,2 \cdot v_m'. \end{aligned}$$

Максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини (c_{mi} , мг/м^3) при несприятливих метеорологічних умовах і швидкості вітру (u , м/с), що відрізняється від небезпечної швидкості вітру (u_m , м/с), визначається за формулою

$$c_{mi} = r \cdot c_m,$$

де r – безрозмірна величина, яка визначається в залежності від відношення u/u_m :

при $u/u_m \leq 1$

$$r = 0,67(u/u_m) + 1,67(u/u_m)^2 - 1,34(u/u_m)^3,$$

при $u/u_m > 1$

$$r = \frac{3(u/u_m)}{2(u/u_m)^2 - (u/u_m) + 2}.$$

Слід зазначити, що при проведенні розрахунків не використовуються значення швидкості вітру $u < 0,5$ м/с , а також швидкості вітру $u > u^*$, де u^* – значення швидкості вітру, що перевищується в даній місцевості в середньому багаторічному режимі в 5 % випадків. Це значення визначається за кліматичним довідником.

Відстань від джерела викиду (x_{mi} , м), на якому при швидкості вітру u і несприятливих метеорологічних умовах приземна концентрація шкідливих речовин досягає максимального значення (c_{mi} , мг/м^3), визначається за формулою

$$x_{mi} = p \cdot x_m,$$

де p – безрозмірний коефіцієнт, який визначається в залежності від відношення u/u_m :

при $u/u_m \leq 0,25$ $p = 3$

при $0,25 < u/u_m \leq 1$ $p = 8,43 \cdot (1 - u/u_m)^5 + 1,$

при $u/u_m > 1$ $p = 0,32 \cdot (u/u_m) + 0,68.$

При небезпечній швидкості вітру (u_m) приземна концентрація шкідливих речовин (c , мг/м^3) в атмосфері по осі факела 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 і коефіцієнта F:

при $x/x_m \leq 1$

$$s_1 = 3(x/x_m)^4 - 8(x/x_m)^3 + 6(x/x_m)^2,$$

при $1 < x/x_m \leq 8$

$$s_1 = \frac{1,13}{0,13(x/x_m)^2 + 1},$$

при $F \leq 1,5$ і при $x/x_m > 8$

$$s_1 = \frac{x/x_m}{3,58(x/x_m)^2 - 35,2(x/x_m) + 120},$$

при $F > 1,5$ і при $x/x_m > 8$

$$s_1 = \frac{1}{0,1(x/x_m)^2 + 2,47(x/x_m) - 17,3}.$$

Для низьких і 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 і H:

при $2 \leq H < 10$

$$s_1^H = 0,125(10 - H) + 0,125(H - 2)s_1.$$

Значення приземної концентрації шкідливих речовин в атмосфері (c_y , мг/м³) на відстані (y, м) по перпендикулярі до осі факела викиду визначається за формулою

$$c_y = s_2 \cdot c_m,$$

де s_2 – безрозмірний коефіцієнт, обумовлений у залежності від швидкості вітру (u, м/с) і відношення y/x за значенням аргументу t_y :

$$s_2 = \frac{1}{(1 + 5t_y + 12,8t_y^2 + 17t_y^3 + 45,1t_y^4)^2},$$

де аргумент t_y розраховується за формулами:

$$\text{при } u \leq 5 \quad t_y = \frac{u \cdot y}{x^2},$$

$$\text{при } u > 5 \quad t_y = \frac{5y^2}{x^2}.$$

Максимальна концентрація (c_{mx} , мг/м³), що досягається на відстані x від джерела викиду на осі факела при швидкості вітру (u_{mx}):

$$c_{mx} = s_1' \cdot c_m,$$

де s_1' – безрозмірний коефіцієнт.

Безрозмірний коефіцієнт s_1' визначається в залежності від відношення (x/x_m) за такими формулами:

при $x/x_m \leq 1$

$$s_1' = 3(x/x_M)^4 - 8(x/x_M)^3 + 6(x/x_M)^2,$$

при $1 < x/x_M \leq 8$

$$s_1' = \frac{1,1}{0,1(x/x_M)^2 + 1},$$

при $8 < x/x_M \leq 24$

$$s_1' = \frac{2,55}{0,13(x/x_M)^2 + 9},$$

при $24 < x/x_M \leq 80, F \leq 1,5$

$$s_1' = \frac{x/x_M}{4,75(x/x_M)^2 - 140(x/x_M) + 1435},$$

при $24 < x/x_M \leq 80, F > 1,5$

$$s_1' = \frac{2,26}{0,1(x/x_M)^2 + 7,41(x/x_M) - 160},$$

при $x/x_M > 80, F \leq 1,5$

$$s_1' = \frac{x/x_M}{3,58(x/x_M)^2 - 35,2(x/x_M) + 120},$$

при $x/x_M > 80, F > 1,5$

$$s_1' = \frac{1}{0,1(x/x_M)^2 + 2,47(x/x_M) - 178}.$$

Швидкість вітру (u_{mx}):

$$u_{mx} = f_1 \cdot u_M,$$

де f_1 – безрозмірний коефіцієнт.

Безрозмірний коефіцієнт f_1 визначається в залежності від відношення x/x_M :

при $x/x_M \leq 1$ $f_1 = 1,$

при $1 < x/x_M \leq 8$ $f_1 = \frac{0,75 + 0,25(x/x_M)}{1 + (x/9x_M)^9},$

при $8 < x/x_M < 80$ $f_1 = 0,25,$

при $x/x_M \geq 80$ $f_1 = 1.$

3.1.5 Визначення реального хімічного навантаження на людину при забрудненні повітряного середовища

Реальне хімічне навантаження на населення можна розглядати як суму хімічних забруднень, що надходять в організм людини через органи дихання протягом певного періоду часу.

Вихідними даними для виконання розрахунків є:

- час перебування людини у різних умовах T , год;
- забруднюючі речовини у відповідних умовах перебування;
- середньодобова концентрація речовин $C_{СД}$, мг/м³.

Клас небезпеки (КН) та величини ГДК забруднюючих речовин необхідно визначити за нормативними документами, наведеними в переліку основної літератури до даних методичних вказівок. Для виробничого приміщення в розрахунках використовується ГДК робочої зони (ГДК_{РЗ}), для інших умов перебування – ГДК середньодобова (ГДК_{СД}).

Загальний показник реального хімічного навантаження S визначається як сума добутоків показників хімічного забруднення повітряного середовища в різних умовах на час перебування людини:

$$S = \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i, \quad (3.5)$$

де P_i – показник забруднення повітряного середовища (рівень хімічного забруднення повітряного середовища);

t_i – тривалість впливу в частках доби;

n – число різних умов перебування.

Як основні складові сумарного хімічного навантаження для людини приймаються дози забруднення повітря у виробничих приміщеннях, житлових будинках, салонах міського транспорту, атмосферного повітря житлового середовища міста і зон рекреації (паркових і заміських). Таким чином, формулу розрахунку S можна подати у вигляді:

$$S = P_{вп}t_{вп} + P_{ж}t_{ж} + P_{тр}t_{тр} + P_{жс}t_{жс} + P_{рек}t_{рек}, \quad (3.6)$$

де $P_{вп}$, $P_{ж}$, $P_{тр}$, $P_{жс}$, $P_{рек}$ – відповідно рівні хімічного забруднення повітряного середовища виробничих приміщень, житлових будинків, салонів міського транспорту, атмосферного повітря житлового середовища міста і місць рекреації;

$t_{вп}$, $t_{ж}$, $t_{тр}$, $t_{жс}$, $t_{рек}$ – відповідні частки доби часу, протягом якого людина перебуває під впливом хімічних забруднень, що містяться в повітряному середовищі.

Частка доби розраховується за формулою:

$$t_i = \frac{T_i}{24}, \quad (3.7)$$

де T_i – середня тривалість перебування людини в певних умовах.
Умовний показник ступеня забруднення повітряного середовища P_i :

$$P_i = \sqrt{\sum_{i=1}^m K_i^2}, \quad (3.8)$$

де K_i – приведені до 3-го класу небезпеки кратності перевищення ГДК речовин різних класів;

m – число речовин.

Для приведення значень кратностей K_i перевищення ГДК речовин 1, 2 і 4-го класів небезпеки використовуються співвідношення:

$$\text{1-й клас } K_i^{(3)} = k_i^{(1)} \cdot 3^n, \quad n = 2,89 \cdot \left| \lg(k_i^{(1)}) \right|, \quad (3.9)$$

$$\text{2-й клас } K_i^{(3)} = k_i^{(2)} \cdot \left(\frac{3}{2}\right)^n, \quad n = 1,55 \cdot \left| \lg(k_i^{(2)}) \right|, \quad (3.10)$$

$$\text{4-й клас } K_i^{(3)} = k_i^{(4)} \cdot \left(\frac{3}{4}\right)^n, \quad n = 1,05 \cdot \left| \lg(k_i^{(4)}) \right|, \quad (3.11)$$

де $k_i^{(1)}$, $k_i^{(2)}$ і $k_i^{(4)}$ – значення кратностей перевищення ГДК відповідно для речовин 1, 2 і 4-го класів небезпеки.

Кратність перевищення ГДК, включаючи значення, менші одиниці, встановлюється шляхом ділення фактичної концентрації даної речовини на ГДК:

$$k_i = \frac{C}{\text{ГДК}}. \quad (3.12)$$

Наведений нижче приклад містить розрахунок реального хімічного навантаження при перебуванні людини в різних умовах.

Приклад

Вихідні дані для розрахунку реального хімічного навантаження на людину за рахунок забрудненого повітряного середовища наведено в таблиці 3.4. Клас небезпеки та значення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин визначено за відповідними нормативними документами.

Таблиця 3.4 – Вихідні дані

Умови перебування	T, год	Забруднюючі речовини	C _{сд} , мг/м ³	КН	ГДК _{сд} , мг/м ³	ГДК _{рз} , мг/м ³
Виробниче приміщення	8	Стирол	0,001	3	–	10
		Толуол	0,6	3	–	50
		Етилбензол	0,02	3	–	50
Житлове середовище	2	Карбон (II) оксид	0,5	4	1,0	–
		Нітроген (IV) оксид	0,02	2	0,04	–
		Формальдегід	0,001	2	0,003	–
		Бенз(а)пірен	1,2 · 10 ⁻⁶	1	1,0 · 10 ⁻⁶	–

Частка доби розраховується за формулою (3.7):

– для виробничого приміщення:

$$t_{\text{вп}} = \frac{8}{24} = 0,33;$$

– для житлового середовища:

$$t_{\text{жс}} = \frac{2}{24} = 0,08.$$

Кратність перевищення ГДК розраховано за формулою (3.12):

– для виробничого приміщення:

$$k(\text{стирол}) = \frac{0,001}{10} = 0,0001;$$

$$k(\text{толуол}) = \frac{0,6}{50} = 0,012;$$

$$k(\text{етилбензол}) = \frac{0,02}{50} = 0,0004;$$

– для житлового середовища:

$$k(\text{CO}) = \frac{0,5}{1,0} = 0,5;$$

$$k(\text{NO}_2) = \frac{0,02}{0,04} = 0,5;$$

$$k(\text{формальдегід}) = \frac{0,001}{0,003} = 0,33;$$

$$k(\text{бенз(а)пірен}) = \frac{1,2 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-6}} = 1,2.$$

За рівняннями (3.9 – 3.11) розраховано значення кратностей перевищення ГДК відповідно для речовин 1, 2 і 4-го класів небезпеки для житлового середовища:

$$K(\text{CO}) = 0,5 \cdot \left(\frac{3}{4}\right)^{0,32} = 0,46;$$

$$K(\text{формальдегід}) = 0,33 \cdot \left(\frac{3}{2}\right)^{0,75} = 0,45;$$

$$K(\text{бенз(а)пірен}) = 1,2 \cdot 3^{0,23} = 1,54.$$

Для виробничого приміщення перерахунок не проводиться, оскільки всі забруднюючі речовини відносяться до третього класу небезпеки.

Розраховані дані кратностей перевищення ГДК та приведення забруднюючих речовин до 3-го класу небезпеки наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Розраховані дані кратностей перевищення ГДК та приведення забруднюючих речовин до 3-го класу небезпеки

Умови перебування	Частка доби	Забруднюючі речовини	Кратність перевищення ГДК	Приведення до 3-го класу небезпеки
Виробниче приміщення	0,33	Стирол	0,0001	0,0001
		Толуол	0,012	0,012
		Етилбензол	0,0004	0,0004
Житлове середовище	0,08	Карбон (II) оксид	0,5	0,46
		Нітроген (IV) оксид	0,5	0,5
		Формальдегід	0,33	0,45
		Бенз(а)пірен	1,2	1,54

Умовний показник ступеня забруднення повітряного середовища P_i для всіх умов перебування розраховано за формулою (3.8):

– для виробничого приміщення:

$$P_{\text{вп}} = \sqrt{0,0001^2 + 0,012^2 + 0,0004^2} = 0,012;$$

– для житлового середовища:

$$P_{\text{жс}} = \sqrt{0,46^2 + 0,5^2 + 0,45^2 + 1,54^2} = 1,74.$$

Показник реального хімічного навантаження в різних умовах перебування визначається за формулою (3.5):

– для виробничого приміщення:

$$S_{\text{вп}} = 0,012 \cdot 0,33 = 0,00396;$$

– для житлового середовища:

$$S_{\text{жс}} = 1,74 \cdot 0,08 = 0,1392.$$

Розраховані умовні показники ступеня забруднення повітряного середовища P_i та показники реального хімічного навантаження забруднення повітряного середовища в різних умовах S_i наводяться в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Умовний показник ступеня забруднення повітряного середовища та показник реального хімічного навантаження в різних умовах

Умови перебування	Умовний показник ступеня забруднення, P_i	Показник реального хімічного навантаження, S_i
Виробниче приміщення	0,012	0,004
Житлове середовище	1,74	0,139

Загальний показник реального хімічного навантаження становить:

$$S = 0,004 + 0,139 = 1,143.$$

Отже, незважаючи на значно менший час знаходження людини у житловому середовищі, умовний показник ступеня забруднення повітряного середовища та показник реального хімічного навантаження для цих умов перебування набагато перевищують аналогічні показники для виробничого приміщення. Це можна пояснити наявністю у повітрі житлового середовища високотоксичного бенз(а)пірену у концентрації, що перевищує ГДК.

3.2 Нормування забруднюючих речовин у водних об'єктах

3.2.1 Нормативні показники якості води

До нормативної бази оцінювання якості води входять загальні вимоги до складу і якості води та значення ГДК речовин у воді водних об'єктів. Загальні вимоги визначають доступний склад і властивості води, які оцінюють найважливішими фізичними, узагальненими хімічними та бактеріологічними показниками. Встановлено два види нормативів. Санітарно-гігієнічні нормативи якості води (для потреб населення) та рибогосподарські нормативи. У зазначених нормативах науково обґрунтовано допустиму концентрацію забруднюючих речовин та показники якості води (загальнофізичні, біологічні, хімічні, радіаційні), які не впливають прямо або опосередковано на життя та здоров'я населення.

До органолептичних показників якості води належать: колір, запах, смак, присмак і прозорість.

Колір води залежить від наявності в ній органічних та неорганічних домішок. Наприклад, гідрат оксиду феруму фарбує воду в жовто-бурий і бурий колір, а частинки глини надають воді жовтуватого кольору. Бурій колір болотної води залежить від великої кількості гумінових кислот (продуктів рослинного перегною).

Запах води спричиняють леткі ароматичні речовини, що потрапляють у воду в результаті процесів життєдіяльності водних організмів, при біохімічному розкладанні органічних речовин, при хімічній взаємодії компонентів, що містяться у воді, а також з промисловими, сільськогосподарськими та господарсько-побутовими стічними водами. На запах води впливає склад речовин, що містяться в ній, температура рН, ступінь забруднення водного об'єкта, біологічна обстановка, гідрологічні умови тощо.

Запахи поверхневих вод можуть бути природного та штучного походження. Природні запахи зумовлені наявністю живих та мертвих організмів, впливом берегів, дна, навколишніх ґрунтів та порід тощо. Присутність у воді рослинних залишків надає їй землястого, мулистого чи болотного запаху. Якщо вода цвіте, і в ній містяться продукти життєдіяльності, то вона набуває ароматичного запаху. При гнитті органічних речовин у воді чи забрудненні її нечистотами виникає гнилісний, сірководневий чи фекальний запах. Природні запахи описують, дотримуючись термінології, наведеної у табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Визначення природного запаху води

Символ	Характер запаху	Приблизний рід запаху
А	Ароматичний	Огірковий, квітковий
Б	Болотний	Мулистий, багнистий
Г	Гнилісний	Фекальний, стічний
Д	Деревний	Мокрої тріски, деревної кори
З	Землистий	Прілий, свіжозораної землі, глинистий
П	Пліснявий	Затхлий, застійний
Р	Рибний	Риб'ячого жиру, рибний
С	Сірководневий	Тухлих яєць
Т	Трав'янистий	Скошеної трави, сіна
Н	Невизначений	Природного походження, що не підпадає під попередні визначення

Запахи штучного походження визначають за назвою тих речовин, яких вони імітують: фенольний, хлорфенольний, камфорний, хлорний, бензиновий, металевий тощо. Штучні запахи можуть слугувати показниками забруднення води промисловими стічними водами [8,13-20].

Питна вода має бути приємною на смак, освіжаючою, що зумовлено розчиненими в ній мінеральними солями і газами. Неприємний смак або присмак зазвичай залежать від великого вмісту в воді деяких солей та органічних речовин. Смак може бути солоний, солодкий, кислий, гіркий, а також з різним присмаком. За наявності у воді хлориду натрію (NaCl), хлориду калію (KCl) понад 500 мг/дм³ вода має солоний смак, а наявність солей магнію (MgSO₂, MgSO₄) понад 1000 мг/дм³ спричинює гіркий смак води. Двовуглекислі солі закису заліза і сульфат купруму, солі мангану та кальцію роблять воду чорнильного або в'язучого смаку. Гумінові кислоти надають болотистого смаку, а продукти гниття органічних речовин - неприємного, затхлого, гнилісного, сірководневого смаку.

Присмак води буває гірко-солоний, кисло-солоний, гірко-солодкий.

До хімічних показників води належать: лужна реакція води, сухий залишок, твердість, окиснюваність, наявність розчиненого кисню, аміаку, нітритів і нітратів, хлоридів, сульфатів феруму.

Твердість води зумовлюють наявні в ній солі кальцію і магнію, здебільшого вуглекислі та сірчанокислі.

У воді з різних джерел можуть міститись різні органічні речовини рослинного і тваринного походження, а також мікроорганізми. Наявність у воді великої кількості органічних речовин свідчить про забрудненість води в санітарному відношенні. Кількість органічних речовин у воді визначають непрямим методом за потрібним для окиснення киснем. Звідси, чим більше у воді органічних речовин, тим більше кисню витрачається на окиснення, тим більша окиснюваність води.

До складу води входять розчинений кисень, що потрапляє з повітря. За кількістю розчиненого у воді кисню можна визначити наявність у ній органічних речовин. Чим чистіша вода, тим більше в ній кисню. У воді відкритих водойм кисень постійно використовується на окиснення органічних речовин. Через це у дуже забрудненій воді розчиненого кисню може не бути зовсім. У воді відкритих водойм при середній температурі (10-20 °C) кисню міститься 5-20 мг/дм³. Глибокі підземні води кисню не мають, але дуже швидко збагачуються ним на повітрі. Під час оцінювання води часто з'ясовують біохімічне споживання кисню (БСК). З цією метою визначають зменшену кількість розчиненого кисню після п'ятидобового зберігання проби води при температурі 20 °C. Чим більше досліджувана вода містить органічних речовин, тим меншою буде концентрація розчиненого кисню.

У воді відкритих водойм і шахтних колодязів інколи знаходять залишкову кількість гербіцидів групи сечовини, гептахлору та пестицидів. Тож необхідно досліджувати воду на наявність і цих речовин.

Отже, показники хімічного аналізу можуть свідчити про безпечну або шкідливу питну воду в санітарно-токсикологічному відношенні, а також про її фізіологічну цінність. Шкід-

має вода, забруднена радіоактивними речовинами. З метою дотримання норм і правил радіоактивної гігієни відповідні лабораторії мають здійснювати дозиметричні дослідження води.

Загальні показники якості промислових стічних вод, що скидаються у відкриті водойми господарсько-питного та культурно-побутового призначення:

1. Розчинений кисень. Кількість розчиненого кисню – не менше 4 мг/дм³ у будь-який період року.

Біохімічне споживання кисню (БСК). БСК – не більше 3 мг/дм³ при температурі води 20 °С для водойм першої і другої категорій, а також для морів.

2. Завислі речовини. Вміст завислих речовин у воді водойм після скидання стічних вод не має зростати більше ніж на 0,25 і 0,75 мг/дм³ для водойм першої та другої категорій, відповідно.

3. Запахи та присмаки. Інтенсивність запахів і присмаків – не більше 3 бали для морів і 2 бали для водойм першої категорії.

4. Кольоровість не має виявлятися у стовпчику води, яку скидають, заввишки 20 см – для водойм першої категорії і 10 см – для водойм другої категорії.

5. Водневий показник. Значення рН після змішування води водойми із стічними водами має бути в межах $6,5 < \text{pH} < 8,5$.

6. Спливаючі речовини. У стічних водах не допускається вміст мінеральних масел та інших спливаючих речовин у таких кількостях, які здатні утворювати на поверхні водойми плівку, плями тощо.

7. Мінеральний склад. Вміст неорганічних речовин для водойм першої категорії не має перевищувати за сухим залишком 1000 мг/дм³, у тому числі хлоридів – 350 мг/дм³ і сульфідів – 500 мг/дм³; для водойм другої категорії мінеральний склад нормується за показником «Присмаки».

8. Збудники захворювань. Наявність збудників захворювань у воді не допускається. Стічні води зі збудниками захворювань потрібно знезаражувати після попереднього очищення. У біологічно знезаражених стічних водах колі-індекс – не більше 1000 при вмісті залишкового хлору 1,5 мг/дм³.

9. Температура води у водоймі внаслідок скидання в неї стічних вод не має підвищуватися влітку більше ніж на 3 °С порівняно з середньомісячною температурою найтеплішого місяця року за останні десять років.

10. Отруйні речовини в стічних водах не допустимі в концентраціях, що можуть чинити прямий або опосередкований шкідливий вплив на здоров'я населення.

ГДК шкідливої речовини у воді водойми господарсько-питного та культурно-побутового водокористування – це концентрація, яка не чинить прямої або непрямой дії на організм людини впродовж всього її життя, а

також не впливає на здоров'я наступних поколінь і не погіршує гігієнічних умов водокористування.

3.2.2 Нормативи якості води водойм рибогосподарського призначення

Нормативи якості води встановлено для двох видів рибогосподарського водокористування. До першого належать водойми, що використовують для відтворення і збереження цінних сортів риби. До другого - водойми, що використовують для всіх інших рибогосподарських потреб.

Нормативи складу і властивостей води водойм, що використовують для рибогосподарських потреб, можуть поширюватися на ділянку скидання стічних вод у разі швидкого змішування їх з водою водойм або на ділянку, розташовану нижче від місця скидання стічних вод. На ділянках масового нересту і нагулу риби скидання стічних вод заборонено.

У разі скидання стічних вод у рибогосподарські водойми для них встановлюють жорсткіші вимоги, ніж до стоків у водойми, що використовуються для господарсько-питних і культурно-побутових потреб, а саме:

Розчинений кисень. Узимку кількість розчиненого кисню (після змішування стічних вод з водою водойми) має бути не менше ніж 6 і 4 мг/дм³ для водойм першої та другої категорій водокористування відповідно; влітку – менше ніж 6 мг/дм³ у пробі, відібраній до 12 год дня, для всіх водойм.

Повне біохімічне споживання кисню (БСК_{повн}) за температури 20 °С має бути не більше 3 мг/дм³ у водоймах обох видів водокористування. Якщо взимку вміст розчиненого кисню у воді водойм першого та другого видів водокористування зменшується відповідно до 6 і 4 мг/дм³, то можна допустити скидання в них тільки таких стічних вод, що не змінюють БСК води. Отруйні речовини не допускаються у концентраціях, що можуть чинити пряму або опосередковану шкідливу дію на рибу чи водні рослини та організми, які споживає риба.

Температура води внаслідок скидання стічних вод не має підвищуватися влітку більше ніж на 3 °С, а взимку – на 5 °С (слід взяти до уваги, що з підвищенням температури сприйнятливість організмів до токсичних речовин збільшується).

ГДК шкідливої речовини у воді водойм рибогосподарського призначення – це концентрація, яка не чинить шкідливого впливу на популяції.

У табл. 3.8 наведено дані ГДК шкідливих речовин у воді водойм рибогосподарського призначення.

Таблиця 3.8 – ГДК шкідливих речовин у воді водойм рибогосподарського призначення

Речовина	ГДК, мг/дм ³
Аміак	0,05
Арсен	0,01
Бензол	0,5
Кадмій	0,005
Магній	40
Мідь	0,005
Нафта і нафтопродукти: в розчиненому стані	0,001
в емульгованому стані	0,05
Ніколь	0,1
Свинець	0,1
Сірковуглець	1,0
Смолисті речовини, що вимиваються з дерев хвойних порід	2,0
Таніди	10
Феноли	0,001
Хлор вільний	0
Хлорофос	0
Цинк	0,05
Ціаніди	0,05

3.2.3 Методи оцінювання якості води

3.2.3.1 Метод інтегрального оцінювання якості води

У гідрохімічній практиці використовують метод інтегрального оцінювання якості води за сукупністю забруднюючих речовин у ній та частотою їх виявлення.

У цьому методі для кожного інгредієнта на підставі фактичних концентрацій (C_i) розраховують бали кратності (K_i) перевищення гранично допустимої концентрації забруднюючих речовин для водойм рибогосподарського призначення $ГДК_{BP}$ та повторюваність випадків перевищення $ГДК_i(N_{ГДК_i})$, а також оцінний бал B_i .

$$K_i = C_i / ГДК_i; \quad (3.13)$$

$$N_i = N_{ГДК_i} / N_i; \quad (3.14)$$

$$B_i = K_i N_i, \quad (3.15)$$

де K_i, N_i, B_i – лімітуючі показники забрудненості (ЛПЗ). Комбінатор-

ний індекс забрудненості розраховують як суму загальних оцінних концентрацій у воді i -го інгредієнта (C_i);

$ГДК_i$ – гранично допустима концентрація i -го інгредієнта для водойм рибогосподарського призначення;

$N_{ГДК_i}$ – кількість випадків перевищення ГДК за i -м інгредієнтом;

N_i – загальна кількість вимірювань i -го інгредієнта.

Інгредієнти, для яких величина загального оцінного бала більша або дорівнює одиниці, виокремлюються як ЛПЗ. Комбінаторний індекс забрудненості води визначають за формулою

$$I_k = \sum_{i=1}^n B_i. \quad (3.16)$$

За величиною комбінаторного індексу забрудненості встановлюють клас забрудненості води.

3.2.3.2 Метод оцінювання сумарного ефекту якості води

Точно оцінити комплексну дію шкідливих речовин у воді водойм неможливо, тому застосовують метод оцінювання сумарного ефекту впливу на санітарний стан водойми кількох шкідливих речовин за умовою:

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1, \quad (3.17)$$

де C_1, C_2, C_n - концентрація шкідливих речовин у воді водойм, мг/дм³;

$ГДК_1, ГДК_2, ГДК_n$ - гранично допустимі концентрації, мг/дм³.

Якість води та порівняння сучасного стану водного об'єкта зі встановленими в минулі роки характеристиками оцінюють, використовуючи індекс забрудненості води (ІЗВ) за гідрохімічними показниками. Цей індекс є формальною характеристикою і розраховується усередненням як мінімум п'яти індивідуальних показників якості води водного об'єкта. Обов'язковими для врахування є:

- концентрація розчиненого у воді кисню;
- показник кислотності рН;
- величина біологічного споживання кисню (БСК).

При здійсненні контролю за станом вод та стоків використовують фізичні, хімічні, біологічні та органолептичні методи. Фізичні методи використовують для визначення прозорості, каламутності, кількості завислих частинок та електропровідності води. Хімічні методи використовують для визначення кислотності, лужності, вмісту у воді металів, солей, органічних та синтетичних речовин. Бак- Бактеріологічний аналіз

здійснюють за допомогою біотестування.

3.2.3.3 Комплексне оцінювання рівня забрудненості води за заданою лімітуючою ознакою шкідливості

Для визначення ступеня забрудненості води використовують чотири критерії шкідливості, за кожним з яких сформовано певну групу речовин і специфічних показників якості води:

– критерій санітарного режиму (W_c) враховує розчинений кисень, БСК₅, ХСК і специфічні забруднення, що нормуються за впливом на санітарний режим;

– критерій органолептичних властивостей (W_ϕ) враховує запах, завислі речовини, ХСК і специфічні забруднення, що нормуються за органолептичною ознакою шкідливості;

– епідеміологічний критерій (W_e) враховує небезпеку мікробного забруднення;

– критерій небезпеки санітарно-токсикологічного забруднення (W_{cm}) враховує ХСК і специфічні забруднення, що нормуються за санітарно-токсикологічною ознакою.

Одні й ті самі показники можуть входити водночас до кількох груп шкідливості. Комплексну оцінку вираховують окремо для кожної лімітуючої ознаки шкідливості (ЛОШ) за формулами

$$W = 1 + \frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - 1)}{n}; \quad (3.18)$$
$$\delta_i = c_i / N_i,$$

де W – комплексна оцінка рівня забруднення води за даною ЛОШ;

n – кількість показників, що використовуються для розрахунків;

N_i – нормативне значення одиничного показника (найчастіше $N_i = ГДК_i$);

δ_i – кратність перевищення фактичної концентрації i -го інгредієнта у воді (c_i) до нормативного значення одиничного показника.

Якщо $\delta_i < 1$, тобто концентрація менше нормативної, то приймається $\delta_i = 1$. За відповідними формулами розраховують вміст розчиненого кисню і завислих речовин. Розчинений кисень нормується за нижнім рівнем значення, тобто його вміст має бути меншим за 4 мг/дм³, тому при < 4 мг/дм³ для нього прийнято:

$$\delta_i = 1 + 10 \frac{(N_i - c_i)}{N_i} \quad (3.19)$$

Оскільки самі по собі розраховані показники ні про що не говорять, до формул пропонується традиційна класифікаційна таблиця діапазонів значень комплексних оцінок W (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 – Ступінь забруднення водою залежно від значень комплексних показників W

Рівень забруднення	Критерій забруднення за величинами комплексних оцінок			
	Органолептичний (W_ϕ)	Санітарний режим (W_c)	Санітарно-токсикологічний (W_{cm})	Епідеміологічний (W_e)
Допустимий	1	1	1	1
Помірний	1,0-1,5	1,0-3,0	1,0-3,0	1,0 - 10,0
Високий	1,5-2,0	3,0 - 6,0	3,0-10,0	10,0 - 100,0
Найвищий	>2,0	>6,0	> 10,0	> 100,0

Приклад. Визначити ступінь забруднення води за санітарно-токсикологічним показником. Вихідні дані для розрахунку критерію, що враховує небезпеку санітарно-токсикологічного забруднення, наведено у табл. 3.10.

Таблиця 3.10 – Вихідні дані для розрахунку критерію, що враховує небезпеку санітарно-токсикологічного забруднення

Елемент	Санітарно-токсикологічне забруднення, мг/дм ³	
	Норматив (N_i) не більше	Фактичні дані (C_i)
Алюміній залишковий	0,5	0,1
Берилій	0,0002	0,0005
Молібден	0,25	0,11
Миш'як	0,05	0,1
Нітрати	45	50
Поліакриланід залишковий	2	2,4
Свинець	0,03	0,04
Селен	0,001	0,01
Стронцій	7	2
Фтор	1,5	100

Розв'язання. Ступінь забруднення води за санітарно-токсикологічним показником визначається за формулами (3.18)

$$W = 1 + \frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - 1)}{n} = 1 + \frac{(2,5 - 1) + (2 - 1) + (1,1 - 1) + (1,2 - 1) + (1,3 - 1) + (10 - 1) + (66,6 - 1)}{10} = 8,77;$$

$$\delta_i = \frac{c_i}{N_i}; \delta_1 = \frac{0,1}{0,5} = 0,2; \delta_2 = \frac{0,0005}{0,0002} = 2,5; \delta_3 = \frac{0,11}{0,25} = 0,44; \delta_4 = \frac{0,1}{0,05};$$

$$\delta_5 = \frac{50}{45} = 1,1; \delta_6 = \frac{2,4}{2} = 1,2; \delta_7 = \frac{0,04}{0,03} = 1,3; \delta_8 = \frac{0,01}{0,001} = 10; \delta_9 = \frac{2}{7} = 0,3;$$

$$\delta_{10} = \frac{100}{1,5} = 66,6.$$

Висновок. Ступінь забрудненості є занадто високим і потребує спеціальних заходів очищення.

3.2.3.4 Екотоксикологічний критерій оцінювання ступеня забруднення води

Ступінь забруднення води токсичними речовинами оцінюється сумою відношень перевищень концентрацій відповідних забруднювачів (c_i) до їх гранично допустимих концентрацій ($ГДК_i$), де:

$$X_{tox} = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{ГДК_i}. \quad (3.20)$$

Особливим чином оцінюють групи таких показників: сульфат-іонів, вмісту завислих речовин і загальної мінералізації, за якими кратність перевищення концентрацій належить не до ГДК, а до максимальних фонових значень

$$X_f = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{c_{f \max_i} - 1}. \quad (3.21)$$

Для оцінки евтрофованості вводиться спеціальний показник евтрофікації

$$X_{evtr} = K \frac{c_p}{c_{fp} - 1}, \quad (3.22)$$

де c_p , c_{fp} – аналізовані та фонові значення концентрацій мінерального фосфору;

K – додатковий коефіцієнт, що залежить від оцінки стану водойми (для мезотрофних водоймищ $K = 2$, а₂₄ для евтрофних $K = 3$).

Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Курсове проектування: навчальний посібник. Навчальний посібник / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С.М. Кватернюк, В.А. Іщенко, П.М. Турчик. – Вінниця: ВНТУ, 2015.– 112 с.

Загальний індекс забруднення води визначають за формулою

$$X_{sum} = X_{tox} + X_f + X_{evtr} . \quad (3.23)$$

3.2.4 Оцінювання стану водних об'єктів з гідрологічних позицій

Критерій екологічного стану - ступінь виснаження стоку ріки. Оцінюється кратністю перевищення безповоротного вилучення стоку припустимої норми:

- екологічне лихо – понад 2;
- надзвичайна екологічна ситуація – від 1 до 2.

Нормою вважається вилучення в межах 10 - 20% від середнього багаторічного стоку. Оцінка стану водних об'єктів за гідрофізичними показниками наведена в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Оцінювання стану водних об'єктів за гідрофізичними показниками

Класи якості води	Розряди якості води	Гідрофізичні показники		
		Завислі речовини, мг/дм ³	Прозорість (за диском Секкі), м	Забарвлення за Pt-Co шкалою, град.
1. Гранично чиста	1 Гранично чиста	менше 5	понад 3	менше 10
2. Чиста	2а Дуже чиста	5-9	0,75-3,0	10-20
	2б В цілому чиста	10-14	0,55-0,7	21-30
3. Задовільно чиста	3а Достатньо чиста	15-20	0,45-0,5	31-40
	3б Слабо забруднена	21-30	0,35-0,4	41-50
4. Забруднена	4а Помірно забруднена	31-50	0,25-0,3	51-60
	4б Сильно забруднена	51-100	0,15-0,2	61-80
5. Брудна	5а Брудна	101-300	0,05-0,1	81-100
	5б Дуже брудна	понад 300	менше 0,05	понад 100

3.2.5 Оцінювання стану водних об'єктів за гідрохімічними показниками

При визначенні вмісту шкідливих речовин у воді господарсько-питного, культурно-побутового, рибогосподарського водокористування необхідно враховувати клас небезпеки нормованих речовин. Крім класу небезпеки речовин необхідно враховувати також і лімітувальний показник шкідливості (ЛПШ).

Числові значення ГДК, клас небезпеки речовини і група шкідливості (ЛПШ) для різних елементів для водойм відповідного призначення містяться в різного роду довідниках з якості води.

Основне розрахункове рівняння виглядає таким чином:

$$\sum \frac{C_i}{ГДК_i} \leq 1, \quad (3.24)$$

де C_i – концентрація i -ї забруднюючої речовини з даної групи шкідливості;

ГДК – гранично допустима концентрація даної речовини для певного типу використання водойми.

Якщо умова виконується, то якість води задовольняє вимоги водойми відповідного призначення. Визначивши значення $C_i/ГДК$ для різних речовин, можна визначити елемент, що вносить найбільший вклад у ситуацію, що складається, а, отже, і приймати відповідні природоохоронні заходи.

Серед показників, що використовують тільки гідрохімічні спостереження, найбільш простим і досить репрезентативним є індекс забруднення вод (ІЗВ), що обчислюють за шести інгредієнтами: киснем, органічними речовинами, обумовленими за біохімічним споживанням кисню за 5 діб (БСК₅) і речовинами з найбільшим перевищенням ГДК:

$$ІЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (3.25)$$

де C_i і $ГДК$ – концентрація і гранично припустима концентрація кожного з 6 інгредієнтів.

Також застосовується і інтегральний “показник хімічного забруднення” (ПХЗ-10), що дорівнює сумі відношень концентрацій 10 основних токсичних забруднюючих речовин до відповідних ГДК. Цей показник обчислюється окремо для забруднюючих речовин 1-2 класів і 3-4 класів небезпеки.

Для класифікації забруднення вод за повторюваністю показників забруднюючих інгредієнтів, виділяють 5 ситуацій:

1. П1 – характеризується повторюваністю вмісту у воді забруднюючих інгредієнтів вище 1ГДК, але менше 10ГДК.
2. П10 – повторюваність вмісту у воді забруднюючих інгредієнтів вище 10ГДК.
3. П30 – вище 30ГДК.
4. П50 – вище 50ГДК.
5. П100 – вище 100ГДК.

Відповідно до цієї класифікації виділяється 5 проблемних екологічних ситуацій чи ситуацій екологічної напруги:

1. П1 – екологічний стан норма;
2. П10 – ризик;
3. П30 – криза;
4. П50 – екологічне лихо;

5. П100 – екологічна катастрофа.

3.2.6 Оцінювання стану водних об'єктів за гідробіологічними показниками

Біологічний метод контролю якості вод (метод біоіндикації) оснований на якісному і кількісному вивченні населення водойми: планктону, бентосу, іхтіофауни, макрофітів, перифітона.

Оцінювання якості чи води ступінь її забруднення за біологічними показниками здійснюється в такий спосіб:

1) по організмах-індикаторах, характерним для ділянок водойм із різним ступенем забруднення;

2) за результатами порівняння видової розмаїтості, чисельності і біомаси населення забруднених і чистих ділянок водойм.

В залежності від ступеня забруднення вод на різних ділянках водойми формуються специфічні співтовариства, населені організмами, що можуть існувати у певних границях толерантності екологічних факторів. Такі організми називаються індикаторними.

Система індикаторних організмів має 4 зони забруднення і складений список виглядів-індикаторів сапробності вод.

Сапробність (від греч. *sapros* – гнилий) – комплекс фізіологічних властивостей організму, що обумовлюють його здатність розвиватися у воді з тим чи іншим змістом органічної речовини, чи тим, чи іншим ступенем забруднення [7, 12-18].

Виділяють такі зони:

- перша зона, олігосапробна;
- друга зона, β -мезосапробна;
- третя зона, α -мезосапробна;
- четверта зона, полісапробна.

Полісапробна зона характеризується великим вмістом нестійких органічних сполук і наявністю продуктів їх анаеробного розпаду, тобто метану і сірководню; кисень відсутній. Тут протікають в основному відбудовні процеси, що має чорне забарвлення із запахом сірководню. У цій зоні в масі розвиваються організми з гетеротрофним типом живлення. З бактерій масовий розвиток одержують сіркобактерії *Beggiatoa*. Присутні водорості *Sphaerotilus natans*. Із синьо-зелених водоростей проходить масовий розвиток *Anabaena*, *Constricta*, *Oscillatoria Couterborni*. Із співтовариств зообентосу характерний масовий розвиток *Oligochaeta*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Tubifex tubifex* (трубочник). З класу комах – ряд двокрилих *Chironomus plumosus* (мотиль), *Chironomus thummi*.

β -мезосапробна зона характеризується великим вмістом синьо-зелених водоростей – *Oscillatoria splendida*, діатомових водоростей – рід *Nischia* sp., зелених водоростей – *Chlamydomonas ehrenbergi*, *Closterium* sp, *Cosmorium*, *Enteromorpha intestinalis*. Присутні інфузорії – Ciliata,

27
Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Курсове проектування: навчальний посібник. Навчальний посібник / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С.М. Кватернюк, В.А. Іщенко, П.М. Турчик. – Вінниця: ВНТУ, 2015.– 112 с.

найпростіші – Protozoa: *Vorticella convularia*, *Corchesium polypinum*, *Stylonichiamytilus*, коловертки – Rotatoria, *Brachionus rubens*, *Rotatoria rotatoria*. Поширені двостулкові молюски – *Bivalvia*, *Spharium corneum*, *Spharium revicula*, брюхоногі молюски – *Gastropoda*, *Physa fontinalis*.

α -мезосапробна зона характеризується розвитком синьо-зелених водоростей – *Anabena Flos-aqual* та інших видів, діатомових водоростей: *Melosira*, *Synedra acus*, *Gomphonema*, пірофітових водоростей – *Ceratuim hirudinella*, зелених водоростей – *Spirogira craqssa*, *Eudorina elegans*, *Cladophora glomerata*.

Олігосапробна зона характеризується високою прозорістю водойми. Найчастіше піщане дно. Високий вміст кисню у воді. У біоті переважають стенобіотні види (мають вузький діапазон толерантності).

Система сапробності була розроблена для індикації забруднення прісних вод переважно господарсько-побутовими стоками. В перелік біоіндикаторів забруднення водних середовищ входить понад 2500 видів.

За допомогою методу Пантле-Букка можна оцінити якість води за різними екологічними групами: фіто- і зоопланктоном, зообентосом та ін. (таблиця 3.12). При розрахунку індексу сапробності враховується не тільки сапробність організму-індикатора, але і його чисельність у даному співтоваристві. Формула для розрахунку індексу сапробності Пантле-Букка має такий вигляд:

$$S = \sum_{i=1}^j S_i h_i / \sum_{i=1}^j h_i,$$

де S – індекс сапробності (тобто індекс, за яким визначається ступінь забруднення водойми);

S_i – ступінь сапробності i -го організму-індикатора;

h_i – відносна чисельність i -го організму-індикатора;

j – число видів-індикаторів у даній пробі.

Таблиця 3.12 – Шкала оцінювання якості вод за індексом сапробності Пантле-Букка

Клас якості води	Ступінь забрудненості води	Індекс сапробності за індексом Пантле-Букка	Сапробність водойм (в модифікації Сладчека)
I	Дуже чиста	<1	ксеносапробні
II	Чиста	1,0-1,5	олігосапробні
III	Помірно забруднена	1,51-2,5	β -мезосапробні
IV	забруднена	2,51-3,5	α -мезосапробні
V	брудна	3,51-4,0	полісапробні
VI	Дуже брудна	>4,0	гіперсапробні

Одним з основних недоліків сапробіологічного аналізу є те, що система індикаторних видів розроблена для середньоєвропейської флори і фауни, що обмежує її застосування в незмінному вигляді в інших регіонах.

3.2.7 Визначення рівнів токсичного забруднення

Гідробіонти у водних екосистемах і самі екосистеми класифікуються з погляду їх реакції на токсичний вплив за шкалою таксобності (токсичності):

- оліготаксобні (оліготоксичні);
- β-мезотаксобні (β -мезотоксичні);
- α -мезотаксобні (α -мезотоксичні);
- політаксобні (політоксичні);
- гіпертаксобні (гіпертоксичні).

Крім вивчення видового складу і виділення індикаторних організмів для визначення рівня токсичного забруднення водних об'єктів використовуються й інші показники, і гідробіологічні, і гідрохімічні. Зокрема використовуються коефіцієнти нагромадження токсикантів у гідробіонтах:

$$K_H = C_B / C_B, \quad (3.26)$$

де K_H – коефіцієнт нагромадження;

C_B і C_B – відповідно вміст токсиканта в одиниці маси гідробіонта і воді (для мешканців водної товщі) чи:

$$K_H = C_B / C_D, \quad (3.27)$$

де C_D - вміст токсиканта в донних відкладеннях (для бентосних форм).

Крім методів біоіндикації (тобто визначення якості води за організмами-індикаторами, їх чисельністю, біомасою і т. д.), існує також метод біотестування, що часто застосовується для визначення рівня токсичного забруднення води.

Вибір показників, використовуваних при біотестуванні, залежить від задач дослідження, чутливості біологічного тест-об'єкта до забруднення, відтворюваності відхилень від норми, доступності для візуальних чи автоматизованих приладових спостережень. Як такі показники можуть використовуватися енергетичний обмін, фотосинтез (у рослин), генетичні зміни (для організмів з коротким життєвим циклом: бактерій, найпростіших), інгібування ацетилхолінестерази тканин і органів риб і безхребетних, поведінкові реакції, порушення інтенсивності діяльності, зміна умовно-рефлекторної діяльності й ін. В основі вибору вимірюваних параметрів повинна лежати адекватність їхніх змін патологічним зрушенням на організменому чи екосистемному рівні. Оскільки при біотестуванні не ставиться мета дати вичерпну оцінку токсичного впливу речовини, то при виборі перевага віддається показникам, що мають загальнобіологічну функціональну чи інтегральну значимість.

При біотестуванні часто використовують поведінкові тести. Зміна в поведінці при дії токсичних речовин часто стає причиною загибелі тварин чи зниження їхніх репродуктивних функцій. Найбільш надійний показник це порушення інстинктів діяльності для досягнення важливих біологічних цілей (живлення, захист, розмноження).

Основні напрямки в області біотестування розвиваються на основі двох концепцій.

У першому випадку найбільш значимі результати досягаються при використанні стандартних і нетрудомістких тестів.

Токсичність сублетальних концентрацій біологічно небезпечних речовин визначається на основі комплексу ранніх реакцій. Використання системи біотестів оснований на знанні тривалості і меж відхилення показників від вихідного рівня, що залежить від властивостей і концентрації речовини, екологічної валентності виду й ін. Як тест-об'єкти можуть виступати різні групи організмів - від бактерій, водоростей і найпростіших до різних видів риб (приклад біотестування на дафніях наводиться в таблиці 3.13).

Таблиця 3.13 – Встановлення рівня токсичного забруднення водних мас за даними біотестування на дафніях

Показник біотестування	Рівень токсичного забруднення
Загибель (миттєва або протягом 1-2 годин) тест-культури дафній	гіпертаксобний
Загибель понад 50% протягом 24 годин або не менше 50% протягом 48 годин	політаксобний
Поведінкові реакції (обертання навколо своєї осі, порушення координації рухів)	α -мезотаксобний
Загибель менше 50% протягом 48-96 годин, слабо виражені поведінкові реакції	β -мезотаксобний
Смертність не більше 10%, порушення репродуктивного циклу, ембріонального розвитку та інших функцій при хронічних дослідках	оліготаксобний

Таким чином, можна з упевненістю сказати, що незважаючи на широке застосування фізичних і хімічних методів дослідження, біологічний контроль є дуже ефективним методом визначення якості води (як у природних водоймах, так і на різних очисних спорудах).

3.2.8 Класифікація якості поверхневих вод за мікробіологічними показниками

Оцінювання якості поверхневих вод за мікробіологічними показниками також можна віднести до методів біоіндикації. Висока чутливість мікробіологічних показників до наявності у воді забруднень дозволяє широко використовувати їх при контролі як природних вод, так і якості очищення стічної води.

Мікробіологічні показники є обов'язковими при веденні моніторингу якості поверхневих вод.

Критерієм чистоти вод служить як загальна кількість бактерій, так і кількість бактерій-сапрофітів і співвідношення чисельності всіх бактерій до сапрофітного (присутність у воді великої кількості сапрофітів указує на надходження у водойму органічних речовин).

При санітарно-мікробіологічних дослідженнях виробляється визначення вихідного числа бактерій, колі-титру, колі-індексу, виявлення патогенних мікроорганізмів.

Кишкова паличка (*Bact. coli*) – мікроорганізм, що постійно живе в кишечнику людини і тварин і сам по собі нешкідливий. Однак кишкова паличка і родинні їй мікроорганізми (*Bact. paracoli*, *Bact. cloacae* і ін.) свідчать про забруднення води фекальними масами і різними покидьками і є загальновизнаним показником забруднення водойми. Для характеристики якості води визначають колі-індекс, тобто кількість колі-бактерій у 1000 мол води, і колі-титр, тобто кількість води, у якому міститься 1 бактерія. Відповідно до норм колі-індекс повинен бути не більше трьох, а колі-титр – не менше 333 мол [6]. Класифікація якості вод суші за мікробіологічними показниками подана в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 – Класифікація якості вод суші за мікробіологічними показниками

Клас вод	Ступінь забрудненості вод	Загальна кількість бактерій, млн. клітин/мл	Сапрофітні бактерії, 1000 клітин/мл	Відношення загальної кількості бактерій до кількості сапрофітних бактерій
1	Дуже чисті	до 0,5	до 0,1	10^3
2	Чисті	0,6-1,0	0,6-5,0	10^3
3	Помірно забруднені	1-3	5-10	10^2-10^3
4	Забруднені	3,1-5	10,1-50	10^2
5	Брудні	5,1-10	50,1-100	10^2
6	Дуже брудні	більше 10	більше 100	10^2

3.3 Нормування забруднюючих речовин в ґрунті

Забруднення ґрунтів відбувається як природним шляхом, так і в результаті антропогенної діяльності. За величиною зон та рівнем забруднення ґрунтів забруднення поділяють на фонове, локальне, регіональне й глобальне.

Фоновим вважають вміст забруднюючих речовин у ґрунті, що відповідає або близький до його природного складу.

Локальним вважають забруднення ґрунту одним або кількома джерелами забруднення.

Регіональне забруднення ґрунту виникає внаслідок перенесення забруднюючих речовин на відстань не понад 40 км від техногенних та більше 10 км – від сільськогосподарських джерел забруднення.

Глобальне забруднення ґрунту виникає внаслідок перенесення забруднюючої речовини на відстань 1000 км від будь-якого джерела забруднення.

Найнебезпечнішими для ґрунтів є хімічне забруднення, ерозія та засолення.

Унаслідок внесення високих доз мінеральних добрив ґрунт забруднюється баластними речовинами – хлоридами й сульфатами.

Пестициди пригнічують біологічну активність ґрунтів, знищують потрібні мікроорганізми, черв'яків, зменшують природну родючість. Крім того, гинуть комахи-запилувачі. Вже нині в результаті спровокованої людиною пестицидної еволюції близько 500 видів комах є стійкими проти застосування інсектицидів. Така стійкість виникає і в рослин.

За ступенем забруднення ґрунти поділяють на сильнозабруднені, середньозабруднені та слабозабруднені.

У сильнозабруднених ґрунтах кількість забруднюючих речовин у кілька разів перевищує ГДК. Вони мають низьку біологічну продуктивність та істотні зміни фізико-хімічних, хімічних та біологічних властивостей, внаслідок чого вміст хімічних речовин у вирощуваних культурах перевищує встановлені норми.

У середньозабруднених ґрунтах перевищення ГДК незначне, що не призводить до помітних змін його властивостей.

У слабозабруднених ґрунтах вміст хімічних речовин не перевищує ГДК, але перевищує фонову концентрацію.

3.3.1 Нормативні показники якості ґрунту

Нормативи вмісту забруднюючих речовин в ґрунті розробляють за трьома напрямками:

- нормування вмісту шкідливих хімічних речовин в орному шарі ґрунту;
- нормування накопичення токсичних речовин на території підприємства;

- нормування забруднення ґрунту в житлових районах, переважно в місцях збереження побутових відходів.

Гранично допустима концентрація шкідливої речовини в орному шарі ґрунту ($ГДК_{гр}$) - це така концентрація, яка не справляє прямого або опосередкованого негативного впливу на контактуючі з ґрунтом середовища (атмосфера та гідросфера), на здоров'я людини, а також на самовідновлювану властивість ґрунту.

Нормативи $ГДК_{гр}$ розроблено для речовин, що можуть мігрувати в атмосферне повітря або ґрунтові води, знижувати врожайність або погіршувати якість сільськогосподарської продукції, а також продуктів харчування рослинного походження.

3.3.2 Оцінювання рівня хімічного забруднення ґрунтів

Рівень забруднення оцінюють показниками, розробленими за суміщення геохімічних та гігієнічних досліджень міських середовищ. Такими показниками є коефіцієнт концентрації хімічного елемента і сумарний показник забрудненості Z_c . Коефіцієнт концентрації визначають як відношення реального вмісту хімічного елемента в ґрунті до фонового вмісту цього ж елемента

$$K_c = \frac{C}{C_\phi}, \quad \text{або} \quad K_c = \frac{C}{ГДК}, \quad (3.28)$$

де C – реальний вміст певного хімічного елемента в ґрунті, мг/кг;

C_ϕ – фоновий вміст певного хімічного елемента в ґрунті, мг/кг;

$ГДК_{гр}$ – гранично допустима концентрація забруднюючої речовини в ґрунті, мг/кг.

Оскільки ґрунти доволі часто забруднені кількома елементами, то для них розраховують сумарний показник забрудненості, що відображає комплексний ефект впливу всієї групи елементів

$$Z_c = \left(\sum_{i=1}^n K_{C_i} \right) - (n-1), \quad (3.29)$$

де Z_c – сумарний показник забрудненості ґрунтів;

K_{C_i} – коефіцієнт концентрації i -го хімічного елемента в пробі ґрунту;

n – кількість врахованих хімічних елементів.

Сумарний показник забрудненості може бути визначений як для всіх елементів однієї проби, так і для ділянки території за геохімічною вибіркою.

Небезпечність забруднення ґрунтів комплексом хімічних елементів оцінюють за показником Z_c , користуючись шкалою, градація

якої розроблена на підставі вивчення стану здоров'я населення, яке мешкає на територіях з різними рівнями забрудненості ґрунтів (табл. 3.15).

Таблиця 3.15 – Орієнтовна оцінна шкала небезпечності забруднення ґрунтів за сумарним показником Z_c

Категорія забруднення ґрунту	Z_c	Зміна показників якості здоров'я мешканців у зонах забруднення ґрунтів
Допустима	<16	Найнижчий рівень захворюваності дітей та мінімум функціональних відхилень у дорослого населення
Помірно небезпечна	16-32	Підвищення загального рівня захворюваності
Небезпечна	32-128	Підвищення загального рівня захворюваності, кількості дітей, які часто хворіють, дітей з хронічними захворюваннями, порушення функціонування серцево-судинної системи
Дуже небезпечна	>128	Підвищення захворюваності дітей, порушення репродуктивної функції у жінок (збільшення випадків токсикозу при вагітності, передчасних пологів, мертвонароджених, гіпотрофій немовлят)

Важливим елементом комплексу заходів щодо збереження ґрунтів є гігієнічне регламентування їх забруднення. При цьому термін «гранично допустима кількість речовини, що забруднює ґрунти» означає частку хімічної речовини, що забруднює ґрунт (мг/кг) і не чинить прямої або опосередкованої дії, виключаючи віддалені наслідки для навколишнього природного середовища та здоров'я людини. Значення ГДК речовин у ґрунтах для деяких речовин подано у табл. 3.16.

Крім ГДК застосовують показник орієнтовно допустимої кількості (ОДК) забруднюючої ґрунти хімічної речовини, яку визначають розрахунковим методом.

Таблиця 3.16 – Значення ГДК хімічних речовин у ґрунті

Назва речовини	ГДК, мг/кг
Метали	
Кобальт	5,0
Марганець, вилучений з чорнозему та дерново-підзолистого ґрунту	700,0
Мідь (рухома форма)	3,0
Ніколь	4,0
Ртуть	2,1
Свинець (рухома форма)	6,0
Свинець	32,0
Хром	6,0
Цинк	23,0
Неорганічні сполуки	
Нітрати	130,0
Миш'як	20,0
Сірководень	0,4
Фосфор (суперфосфат)	200,0
Фториди	10,0
Ароматичні вуглеводні	
Бензол	0,3
Ізопропилбензол	0,5
Ксилоли	0,3
Стирол	0,1
Толуол	0,3
Добрива та ПАР	
Рідкі комплексні добрива з доданням марганцю	80,0
Азотно-калійні добрива	120,0
Поверхнево активні речовини	0,2

3.3.3 Оцінювання санітарного стану ґрунтів

Санітарний стан ґрунтів оцінюють за спеціальними нормованими показниками. Як основний хімічний показник використовують санітарне число - частка від ділення кількості ґрунтового білкового азоту в міліграмах на 100 г абсолютно сухого ґрунту до кількості органічного азоту в тих самих одиницях. Показником бактеріального забруднення ґрунту є титр кишкової палички та титр одного з анаеробів. Санітарно-гельмінтологічним показником ґрунту є кількість яєць гельмінтів в 1 кг ґрунту. Ентомологічний показник визначають за наявністю личинок та лялечок мух на 0,25 м² поверхні ґрунту (табл. 3.17).

Таблиця 3.17 – Показники санітарного стану ґрунтів населених
 Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Курсове проектування: навчальний посібник. Навчальний посібник / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С.М. Кватернюк, В.А. Іщенко, П.М. Турчик. – Вінниця: ВНТУ, 2015.– 112 с.

пунктів та сільськогосподарських угідь

Ґрунт	Кількість личинок та лялечок мух	Кількість яєць гельмінтів	Титр колі	Титр анаеробів	Санітарне число
Чистий	0	0	>1	>0,1	0,98-1
Мало забруднений	Одиниці	До 10	1-0,01	0,1-0,001	0,85-0,98
Забруднений	10-25	11-100	0,01-0,001	0,001-0,0001	0,7-0,85
Сильно забруднений	25	Понад 100	<0,001	<0,0001	<0,7

Стан єдиного державного земельного фонду контролюють за спеціальними методиками санітарні лікарі та санітарно-епідеміологічні станції, а контроль хімічних забруднень – агрохімічні лабораторії, СЕС та організації охорони природи.

3.3.4. Нормативи оцінювання пестицидного забруднення ґрунтів

Пестициди - це хімічні сполуки (речовини), що використовуються як засоби захисту рослин і тварин від шкідливих організмів. Їх широко використовують у сільському господарстві для зменшення втрат врожаю та підвищення якості продукції.

Найширше у сільському господарстві використовують гербіциди, інсектициди, фунгіциди та регулятори росту рослин.

Залежно від способу проникнення в шкідливий організм та механізму дії пестициди поділяють на різні групи. Інсектициди бувають: контактні – вражають комах при контакті речовини з будь-якою частиною тіла; кишкові – отруюють при потраплянні отрути в кишковик комахи; системні – здатні рухатись судинною системою рослин і отруювати комах після поїдання отруєних рослин.

Залежно від ступеня небезпечності для людей і тварин пестициди поділяють на:

- високотоксичні – 50-200 мг/кг;
- середньотоксичні – 200-1000 мг/кг;
- малотоксичні – понад 1000 мг/кг.

Цілком придатну оцінку екологічного стану земель можна отримати за допомогою даних, що характеризують рівень пестицидного навантаження, однак для більшої об'єктивності необхідно мати інформацію про залишкову кількість пестицидів у ґрунтах і рослинах. Рівень забрудненості ґрунтів та рослинної маси залишками пестицидів визначають шляхом порівняння фактичного вмісту пестицидів у ґрунті або у сільськогосподарській продукції з ГДК. Перевищення фактичного вмісту залишкової кількості пестицидів відносно ГДК є показником небезпечності екологічної ситуації. У табл. 3.18 наведено нормативи₃₆ оцінок пестицидного забруднення Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Курсове проектування: навчальний посібник. Навчальний посібник / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С.М. Кватернюк, В.А. Іщенко, П.М. Турчик. – Вінниця: ВНТУ, 2015.– 112 с.

ґрунтів. За відсутності ГДК можна встановлювати тимчасові допустимі концентрації (ТДК), які визначають за емпіричним рівнянням регресії:

$$ТДК = 1,23 + 0,48 \lg ГДК_{x.n.}, \quad (3.30)$$

де $ГДК_{x.n.}$ - гранично допустима концентрація речовини у харчових продуктах.

Таблиця 3.18 – Нормативи оцінок пестицидного забруднення ґрунтів

Тип екологічної ситуації	Залишкова кількість пестицидів, кг/га	У ґрунті	У рослин
Сприятлива	<3	не виявляється	не виявляється
Задовільна	3-4	<ГДК	<ГДК
Передкризова	4-5	<ГДК	<ГДК
Кризова	5-6	1,1 - 1,5 ГДК	1,1 - 1,5 ГДК
Катастрофічна	>6	1,6 - 10 ГДК	1,6 - 10 ГДК

3.3.5 Екологічне оцінювання ґрунтів населених пунктів

Ґрунти в силу своїх природних властивостей здатні накопичувати значну кількість забруднюючих речовин. На територіях населених пунктів можливий перенос забруднюючих речовин із ґрунтів у повітря і води, що може безпосередньо впливати на здоров'я населення. Тому для міських (селітебних) територій доцільний санітарно-гігієнічний підхід до вибору критеріїв екологічної оцінки ґрунтів.

На територіях населених пунктів переважає промислове забруднення ґрунтів. У числі токсичних речовин антропогенного походження значна роль належить важким металам (ВМ): хрому, нікелю, кадмію, свинцю й ін., а також нафтопродуктам і поліциклічним ароматичним вуглеводням (ПАВ). Росту забруднення ґрунтів сприяє радіація, викликана аваріями на АЕС, атомними вибухами, витоками з реакторів, порушенням правил поховання радіоактивних відходів.

Критерієм і найважливішим нормативом, що дозволяє оцінити ступінь забруднення ґрунту хімічними речовинами, є ГДК забруднюючих речовин.

При оцінюванні сумарного забруднення ґрунтового покриву при числі речовин менше восьми використовується безрозмірний показник (БПЗ)

$$БПЗ = \sum_{i=1}^n C_i / ГДК_i,$$

де C_i – концентрація і-го інгредієнта в ґрунті, мг/кг ґрунту;

$ГДК_i$ – гранично допустима концентрація і-го інгредієнта в ґрунті, мг/кг ґрунту;

n – число інгредієнтів, що враховуються.

Одним з методів побудови оцінних шкал є статистичний метод сигнальних відхилень, що може бути використаний при оцінюванні рівнів досліджуваних показників для окремих територій, груп підприємств і ін.

Сутність методу полягає в тому, що для ряду показників розраховується середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (p_i - \bar{p})^2}{n-1}},$$

де $\sum (p_i - \bar{p})^2$ – сума квадратів відхилень кожного з показників від середньої величини, розрахованої за формулою

$$\bar{p} = \frac{\sum p_i}{n},$$

де n – число значень аналізованого ряду показників.

Для побудови оцінної шкали необхідно розрахувати інтервали з використанням значення середнього квадратичного відхилення. За «нормальні» чи «базові» показники можуть бути прийняті ті з них, що не виходять за межі інтервалу границь:

$$\bar{p} \pm 0,5 \cdot \sigma.$$

На підставі величини відхилення показників від середнього значення в межах σ визначаються значення показників за п'ятирівневою шкалою:

Рівень показника	Межі коливань
Високий	Від $p + \sigma$ і вище
Вище середнього	Від $p + 0,5 \cdot \sigma$ до $p + \sigma$
Середній	Від $p - 0,5 \cdot \sigma$ до $p + \sigma$
Нижче середнього	Від $p - 0,5 \cdot \sigma$ до $p - \sigma$
Низький	Від $p - \sigma$ і нижче

Для забруднюючих речовин неприродного походження коефіцієнт концентрації визначають як результат від розподілу масової частки забруднюючої речовини і його ГДК.

Значення сумарного показника забруднення ґрунтів K_c зіставляються з орієнтованою шкалою небезпеки забруднення, що має градації припустимої (до 16), помірковано небезпечної (до 32), небезпечної (до 128) і надзвичайно небезпечної (понад 128) категорії забруднення, що статистично пов'язано зі зміною показників здоров'я населення в зонах забруднення.

Найбільш часто для населених пунктів використовується оцінна шкала, основана на зміні показників здоров'я населення у вогнищах забруднення.

Екологічне оцінювання радіоактивного забруднення ґрунтів селітебних територій проводиться за двома основними показниками: потужністю

експозиційної дози на рівні 1 м від поверхні землі (мкр/годину) і ступенем радіоактивного забруднення по окремих радіоізотопах (кюрі/км²) [8].

3.4 Нормування забруднення харчових продуктів

В організм людини з їжею надходять не тільки поживні речовини, а й сторонні хімічні речовини. З їжею надходить до 95% пестицидів, тоді як з водою – 4,7 і з атмосферним повітрям – 0,3%. Нітрати та нітрити до 70% в організм людини потрапляють найчастіше з продуктами рослинного походження, а решта – з водою та продуктами тваринного походження. Радіонукліди (приблизно до 94%) надходять з продуктами харчування, а решта – з водою та повітрям. Забруднення потрапляють у продукти харчування з некондиційної сировини з сільськогосподарської продукції, вирощеної за недосконалими технологіями. У разі використання недосліджених добрив (мінеральних чи органічних), нераціонального їх внесення чи зрошування угідь забрудненими стічними водами хімічні речовини в підвищеній кількості надходять у продукцію рослинництва й тваринництва, а з нею - в харчові продукти.

Забруднення, що надходять з довкілля, характеризуються різною структурою і властивостями та здатністю до біоаккумуляції. До них належать канцерогенні багатоядерні ароматичні вуглеводні, бенз(а)пірен та ін. Особливо шкідливі сполуки (переважно канцерогенні) можуть утворюватися внаслідок порушення технології термічної обробки.

З метою запобігання утворенню шкідливих речовин та зменшенню їх кількості в харчових продуктах слід чітко виконувати агротехнічні заходи і вимоги технологічних регламентів, що забезпечить вирощування якісної сировини та виготовлення з неї якісних харчових продуктів. Необхідно уникати утворення нових шкідливих речовин у процесі технологічної та кулінарної обробки й зберігання, у недопусканні змін харчової цінності, смаку, аромату та інших органолептичних властивостей продуктів харчування внаслідок дії сторонніх речовин.

Забруднення харчових продуктів зумовлюють харчові отруєння, які поділяють на бактеріальні, небактеріальні та мікотоксикози.

Бактеріальні отруєння – це токсикоінфекційні отруєння, спричинені мікроорганізмами групи сальмонел. Ці захворювання виникають у результаті споживання заражених мікробами м'ясних, молочних, рибних та рослинних продуктів, яєць качок та гусей тощо. До бактеріальних отруєнь належать також отруєння, спричинені стафілококами. Ці захворювання пов'язані зі вживанням недоброякісних продуктів (молока, сиру, консервів, кондитерських виробів, морозива тощо).

Небактеріальні отруєння пов'язані з потраплянням у харчові продукти хімічних отруйних речовин та радіонуклідів. Наприклад, пестициди потрапляють із сільськогосподарськими продуктами (зерном, овочами та фруктами), деякі важкі метали (сви- (свинець, мідь, цинк, ртуть та ін.)

можуть переходити в продукти харчування з посуду, пакувальної тари тощо.

Надмірна кількість нітратів у харчових продуктах становить велику небезпеку для здоров'я людини. Останнім часом доведено канцерогенну дію нітратів, особливо у разі тривалого і систематичного надходження їх в організм людини.

МОЗ України затверджено максимально допустимі рівні нітратів (МДР) у плодоовочевій продукції (табл. 3.19).

Таблиця 3.19 – Максимально допустимі рівні нітратів у плодоовочевій продукції

Продукція	Норма нітратів мг/кг сирого продукту, за нітрат-йоном
Картопля: рання (до 1 вересня)	240
пізня (після 1 вересня)	120
Капуста білоголова: рання	800
пізня	400
Морква: рання	600
пізня	300
Томати у ґрунті: відкритому	100
захищеному	200
Огірки у ґрунті: відкритому	200
захищеному	400
Буряки столові	1400
Цибуля ріпчаста	80
Цибуля на перо у ґрунті: відкритому	400
захищеному	800
Зелені овочеві культури у відкритому ґрунті (салат, шпинат, щавель, капуста салатна, петрушка, селера, кріп).	1500
Зелені овочеві культури у захищеному ґрунті	3000
Перець солодкий у відкритому ґрунті	200
Кабачки у захищеному ґрунті	400
Кавуни	60
Дині	90
Гарбузи	60
Виноград столових сортів, яблука, груші	60
Продукти дитячого харчування:	
консерви на фруктовій основі,	50
консерви на овочевій основі	100

Мікотоксикози – це отруєння, спричинені мікотоксинами, які потрап-

ляють в організм з харчовими продуктами.

Під час розробки нормативів ГДК шкідливих речовин у харчових продуктах ($ГДК_{хп}$) враховують дані токсикології та гігієнічного нормування цих речовин у повітрі, воді, ґрунті, а також інформацію про природний вміст різних хімічних елементів у харчових продуктах.

Гранично допустима концентрація (допустима залишкова кількість) шкідливої речовини у харчових продуктах – це концентрація шкідливої речовини, яка впродовж необмеженого часу (при щоденному впливі) не спричинює захворювань або відхилень у стані здоров'я людини.

Санітарно-гігієнічне нормування забрудненості харчових продуктів стосується головним чином пестицидів, важких металів та деяких аніонів (наприклад нітратів). Необхідно відзначити, що при інтерференції результатів дослідження не можна використовувати $ГДК_{хп}$ як стандарт, прийнятий для будь-яких об'єктів біоти. Наприклад, опис результатів дослідження накопичення сполук ртуті у тканинах птахів не може бути підставою для висновків про перевищення $ГДК_{хп}$.

3.4.1 Нормативи пестицидного забруднення харчових продуктів

За накопиченням у харчових продуктах пестициди поділяють на:

- з вираженою, помірною і слабо вираженою акумуляцією;
- дуже стійкі (час розкладу на нетоксичні компоненти понад 2 роки);
- стійкі (0,5 - 2 роки);
- помірно стійкі (1 - 6 місяців);
- малостійкі (до 1 місяця).

Сільськогосподарська сировина та харчові продукти можуть забруднюватися пестицидами прямим і непрямим шляхами. Під час оброблення сільськогосподарських культур, тварин, птиці, зерна, фуражу тощо відбувається забруднення прямим шляхом. До непрямих шляхів забруднення харчових продуктів пестицидами належать: транслокація їх у рослини з ґрунту; занесення пестицидів у період обробки на непередбачені площі та водойми; напування тварин забрудненою водою і використання для них кормів, забруднених пестицидами, та ін.

Ступінь шкідливості пестицидів визначається надходженням та рівнем вмісту їх у харчових продуктах. Залишкова кількість пестицидів у харчових продуктах зумовлена їхніми фізико-хімічними властивостями; розчинністю у воді, жирах; швидкістю та характером трансформації.

Пестициди можуть зберігатися у культурах від одного тижня до п'яти місяців. Деякі хлорорганічні речовини дуже стійкі, і їх знаходять у ґрунті та харчових продуктах через 4 - 12 років після застосування.

У людей з гострим отруєнням виникають головний біль, запаморочення, втрата апетиту, нудота, інколи блювання, біль у животі, м'язах, підвищується температура.

Фосфорорганічні пестициди швидко розпадаються під впливом факторів зовнішнього природного середовища (сонячне світло, ультрафіолетове випромінювання, температура, кисле середовище), а в продуктах харчування руйнуються при проварюванні. Дотримуючи правил оброблення рослин і тварин та строків від моменту оброблення до збирання врожаю, отруїтися фосфорорганічними речовинами практично неможливо. Це може статися тільки у разі значного збільшення доз препарату під час оброблення та скорочення встановленого інтервалу між останнім обробленням рослин і тварин сильнодіючими препаратами і збиранням урожаю та забоєм тварин.

Неорганічні препарати, до складу яких входить мідь, залізо, сірка, ртуть та ін., широко використовують для захисту рослин, садів, плодових культур та овочів від хвороб.

З ртутьорганічних сполук використовують тільки гранозан, яким протравлюють зерно. Він стійкий, леткий, високотоксичний і діє на білок тканин людського організму, внаслідок чого порушується обмін речовин у тканинах, змінюється стан центральної нервової системи, серця, судин та інших органів – можливі отруєння.

Сполуки, що містять мідь (сульфат міді або мідний купорос, бордоська рідина, хлороксид міді) широко використовують для захисту садів, виноградників, плодових культур та овочів від шкідників і хвороб.

3.4.2 Санітарне оцінювання продуктів тваринництва

М'ясо залежно від наявності в ньому отруйних речовин і можливості використання в їжу поділяють на три групи. Санітарне оцінювання м'яса на вміст цих речовин (при результатах бактеріологічного і біохімічного дослідження) наведено в табл. 3.20.

Яйця, якщо в них виявлено пестицидів більше, ніж це передбачено нормами, використовують у кондитерському виробництві. М'ясо, рибу, яйця при виготовленні різних продуктів вводять з таким розрахунком, щоб готова продукція містила пестицидів не більше від максимально допустимих рівнів.

Таблиця 3.20 – Санітарне оцінювання м'яса

Отруйні речовини, наявність яких у м'ясі та субпродуктах не допускається	Гранично допустимі кількості отруйних речовин у 1 кг м'яса, мг	Отруйні речовини, з якими м'ясо допускається для використання на харчові цілі
Фосфорорганічні пестициди – метафос, тіофос, ДДВФ, хлорофос	Свинцю – 0,5; кремній-фтористого натрію – 0,4; нітратйону – 100; ДДТ та його метаболітів і гексахлорциклогексану – до 0,005; атразину – 0,2; ролену – 0,3; метоксихлору – 14 .	Препарати фтору, солі цинку і міді, хлорид натрію, алкалоїди, кислоти і луги, газоподібні речовини (амоній, хлор, чадний газ, сірчистий ангідрид), карбамід, сапоніни, речовини фотодинамічної дії, що містяться в гречці, просі, люцерні, ціаногенні рослини, токсичні грибки, отруйні речовини куколю, молочаю, веху і рослин сімейства лютикових
Хлорорганічні сполуки – гептахлор, поліхлор-камфен; севин, ТМТД, цинеб, дикрезил, полікарбацил, байгон та ін.; динітроортокрезол, нітроген, гербіциди групи 2,4 Д	За отруєння м'яса нітрами з рівнем не вище 7-10 мг % м'ясо вимушено забитих тварин можна використовувати для виробництва варених ковбас	У всіх випадках внутрішні органи, у тому числі і кишково-шлунковий тракт, вим'я та мозок утилізуються
Хлорорганічні сполуки – гептахлор, поліхлор-камфен; севин, ТМТД, цинеб, дикрезил, полікарбацил, байгон та ін.; динітроортокрезол, нітроген, гербіциди групи 2,4 Д	За отруєння м'яса нітрами з рівнем не вище 7-10 мг % м'ясо вимушено забитих тварин можна використовувати для виробництва варених ковбас	У всіх випадках внутрішні органи, у тому числі і кишково-шлунковий тракт, вим'я та мозок утилізуються

3.4.3 Нормування вмісту важких металів у харчових продуктах

Вміст важких металів у харчових продуктах і продовольчій сировині не має перевищувати допустимі рівні наведені у табл. 3.21.

Таблиця 3.21 – Гранично допустимі концентрації важких металів у харчових продуктах, мг/кг

Продукти	Важкі метали						
	кадмій	мідь	ртуть	свинець	цинк	олово	миш'як
1	2	3	4	5	6	7	8
Овочі й картопля свіжі та свіжоморожені	0,03	5	0,02	0,5	10	—	0,2
Фрукти і ягоди свіжі та свіжоморожені	0,03	5	0,02	0,4	10	—	0,2
Гриби свіжі й консервовані	0,1	10	0,05	0,5	20	-	0,2
Консерви овочеві в скляній, алюмінієвій цільнотягнутій та металевій тарі	0,03	5	0,02	0,5	10	-	0,2
Консерви овочеві у збірній металевій тарі	0,05	5	0,02	1	10	200	0,2
Консерви фруктовоягідні та соки у скляній, алюмінієвій, цільнотягнутій металевій тарі	0,03	5	0,02	0,4	10	-	0,2
Консерви фруктовоягідні та соки у збірній металевій тарі	0,05	5	0,02	1	10	200	0,2
Картопля, овочі сушені та концентровані (у перерахунку на сиру масу)	0,03	5	0,02	0,4	10	-	0,2
Консерви для дитячого харчування на овочевій та фруктовій основі	0,02	5	0,01	0,3	10	-	0,2
Овоче-молочні і плодово-молочні суміші	0,02	5	0,01	0,3	50	-	0,2

Допустимі рівні вмісту важких металів встановлені санітарними правилами та нормами (СанПіН), медично-біологічними вимогами і санітарними нормами якості продовольчої сировини й харчових продуктів

Норми вмісту важких металів в харчових продуктах зазначені також у державних стандартах України.

Налічується близько 20 токсичних важких металів, але вони неоднаковою мірою токсичні. Їх поділяють на три класи небезпечності:

- перший клас (найнебезпечніший) - кадмій, ртуть, нікель, свинець, кобальт, миш'як, що мають виняткову токсичність;
- другий клас – мідь, цинк і марганець. Вони мають помірну токсичність;
- третій клас – інші токсичні важкі метали.

Харчові продукти і продовольчу сировину контролюють на вміст тільки кадмію, міді, ртуті, свинцю, цинку, олова, миш'яку і заліза. Нормують вміст важких металів і в продуктах тваринного походження та питній воді.

3.4.4 Нормування забруднення харчових продуктів антибактеріальними речовинами

Продовольчі товари тваринного походження забруднюються різноманітними антибактеріальними речовинами. Джерелом надходження їх в основному можна вважати різні кормові добавки, лікарські та хімічні препарати, що використовують для підвищення продуктивності сільськогосподарських тварин, профілактики захворювань, збереження доброякості кормів. Найбільш поширеними є антибіотики, сульфаніламіди, нітрофурани і гормональні препарати.

У харчових продуктах можуть зустрічатись антибіотики різних походжень: природні, антибіотики, що утворюються в процесі приготування продуктів, антибіотики лікувально-ветеринарних засобів і біостимуляторів, деякі види, що застосовують для консервування, та ін. Природні компоненти з антибіотичною дією містяться у цибулевих овочах, хроні, прянощах, ефірних оліях, багатьох фруктах, зернових культурах, меді, свіжовидоєному молоці та ін. Частину з них використовують у лікувально-профілактичному харчуванні та для консервування харчових продуктів. При цьому враховують їх безпечність, доступність, а часом і значну ефективність у поєднанні з комплексною дією у багатьох видах продовольчих товарів.

Під час мікробно-ферментативних процесів утворюються різні групи речовин з антибіотичною дією, які доволі широко застосовують у ветеринарії і тваринництві для профілактики та лікування багатьох захворювань, прискорення росту тварин, поліпшення якості кормів, їх збереження тощо.

Антибіотики стимулюють окремі біохімічні процеси в організмі тварин, що призводить до поліпшення їх загального стану, прискорення росту, підвищення продуктивності, активізації захисних реакцій. Тому

антибіотики використовують не тільки для лікування та профілактики багатьох інфекційних та незаразних хвороб, але й для стимулювання росту тварин, підвищення їх продуктивності.

Особливу групу становлять антибіотики, що призначені для стимулювання росту й підвищення продуктивності тварин і які не використовуються в лікувальній ветеринарній або медичній практиці. Крім безпечності та високої ефективності, ці препарати повинні мати такі властивості:

- не резорбціюватись або майже не резорбціюватись зі шлунково-кишкового тракту, що унеможлиблює потрапляння залишкових кількостей антибіотиків у харчові продукти тваринного походження;

- справляти антибактеріальну дію переважно на грампозитивну мікрофлору;

- не спричиняти перехресної резистентності мікроорганізмів до інших антибіотиків, які використовують для лікування.

За раціонального використання кормових антибіотиків в умовах правильної відгодівлі та утримання тварин підвищується приріст маси тіла, знижуються затрати кормів на одиницю продукції і собівартість м'яса, скорочується період відгодівлі.

Для виключення можливості потрапляння антибіотиків у продукти тваринництва використання їх при вирощуванні та відгодівлі сільськогосподарських тварин суворо регламентується. Не дозволяється добавляти кормові антибіотики у корми коровам, племінним тваринам у племінних господарствах, а також курям-несучкам. Корми з антибіотиками виключають з раціону всіх тварин за 1-14 діб до забою залежно від виду антибіотика. При здаванні худоби на м'ясо у ветеринарному свідоцтві або довідці має бути вказано час виключення антибіотиків із раціону.

Близько половини виготовлених антибіотиків використовують у тваринництві. Вони здатні переходити в м'ясо, молоко, яйця птахів та інші продукти (табл. 3.22).

Залишки антибіотиків у молоці можуть істотно погіршити технологічний процес виробництва сирів та деяких інших молочних продуктів. Вони пригнічують розвиток молочнокислих бактерій, порушують сичужне згортання молока, що негативно впливає на органолептичні показники і склад цих продуктів. Антибіотики, що знаходяться у молоці і молочних продуктах, можуть зумовити токсичну, тератогенну і мутагенну дію на організм людини.

Таблиця 3.22 – Антибіотики у продуктах тваринництва

Види продуктів	Антибіотики	Спосіб введення	Концентрація, мкг/кг
Яловичина	Пеніцилін	Внутрішньом'язовий	до 62
Продукти з яловичини: варене м'ясо, напівфабрикати, ковбаси	Пеніцилін	Те саме	до 31
Свинина	Пеніцилін Стрептоміцин	3 кормами і водою	до 12 2100
Яловичина, свинина, телятина	Хлорамфенікол	Внутрішньом'язовий	до 7000
М'язи і органи птахів	Тетрациклін	-//-	25-5600
Молоко коров'яче	Пеніцилін Тетрациклін Стрептоміцин Новобіцин	3 кормами і водою Внутрішньом'язовий	до 131 25-125 20-1000 45
Сметана, сир	Пеніцилін Стрептоміцин	Внутрішньом'язовий	0,6-6,6 1000
Яйця	Тетрациклін Ампіцилін Стрептоміцин Клопидол	3 кормами і водою	350-1150 до 350 до 8000 30-70

3.5 Науково-технічні нормативи впливів на навколишнє природне середовище

Щоб забезпечити якість навколишнього природного середовища для всіх об'єктів господарської діяльності, які є забруднювачами, розраховують і встановлюють норми на гранично допустимі викиди (ГДВ) та гранично допустимі скиди (ГДС).

3.5.1 Визначення ГДВ шкідливих речовин у приземному шарі атмосфери

ГДВ для кожного стаціонарного джерела встановлюють за умови, що викиди шкідливих речовин від такого джерела сумісно з фоновим забрудненням не створять у приземному шарі атмосфери із концентрацією, що перевищує ГДК, тобто необхідним є виконання умови

$$C_m + C_\phi \leq ГДК, \quad (3.31)$$

де C_m – концентрація в приземному шарі атмосфери забруднювачів від цього джерела (за умови найнесприятливіших для розсіювання), мг/м^3 ; Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Курсове проектування: навчальний посібник. Навчальний посібник / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С.М. Кватернюк, В.А. Іщенко, П.М. Турчик. – Вінниця: ВНТУ, 2015.– 112 с.

C_{ϕ} – фонова концентрація, мг/м³.

Якщо значення ГДВ з об'єктивних причин не можуть бути досягнуті, то для таких підприємств встановлюють значення тимчасово узгоджених викидів шкідливих речовин (ТУВ) і вводиться поетапне зниження показників викидів шкідливих речовин до значень, що забезпечували б дотримання ГДВ.

ГДВ для нагрітих викидів з одного джерела з круглим отвором або групи таких, що близько розташовані один біля одного, у разі, коли фонова концентрація сумішей (C_{ϕ}) встановлена як незалежна від швидкості та напрямку вітру і постійна на території, що розглядається, визначають за формулою

$$\text{ГДВ} = \frac{(\text{ГДК} - C_{\phi}) \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}, \quad (3.32)$$

де H – висота джерела викиду (труби) над рівнем землі, м;

V_1 – об'ємна витрата газів, що викидаються, (повітря) при робочих умовах, м³/с;

ΔT – різниця між температурою газоповітряної суміші, що викидається, і температурою навколишнього атмосферного повітря, °С;

A – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації;

F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосфері;

m , n – безрозмірні коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з отвору джерела викиду;

η – коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості на розсіяння домішок.

Витрати (об'єм) газоповітряної суміші визначають за формулою

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \omega_{\text{сеп}}, \quad (3.33)$$

де D – діаметр отвору джерела викиду, м;

$\omega_{\text{сеп}}$ – середня швидкість виходу газоповітряної суміші з отвору джерела викиду, м/с.

Значення безрозмірного коефіцієнта m визначають за формулою

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}}, \quad (3.34)$$

де f – знаходять за математичним виразом

$$f = 10^3 \cdot \frac{\omega_{\text{сеп}}^2 \cdot D_0}{H^2 \cdot \Delta T}. \quad (3.35)$$

Безрозмірний коефіцієнт n визначають залежно від параметра V_m

$$V_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}. \quad (3.36)$$

За величиною V_m значення коефіцієнта n приймають за таких умов:

– якщо $V_m < 0,3$, то $n = 3$;

– якщо $0,3 \leq V_m \leq 2$, то n знаходять за формулою

$$n = 3 - \sqrt{(V_m - 0,3)(4,36 - V_m)^{-1}}; \quad (3.37)$$

– якщо $V_m > 2$, то $n = 1$.

Безрозмірний коефіцієнт η дорівнює одиниці, якщо в радіусі 50 Н від джерела перепад відміток місцевості не перевищує 50 м на 1 км. В інших випадках поправку на рельєф встановлюють на підставі картографічного матеріалу, що висвітлює рельєф місцевості в радіусі 50 Н від джерела, але не менше 2 км.

Величину ГДВ для холодної газоповітряної суміші за всіх інших умов, однакових з розглянутими раніше, визначають за формулою

$$\text{ГДВ} = \frac{(\text{ГДК} - C_\phi) \cdot H^{4/3}}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \cdot 8V_1. \quad (3.38)$$

Залежність значень коефіцієнта A від розташування джерела на території країни така сама, як і у випадку нагрітих викидів.

Безрозмірний коефіцієнт n визначають залежно від значення параметра V_m і розраховують за формулою

$$V_m = 1,3 \cdot \frac{\omega_{\text{ср}} \cdot D}{H}. \quad (3.39)$$

Якщо різниця температур ($^{\circ}\text{C}$) близька до нуля або при розрахунках параметр f перевищує 100, то для таких викидів ГДВ розраховувати так само, як і для холодних викидів, оскільки початкове перегрівання не справляє істотного впливу на початкове піднімання факела та розсіювання викидів в атмосфері.

Для холодних викидів висоту труби визначають за формулою

$$H = \left[\frac{A M F D \eta}{8 V_1 (\text{ГДК} - C_\phi)} \right]^{3/4}. \quad (3.40)$$

Якщо у повітрі населених пунктів, де розташовані підприємства, C_ϕ перевищує ГДК, а значення ГДВ з об'єктивних причин не можуть бути досягнуті, вводять поетапне зниження викидів шкідливих речовин до ГДК.

Усі промислові викиди в атмосферне повітря періодично інвентаризують, тобто проводять систематизацію відомостей про розподіл джерел викидів на території об'єкта, їх кількість і склад.

Метою інвентаризації є:

- визначення викидів шкідливих речовин, що надходять в атмосферу від об'єктів;
- оцінювання впливу викидів на довкілля, встановлення ГДВ;
- розроблення рекомендацій з організації контролю викидів;
- оцінювання стану очисного обладнання та екологічності техноло-

- гій і виробничого обладнання;
- планування черговості природоохоронних заходів.

Інвентаризацію проводять один раз на п'ять років, згідно із затвердженою інструкцією з інвентаризації викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

3.5.2 Гранично допустимий скид

Основним нормативом скидів забруднюючих речовин є гранично допустимий скид.

Гранично допустимий скид (ГДС) – це максимально допустима маса речовин у стічних водах, що потрапляють в об'єми водовідведення за одиницю часу. ГДК у даному пункті водного об'єкта з установленим режимом має забезпечити якість води в контрольному пункті у межах норми.

ГДС – межа витрат стічних вод і концентрації в них шкідливих домішок. ГДС встановлюють з урахуванням ГДК шкідливих речовин у місцях водокористування (залежно від виду водокористування), асимілюючої спроможності водного об'єкта, перспектив розвитку регіону і оптимального розподілу шкідливих речовин, що скидають, поміж водокористувачами, які скидають стічні води. ГДС встановлюють для кожного джерела забруднення і кожного виду шкідливих домішок з урахуванням їх комбінованої дії. В основі визначення ГДС (за аналогією з ГДВ) лежить методика розрахунку концентрацій забруднюючих речовин, створюваних джерелом у контрольних пунктах – розрахункових створах – з урахуванням їх розбавлення, вкладу інших джерел, перспектив розвитку (проекування джерела забруднення) тощо.

ГДС визначають для всіх категорій водокористування як добуток максимальних годинних витрат стічних вод ($\text{м}^3/\text{год}$) на концентрацію в них забруднюючих речовин $C_{\text{ст}}$ ($\text{г}/\text{м}^3$) згідно з формулою

$$\text{ГДС} = C_{\text{ст}} \cdot g, \text{ м}^3/\text{год}. \quad (3.41)$$

Відповідно до “Санітарних правил і норм охорони поверхневих вод” від забруднень для скидання стічних вод у межах міста чи населеного пункту встановлюють на рівні відповідних ГДК.

3.5.3 Розрахунок допустимої концентрації забруднюючої речовини у стічних водах

Концентрацію забруднюючої речовини у стічній воді визначають за формулою

$$C_{\text{ст}} = \frac{aQ}{g} (\text{ГДК} - C_{\text{ф}}) + \text{ГДК}, \quad (3.42)$$

де Q – відповідно витрати води і стічних вод у водному об'єкті;

a – коефіцієнт змішування;

C_{ϕ} – фонова концентрація шкідливої речовини у водному об'єкті до скиду стічних вод.

Допустима концентрація забруднюючої речовини у стічній воді ($DK_{ст}$) має відповідати умові, за якої $C_{ст} < ГДК$:

$$DK_{ст} = \frac{aQ}{g}(ГДК - C_{\phi}) + ГДК. \quad (3.43)$$

При $DK_{ст} < ГДК$ нормативні вимоги мають бути віднесені не до контрольованого створу водного об'єкта, а до самих стічних вод. Допустиму концентрацію забруднюючих речовин у стічних водах беруть за основу під час розробки заходів щодо зниження забруднення. Необхідне очищення стічних вод ($D, \%$) розраховують за формулою

$$D = \frac{C_{факт} - DK_{ст}}{C_{факт}} \cdot 100\%. \quad (3.44)$$

Якщо $C_{факт} \geq ГДК$, то скидання стічних вод неприпустиме. Гранично допустимий скид (при визначенні $DK_{ст}$) визначають за формулою

$$ГДС = DK_{ст}g. \quad (3.45)$$

Цей розрахунок підходить до найпростішого випадку, коли стік організований одним випусканням і забруднює водойму переважно сухою речовиною.

Величина ГДС має гарантувати досягнення встановлених норм якості води (санітарних та рибогосподарських) за найгірших умов розбавлення у водному об'єкті.

У випадку, якщо значення ГДС з об'єктивних причин не може бути досягнутим, то для таких підприємств (джерел забруднення) встановлюють тимчасово узгоджені обсяги скидів шкідливих речовин (ТУС) і вводять плани поетапного зменшення показників скидів шкідливих речовин до значень, які забезпечували б дотримання ГДС.

Ступінь екологічної безпеки водних об'єктів $P_{еб}$ визначають за нерівністю

$$P_{еб} = \frac{\sum \Pi_{\phi}(t)}{\sum \Pi_{н}(t)} \leq 1, \quad (3.46)$$

де Π_{ϕ} – фактичні значення показників якості води;

$\Pi_{н}$ – нормовані значення показників якості води;

t – функція часу.

3.6 Нормування показників накопичення відходів

Лімітування розташування твердих промислових відходів (розробку проектів лімітів розташування) виконують на підставі «Тимчасових правил охорони навколишнього природного середовища від відходів виробництва і споживання».

3.6.1 Джерела утворення відходів та їх класифікація

В Україні накопичено близько 20 млрд т виробничих відходів, їх переробка та утилізація є однією з актуальних проблем захисту довкілля від шкідливих речовин.

Усі види промислових відходів поділяють на тверді, рідкі та газоподібні. Тверді відходи класифікують за трьома категоріями: промислові, сільськогосподарські та відходи міського господарства (побутові). Основна маса твердих промислових відходів утворюється на підприємствах:

- гірничої та гірничо-хімічної промисловості (шлаки, відвали та ін.);
- чорної та кольорової металургії (шлаки, шлами, пил та ін.);
- металообробної промисловості (стружка, браковані вироби та ін.);
- лісової та деревообробної промисловості (лісозаготівельні відходи, відходи лісопиляння, деревостружкових, деревоволокнистих плит, шаруватих пластиків, карболітових плит, відходи клеїв, смол і лакофарбових матеріалів);
- енергетичного господарства – теплових електростанцій (зола, шлаки);
- хімічної та суміжних галузей промисловості (фосфогіпс, галіт, огарок, шлаки, шлами, цементний пил, відходи органічних виробництв: гума, пластмаси та ін.);
- харчової промисловості (кістки, шерсть та ін.);
- легкої промисловості (шмати тканини, шкіри, гуми, пластмас та ін.).

До рідких відходів належать осад стічних вод після їх обробки, а також шлами пилу мінерального та органічного походження в системах мокрого очищення газів.

Для повного використання відходів як вторинної сировини розроблено їх промислову класифікацію. Наприклад, лом і відходи металів за фізичними ознаками поділяють на класи, за хімічним складом - на групи та марки, за показниками якості - на сорти. Оскільки тверді відходи скидають на ґрунт контрольованих та неконтрольованих звалищ, полігонів тощо або захоронюють у ґрунті, важливе значення мають показники нормативів гранично допустимих концентрацій токсичних речовин у ґрунті (ГДК_r).

3.6.2 Показники накопичення відходів

ГДК хімічної речовини в орному шарі ґрунту - це кількість речовини, що не повинна спричиняти прямого або опосередкованого негативного

впливу на ґрунт та інші компоненти довкілля, а найважливіше - на здоров'я людей. Водночас ГДК шкідливих речовин мають сприяти самоочищенню ґрунту. У разі відсутності ГДК_г забрудненість оцінюють зіставленням вмісту хімічних речовин у забруднених (досліджуваних) і контрольних зразках ґрунту. Обґрунтовуючи ГДК_г, орієнтуються на основні показники, визначають експериментально:

- МА – міграційний атмосферний показник шкідливості, що характеризує перехід хімічної речовини з органічного шару ґрунту в атмосферу, мг/м;
- МВ – міграційний водний показник шкідливості, що характеризує перехід хімічної речовини з орного шару ґрунту в ґрунтові та поверхневі води, мг/дм³;
- ТВ – транслокаційний водний показник, що характеризує перехід із орного шару ґрунту через кореневу систему в зелену масу та плоди рослин, мг/кг;
- ЗС – загальносанітарний показник шкідливості, що характеризує вплив хімічної речовини на самоочисну здатність ґрунту та ґрунтовий мікробіоценоз, мг/кг.

Значення ГДК для різних хімічних речовин, що містяться в промислових відходах, наведено в табл. 3.23.

Таблиця 3.23 – Значення ГДК для різних хімічних речовин

Речовина	ГДК, мг/кг	Речовина	ГДК, мг/кг
Марганець	1500 за ЗС	Бромфос	0,4 за ТВ
Миш'як	2 за ЗС	Перхлоридвініл	0,5 за ТВ
Ртуть	2,1 за ЗС	Ізопропилбензол	0,5 за МА
Свинець	20 за ЗС	Фосфорооксид	200 за МА
Хром	0,05 за МВ	Формальдегід	7 за ЗС
Бенз(а)пірен	0,2 за ЗС		

Якщо ГДК відоме, можна розрахувати клас небезпеки (токсичності) відходів. Згідно з методичними рекомендаціями для визначення токсичності промислових відходів їх поділяють на 4 класи токсичності:

- I – надзвичайно небезпечні,
- II – високонебезпечні,
- III – помірно небезпечні,
- IV – малонебезпечні.

Критерієм для визначення класу небезпеки відходів є індекс токсичності – K_i , що визначають за формулою

$$K_i = \frac{ГДК_i}{(k_p + g_b)}, \quad (3.47)$$

де ГДК_i – гранично допустима концентрація в ґрунті токсичної хімічної речовини, що міститься у відході;

k_p – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує розчинність речовини у воді;

g_b – вміст цього компонента в загальній масі відходів.

Розраховувавши значення K_i для деяких компонентів відходів, вибирають 1 - 3 основних компоненти, що мають мінімальне значення K_i. Сумарний індекс токсичності (небезпеки) K_{сум} визначають за формулою

$$K_{\text{сум}} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n K_i, \quad (3.48)$$

де n – кількість компонентів, n < 3.

За відомими значенням K_{сум} встановлюють клас токсичності (табл. 3.24).

Таблиця 3.24 – Класи токсичності шкідливих речовин

Сумарний індекс токсичності K _{сум}	Клас токсичності (небезпеки)	Ступінь небезпеки
2	I	Надзвичайно небезпечні
2-16	II	Високонебезпечні
16,1-30	III	Помірно небезпечні
>30	IV	Малонебезпечні

Якщо для конкретних речовин відсутні дані ГДК у ґрунті, коефіцієнт K_i розраховують за формулою

$$K_i = \frac{\lg(LD_{50})}{(k_p + 0,1k_l + g_b)}, \quad (3.49)$$

де LD₅₀ – середня летальна доза речовини залежно від маси тіла людини, мг/кг;

k_л – коефіцієнт леткості цього компонента в частках одиниці (для CCl₄ P_{нас} = 112,2 мм рт. ст., звідки k_л = 112,2 · 760⁻¹ = 0,15).

Знаючи K_i, визначають K_{сум}.

У цьому випадку класам небезпеки відповідають такі значення K_i: I – менше 1,3; II – 1,2 - 3,3; III – 3,3 - 10; IV – понад 10.

За відсутності значень ГДК у ґрунті та LD₅₀ для деяких речовин, що є компонентами відходів, і при наявності даних з ГДК речовин для повітря робочої зони, а також відповідних класів небезпеки, користуються умовною величиною LD₅₀.

Класи небезпеки речовин для повітря робочої зони та відповідні умов-

ні величини ЛД₅₀ наведено в табл. 3.25.

Проби ґрунту відбирають на ділянці площею 25 м² у 3 - 5 точках по діагоналі з глибини 0,25 м, а при визначенні впливу забруднень на ґрунто-ві води пробу беруть з глибини 0,75 - 2,0 м у кількості 0,2 - 1,0 кг.

Рівень накопичення відходів на території підприємства встановлюють за двома показниками:

- гранична кількість токсичних промислових відходів на території підприємства;
- гранично допустимий вміст токсичних сполук у промислових відходах.

Таблиця 3.25 – Класи небезпеки у повітрі робочої зони та величини ЛД₅₀

Клас небезпеки	Умовна величина ЛД ₅₀
I	15
II	150
III	5000

Гранична кількість відходів на території підприємства – це така їх кількість, яку можна розмістити за умови, що можливе накопичення шкідливих речовин у повітрі не перевищує 30% ГДК у повітрі робочої зони, тобто ГДК. Граничну кількість визначають шляхом:

- вимірювання (визначення) вмісту токсичних речовин у повітрі з урахуванням ефекту сумачії;
- отримання середньозваженої концентрації ($C_{сз}$) поділом її на відповідне значення $0,3 \text{ ГДК}_{рз}$.

Якщо це відношення більше 1, тобто

$$\frac{C_{сз}}{0,3\text{ГДК}_{рз}} > 1, \quad (3.50)$$

то кількість відходів, що знаходяться на території, є граничною і їх необхідно негайно вилучити. Граничний вміст токсичних сполук у відходах визначає клас небезпечності цих відходів.

3.7 Система нормування в галузі радіаційної безпеки

Діюча нині система нормування в галузі радіаційної безпеки побудована на понятті дозового навантаження. Екологічних нормативів, які встановлювали б допустимі впливи на екосистеми, в галузі радіаційної безпеки не існує.

У системі нормування використовують такі основні поняття.

Поглинена доза – фундаментальна дозиметрична величина, яку визначають кількістю енергії, що передана випромінюванням одиниці маси речовини. За одиницю поглиненої дози випромінювання прийнято грей (Гр) – поглинена доза випромінювання, передана масі опромінюваної ве-

личини в один кілограм і вимірювана енергією в 1 Дж будь-якого іонізуючого випромінювання: 1 Гр = 1 Дж/кг.

Еквівалентна доза. Оскільки шкідлива дія іонізуючого випромінювання залежить не лише від поглиненої дози, але і від іонізуючої спроможності еквівалентної дози. Для розрахунку еквівалентної дози ($D_{\text{екв}}$), поглинену дозу ($D_{\text{погл}}$) множать на коефіцієнт якості іонізуючого випромінювання (Q), який відображає здатність даного виду випромінювання ушкоджувати тканини організму

$$D_{\text{екв}} = D_{\text{погл}} \cdot Q. \quad (3.51)$$

Значення коефіцієнта Q наведено в табл. 3.26.

Таблиця 3.26 – Значення коефіцієнта якості іонізуючого випромінювання (Q) для різних видів випромінювання

Види випромінювання	Q
Фотони і β -випромінювання (незалежно від енергії випромінювання)	1
Протони з енергією понад 2 МеВ	5
Нейтрони з енергією: менше 10 кеВ	5
10-100 кеВ	10
0,1-2 МеВ	20
2-20 МеВ	10
понад 20 МеВ	5
α -випромінювання	20

Одиницею еквівалентної дози є Зіверт (Зв), тобто доза будь-якого виду випромінювання, яку поглинув 1 кг біологічної тканини, і така, що створює такий самий біологічний ефект, як і поглинена доза в 1 Гр фотонного випромінювання. 1 Зіверт = 100 бер. α -випромінювання вважають у 20 разів небезпечнішим за інші види випромінювання.

Ефективна еквівалентна доза. Потрібно враховувати, що одні частини тіла або внутрішні органи більш чутливі до радіаційних ушкоджень, ніж інші. Тому дози опромінювання органів і тканин враховують з різними коефіцієнтами. Ефективна еквівалентна доза ($D_{\text{еед}}$) відображає сумарний ефект опромінювання для організму в цілому, і її визначають за формулою

$$D_{\text{еед}} = \sum W_T D_{\text{екв}}, \quad (3.52)$$

де W_T – коефіцієнт, який характеризує відношення ризику опромінювання даного органу до сумарного ризику при рівномірному опромінюванні всього тіла (табл. 3.27).

Відповідно до «Норм радіаційної безпеки України – НРБУ-97» встановлено такі категорії населення, яке зазнає опромінювання:

- категорія А – персонал, який працює безпосередньо з іонізуючим випромінюванням (ІВ);

- категорія Б – обмежена частина населення (люди, які безпосередньо не працюють з ІВ, але за умовами проживання або розміщення робочих місць можуть зазнавати опромінювання);
- категорія В – населення.

Визначено три групи органів тіла людини, опромінювання яких спричинює різні наслідки:

- усе тіло, червоний кістковий мозок, гонади;
- м'язи, щитоподібна залоза, жирова тканина, внутрішні органи;
- кісткова тканина, шкірний покрив, кисті, передпліччя, щиколотки і стопи.

Таблиця 3.27 – Значення коефіцієнта W_T для різних органів і тканин організму людини

Органи і тканини	W_T
Гонади	0,20
Червоний кістковий мозок	0,12
Товста кишка	0,12
Легені	0,12
Шлунок	0,12
Сечовий міхур	0,05
Молочна залоза	0,05
Печінка	0,05
Стравохід	0,05
Щитоподібна залоза	0,05
Шкіра	0,01
Кісткова тканина	0,01
Інші органи	0,05

Залежно від груп критичних органів для осіб різних категорій встановлено гранично допустиму дозу (ГДД) за рік.

В Україні згідно з «Нормами радіаційної безпеки - НРБУ-97» встановлено межі доз опромінювання (табл. 3.28).

Еквівалентна доза (Н) накопичення в критичному органі за час Т (років) від початку професійної роботи не повинна перевищувати значень, визначених за формулою

$$H = ГДД \cdot T. \quad (3.53)$$

Отже, для персоналу ефективна доза за період трудової діяльності 50 років становить $50 \cdot 20 = 1000 \text{ мЗв} = 1 \text{ Зв}$, а ефективна доза впродовж життя для населення (70 років) становить 70 мЗв. Цей рівень відповідає концепції безпечного проживання. Потрібно особливо зазначити, що наведені в табл. 3.28 межі доз належать до умов нормальної експлуатації джерел іонізуючого випромінювання.

Таблиця 3.28 – Гранично допустимі доз опромінювання на рік, мЗв/рік

Нормовані величини	Категорії опромінюваних осіб		
	А	Б	В
Межа ефективної дози	20	2	1
Межі ефективної зовнішньої дози			
для кришталика ока	150	15	15
шкіри	500	50	50
кистей і стоп	500	50	

3.7.1 Нормування вмісту радіоактивних речовин у повітрі

Основним джерелом опромінення населення є природне випромінювання НПС, у якому людина проводить 80% усього часу – житлові будинки та виробничі приміщення.

Якщо порівняти повітря в наших квартирах із забрудненим міським, то у приміщенні воно виявиться у 4 - 6 разів бруднішим і у 8 - 10 разів токсичнішим.

Джерелами природного випромінювання є: по-перше – будівельні матеріали, виготовлені з природної сировини, що мають у своєму складі природні радіонукліди (РН) ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , які є джерелом зовнішнього випромінювання всередині приміщень; по-друге – радіоактивний газ радон, що утворюється при розпаді ^{226}Ra і ^{232}Th та надходить у повітря приміщень зі стін, ґрунту, водопроводу, побутового газу. Сумарно ці джерела вносять до 70% у загальну дозу випромінювання. Допустимі рівні потужності поглиненої дози (ППД) γ -випромінювання в повітрі будинків та приміщень (поширюються на α -випромінювання, сформоване за рахунок активності природних радіонуклідів, включаючи природний радіаційний фон):

– ППД всередині приміщень, будівель та споруд, які проектують, будують та реконструюють для експлуатації з постійним перебуванням людей, не має перевищувати $0,27 \text{ мкГр}\cdot\text{год}^{-1}$ ($30 \text{ мкР}\cdot\text{год}^{-1}$). До приміщень з постійним перебуванням людей належать житлові приміщення, приміщення дитячих закладів, санаторно-курортних та лікувально-оздоровчих закладів.

– ППД всередині приміщень, будівель і споруд, які експлуатують з постійним перебуванням людей, не має перевищувати $0,45 \text{ мкГр}\cdot\text{год}^{-1}$ ($50 \text{ мкР}\cdot\text{год}^{-1}$), за винятком дитячих, санаторно-курортних та лікувально-оздоровчих закладів.

Для повітря приміщень встановлено допустимі рівні середньоквадратичної еквівалентної рівноважної концентрації ізотопів радону (ЕРК):

– для повітря приміщень, які проектують і будують, та при реконструкції будинків і споруд з постійним перебуванням людей ЕРК ^{222}Rn не має перевищувати $50 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, а для ^{220}Rn – $3 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$.

– ЕРК ^{220}Rn у повітрі будинків, що експлуатуються з постійним перебуванням людей, не має перевищувати $100 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, а для ^{220}Rn – $6 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$.

3.7.2 Нормування вмісту радіоактивних речовин у воді

Допустимі концентрації радіонуклідів у поверхневих водах водойм встановлюють, виходячи з умов, щоб у разі потрапляння радіонуклідів щодня в організм упродовж усього життя створюване внутрішнє опромінення було безпечним для людини. Важкорозчинні радіонукліди, потрапляючи в травний канал, легко надходять у кров, розповсюджуючись по всьому організму, накопичуються у печінці, кісткових тканинах, щитоподібній залозі тощо.

Допустимі рівні питомої активності природних радіонуклідів у воді джерел господарсько-питного призначення наведено в табл. 3.29.

Таблиця 3.29 – Допустимі рівні питомої активності природних радіонуклідів у воді джерел господарсько-питного призначення

Допустимі рівні, Бк-л ⁻¹			
^{222}Rn	Ізотопи U	^{226}Ra	^{228}Ra
100	1	1	1

3.7.3 Нормування вмісту радіоактивних речовин у харчових продуктах

Вільна міграція радіоактивних забруднювачів через кореневу систему і накопичення їх у рослинній масі призводить до акумуляції забруднювачів в організмі людини через ланцюги «рослина - людина» та «рослина - тварина - людина». Нині основне дозове навантаження формують радіонукліди цезію та стронцію. Рівень активності ^{137}Cs та ^{90}Sr у продуктах харчування, вирощених у небезпечних за радіаційним фактором регіонах, залежить від типів ґрунтів, особливостей сільсько-господарського виробництва, виду культур тощо. Велике значення має вибір сорту рослин, оскільки сорт визначає їхні властивості.

Допустимі рівні вмісту радіонуклідів у харчових продуктах і питній воді встановлено державним нормативом ДР-97, який регламентує вміст ^{137}Cs та ^{90}Sr у харчових продуктах на території України, і тих, що ввозитимуться на територію України з метою реалізації.

В табл. 3.30 наведені результати статистичного аналізу даних про вміст радіонуклідів у харчових продуктах в різних місцевостях.

Продукти, крім продуктів спеціального дитячого харчування, придатні до реалізації та вживання, якщо виконується співвідношення

$$\frac{C_{Cs}}{ДУ_{Cs}} + \frac{C_{Sr}}{ДУ_{Sr}} \leq 1, \quad (3.54)$$

де C_{Cs} і C_{Sr} – результати вимірювання питомої активності радіонуклідів ^{131}Cs та ^{90}Sr у даному харчовому продукті;

$ДУ_{Cs}$ і $ДУ_{Sr}$ – нормативний вміст ^{137}Cs та ^{90}Sr в даному харчовому продукті згідно з табл. 3.30.

У разі невиконання співвідношення реалізація цього продукту забороняється.

У разі виникнення радіаційних аварій можуть бути введені в установленому порядку тимчасово аварійно допустимі рівні вмісту радіонуклідів у продуктах харчування та питній воді (ТДР).

Таблиця 3.30 – Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у харчових продуктах та питній воді (Бк·кг⁻¹, Бк·л⁻¹)

Назва продукту	^{137}Cs	^{90}Sr
Хліб, хлібопродукти	20	5
Картопля	60	20
Овочі (листяні, коренеплоди, столова зелень)	40	20
Фрукти	70	10
М'ясо, м'ясні продукти	200	20
Риба, рибопродукти	150	35
Молоко, молочні продукти	100	20
Яйця	6	2
Вода	2	2
Молоко згущене й консервоване	300	60
Молоко сухе	500	100
Свіжі дикорослі ягоди та гриби	500	50
Сушені дикорослі ягоди та гриби	2500	250
Лікарські рослини	600	200
Спеціальні продукти дитячого харчування	40	5

Якщо випромінювання від продуктів харчування, забруднених цезієм перевищує рівень фону на 0,09 - 135 мкЗв·год⁻¹ (10 - 15 мкР·год⁻¹), що відповідає приблизно 3,7 кБк·кг⁻¹, рекомендується відмовитися від їх споживання або обмежити споживання вдвічі, порівняно зі звичайним раціоном, а якщо випромінювання від продуктів харчування підвищить потужність дози 0,27 мкЗв·год⁻¹ (30 мкР·год⁻¹) над рівнем фону, то споживання має становити не більше 0,25 звичайного раціону, при 0,9 мкЗв·год⁻¹ (100 мкР·год⁻¹) – не більше 0,1 звичайного раціону.

Приклад. Визначити ступінь забрудненості харчових продуктів РН. Дані для виконання розрахункової роботи наведено в табл. 3.31. Зробити відповідні висновки.

Таблиця 3.31 – Вихідні дані для виконання розрахункової роботи

Радіонукліди	Хліб, Бк/кг	Овочі, Бк/кг	М'ясо, Бк/кг	Молоко, Бк/л
^{137}Cs	12	27	110	60
^{90}Sr	3	7	3	11

Розв'язання. Ступінь забрудненості продуктів харчування РН визначають за формулою (3.54).

$$\text{Хліб: } \frac{12}{20} + \frac{3}{5} = 1,2. \quad \text{Овочі: } \frac{27}{40} + \frac{7}{20} = 1,025.$$

$$\text{М'ясо: } \frac{100}{200} + \frac{3}{20} = 0,7. \quad \text{Молоко: } \frac{60}{100} + \frac{11}{20} = 1,15.$$

Висновок. Продукти, крім продуктів спеціального дитячого харчування, придатні до реалізації та вживання, якщо виконується співвідношення згідно з формулою (3.54). У нашому випадку до реалізації та вживання придатне тільки м'ясо і якоюсь мірою овочі після ретельного промивання гарячою водою.

3.8 Нормування шумового забруднення

3.8.1 Основні параметри шуму

Слуховий аналізатор людини характеризується межами сприйняття. Розрізняють нижню і верхню межу сприйняття звуку:

- нижня абсолютна межа чутливості – це мінімальна величина подразника, яка спричинює відчуття;
- верхня абсолютна межа – максимально допустима величина подразника, яка ще не спричинює у людини болю.

Нижня межа сприйняття звуку називається порогом слухового сприйняття, верхня - больовим порогом. Порогом слухового сприйняття називають найменшу величину звукового тиску, яка відчувається органом слуху. Він є різним для звуків різної частоти. Для частоти 1000 Гц (на цій частоті вухо має найбільшу чутливість) поріг слухового сприйняття становить $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$.

Поріг больового відчуття – це максимальний звуковий тиск (p), що сприймається вухом як звук. Перевищення больового порогу призводить до виникнення больових відчуттів і може пошкодити орган слуху. Для звуків частотою 1000 Гц за больовий поріг прийнято $p = 20 \text{ Н/м}^2$. Відношення звукових тисків при больовому порозі і порозі сприйняття становить 10^6 . Це діапазон звукового тиску, що сприймається вухом.

Звуковий тиск не повністю характеризує джерело звуку. Для більш повної характеристики джерела звуку введено його основні параметри:

- інтенсивність звуку (сила звуку);

- звукова потужність;
- рівень сили звуку;
- рівень звукового тиску;
- рівень звукової потужності.

При оцінюванні шуму і шумових характеристик джерел шуму важливе значення мають такі поняття, як імісія та емісія.

Імісія – це вплив шумів на людину, яка перебуває в зоні дії джерела шуму. Імісію оцінюють і вимірюють там, де знаходиться людина, на яку впливає шум. Оцінювання імісії виконують, у першу чергу, для порівняння з нормами допустимого шуму.

Емісія – це випромінювання шуму в НПС, вона характеризує безпосередньо джерело шуму.

3.8.2 Санітарне та технічне нормування шуму

Санітарні норми встановлюють максимально допустимі значення (рівні) інтенсивності шуму з метою захисту людей від його шкідливого впливу. В основу санітарно-гігієнічного нормування шуму закладено запобігання виникненню функціональних розладів або захворювань, надмірному стомленню і зниженню працездатності як при короткочасних, так і повторній дії несприятливих чинників виробничого середовища. За даними медиків, дія шуму може спричинити нервові, серцево-судинні захворювання, виразкову хворобу, порушення обмінних процесів та функціонування органів слуху тощо.

Наближену дію шуму різних рівнів можна охарактеризувати таким чином. Шум до 50 дБА, зазвичай, не спричинює шкідливого впливу на людину в процесі її трудової діяльності. Шум з рівнем 50 - 60 дБА може мати психологічний вплив, що проявляється у погіршенні розумової діяльності, послабленні уваги, швидкості реакції тощо. При рівні шуму 65 -90 дБА можливі фізіологічні зміни: частішає пульс, тиск крові підвищується, судини звужуються, що погіршує постачання органів кров'ю. Дія шуму з рівнем 90 дБА і вище може призвести до функціональних порушень в органах та системах організму людини: знижується слухова чутливість, погіршується діяльність шлунку та кишечника, з'являється відчуття нудоти, головний біль, шум у вухах.

Шум у 120 дБА та вище здійснює механічний вплив на органи слуху. Це проявляється у порушенні зв'язків між окремими частинами внутрішнього вуха, можливий навіть розрив барабанної перетинки. Звукові хвилі, проникаючи через шкіру, спричиняють механічні коливання тканин організму, внаслідок чого відбувається руйнування нервових клітин, розрив дрібних судин тощо.

Допустимі рівні звуку на території житлових забудов наведено в табл. 3.32.

Таблиця 3.32 – Допустимі рівні звуку на території житлових забудов

Види території	Рівні звуку, дБА		Час доби
	еквівалентні	максимальні	
Території, що безпосередньо прилягають до будівель лікарень, санаторіїв	45	60	Вдень
	35	50	Вночі
Території, що безпосередньо прилягають до житлових будинків, будівель поліклінік, амбулаторій, будинків відпочинку, пансіонатів, будинків-інтернатів, дитячих дошкільних закладів, шкіл та інших навчальних закладів, бібліотек	55	70	Вдень
	45	60	Вночі
Території, що прилягають до будівель готелів та гуртожитків	60	75	Вдень
	50	65	Вночі
Майданчики відпочинку на територіях лікарень та санаторіїв	35	50	Вдень
Майданчики відпочинку на території мікрорайонів, груп житлових будинків, будинків відпочинку, пансіонатів, майданчиків дитячих закладів, шкіл та інших навчальних закладів, будинків-інтернатів	45	60	Вночі

Технічне нормування встановлює граничні значення характеристик шуму для різних типів обладнання з урахуванням технічних можливостей.

Отже, якщо санітарні норми визначаються необхідною для здоров'я величиною зниження шуму, то технічні норми встановлюють граничні норми шуму для окремих видів машин і механізмів.

Основною шумовою характеристикою машини є рівні її звукової потужності в октавних смугах з середньгеометричними частотами 63 – 8000 Гц, на основі яких машини порівнюють за шумовими властивостями. Значення гранично допустимих рівнів шумових характеристик машин (ГДШХ) встановлюють з урахуванням вимог забезпечення на робочих місцях допустимих рівнів шуму відповідно до головного призначення машини і вимог ГОСТ 12.1.003-83.

Значення ГДШХ (L_{oi}), яке встановлюють в октавних смугах частот рівнів звукового тиску, визначають для кожної октавної смуги за формулою

$$L_{oi} = L_{dr} + 10Lg \frac{S_n}{S_0} - \Delta L, \quad (3.55)$$

де L_{dr} – гранично допустимий рівень звукового тиску в октаві, рівень звуку або еквівалентний рівень звуку на робочих місцях, або в місцях знаходження людини згідно з відповідними нормативами, дБ (дБА)

Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Курсове проектування: навчальний посібник. Навчальний посібник / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С.М. Кватернюк, В.А. Іщенко, П.М. Турчик. – Вінниця: ВНТУ, 2015.– 112 с.

(табл. 3.31);

S_n – площа вимірюваної поверхні, що знаходиться на відстані 1 м від зовнішнього контуру машини, m^2 ;

$$S_0 = 1 m^2;$$

ΔL – поправка на групове встановлення машин у типових умовах експлуатації.

Примітки:

1. Еквівалентні та максимальні рівні звуку, що створюються засобами автомобільного, залізничного, авіаційного транспорту за 2 м від захисних конструкцій першого ешелону житлових будинків, готелів, гуртожитків, повернутих у бік магістральних вулиць загальноміського значення.

2. Вдень – з 7-ї до 23-ї години, вночі – з 23-ї до 7-ї години.

Значення поправки (ΔL) приймають 10; 6 і 3 дБ для машин з габаритними (P_T) розмірами відповідно до 1,5; 3,5, і 5 м. Для одиночного встановлення машин з габаритними розмірами понад 5 м – 0 дБ.

Таблиця 3.33 – Допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот на робочих місцях у виробничих приміщеннях

Рівні звукового тиску в дБ, в октавних смугах частот, Гц								
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
107	95	87	82	78	75	73	71	69

Якщо фактичні значення октавних рівнів звукового тиску на робочих місцях за типових умов експлуатації машин менші за встановлені стандартом, то їх підставляють у формулу як L_{dr} .

Площу вимірюваної поверхні півсфери визначають за формулою

$$S_n = 2\pi R^2, \quad (3.56)$$

де R – відстань від робочого місця до центра проекції машини, м.

3.8.3 Нормування впливу інфразвукових шумів

Інфразвук – це коливання в пружному середовищі, що мають однакову з шумом фізичну природу, але поширюються з частотою, меншою за 20 Гц.

Інфразвук (ІЗ) генерується природними джерелами (вітри, водоспади, хвилі морів, озер, водосховищ, грози, землетруси тощо) і штучними (міські транспортні засоби, сільськогосподарські машини, поїзди, дорожньо-будівельні машини, водний та повітряний транспорт, вибухи, промислові підприємства тощо).

Основними джерелами виробничого інфразвуку є двигуни внутрішнього згорання, вентилятори, поршневі компресори та інші тихохідні машини.

Хоча людина і не чує інфразвуку, він чинить несприятливий вплив на весь організм людини, у тому числі й на орган слуху. Внаслідок дії інфразвуку з рівнями 100 - 120 дБ виникають головні болі, спостерігається зниження працездатності, виникнення почуття страху, порушення функції вестибулярного апарата, а при частоті 5 - 10 Гц - відчуття вібрації внутрішніх органів. Інфразвук з частотою 7 - 8 Гц найнебезпечніший для людини у зв'язку з тим, що ця частота збігається з альфа-ритмами біострумів мозку і може спричинити резонансні явища.

Інфразвук поділяють на постійний та непостійний. У першого рівень звукового тиску змінюється не більше, у другого – більше ніж на 10 дБ за 1 хв.

Параметрами постійного інфразвуку на робочих місцях, що нормуються, є рівні звукового тиску у октавних смугах частот із середньо-геометричними частотами 2, 4, 8, 16 Гц.

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-9 допустимі рівні інфразвуку наведено в табл. 3.34.

Таблиця 3.34 – Допустимі рівні інфразвуку

Середньгеометричні частоти, Гц	Допустимі рівні звукового тиску, дБ	Загальний рівень звукового тиску, дБ.
2	105	110
4	105	
8	105	
16	105	

Примітка. Загальний еквівалентний рівень звукового тиску ($L_{p\text{лін}}$) за шкалою «Лін» шумоміра в дБ_{лін} (для непостійного інфразвуку).

3.8.4 Нормування впливу ультразвукових шумів

Ультразвук – це коливання у пружному середовищі, що перевищують частоту поширення 20 кГц.

Джерелами ультразвукового випромінювання у промисловості, медицині, науково-дослідних інститутах є ультразвукове технологічне обладнання - магніострикційні перетворювачі (що працюють на частоті 22 - 44 кГц) та ультразвукові генератори (в медицині потужністю 10 – 30 Вт, у техніці – до 60 кВт і більше).

Ультразвук так само, як й інфразвук, орган слуху людини не сприймає, але за тривалої дії ультразвук небезпечних рівнів негативно впливає на організм людини, а саме:

- відбуваються різні порушення нервової системи;
- змінюється тиск, склад і властивості крові;
- втрачається слухова чутливість.

За спектром ультразвук поділяють на:

- низькочастотний (від $1,2 \cdot 10^4$ до $1,0 \cdot 10^5$ Гц);

Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Курсове проектування: навчальний посібник. Навчальний посібник / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С.М. Кватернюк, В.А. Іщенко, П.М. Турчик. – Вінниця: ВНТУ, 2015.– 112 с.

– високочастотний (від $1,0 \cdot 10^5$ до $1,0 \cdot 10^9$ Гц).

Параметрами повітряного ультразвуку, що нормується в робочій зоні, є рівні звукового тиску в третинооктавних смугах із середньгеометричними частотами 12,5; 16,0; 20,0; 31,5; 40,0; 63,0; 80,0; 100,0 кГц.

Для контактного ультразвуку параметром, що нормується, є пікове значення віброшвидкості в частотному діапазоні від 0,1 до 10 МГц або його логарифмічний рівень у дБ, який визначають за формулою

$$L_v = 20Lg \frac{v_n}{v_o}, \quad (3.57)$$

де v_n – пікове значення віброшвидкості, м/с;

v_o – опорне значення віброшвидкості, $v_o = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с.

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 допустимі рівні ультразвукових тисків в октавних та третинооктавних смугах не мають перевищувати значень, наведених у табл. 3.35.

Таблиця 3.35 – Допустимі рівні ультразвукових тисків

Середньгеометричні частоти третинооктавних смуг, кГц	12,5	16	20	25	31,5-100
Допустимі рівні ультразвукового тиску, дБ	80	90	100	105	110

Запобігти дії інфразвукових та ультразвукових шумів можна, протидіючи водночас шумам слухового діапазону (20 - 20000 Гц).

3.9 Нормування впливу вібраційного навантаження

3.9.1 Джерела вібрації

Тривалі вібрації завдають великої шкоди здоров'ю людини – від сильної втоми до змін багатьох функцій організму: порушення серцевої діяльності, нервової системи, спазмів судин, деформації м'язів, струсу головного мозку тощо. Особливо небезпечна вібрація з частотою, яка є резонансною з частотою коливання окремих органів чи частин тіла людини, що може призвести до їх пошкодження.

Тривала дія вібрації може спричинити професійне захворювання – вібраційну хворобу. Для нормування вібрації необхідно ознайомитися з її основними параметрами.

3.9.2 Основні параметри вібрації

Вібрація характеризується абсолютними та відносними параметрами. До основних абсолютних параметрів належать:

– вібропереміщення (S) – миттєве значення кожної з координат, які опи-

- сують положення тіла чи матеріальної точки під час вібрації;
- амплітуда вібропереміщення (A) – найбільше відхилення точки, що коливається з певною частотою, від положення рівноваги, м;
 - віброшвидкість (V) – кінематичний параметр, що дорівнює швидкості переміщення (перша похідна вібропереміщення) точки, яка коливається з певною частотою, м/с;
 - віброприскорення (a) – кінематичний параметр, що дорівнює прискоренню переміщення (друга похідна вібропереміщення) точки, яка коливається з певною частотою, м/с²;
 - період вібрації (T) – найменший інтервал часу, через який під час вібрації повторюється кожне значення величини, що характеризує вібрацію, с;
 - частота вібрації (f) – величина, обернено пропорційна періоду вібрації, Гц.

Оскільки абсолютні параметри, що характеризують вібрації, змінюються в широких межах, то на практиці частіше використовують відносні параметри, які визначають відносно опорного значення відповідного параметра і вимірюють у дБ.

Стандартні опорні значення:

- амплітуда вібропереміщення $A_0 = 8 \cdot 10^{-12}$ м;
- віброшвидкість $V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с;
- віброприскорення $a_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ м/с².

Найчастіше для оцінювання вібрації використовують логарифмічний рівень віброшвидкості L_v , який визначають за формулою

$$L_v = 20 \lg \frac{V}{V_0}, \text{ дБ.} \quad (3.58)$$

Типові значення віброшвидкості для різних джерел вібрації наведено в табл. 3.36.

Таблиця 3.36 – Типові значення віброшвидкостей

Джерело	Віброшвидкість, мм/с
Рейковий транспорт	0,3-160
Промислові установки	0,05-5
Будівельна техніка	0,002-1,6
Автотранспорт	0,005-0,07
Денний фон у місті	0,006-0,02
Нічний фон у місті	0,003-0,01
Безпечний геологічний рівень	0,225
Безпечний фізіологічний рівень	0,12

3.9.3 Нормування вібрації

Нормування вібрацій поділяють на технічне та санітарне (гігієнічне).

Під час санітарного нормування регламентують відповідні умови щодо захисту людини від вібрації, а під час технічного – щодо захисту машин, устаткування, будівель і т. д. від вібрації, яка може призвести до їх пошкодження чи передчасного виходу з ладу. Вібрації можуть негативно впливати на довкілля. Наприклад, якщо буде пошкоджено від вібраційного впливу велику ємність з отруйними речовинами, це може призвести до небезпечної екологічної ситуації.

Для загальної вібрації норми вібраційного навантаження встановлюють для категорій вібрації (табл. 3.37).

Таблиця 3.37 – Норми вібраційного навантаження для відповідних категорій вібрації

Категорія вібрації за санітарними нормами і критерій безпеки	Характеристика умов праці	Приклад джерела вібрації
1 – безпека	Транспортна вібрація впливає на операторів самохідних машин, автомобілів та бронетехніки (колісної і гусеничної) за їх пересування на місцевості	Гусенична і колісна техніка, у т. ч. бульдозери, скрепери, грейдери, катки, снігоочисники і т. п.; вібрація літаків при роботі двигунів
2 – межа зниження продуктивності праці	Транспортно-технологічна вібрація, яка діє на оператора машин, що пересуваються тільки на спеціально підготованих поверхнях приміщень майданчиків	Екскаватори, будівельні крани, шляхові машини, бетоноукладачі і т. п.
3 тип «а» – межа зниження продуктивності праці	Технологічна вібрація, яка діє на оператора стаціонарних машин і обладнання або передається на робочі місця, що не мають джерел вібрації	Насосні агрегати, вентилятори, верстати ремонтно-поновлювальних майстерень, електричні машини, верстати дерево- і металообробні
3 тип «б» – комфорт	Вібрація на робочих місцях працівників розумової праці і персоналу, який не займається фізичною працею	Навчальні класи, лабораторії, штабні приміщення, медчастини, бібліотеки і т. п.

Дія вібрації на організм людини⁶⁸ залежить від таких її характеристик
 Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Курсове проектування: навчальний посібник. Навчальний посібник / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, С.М. Кватернюк, В.А. Іщенко, П.М. Турчик. – Вінниця: ВНТУ, 2015.– 112 с.

(параметрів): інтенсивності, спектрального складу, тривалості впливу, напрямку дії). Санітарна (гігієнічна) оцінка вібрації, що діє на людину у виробничих умовах, ґрунтується на таких методах:

- частотного (спектрального) аналізу її параметрів;
- інтегрального оцінювання за спектром частот, що нормуються;
- дози вібрації.

При частотному аналізі параметрами, що нормуються, є середні квадратичні значення віброшвидкості та віброприскорення, або їх логарифмічні рівні (в дБ) в діапазоні октавних смуг із середньоквадратичними частотами:

- 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 16,0; 31,5; 63 Гц - для загальної вібрації;
- 8,0; 16,0; 31,5; 63,0; 125,0; 250,0; 500,0; 1000,0 Гц - для локальної вібрації.

Кількісні та якісні критерії і показники несприятливого впливу вібрації на людину вказано у санітарних нормативних документах Міністерства охорони здоров'я. Згідно з ними введено такі критерії оцінювання несприятливого впливу вібрації:

- критерій «безпека», за якого не порушується здоров'я оператора і виключена можливість виникнення травмонебезпечних чи аварійних ситуацій через дію вібрації;
- критерій «межа зниження продуктивності праці» забезпечує підтримку нормативної продуктивності, яка не знижується через розвиток втоми під впливом вібрації;
- критерій «комфорт», при якому людина має відчуття комфортності умов праці.

Санітарні норми показників вібраційного навантаження на оператора (для 8-годинної роботи) наведено в табл. 3.38.

Таблиця 3.38 – Санітарні норми вібраційного навантаження за 8 год

Вид вібрації	Категорія за санітарними нормами	Нормативні значення			
		віброприскорення		віброшвидкості	
		м/с	дБ	м/с 10^{-2}	дБ
Локальна	-	2,0	126	2,0	112
	2	0,4	112	1,2	116
Загальна	3 тип «а»	0,28	109	0,56	101
	3 тип «б»	0,1	100	0,2	92
	-	0,014	83	0,028	75

Оцінювати вібраційну безпеку праці потрібно на робочих конкретно визначених місцях при виконанні певної операції.

3.10 Нормування складових ЕМП

3.10.1 Допустимі рівні ЕМП на робочих місцях

Простір навколо джерела ЕМП умовно поділяють на ближню зону (зону індукції) та дальню зону (зону випромінювання). Для оцінювання ЕМП у цих зонах використовують різні підходи. Ближня зона охоплює простір навколо джерела ЕМП, що має радіус, який приблизно дорівнює 0,17 довжини хвилі. У цій зоні електромагнітна хвиля ще не сформована, тому інтенсивність ЕМП оцінюється окремо напруженістю магнітної та електричної складової поля (переважно несприятлива дія ЕМП в цій зоні зумовлена електричною складовою). У ближній зоні, зазвичай, знаходяться робочі місця, на яких присутні джерела електромагнітних випромінювань з довжиною хвилі меншою ніж 1 м (УВЧ, НВЧ, НЗВЧ). Інші – знаходяться практично завжди у дальній зоні, в якій електромагнітна хвиля вже сформувалася. У цій зоні ЕМП оцінюється за кількістю енергії (потужністю), що переноситься хвилею в напрямку свого поширення. Для кількісного оцінювання цієї енергії застосовують значення поверхневої густини потоку енергії, що визначається у $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$.

Допустимі рівні напруженості ЕМП радіочастотного діапазону на робочих місцях та в місцях знаходження персоналу, в яких є джерело ЕМП, регламентуються за ГОСТ 12.1.006-84. Стандарт розповсюджується на ЕМП діапазону частот 60 кГц - 300 МГц. Електромагнітні поля цього радіочастотного діапазону слід оцінювати напруженістю електричної та магнітної складових, а в діапазоні частот 300 МГц - 300 ГГц - поверхневою густиною потоку енергії.

Напруженість ЕМП у діапазоні частот 60 кГц - 300 МГц на робочих місцях персоналу впродовж однієї доби не має перевищувати встановлених ГДР (див. табл. 3.39).

Допустиму поверхневу густину потоку енергії ЕМП в діапазоні частот 300 МГц - 300 ГГц на робочих місцях персоналу потрібно визначати, виходячи з допустимого енергетичного навантаження на організм людини з урахуванням часу впливу за формулою

$$\text{ГДЗ}_{\text{ГДР}} = \frac{\text{ЕН}_{\text{ГДР}}}{T}, \quad (3.59)$$

де $\text{ГДЗ}_{\text{ГДР}}$ – гранично допустиме значення щільності потоку енергії, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

$\text{ЕН}_{\text{ГДР}}$ – нормативна величина енергетичного навантаження за робочу добу 2 - 20 $\text{Вт}/\text{м}^2$ год;

T – час впливу, год.

Таблиця 3.39 – Гранично допустимі рівні напруженості ЕМП

Діапазон частот	За електричною складовою, В/м	За магнітною складовою, А/м
60 кГц – 3 МГц	50	5
3 – 30 МГц	20	-
30 – 50 МГц	10	0,3
50 – 300 МГц	5	-
300 МГц – 300 ГГц	-	-

3.10.2 Гранично допустимі рівні ЕМП радіочастотного діапазону для населення

Гранично допустимі рівні ЕМП (електрична складова) радіочастотного діапазону для населення наведено в табл. 3.39.

Контролювати інтенсивність опромінювання необхідно не рідше одного разу на рік, а також при введенні в дію нових чи реконструйованих старих генераторних установок.

За інтенсивності 6 мВт/см^2 відбуваються зміни:

- у статевих залозах;
- у складі крові;
- у кришталикові ока – зростає каламутність;
- у судинах – підвищується кров'яний тиск, мають місце розриви капілярів та крововиливи у легені та печінку.

Таблиця 3.40 – Гранично допустимі рівні ЕМП для населення

Місце перебування людей	Границі діапазону				
	30 - 300 кГц	0,3 - 3,0 МГц	3 - 30 МГц	30 - 300 МГц	0,3 - 300,0 ГГц
Територія житлової забудови, місця відпочинку, приміщення, робочі місця для працюючих віком до 18 років та вагітних жінок	25 В/м	15 В/м	10 В/м	3 В/м	10 мкВ/см

За інтенсивності до 100 мВт/см^2 спостерігаються:

- стійка гіпотонія;
- стійкі зміни серцево-судинної системи;
- двостороння катаракта.

Подальше опромінювання помітно впливає на тканини, спричинює больові відчуття, а якщо воно перевищує 1 Вт/см^2 , дуже швидко втрачається зір.

У разі роботи кількох джерел випромінювання електромагнітних хвиль

у діапазоні частот 60 кГц - 300 МГц, для яких встановлено єдині значення ГДР, сумарна інтенсивність впливу для електричної (E) та магнітної (H) складових ЕМП визначається за формулами

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2}; \quad (3.60)$$

$$H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2 + \dots + H_n^2}. \quad (3.61)$$

У тому ж діапазоні частот, для яких встановлено різні значення ГДР, має виконуватися така умова

$$\left(\frac{E_1}{E_{ГДР_1}}\right)^2 + \left(\frac{E_2}{E_{ГДР_2}}\right)^2 + \dots + \left(\frac{E_n}{E_{ГДР_n}}\right)^2 \leq 1, \quad (3.62)$$

де E_1, E_2, \dots, E_n – вимірні значення напруженості електричної складової поля;

$E_{ГДР_1}, E_{ГДР_2}, \dots, E_{ГДР_n}$ – гранично допустимі рівні впливу для відповідного частотного діапазону.

3.10.3 Гранично допустимі рівні складових ЕМП промислових частот

Гранично допустимі рівні електростатичного поля в житлових та нежитлових приміщеннях не мають перевищувати 15 кВ/м. Такий самий ГДР встановлено для телевізорів, відеомоніторів, осцилографів, які експлуатують у побутових умовах.

Гранично допустимий рівень напруженості електростатичного поля в житлових приміщеннях (при мережі живлення 50 Гц) становить 500 В/м.

Для електричних полів, що випромінюються повітряними ЛЕП напругою 300 кВ і вище, ГДР напруженості встановлено:

- всередині житлових будівель – 500 В/м;
- на території зони житлової забудови – 1 кВ/м;
- у населеній місцевості, зокрема зоні житлової забудови, а також на території присадибних ділянок – 5 кВ/м;
- на ділянках перехресть високовольтних ліній з автомобільними шляхами категорії 1 - 4 - 10 кВ/м;
- у важкодоступній місцевості та на ділянках спеціально огорожених для виключення доступу населення – 20 кВ/м.

Що стосується магнітного поля промислової частоти, то ГДР напруженості магнітного поля має становити:

- для часу опромінювання до 2 год на добу – 500 мкТл;
- для часу опромінювання до 24 год – 100 мкТл.

3.10.4 Гранично допустимі значення енергетичної експозиції

Оскільки дія ЕМП на людину залежить від часу (за вахту, робочий день або бойове чергування), існують гранично допустимі значення енергетичної експозиції електричної та магнітної складових ЕМП (табл. 3.41).

Таблиця 3.41 – Гранично допустимі значення енергетичної експозиції

Діапазон частот	За електричною складовою (Е), В/м/год	За магнітною складовою (Н), А/м/год	За щільністю потоку енергії, мкВ/м ² /год
30 кГц - 3 МГц	20000	200	-
3 МГц – 30 МГц	7000	Не розроблено	-
30 МГц - 60 МГц	800	0,72	-
60 МГц - 300 МГц	800	Не розроблено	-
300 МГц - 300 ГГц	800	-	200