

Міністерство освіти і науки України  
Полтавський національний технічний університет  
імені Юрія Кондратюка



**НАЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК**  
з дисципліни  
**«Рациональне використання водних ресурсів»**  
для здобувачів вищої освіти спеціальностей  
101 «Екологія» та  
183 «Технології захисту навколишнього середовища»  
освітнього першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
усіх форм навчання

**ПОЛТАВА 2019**

УДК 504.45(285.3):613.3 (477.74)

Рекомендовано до друку науково-методичною радою Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка  
Протокол №3 від 13 квітня 2018 р.

Рецензенти:

**Кириленко В.М.**, заступник начальника управління Полтавського обласного управління водних ресурсів;

**Калюжний А.П.**, к.т.н., доцент кафедри гідравліки, водопостачання та водовідведення Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

Степова О.В. Навчальний посібник із дисципліни «Рациональне використання водних ресурсів» для здобувачів вищої освіти спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» освітнього першого (бакалаврського) рівня вищої освіти усіх форм навчання / О.В. Степова, І.М. Паращійко. – Полтава: ПолтНТУ, 2019. – 115 с.

Навчальний посібник підготовлено на кафедрі прикладної екології та природокористування Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Призначено для студентів, які навчаються за спеціальностями 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» освітнього ступеня «бакалавр» усіх форм навчання, він може бути використаний як основна навчальна література при вивченні дисципліни «Рациональне використання водних ресурсів», а також як основна чи додаткова навчальна література для студентів інших спеціальностей при вивченні дисципліни «Основи екології».

© Степова О.В.  
Паращійко І.М., 2019

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
<b>Тема 1.</b> Визначення витрат води на потреби підприємства.....	6
<b>Тема 2.</b> Розрахунок витрат виробничих стічних вод.....	9
<b>Тема 3.</b> Баланс водоспоживання та джерела його покриття. Графік балансів.....	11
<b>Тема 4.</b> Складання балансової схеми промвузла з використанням заходів щодо раціонального використання водних ресурсів.....	14
<b>Тема 5.</b> Показники якості води.....	16
<b>Тема 6.</b> Методики оцінювання якості поверхневих вод.....	25
<b>Тема 7.</b> Споживання і розчинність кисню у воді водойми. Біохімічна потреба кисню. Хімічна потреба кисню....	32
<b>Тема 8.</b> Умови спуску стічних вод. Обчислення допустимих величин концентрації забруднюючих речовин, що скидаються у водоймище. Визначення кратності розбавлення та змішування стічних вод при скиданні у поверхнєве водоймище.....	34
<b>Тема 9.</b> Розрахунок нормативів ГДС. Складання паспорта річки.....	40
<b>Тема 10</b> Розрахунок споруд механічного очищення стічних вод.....	47
<b>Тема 11.</b> Підбір та розрахунок споруд біологічного очищення стічних вод.....	59
<b>Тема 12.</b> Розрахунок збитків, нанесених водним ресурсам від господарської діяльності.....	72
<b>Тема 13.</b> Розрахунок забруднення водних об'єктів біогенними елементами, що виносяться із сільськогосподарських угідь.....	75
<b>Тема 14.</b> Зони санітарної охорони.....	77
<b>Тема 15.</b> Екологічний моніторинг поверхневих вод у школі... Додатки .....	81 88
Список використаних джерел.....	95

## Вступ

Проблема забезпечення водою належної кількості та якості є однією з найбільш важливих і має глобальне значення. Ще до нашої ери Арістотель указував на необхідність раціонального використання чистої води та відділення її від тієї, котра застосовується для господарських потреб.

Вода використовується для охолодження машин і механізмів, функціонування технологічних процесів та входить до складу продукції, що виробляється. Велику кількість її споживають теплові й атомні електростанції.

У природі відбувається постійний кругообіг води, котрий забезпечується за рахунок випаровування, транспірації води рослинами, випадання опадів. У процесі кругообігу вода транспортує тепло, розчиняє та переносить природні елементи, руйнує й перетворює літосферу, бере участь у метеорологічних і гідрологічних процесах, є середовищем існування водних організмів та рослин, які забезпечують вироблення значної частини кисню.

Вимоги щодо складу й властивостей води регламентуються залежно від категорії водних об'єктів.

При водокористуванні має місце водоспоживання, котре може бути безповоротним, поворотним, зворотним. Із метою раціонального використання води запроваджено норми її споживання на одного мешканця і на умовну одиницю продукції, характерну для підприємств кожної з галузей промисловості. У районах з обмеженими водними ресурсами слід дотримуватися водогосподарського балансу, що передбачає порівняння водокористування з потенційними ресурсами водних басейнів.

За характером застосування води системи водопостачання поділяються на прямотечійні, послідовні, зворотні, підживлювальні. Прямотечійна вода використовується у виробничому процесі один раз, після чого скидається у водоймища або каналізацію. Послідовно застосовувана вода споживається у декількох технологічних процесах.

Зворотна вода використовується у виробництві багатократно, з періодичним чи неперервним її очищенням. На добре обладнаних підприємствах показник ступеня зворотного та послідовного водоспоживання складає 30 – 90%. При цьому слід ураховувати і те, що спорудження водозворотних систем у 10 разів дешевше, ніж будівництво очисних установок відповідної потужності.

Вода характеризується складом та властивостями, котрі визначають її придатність для конкретних видів водокористування. Якість води оцінюється за ознаками, котрі вибираються й нормуються залежно від виду водокористування. Узагальнене числове оцінювання якості води здійснюється за індексом, який є сукупністю основних показників за

видами користування. Якість, склад і властивості води у водоймах регламентуються гігієнічними вимогами та санітарними нормами.

## Тема 1. Визначення витрат води на потреби підприємства

### Витрата води для промислових підприємств

Витрата води для промислових підприємств складається з витрати води на господарсько-питні й комунальні потреби, на душ і на виробничі потреби.

### Витрата води на господарсько-питні потреби підприємства

На заводі працюють 4500 осіб, із них 1900 осіб працюють у максимальну зміну.

Завод працює в три зміни з таким розподілом працюючих за змінами: 1 зміна максимальна – 1900 чол. – 42% від усієї кількості працюючих, тоді на 2-гу і 3-тю зміну припадає по 29% від усієї кількості працюючих, тобто по 1300 ос.

У холодних цехах зайняті 80% від загальної кількості працюючих, а в гарячих цехах – 20%, що складає:

холодні цехи – 80% (3600 ос.), гарячі цехи – 20% – (900 ос.).

У максимальну зміну з кількістю працюючих 1900 чол.:

холодні цехи – 80% (1520 ос.), гарячі цехи – 20% (380 ос.).

Середня годинна витрата

$$Q_{\text{ср}}^{\text{год}} = \frac{0,045 \cdot N_{\text{г}} + 0,025 \cdot N_{\text{х}}}{24}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (1.1)$$

де 0,045 і 0,025 – відповідно норми водоспоживання на одного робітника в гарячих та холодних цехах;

$N_{\text{г}}$  і  $N_{\text{х}}$  – відповідно кількість працюючих на підприємстві в гарячих і холодних цехах.

$$Q_{\text{ср}}^{\text{год}} = \frac{0,045 \cdot 900 + 0,025 \cdot 3600}{24} = 5,44 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Розрахункові максимальна годинна і секундна витрати в розрізі доби повинні прийматися за зміною, в якій працює найбільша кількість робітників, тобто в 1-шу зміну.

Максимальна годинна витрата

$$Q_{\text{ср}}^{\text{год}} = \frac{0,045 \cdot n_{\text{г}} \cdot K_{\text{г}} + 0,025 \cdot n_{\text{х}} \cdot K_{\text{х}}}{t_{\text{см}}} \text{ м}^3/\text{год}, \quad (1.2)$$

де  $n_{\text{г}}$  та  $n_{\text{х}}$  – відповідно кількість працюючих на підприємстві в гарячих та холодних цехах;

$K_{\text{г}}$  і  $K_{\text{х}}$  – коефіцієнти годинної нерівномірності відповідно в гарячих та холодних цехах:  $K_{\text{г}}=2,5$ ;  $K_{\text{х}}=3$ ;

$t_{\text{см}}$  – тривалість робочої зміни, год, (8 год).

$$Q_{\text{ср}}^{\text{год}} = \frac{0,045 \cdot 380 \cdot 2,5 + 0,025 \cdot 1520 \cdot 3}{8} = \frac{42,75 + 114}{8} = 19,6 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Максимальна секундна витрата води

$$Q_{\max}^c = \frac{Q_{\max}^{zod}}{3,6} = \frac{19,6}{3,6} = 5,4 \text{ л/с.} \quad (1.3)$$

#### Витрата води на душ на підприємстві

Кількість працюючих, які користуються душем, установлюється для кожного підприємства з дотриманням санітарних норм проектування промислових підприємств.

На тракторному заводі кількість працюючих, які користуються душами, складає 30% від загальної кількості працюючих, тобто 1350 осіб, з розподілом за цехами:

у холодних цехах – 10% (450 ос.); у гарячих цехах – 20% (900 ос.).

У максимальну зміну з кількістю працюючих 1900 ос.:

у холодних цехах – 10% (190 ос.); у гарячих цехах – 20% (380 ос.).

За нормами користування душ приймають протягом 45 хв після закінчення кожної зміни, тому максимальна годинна витрата води на душ складає

$$Q_{\max}^{zod} = \frac{Q_{cm}}{0,75}, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (1.4)$$

$$Q_{cm} = (0,06 \cdot n_r + 0,04 \cdot n_x), \text{ м}^3; \quad (1.5)$$

0,06 і 0,04 – відповідно норми витрати на один прийом душу у гарячих і холодних цехах.

$$Q_{cm} = 0,06 \cdot 380 + 0,04 \cdot 190 = 30,4 \text{ м}^3;$$

$$Q_{\max}^{zod} = \frac{30,4}{0,75} = 40,5 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Максимальна секундна витрата води

$$Q_{\max}^c = \frac{Q_{\max}^{zod}}{3,6} = \frac{40,5}{3,6} = 11,26 \text{ л/с.} \quad (1.6)$$

#### Витрата води на виробничі потреби підприємства

Витрата води на виробничі потреби підприємства повинна прийматися за даними технологів.

Максимальна добова витрата води підприємства на виробничі потреби

$$Q_{\max}^{dob} = \Pi \cdot q_{\text{пит}}, \text{ м}^3/\text{доб.}, \quad (1.7)$$

де  $\Pi$  – добова продукція підприємства;

$q_{\text{пит}}$  – середня питома витрата на виробництво одиниці продукції,  $\text{м}^3$ .

$$Q_{\max}^{dob} = 120 \cdot 45 = 5400 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

За відсутності даних про витрати води на виробничі потреби окремими змінами споживання води приймають однаковим протягом усього часу роботи підприємства.

Максимальна годинна витрата при цьому дорівнює

$$Q_{\max}^{zod} = \frac{Q_{\max}^{dob}}{t} = \frac{5400}{24} = 225 \text{ м}^3/\text{год.}, \quad (1.8)$$

де  $t$  – тривалість роботи підприємства в розрізі доби, год.

Максимальна секундна витрата води на виробничі потреби

$$Q_{\max}^c = \frac{Q_{\max}^{\text{доб}}}{3,6} = \frac{2,25}{3,6} = 62,5 \text{ л/с.} \quad (1.9)$$

Результати розрахунків витрат води для промислових підприємств зведено в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1

Витрата води для промислових підприємств

Характер витрати води	$Q_{\max}^{\text{доб}}$ , м <sup>3</sup> /доб	$Q^{\text{ср}}$ , м <sup>3</sup> /год	$Q_{\max}^{\text{г}}$ , м <sup>3</sup> /год	$Q_{\max}^c$ , л/с
Господарсько-питні потреби підприємства	—	5,44	19,6	5,4
Витрата води на душ	—	—	40,5	11,26
Витрата води на виробничі потреби	5400	—	225	62,5
<b>РАЗОМ</b>	5400	5,44	285,1	79,16

Витрата води на пожежогасіння

Розрахункова витрата на зовнішнє пожежогасіння залежить від розмірів населеного пункту, поверховості будинків і ступеня їхньої вогнестійкості, розмірів виробничих будинків, категорій виробництв та інших факторів.

Максимальну секундну витрату води на гасіння пожеж визначають за формулою

$$Q_{\text{пож}} = q_{\text{пож}} \cdot n + q'_{\text{пож}}, \text{ л/с,} \quad (1.10)$$

де  $q_{\text{пож}}$  – розрахункова витрата води на пожежогасіння однієї зовнішньої пожежі, л/с; визначають за табл. 5 [1] для населеного пункту або табл. 7, 8 [1] для промислового підприємства;

$q'_{\text{пож}}$  – розрахункова витрата води на внутрішнє пожежогасіння, л/с;

$n$  – кількість пожеж.

$$Q_{\text{пож}}^{\text{НП}} = 35 \cdot 2 + 10 = 80 \text{ л/с;}$$

$$Q_{\text{пож}}^{\text{ПП}} = 25 \cdot 2 + 10 = 60 \text{ л/с.}$$

Виходячи з розрахункової тривалості пожежі  $t_n=3$  год, повну витрату води на гасіння пожежі можна обчислити за формулою

$$Q'_{\text{пож}} = 10,8 \cdot Q_{\text{пож}} \cdot 2 + q'_{\text{пож}}, \text{ м}^3; \quad (1.11)$$

$$Q'_{\text{пож}}^{\text{НП}} = 10,8 \cdot 80 \cdot 2 + 10 = 864 \text{ м}^3;$$

$$Q'_{\text{пож}}^{\text{ПП}} = 10,8 \cdot 60 \cdot 2 + 10 = 648 \text{ м}^3.$$

Повна витрата води на гасіння пожежі за 3 год

$$Q_{\text{пож}} = Q_{\text{пож}}^{\text{НП}} + 0,5Q_{\text{пож}}^{\text{ПП}} = 864 + 0,5 \cdot 648 = 1188 \text{ м}^3. \quad (1.12)$$

Витрата води на пожежогасіння за 1 год

$$Q_{\text{пож}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{пож}}}{3} = \frac{1188}{3} = 396 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (1.13)$$

Секундна витрата води на пожежогасіння

$$Q_{\max \text{ пож}}^c = \frac{Q_{\text{пож}}^{\text{год}}}{3,6} = \frac{396}{3,6} = 110 \text{ л/с.} \quad (1.14)$$

Результати розрахунків витрат води на потреби міста та промислових підприємств зведено до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Зведена таблиця витрати води

№	Характер витрати води	$Q_{\max}^{\text{доб}}$ , м <sup>3</sup> /доб	$Q^{\text{ср}}$ , м <sup>3</sup> /год	$Q_{\max}^{\text{г}}$ , м <sup>3</sup> /год	$Q_{\max}^c$ , л/с
1	Господарсько-питні потреби населення міста	25947,5	1018,15	1568,92	435,81
2	Комунальні потреби міста	662,32	27,6	110,48	30,69
3	Невраховані витрати	2594,75	101,82	156,89	43,58
4	Витрати води для промпідприємства	—	—	285,1	79,16
5	Витрати води на пожежогасіння	—	—	396,0	110,0
	<b>РАЗОМ</b>			2517,39	699,24

## Тема 2. Розрахунок витрат виробничих стічних вод

Витрата стічних вод від промислових підприємств складається з витрати побутових стічних вод, стічних вод від душових і витрати виробничих стічних вод.

### Витрата побутових стічних вод від підприємства

Середньодобову витрату побутових стічних вод установлюють за формулою

$$Q_{\text{mid}} = \frac{45 \cdot N_{\text{г}} + 25 \cdot N_{\text{х}}}{1000}, \text{ м}^3/\text{доб}; \quad (2.1)$$

$$Q_{\text{mid}} = \frac{45 \cdot 900 + 25 \cdot 3600}{1000} = 130,5, \text{ м}^3/\text{доб}.$$

Максимальна годинна витрата дорівнює

$$Q_{\text{max.h}} = \frac{45 \cdot n_{\text{г}} \cdot K_{\text{г}} + 25 \cdot n_{\text{х}} \cdot K_{\text{х}}}{t_{\text{см}} \cdot 1000}, \text{ м}^3/\text{год}; \quad (2.2)$$

$$Q_{\text{max.h}} = \frac{45 \cdot 380 \cdot 2,5 + 25 \cdot 1520 \cdot 3}{8 \cdot 1000} = 19,6, \text{ м}^3/\text{год}.$$

Розрахункова секундна витрата дорівнює

$$q_{\text{max.s}} = \frac{45 \cdot n_{\text{г}} \cdot K_{\text{г}} + 25 \cdot n_{\text{х}} \cdot K_{\text{х}}}{t_{\text{см}} \cdot 60 \cdot 60}, \text{ л/с}; \quad (2.3)$$

$$q_{\text{max.s}} = \frac{45 \cdot 380 \cdot 2,5 + 25 \cdot 1520 \cdot 3}{8 \cdot 60 \cdot 60} = 5,4 \text{ л/с}.$$

### Витрата стічних вод від душових на підприємстві

Максимальну витрату стічних вод від душових на підприємстві за зміну приймають такою, що дорівнює максимальній годинній витраті води на душ, і визначають за формулою

$$Q_{\max}^{zod} = \frac{Q_{cm}}{0,75}, \text{ м}^3/\text{ГОД},$$

$$Q_{cm} = (0,06 \cdot n_r + 0,04 \cdot n_x), \text{ м}^3,$$

де 0,06 і 0,04 – відповідно норми витрати на один душ у гарячих і холодних цехах;

$$Q_{cm} = 0,06 \cdot 380 + 0,04 \cdot 190 = 30,4 \text{ м}^3;$$

$$Q_{\max}^{zod} = \frac{30,4}{0,75} = 40,5 \text{ м}^3/\text{ГОД}.$$

Максимальна секундна витрата води

$$Q_{\max}^c = \frac{Q_{\max}^{zod}}{3,6} = \frac{40,5}{3,6} = 11,26 \text{ л/с}.$$

Максимальна витрата стічних вод від душових може бути визначена за формулою

$$Q_{\max.cm} = \frac{q_{\delta c} \cdot m_q \cdot 45}{60 \cdot 1000}, \text{ м}^3/\text{зміну}, \quad (2.4)$$

де  $q_{\delta c}$  – витрата води через одну душову сітку, л/год;  $q_{\delta c} = 500$  л/год;  
 $m_q$  – кількість душових сіток, залежить від кількості робітників, які користуються душем у максимальну зміну.

#### Витрата виробничих стічних вод на підприємстві

Середню добову витрату стічних вод від технологічних процесів обчислюють за формулою

$$Q_{mid} = \Pi \cdot q_{np}, \text{ м}^3/\text{доб}, \quad (2.5)$$

де  $q_{np}$  – питома водовідведення на одиницю продукції,  $\text{м}^3$  (може дорівнювати середній питомій витраті на виробництво одиниці продукції або менше).

$$Q_{mid} = 120 \cdot 45 = 5400 \text{ м}^3/\text{доб}.$$

За відсутності даних про витрати води на виробничі потреби окремими змінами витрату виробничих стічних вод приймають однаковою протягом усього часу роботи підприємства.

Максимальна годинна витрата стічних вод при цьому дорівнює

$$q_{\max.h} = \frac{Q_{mid}}{t} = \frac{5400}{24} = 225 \text{ м}^3/\text{ГОД}, \quad (2.6)$$

де  $t$  – тривалість роботи підприємства протягом доби, год.

Максимальна секундна витрата води на виробничі потреби

$$q_{\max.s} = \frac{q_{\max.h}}{3,6} = \frac{2,25}{3,6} = 62,5 \text{ л/с}. \quad (2.7)$$

Розрахункова витрата виробничих стічних вод може бути також визначена за формулою

$$q_{\max .s} = \frac{P_{\max} \cdot q_{np}}{t_{cm} \cdot 3,6} K, \text{ л/с.} \quad (2.8)$$

### Тема 3. Баланс водоспоживання та джерела його покриття.

#### Графік балансів

Баланс водоспоживання складають для того, щоб мати можливість оцінити розрахунковий режим річки нижче від водозабору після введення в роботу кожної черги водопровідних споруд. При цьому розв'язують питання про необхідність і вид регулювання стоку для кожного джерела водопостачання та виконують їх порівняльний кількісний аналіз.

Баланс водоспоживання для кожного джерела водопостачання складають у табличній формі (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Баланс водоспоживання і джерело його покриття, м<sup>3</sup>/с

№ з/п	Показник	Джерело водопостачання	Черга будівництва при прямоотечійній (А) та зворотній (Б) системах водопостачання на підприємств						
			I		II		Перспектива		
			А	Б	А	Б	А	Б	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Розрахунковий водовідбір $Q_B$								
2	Розрахункові середньомісячні витрати залежно від категорії системи водопостачання $Q_p$ , сер. міс.								
3	Фактичні санітарні витрати $Q_{сан}$ .								
4	Розрахункові середньомісячні витрати 95-відсоткової забезпеченості								
5	Мінімальні санітарні витрати $Q_{сан, \min}$ .								
6	Різниця між фактичними і мінімальними санітарними витратами $Q_{сан} - Q_{сан, \min}$ .								

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	Витрати води з водосховища							
8	Середньорічні витрати маловодного року 95-відсоткової забезпеченості							
9	Висновки про умови використання джерела водопостачання							

Розрахунковий водовідбір визначається за добовим водоспоживанням міста і промислових підприємств. При цьому витрати води промислових підприємств обчислюють за формулою

$$Q_{\text{пр}} = N \cdot B / 86400, \quad (3.1)$$

де  $N$  – питоме водоспоживання на одиницю продукції;

$B$  – кількість продукції, яку виробляє промислове підприємство.

Результати розрахунків зводять у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2

Визначення розрахункового водовідбору

№ з/п	Показник	Черга будівництва при прямотечійній (А) та зворотній (Б) системах водопостачання на ППР					
		Перша черга		Друга черга		Перспектива	
		А	Б	А	Б	А	Б
1	Водоспоживання містом						
2	Водоспоживання ППР1						
3	Водоспоживання ППР2						
4	Водоспоживання ППР3						
5	Усього (п.1. + п.2)						
6	Невраховані витрати, 10 – 15 % п.5						
7	Власні потреби споруд водопроводу (4 – 6% (п.5+п.6))						
8	Розрахунковий водовідбір (п.5 + п.6+п.7).						

Середньомісячні та середньорічні втрати води беруть залежно від розрахункової забезпеченості. Фактичні санітарні витрати – це витрати води в річці, що залишаються після відбору,  $\text{м}^3/\text{с}$ ,

$$Q_{\text{сан}} = Q_{\beta}^{\text{серміс}} - Q_{\text{в}}. \quad (3.2)$$

Мінімальні санітарні витрати показують, яку кількість води

необхідно залишити в річці, щоб не виникли негативні зміни флори і фауни. Цей показник приймається таким, що дорівнює найменшим із середньомісячних витрат 95-відсоткової забезпеченості за багаторічний період спостережень, м<sup>3</sup>/с,

$$Q_{\text{сан.мін}} = K \cdot Q_{95\%}^{\text{сер.міс}}, \quad (3.3)$$

де  $K = 0,3$  – поправковий коефіцієнт.

Якщо різниця між фактичними і мінімальними санітарними витратами негативна –

$$Q_{\text{сан.мін.}} \geq Q_{\text{сан.}}, \quad (3.4)$$

то потрібно відрегулювати стік створенням водосховища. У нашому проекті необхідно ввести сезонне регулювання стоку лише для прямоотечійної схеми в перспективі. Для всіх інших випадків регулювання стоку не потрібне. Витрати води з водосховища повинні забезпечувати розрахунковий водовідбір з урахуванням утрат води при випаровуванні, фільтрації й т.п. (ураховують коефіцієнтом  $\eta=1,2$ ) та мінімальні санітарні витрати в нижньому б'єфі, м<sup>3</sup>/с,

$$Q_{\text{ВОДОСХОВ}} = \eta \cdot Q_{\text{В}} + Q_{\text{сан.мін.}} \quad (3.5)$$

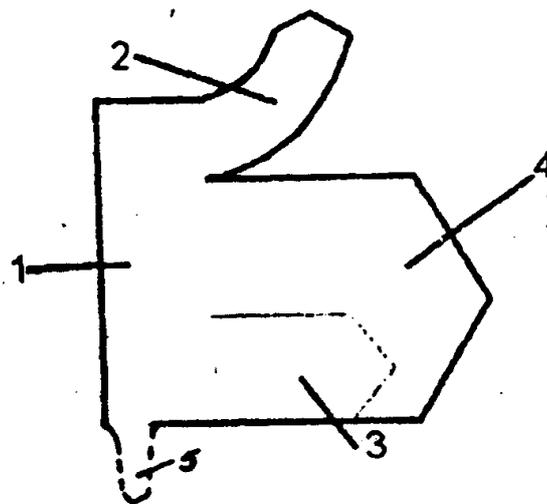
При виконанні нерівності

$$Q_{\beta}^{\text{СЕР.РІЧНЕ}} \geq Q_{\text{ВОДОСХОВ}} \quad (3.6)$$

достатньо сезонного регулювання стоку.

На основі таблиці 3.1 складають (у масштабі) підсумкові балансові схеми у вигляді епюри кожної черги окремо відповідно при прямоотечійній і зворотній системах водопостачання на промислових підприємствах з урахуванням виду використання джерела.

#### ПРИКЛАД ПОБУДОВИ ПІДСУМКОВОЇ БАЛАНСОВОЇ СХЕМИ



1–  $Q_{\beta}^{\text{ср.міс}}$  – без регулювання стоку (п.2, т.2);

$Q_{\beta}^{\text{ср.річ}}$  – при сезонному регулюванні стоку (завд., т.2);

- $Q_0$  – при багаторічному регулюванні стоку (завд., т.2);  
 2 – розрахунковий водовідбір  $Q_v$  (п.1, т.2);  
 3 – мінімальні санітарні витрати  $Q_{сан.мін}$  (т.2);  
 4 – фактичні санітарні витрати  $Q_{сан.}$  (т.2);  
 5 – утрати води з водосховища на фільтрацію і випарювання  $(\eta - 1)Q_v$ , де  $\eta = 1,2$ .

**Задача 1.** Оцінити можливість покриття водовідбору джерелом водопостачання за таких умов:

№ з/п	Назва ППР	К-ть продукції за рік	Водоспож. містом	$Q_b^{сер. міс.,90}$	$Q_b^{сер. міс.,95}$
1	Кондитерська фабрика	90/110/150	2/5/9	9	7
2	Млинкомбінат	75/80/100	3/6/13	9	7
3	Пивзавод	90/115/180	1/3/5	9	7

**Задача 2.** Для умов задачі №1 побудувати підсумкову балансову схему водоспоживання.

**Задача 3.** Що означає виконати кількісний аналіз джерел водопостачання?

#### **Тема 4 Складання балансової схеми промвузла з використанням заходів щодо раціонального використання водних ресурсів**

Балансова схема водоспоживання і водовідведення дає можливість графічно показати якісні та кількісні зв'язки між окремими водоспоживачами і спорудами водопровідно-каналізаційного господарства, її складають у декількох варіантах для вибору найбільш раціонального й економічно вигідного.

Балансова схема включає умовні зображення таких об'єктів:

- 1) водоспоживачів — місто, ППР;
- 2) водопровідних і каналізаційних споруд — водовідбір (ВДВ), міські водопровідні очисні споруди (МВОС), локальні водопровідні очисні споруди (ЛВОС), міські каналізаційні очисні споруди (МКОС), станції доочищення стічних вод (СДСВ), локальні каналізаційні очисні споруди (ЛКОС);
- 3) джерел водопостачання (ДВ) й об'єктів водовипускання (ОВ).

Із 4 – 6% витрат, які забирають на власні потреби станції водопідготовки, менша їх частина, призначена для промивання сіток на водозаборі після їх використання, як правило, скидається у водоймище нижче ВДЗ і населеного пункту. Більша частина цих витрат — це витрати на власні потреби МВОС або ЛВОС (промивання фільтрів, чищення відстійників). Залежно від наявності й ефективності роботи споруд очищення промивної води для повторного використання та чи інша

частина її скидається в господарську фекальну каналізацію міста або втрачається при обробленні осадів.

У місті існують безповоротні витрати води на миття вулиць і поливання міста водою.

На ППР 1 (кондитерська фабрика) застосовується система водопостачання з послідовним використанням води (після охолодження апаратів із подачею її на мокроповітряний вакуум-насос та вакуум-зварні апарати) й поверненням води на холодильні установки. Вода втрачається безпосередньо в продукції (сиropи і т.д.), на охолодження машин, мийку сировини, тари, пристроїв. Промислові стічні води, забруднені залишками сиропів, солей, направляються в каналізацію міста.

На ППР 2 (виробництво синтетичного капронового волокна) промислові забруднені стічні води утворюються в процесі відливання капронового волокна, концентровані рідкі відходи в каналізацію не скидаються, а направляються на спалювання в спеціальних печах; стічні води, як правило, забруднені залишками органічних речовин у концентраціях, що дозволяють скидати воду в міську каналізацію.

Стічні води ППР 3 (виробництво хромових шкір) належать до висококонцентрованих та мають різноманітні забруднення.

Для перевірки правильності побудови схеми виконують баланс витрат води кожного об'єкта, м<sup>3</sup>/с,

$$\sum_{i=1}^n Q_i^{\text{П}} - \sum_{i=1}^m Q_i^{\text{В}} = 0 \quad (4.1)$$

Показники якості води після об'єднання потоків із витратами  $Q_1, Q_2, Q_i$  і відповідними показниками якості  $C_1, C_2, \dots, C_i$ , мг/л, визначають із виразу

$$C_{\text{сум.}} = \frac{C_1 Q_1 + C_2 Q_2 + \dots + C_i Q_i}{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_i} \quad (4.2)$$

**Задача 1.** Скласти балансову схему промвузла з виконанням заходів щодо раціонального використання водних ресурсів для таких промислових підприємств: цукровий завод, виробництво синтетичного капронового волокна, виробництво хромових шкір, якщо відомо:

- витрата річки, з якої відбувається водопостачання підприємств, 30 м<sup>3</sup>/с;
- продуктивність промислових підприємств на першу чергу будівництва відповідно 75; 100; 110 одиниць продукції, яка виробляється; на перспективу відповідно 95; 115; 145.

## Тема 5. Показники якості води

### Нормовані показники

Норма (від лат. *norma* – керівне правило, взірець) – це узаконений, визнаний, обов'язковий порядок, міра, закон або ж середня, максимальна чи мінімальна кількість, розмір чогось. Від норми походить термін

«норматив» (від лат. *normatia* – упорядкування) – показник норми, згідно з яким виконують певну роботу.

Нормовані показники, котрі найчастіше використовують для визначення якості поверхневих вод, поділяють на такі:

- 1) кисневий – охоплює розчинений у воді кисень, біохімічне споживання кисню (БСК), хімічне споживання кисню (ХСК);
- 2) токсикологічний – об'єднує амонійний азот, нітрити та важкі метали;
- 3) санітарно-токсикологічний – визначає вміст нітратів, важких металів і мінералізацію зі всіма її складниками;
- 4) рибогосподарський – об'єднує нафтопродукти, феноли й отрутохімікати.

Крім того, для характеристики якості води використовують ще такі показники: твердість, зумовлену вмістом солей лужно-земельних металів; лужність, зумовлену вмістом аніонів слабких кислот; агресивність; здатність розчинених у воді речовин руйнувати метали, бетон, вапнякові матеріали.

Рівень забруднення поверхневих вод оцінюють так: за частотою виявлених перевищень гранично допустимих концентрацій (ГДК); кратністю перевищення ГДК за окремими компонентами хімічного складу забруднень; повторністю (%) виявлених у воді забруднювальних речовин або показників забруднення за певний проміжок часу (доба, декада, місяць, сезон, рік).

Для виявлення тенденцій зміни якості поверхневих вод користуються: порівнянням максимальних, мінімальних і середніх оцінок за певні гідрологічні сезони; формами кривих частот концентрації; формами інтегральних кривих розподілу концентрацій; результатами класифікації якості поверхневих вод [2].

Кожний вид водокористування (питне, культурно-побутове, рибогосподарське, технічне) ставить свої вимоги до якості води. З огляду на це нормування набуває важливого значення, зокрема щодо визначення параметрів показників для конкретних видів водокористування.

### **Екологічні характеристики водойм**

Екологічними характеристиками водойм, зокрема текучої води річок, є температура, прозорість, кольоровість, уміст розчинених сполук та зависей, швидкість потоку, співвідношення кількостей води, що витікає, профіль глибини, характер берегів і дна.

#### Визначення температури

Температура є важливим чинником. Підвищення її інтенсифікує гідроліз багатозарядних катіонів, сприяє дегазації води, збільшує токсичність окремих сполук, прискорює біохімічні процеси у воді водойм. Крім того, кожний живий організм має свій оптимальний режим температур; поза межами стійкості гідробіоти гинуть.

Промислові підприємства, що скидають у природні водойми теплу воду, спричиняють теплове забруднення водойм. Особливо сприяють забрудненню теплові й атомні електростанції – їх води нагріті до 45°C. Вимірювати температуру води в річці бажано поблизу місця скидання у водойму води з підприємства чи електростанції. У цьому разі замірювання виконують вище й нижче від місця скидання. Складають два температурних профілі річки і порівнюють їх між собою.

#### Визначення запаху

За характером запахи поділяють на дві групи:

1) запахи природного походження: землистий, торф'янистий, гнильний, трав'яний, болотний, дерев'янистий, ароматичний, рибний, запах цвілі, сірководневий тощо;

2) запахи штучного походження: хлорний, оцтовий, фенольний, бензиновий, камфорний тощо.

Інтенсивність запаху визначають за п'ятибальною шкалою:

0 – запаху немає;

1 – дуже слабкий;

2 – слабкий;

3 – помітний;

4 – чіткий (виразний);

5 – дуже сильний.

#### Визначення прозорості води

Прозорість води залежить від кількості й ступеня дисперсності зависей. Її виражають у сантиметрах водяного стовпа, крізь який видно лінії завтовшки 1мм, що утворюють хрест або шрифт № 1 (за Снілленом). Для визначення прозорості води безпосередньо у водоймі застосовують диск Секкі – металевий диск діаметром 20 см, поділений на чотири сектори, два з яких пофарбовані в чорний, а два – у білий колір, з'єднаний із тросиком, що має позначки (рис. 5.1).

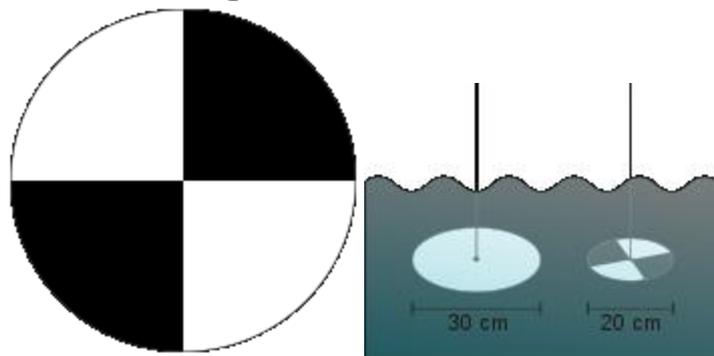


Рис. 5.1. Два типа дисків Секкі

#### Визначення кольоровості води

Колір води у водоймах може бути різним, що найчастіше зумовлено наявними в ній домішками. Коричневий колір свідчить про наявність заліза, зеленуватий – про масове розмноження синьо-зелених водоростей.

Кольоровість води визначають колориметричним методом у градусах, порівнюючи її з дихроматно-кобальтовою шкалою кольоровості, яку отримують, змішуючи в різних співвідношеннях розчини 1 і 2.

Таблиця 5.1

**Шкала кольоровості з дихромату калію і сульфату кобальту**

Розчин	Градуси кольоровості													
	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
№ 1, мл	0	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20
№ 2, мл	100	99	98	97	96	95	94	92	90	88	86	84	82	80

Кислотність і лужність вод

Велике значення для формування хімічного складу вод має рН середовища, процеси їх очищення, забезпечення умов існування для рослинного й тваринного світу водойми. Зокрема, зниження рН сприяє підвищенню розчинності карбонатів, сульфідів, фосфатів, важких металів, збільшенню їх міграції та доступності для засвоєння живими організмами, отруєнню. Для більшості риб оптимальним є рН=6,7 – 8,6. Цей показник залежить від багатьох чинників: температури води, вмісту органічних речовин, діяльності живих організмів тощо.

Визначення рН вод

Найзручніше і найточніше визначають рН вод за допомогою рН-метра (рис. 5.2). Можна скористатися універсальним індикаторним папером і за кольоровою шкалою визначити рН. Ще один спосіб – використання різних кислотно-основних індикаторів, які змінюють своє забарвлення при різних значеннях рН. Знаючи інтервал рН зміни кольору кількох індикаторів, можна з достатньою точністю визначити рН води, наливши 5 – 10 мл аналізованої води в пробірки і додавши по 1 – 2 краплі індикатора.

Визначення кислотності води

Кислотність – це концентрація у воді речовин, що взаємодіють із сильними основами. До них належать сильні кислоти, які у водному розчині повністю дисоціюють на іони (сульфатна, хлоридна, нітратна, хлорна), слабкі кислоти (ацетатна, сульфідна, сульфитна, карбонатна) та катіони слабких основ, котрі у воді гідролізуються з виділенням протонів ( $NH_4^+$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ , катіони органічних основ).

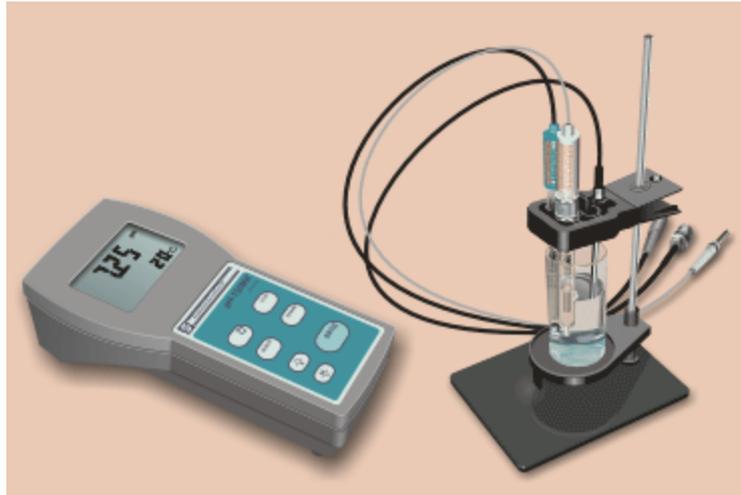


Рис. 5.2. Прилад рН-метр «рН-150МІ», призначений для вимірювання значень рН, окисно-відновного потенціалу (Еh) і температури в технологічних та інших водних розчинах, природних і стічних водах

### Жорсткість

Сумарний уміст іонів кальцію та магнію у воді формує її загальну жорсткість [1]. Це один з важливих критеріїв, який визначає придатність води для пиття й інших видів водокористування. Вода з жорсткістю до 4 ммоль/дм<sup>3</sup> характеризується як м'яка, від 4 до 8 ммоль/дм<sup>3</sup> – середньої жорсткості, від 8 до 12 ммоль/дм<sup>3</sup> – жорстка, більше 12 ммоль/дм<sup>3</sup> – дуже жорстка. Цікавий аспект впливу вод з різною жорсткістю на здоров'я людини виявили медичні дослідження: чим жорсткіша вода, тим менше люди страждають на серцеві захворювання. Однією з причин цього явища, можливо, є те, що м'яка вода переводить у розчин свинець і кадмій, які містяться у водопровідних трубах. А останні, як відомо, впливають на підвищення тиску, який є передумовою інфаркту.

### Сольовий склад води

Сольовий склад природних вод представлений солями соляної, сірчаної та вугільної кислот з металами: натрієм, калієм, магнієм та кальцієм. Розчинені у воді солі зазвичай представлені іонами  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ . Оскільки сума перелічених вище головних іонів становить 90 – 95% мінерального складу прісних вод, то її часто називають мінералізацією води, яка є кількісною характеристикою розчинених у воді мінеральних речовин.

Хлорид-іон ( $\text{Cl}^-$ ) надходить у природні води шляхом розчинення хлорвмісних мінералів (содаліт, хлор апатит та ін.) і соленосних відкладів (галіт). Значна кількість  $\text{Cl}^-$  переноситься повітряним шляхом із морів та океанів у континентальні води. Останнім часом зросла роль промислових і комунально-побутових стічних вод у надходженні  $\text{Cl}^-$ . Допускається вміст хлоридів у воді до 300 мг/дм<sup>3</sup>.

Сульфат-іон ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) надходить у природні води за рахунок процесів розчинення сірковмісних мінералів (гіпс), а також шляхом окиснення сірки

та сульфідів. Значні кількості  $SO_4^{2-}$  надходять за рахунок процесів відмирання живих рослинних і тваринних організмів та зі стічними водами. Уміст  $SO_4^{2-}$  у водах для питного споживання обмежується величиною 500 мг/дм<sup>3</sup>, а для рибогосподарського використання – 100 мг/дм<sup>3</sup>.

Гідрокарбонат-іони ( $HCO_3^-$ ). Гідрокарбонатні й карбонатні іони вважаються однією з найголовніших частин хімічного складу поверхневих вод. Вони є продуктами дисоціації вугільної кислоти і знаходяться у розчині в динамічній рівновазі між самою вугільною кислотою та іонами, що її складають,



Зміна вмісту одного із членів цього рівняння приводить до зміни іншого. Ці іони формують карбонатну систему хімічної рівноваги, яка має надзвичайно важливе значення для природних вод. Співвідношення форм карбонатної системи визначають величину рН води. При рН < 5 концентрація  $HCO_3^-$  практично дорівнює нулю. У нейтральних та лужних водах іони  $HCO_3^-$  переважають. Карбонатні іони ( $CO_3^{2-}$ ) з'являються у воді при рН > 8, а в сильно лужних водах вони стають домінуючими.

Натрій-іон ( $Na^+$ ) та калій-іон ( $K^+$ ). Первинним джерелом надходження  $Na^+$  та  $K^+$  у поверхневі води є вивержені та осадові породи, а також хлориди, сірчаноокислі та вуглекислі солі. Крім того, вони надходять зі стічними водами, із сільськогосподарських угідь, зі зрошуваних полів. Концентрація  $Na^+$  коливається в річкових водах від 0,6 до 300 мг/дм<sup>3</sup>. Гранично допустима концентрація натрію у воді – 120 мг/дм<sup>3</sup>.

Калій знаходиться у воді у значно нижчих концентраціях, ніж натрій. Його концентрація у річковій воді зазвичай рідко перевищує 25 мг/дм<sup>3</sup>. Гранично допустима концентрація (ГДК)  $K^+$  складає 50 мг/дм<sup>3</sup>. Натрій і калій мають важливе значення для живих організмів. Вони відповідають за транспорт поживних речовин на клітинному рівні.

Іон кальцію ( $Ca^{+}$ ). Первинним джерелом надходження його у поверхневі води є мінерали з умістом кальцію (всього понад 700 мінералів). Велика кількість кальцію надходить зі стічними водами силікатних, металургійних, скловарних та хімічних підприємств, а також із сільськогосподарських угідь, особливо при застосуванні мінеральних добрив, що містять кальцій. Гранично допустима концентрація  $Ca^{+}$  становить 180 мг/дм<sup>3</sup>.

Виконання простих статистичних процедур з вихідними гідрохімічними даними підтверджує домінуючу роль кальцію у формуванні жорсткості води річок України. Кореляційний аналіз даних про вміст  $Ca^{+}$  та  $Mg^{2+}$  з величиною жорсткості у більшості випадків указує на наявність тісних статистично достовірних кореляційних зв'язків між

кальцієм та жорсткістю.

Іон магнію ( $Mg^{2+}$ ) надходить у поверхневі води за рахунок процесів хімічного вивітрювання й розчинення доломітів, мергелів та інших мінералів, зі стічними водами металургійних, силікатних, текстильних й інших підприємств. Іонна форма магнію переважає у маломінералізованих водах, у більш мінералізованих він міститься у вигляді нейтральних ( $MgSO_4^0$ ), або заряджених ( $MgHCO_3^-$ ) іонних пар, чи у вигляді комплексів з органічними речовинами. Гранично допустима концентрація  $Mg^{2+}$  складає 40 мг/дм<sup>3</sup>.

### **Біогенні речовини**

До біогенних належать мінеральні речовини, які найбільш активно беруть участь у життєдіяльності водних організмів: це сполуки азоту ( $NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-$ ), фосфору ( $H_2PO_4^-, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-}$ ), кремнію ( $HSiO_3^-, SiO_3^{2-}$ ), заліза ( $Fe^{2+}, Fe^{3+}$ ) та деяких мікроелементів. Концентрація біогенних речовин у воді незначна, але саме ці елементи визначають рівень біопродуктивності водних об'єктів і таким чином обумовлюють якість води.

Нітрат-іон ( $NO_3^-$ ). Унаслідок широкого застосування мінеральних добрив у багатьох районах світу почалися випадки забруднення ґрунтових і поверхневих вод нітратами понад ГДК. Небезпека вживання води з підвищеним умістом  $NO_3^-$  полягає в тому, що нітрати, потрапляючи з водою в організм людини, відновлюються мікрофлорою травного тракту і тканинними ферментами до нітритів, токсичність яких у 10 – 20 разів вища, ніж у  $NO_3^-$ , і реагують з амінокислотами, утворюючи канцерогенні сполуки нітрозоаміни.

Амоній ( $NH_4^+$ ) та нітрит-іон ( $NO_2^-$ ). Іон амонію з'являється у воді внаслідок розчинення у ній аміаку – продукту розкладу органічних азотовмісних речовин. Концентрація  $NH_4^+$  у незабруднених поверхневих водах складає, як правило, соті частки мгN/дм<sup>3</sup> і підвищується до 0,5 мгN/дм<sup>3</sup>.

Іон  $NH_4^+$  нестійкий, він швидко окиснюється до нітритів і нітратів. Підвищений уміст амонію свідчить про анаеробні умови формування хімічного складу води і про її незадовільну якість. Підвищення концентрації  $NH_4^+$  часто спостерігається у водних об'єктах у місцях скиду стічних вод.

Концентрація  $NO_2^-$  у воді в природних умовах дуже незначна (тисячі частки мгN/дм<sup>3</sup>). Підвищена концентрація нітритів свідчить про інтенсивність розкладу органічних речовин і затримку окиснення  $NO_2^-$  до  $NO_3^-$ , що вказує на забруднення водойми.

Фосфор надходить у води в результаті процесів життєдіяльності й розкладу решток водних організмів, вивітрювання та розчинення порід і

мінералів. Забрудненню поверхневих вод фосфором сприяє надходження комунальних стічних вод, що містять поліфосфати як компоненти миючих засобів, фотореагенти та пом'якшувачі води. Важливим фактором є змив фосфорних добрив із сільськогосподарських угідь. Уміст фосфору у воді має сезонний характер коливань і залежить від співвідношення інтенсивності процесів фотосинтезу та біохімічного розкладу органічних речовин. Мінімальні концентрації фосфатів спостерігаються звичайно навесні й улітку, максимальні – восени і взимку.

Азот загальний. У загальному азоті природних вод прийнято виділяти органічну й мінеральну форми. Основними джерелами надходження азоту є процеси, які відбуваються всередині водойми, газообмін з атмосферою, атмосферні опади та антропогенне забруднення. Різні форми азоту в процесі його кругообігу можуть трансформуватися, переходячи з однієї форми в іншу. Азот належить до найважливіших лімітуючих біогенних елементів. Високий уміст азоту у воді прискорює процеси евтрофікації водойм, тобто бурхливий розвиток мікроскопічних водоростей, «цвітіння» водойм, загибель риб та інших водних організмів.

Аміак ( $NH_4^+$ ). Основними джерелами надходження іонів амонію у водні об'єкти є тваринницькі ферми, господарсько-побутові стічні води, поверхневий стік із сільгоспугідь при використанні амонійних добрив, а також стічні води підприємств харчової, коксохімічної, лісохімічної і хімічної промисловості. Підвищена концентрація іонів амонію може бути використана як індикаторний показник, що вказує на погіршення санітарного стану водного об'єкта, наявність процесу забруднення поверхневих та підземних вод у першу чергу побутовими і сільськогосподарськими стоками.

### **Розчинені гази**

У воді природних джерел частіш за все наявний кисень, діоксид вуглецю і сірководень.

Кисень. У природні водойми кисень надходить з атмосферним повітрям і виділяється в процесі фотосинтезу водними рослинами, водоростями та фітопланктоном. Від умісту  $O_2$  залежить життя водних організмів, що використовують кисень для дихання, інтенсивність процесів окиснення й розкладання органічних решток, самоочищення водойм. Забруднення водойм органічними речовинами та сполуками, здатними окиснюватися, значно погіршує їх стан щодо забезпеченості киснем, тому визначення його вмісту у воді є дуже важливим.

Діоксид вуглецю. Головним джерелом надходження оксиду вуглецю в природні води є процеси біохімічного розпаду органічних залишків, окиснювання органічних речовин, водних організмів. Звичайно, навесні й улітку вміст діоксиду вуглецю у водоймі знижується, а наприкінці зими – досягає максимуму.

Сірководень. Наявність у поверхневих водах свідчить про

забруднення джерела стоковими водами. Сірководень – токсичний газ, надає воді неприємного запаху, у господарсько-побутових водах його наявність не допускається.

Біохімічне споживання кисню. У процесі біохімічного окиснення органічних речовин у воді відбувається зменшення концентрації розчиненого кисню, і цей спад побічно є мірою вмісту у воді органічних речовин. Відповідний показник якості води, що характеризує сумарний уміст у воді органічних речовин, називається біохімічним споживанням кисню (БСК).

### **Важкі метали**

Важкі метали (*As, Cd, Cr, Co, Fe, Pb, Mn, Hg, Ni, Se, Ag, Zn*) належать до групи мікроелементів, ураховуючи їх низькі концентрації у природних водах (мікрограмовий діапазон концентрацій).

Свинець. Значне підвищення вмісту свинцю в навколишньому середовищі, в тому числі у поверхневих водах, зумовлене його широким застосуванням у промисловості. Одним із значних джерел забруднення поверхневих вод сполуками свинцю є спалення вугілля, застосування тетраетилсвинцю у моторному паливі, а також його винесення у водойму зі стічними водами рудозбагачувальних фабрик, металургійних підприємств, хімічних виробництв і шахт.

Ртуть. Ртуть потрапляє в організм риб та інших водних істот у формі метилртуті. Утворення її у річках і озерах досить легко відбувається при низьких значеннях рН води. Це пояснюється тим, що  $Hg^{2+}$  за цих умов легко переходить із донних відкладів у розчин шляхом іонного обміну (з іоном  $H^+$ ) і мікроорганізми мають можливість збільшити продукування метилртуті.

Цинк. Основним джерелом надходження цинку в природні води є мінерал сфалерит  $ZnS$ . Майже всі сполуки, крім  $ZnF_2$ , добре розчинні у воді. У річкових водах його концентрації коливаються від кількох мікрограмів до десятків і рідше сотень мікрограм на кубічний дециметр. У забруднених важкими металами водах концентрація цинку досягає сотень мікрограм на кубічний дециметр. Максимальні концентрації цинку характерні для слабокислих вод рудних тіл (рН=5,5 – 6,5). У лужних розчинах уміст цього елемента різко зменшується. Міграційна здатність цинку вища, ніж у міді та свинцю.

Мідь. Найважливішими джерелами надходження міді вважаються гірські породи, стічні води хімічних і металургійних виробництв, шахтні води, різні реагенти, що містять мідь, а також стічні води із сільськогосподарських угідь. Характерна особливість поведінки міді в природних водах – значно виражена здатність сорбуватися високодисперсними частинками ґрунтів і порід.

Марганець. Основним джерелом надходження марганцю у поверхневі води є залізомарганцеві руди та деякі мінерали, які містять марганець,

стічні води марганцевих збагачувальних фабрик, металургійних заводів, підприємств хімічної промисловості, шахтні води тощо. Значна кількість марганцю потрапляє при відмиранні й розкладі гідробіонтів, особливо синьо-зелених і діатомових водоростей, а також вищих водних рослин.

Нікель. Найважливішим джерелом забруднення нікелем є стічні води цехів нікелювання, збагачувальних фабрик. Величезні викиди нікелю супроводжують спалення палива, що призводить до викидів в атмосферу щорічно до 70 тис. т. цього елемента. Нікель належить до канцерогенних елементів, що може спричиняти респіраторні захворювання. Уважається, що вільні іони нікелю  $[Ni^{2+}]$  приблизно вдвічі токсичніші, ніж його комплексні сполуки.

Кобальт. Особливо небезпечним джерелом надходження сполук кобальту стають стічні води металургійних, металообробних, нафтопереробних, хімічних та інших виробництв.

Стронцій. Має низькі концентрації у природних водах, що пояснюється слабкою розчинністю його сірчаноокислих сполук, які вважаються основним джерелом надходження стронцію. За своїми хімічними властивостями він близький до кальцію, але відрізняється від нього біологічним впливом на організм. З надлишком умісту цього елемента в ґрунтах, водах і продуктах харчування пов'язана так звана урсовська хвороба. Інше, не менш важливе джерело надходження стронцію (радіоактивних ізотопів) у наш час, – антропогенне.

Залізо. Будучи біологічно активним елементом, залізо значною мірою впливає на інтенсивність розвитку фітопланктону та якісний склад мікрофлори у водоймі. Концентрація заліза схильна до помітних сезонних коливань. Зазвичай у водоймах з високою біологічною продуктивністю в період літньої та зимової стагнації помітно збільшення концентрації заліза в придонних шарах води. Осінньо-весняне перемішування водних мас супроводжується окисненням Fe (II) у Fe (III) і випаданням останнього у вигляді  $Fe(OH)_3$ .

### **Синтетичні поверхнево-активні речовини, феноли та нафтопродукти**

Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР). Потрапляючи у водойми, СПАР значно впливають на їх фізико-біологічний стан, погіршуючи кисневий режим і органолептичні властивості, які визначають за допомогою органів чуття – смаку, запаху тощо, і зберігаються там протягом тривалого часу, оскільки розчиняються повільно. Наявність їх у стокових водах знижує здатність зважених речовин до осідання, гальмує біохімічні процеси, сприяє виникненню піни у водоймах.

Феноли надходять у природні води зі стічними водами нафтопереробних, лісохімічних, лакофарбових, фармацевтичних та інших підприємств. Спускання стічних вод, що містять фенольні сполуки, у водойми і водотоки різко погіршує їх санітарний стан. Фенол впливає на живі організми не лише токсичністю, а й значними змінами режиму

біогенних речовин і розчинених газів.

Нафтопродукти. Вони належать до найпоширеніших та небезпечних речовин, забруднюють природні води. Нафтопродукти шкідливі для гідробіонтів (особливо, якщо містять ароматичні вуглеводні), хоча в природі існує чимало організмів, починаючи від найпростіших, які споживають вуглеводні нафти і нафтопродуктів як джерело карбону для створення біомаси, сприяючи тим самим очищенню водою і ґрунтів.

### **Хімічні речовини канцерогенної дії**

Хімічні речовини канцерогенної дії належать до різних класів хімічних речовин. За характером впливу на організми вони розділені на дві групи:

1. Генотоксичні речовини, котрі вступають у реакції з дезоксирибонуклеїновими кислотами.

2. Епігенетичні, негенотоксичні речовини, до яких належить чверть відомих канцерогенів.

Органічні мікрозабруднювачі природних вод. Найпоширенішими з них є: діоксини, пестициди, ДДТ та споріднені органічні сполуки, поліхлоровані біфеніли, поліциклічні ароматичні вуглеводні, легколеткі хлоровані вуглеводні.

### **Тема 6. Методики оцінювання якості поверхневих вод**

Згідно з Водним кодексом України, оцінювання якості води здійснюється на основі нормативів екологічної безпеки водокористувачів та екологічних нормативів якості води водних об'єктів.

Діючі нормативи оцінюють якість води, яка використовується для комунально-побутового, господарсько-питного й рибогосподарського призначення.

До *комунально-побутового* водокористування належить застосування водних об'єктів для купання, заняття спортом та відпочинку.

До *господарсько-питного* водокористування належить застосування водних об'єктів як джерел госпитного водопостачання і для водопостачання підприємств харчової промисловості.

До *рибогосподарського* водокористування належить застосування водних об'єктів як середовища існування риб та інших водних організмів. Водні об'єкти рибогосподарського призначення класифікуються на вищу, першу й другу категорії.

Усі речовини за характером свого негативного впливу поділяються на групи. Кожна група поєднує речовини однакої лімітуючої ознаки, яка має назву «**ознака шкідливості**». Одна й та сама речовина при різних концентраціях може виявляти різні ознаки шкідливості. Ознака шкідливості, яка виявляється при найменшій концентрації речовини, має

назву «лімітуюча ознака шкідливості» (ЛОШ).

У водних об'єктах комунально-побутового та госппитного водокористування розрізняють три ЛОШ: органолептичну, загальносанітарну, санітарно-токсикологічну. У водних об'єктах рибогосподарського водокористування, крім зазначених, виділяють ще дві ЛОШ: токсикологічну та рибогосподарську.

У процесі оцінювання якості води враховується принцип адитивності – однонаправленої дії.

З урахуванням цього оцінювання якості води з точки зору екологічної безпеки водокористування відбувається за такою методикою.

Водні об'єкти вважаються придатними для комунально-побутового та госппитного водокористування, якщо одночасно виконуються такі умови:

- не порушуються загальні вимоги до складу і властивостей води для відповідної категорії водокористування;
- для речовин, які належать до 3-го та 4-го класів шкідливості, виконується умова  $C \leq ГДК$ , де  $c$  – концентрація речовини у водному об'єкті;
- для речовин, які належать до 1-го та 2-го класів шкідливості, виконується умова  $\sum C_i / ГДК_i \leq 1$ .

Водні об'єкти вважаються придатними для рибогосподарського водокористування, якщо одночасно виконуються умови:

- не порушуються загальні вимоги до складу і властивостей води для відповідної категорії водокористування;
- для речовин, які належать до однієї ЛОШ, виконується умова  $\sum C_i / ГДК_i \leq 1$ .

#### **Норми якості води повинні виконуватися:**

для водотоків комунально-побутового та госппитного водокористування – на ділянках від пункта водокористування до контрольного створа, розташованого на відстані, не меншій ніж 1 км вище за течією від цього пункта водокористування;

для водоймищ комунально-побутового та господарсько-питного водокористування – на акваторії в радіусі, не меншому ніж 1 км від пункта водокористування;

для водотоків рибогосподарського водокористування – в межах усієї рибогосподарської ділянки водотоку, починаючи з контрольного створа, розташованого не далі ніж 500 метрів нижче за течією від джерела потрапляння домішок;

для водоймищ рибогосподарського водокористування – на всій рибогосподарській ділянці, починаючи з контрольного створа, розташованого в радіусі, не більшому ніж 500 м від місця потрапляння домішок.

Таким чином, для різних видів водокористування якості води водного об'єкта при скиданні в нього стічних вод повинна відповідати в розрахунковому створі нормам (рис. 6.1).

При скиданні стічних вод у водні об'єкти санітарний стан водного об'єкта в розрахунковому створі вважається задовільним, якщо дотримується така умова:

$$\sum_{i=1}^z \frac{C_{p.c.}^z}{ПДК_z} \leq 1, \quad (6.1)$$

де  $C_{p.c.}^z$  – концентрація  $i$ -ої речовини в розрахунковому створі за умови одночасної присутності  $z$  речовин, що відносяться до одного і того ж ЛПВ;  $i$  — 1, 2, ...,  $z$ ;  $z$  — кількість речовин з однаковим ЛПВ; ПДК $_z$  – гранично допустима концентрація  $z$ -ої речовини.

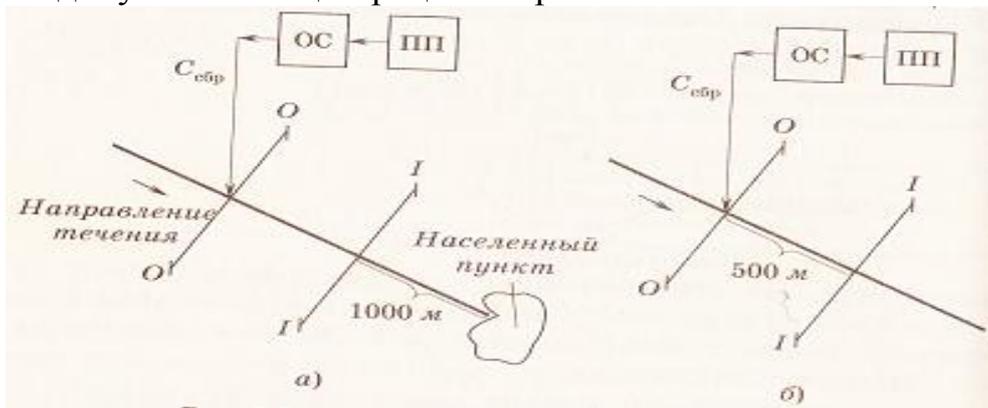


Рис. 6.1. Ситуаційна схема для водотоку:

а) культурно-побутового водокористування; б) рибогосподарського водокористування

**Екологічні нормативи якості води** – науково обґрунтовані кількісні значення показників якості води (гідрофізичних, гідробіологічних, бактеріологічних, специфічних речовин), котрі відображують природний стан водного об'єкта та цілі водоохоронної діяльності з поліпшення або збереження його екологічного благополуччя.

Екологічне оцінювання якості вод – віднесення їх до певного класу і категорії, згідно з екологічною класифікацією на підставі аналізу значень показників (критеріїв) її складу і властивостей із наступним їх обчисленням та інтегруванням (ручним чи автоматизованим способом).

**Критерії якості вод – екологічні критерії якості вод**, за якими вода класифікується й оцінюється як компонент екосистеми з урахуванням умов її нормального функціонування. Кількісні значення елементарних гідрофізичних, гідрохімічних, гідробіологічних, бактеріологічних і специфічних показників, а також комплексні кількісні показники, побудовані на інтегруванні елементарних ознак якості вод. На основі елементарних та узагальнюючих критеріїв визначають класи, категорії й

індекси якості вод, сапробність і трофність, котрі відображають стан водних екосистем.

**Норми якості води** є сукупністю встановлених допустимих значень показників складу та властивостей води водних об'єктів, у межах яких надійно відвертається шкода здоров'ю населення, забезпечуються нормальні умови водокористування й екологічне благополуччя водного об'єкта. Для оцінювання екологічного благополуччя водних об'єктів та визначення комплексу водоохоронних заходів устанавлюється екологічний норматив якості води, який містить науково обґрунтовані значення концентрацій забруднюючих речовин і показники якості води – загальнофізичні, біологічні, хімічні, радіаційні. Ступінь забрудненості водних об'єктів визначається відповідними категоріями якості води.

#### **Підходи до оцінювання екологічного стану вод**

Поряд з нормами, за якими оцінюють стан якості поверхневих вод, розроблено метод комплексного оцінювання вод за сукупністю показників. Під поняттям «комплексне оцінювання забрудненості поверхневих вод» розуміють ступінь забрудненості води, її якість, виражену за допомогою системи показників щодо чинних нормативів для конкретного виду водокористування.

Комплексні оцінки забрудненості поверхневих вод можуть існувати у формі різних коефіцієнтів або індексів забрудненості. Коефіцієнти переважно враховують невелику кількість елементів і компонентів такого складного об'єкта оцінювання, яким є вода. Розроблено коефіцієнти забрудненості води, комплексності забрудненості води, модульний коефіцієнт винесення забруднювальних речовин, показники відносної тривалості й відносних обсягів забрудненого і чистого стоків.

Інформативнішими є індекси забрудненості або якості води, під якими розуміють «узагальнену кількісну оцінку якості води за сукупністю основних показників і видів водокористування»: індекс якості води, комбінований індекс забрудненості води, гідрохімічний індекс якості води, загальносанітарний індекс якості води, комплексна оцінка ступеня забруднення водоюм токсичними речовинами та ін.

Екологічне оцінювання і класифікація річкової мережі ґрунтується на: екосистемному підході, згідно з яким води є інтегральною характеристикою функціонування водної екосистеми; біогеографічному районуванні; визначенні еталона порівняння. Екологічне оцінювання та класифікація річкових систем складається із класифікацій за показниками сольового складу, трофосапробіологічними і специфічними токсичної та радіаційної дії. Кожна із цих класифікацій передбачає три рівні якісного стану водних екосистем: добрий, задовільний і поганий. Добрий стан притаманний водам, на які діють мінімальні антропогенні навантаження й величини фізико-хімічних та гідробіологічних показників, близькі до фонових значень для цього регіону. Води із задовільним станом – це ті, на

котрі діє значне антропогенне навантаження, рівень впливу якого близький до міри стійкості водних екосистем. Води поганого стану – це води з порушеними екологічними параметрами, що відповідають різним стадіям розвитку деградаційних процесів. Тобто система екологічного оцінювання стану річкових вод має три факторні індекси: А – мінеральний склад, В – трофосапробіологію та С – вплив речовин специфічної біоцидної дії. Факторні індекси А, В і С визначають щодо максимальних значень однієї з характеристик якості води у кожній групі до еталона порівняння, а узагальнений екологічний індекс Е – як середньоарифметичне значення факторних індексів. Величини інтегральних екологічних індексів відповідають такому якісному стану води: еталон порівнянь – 1,0; добрий стан – 1,1 – 3,0; задовільний – 3,1 – 8,0; перехідний від задовільного до поганого – 8,1 – 13,0; поганий (кризовий) стан – понад 13,0.

Величини факторних та інтегральних екологічних індексів дозволили визначити загальні тенденції зміни якості річкових вод, а також лімітуючі фактори формування якості води по регіонах і річкових басейнах.

Процедура встановлення значень екологічного нормування для конкретного водного об'єкта складається з таких послідовних етапів:

- групування й обробка вихідних даних;
- визначення класів і категорій якості води за окремими показниками;
- узагальнення оцінок якості води за окремими показниками (вираженими в класах та категоріях), за окремими блоками з визначенням інтегральних значень класів і категорій якості води;
- визначення об'єднаної оцінки якості води (з визначенням класів і категорій) для конкретного водного об'єкта в цілому чи його ділянок за певний період спостережень;
- виконання екологічного оцінювання якості вод суші;
- картографування результатів здійсненого оцінювання якості поверхневих вод суші.

Екологічне оцінювання є неодмінною умовою екологічного нормування якості поверхневих вод, його попереднім етапом. Тому при виконанні екологічного оцінювання треба зіставляти одержані результати із значенням екологічних нормативів, установлених для певного водного об'єкта. Це необхідно для аналізу відповідності (чи невідповідності) якості вод значенням усіх тих показників, які встановлено у результаті екологічного нормування якості вод для конкретного водного об'єкта.

Результати екологічного оцінювання якості поверхневих вод суходолу подаються у вигляді таблиць, графіків і карт. Таблиці можуть складатися як для окремих пунктів спостережень, так і для водного об'єкта в цілому. У таблицях послідовно розміщують значення показників та відповідні їм класи і категорії якості води.

Для картографічного представлення матеріалів досліджень щодо

екологічного оцінювання якості річкових вод використовують Методику картографування екологічного стану поверхневих вод України за якістю води. У ній висвітлено основні положення створення карт екологічного оцінювання якості поверхневих вод, рекомендовано масштаби карт, географічні основи способів розрахунків блокових та узагальнюючих (екологічних) індексів, зміст карт та етапи їх складання. Для створення карт цієї роботи використовують геоінформаційні технології від фірми *Mapinfo Corporation*, США, – відому у світі систему картографування *Mapinfo Professional*. Така карта допомагає краще усвідомити одержану і проаналізовану інформацію, наочно осягнути ситуацію, яка склалася в досліджуваних водних об'єктах у цілому і на окремих пунктах спостережень річок басейнів. Крім того, вона дає можливість виявити загальні тенденції та основні лімітуючі чинники формування якості води в річках досліджуваних басейнів.

### **Розрахунок індексу забрудненості поверхневих вод**

Ця методика оцінювання якості води за комплексним показником – індексом забрудненості води (ІЗВ) – була рекомендована для використання підрозділам Держкомгідромету. Це одна з найпростіших методик комплексного оцінювання якості води. Оцінювання за показником ІЗВ дає змогу виконати порівняння якості вод різних водних об'єктів між собою, незалежно від наявності забруднюючих речовин, виявити тенденцію якості води в часі. Методика містить такі етапи:

- визначення середнього арифметичного значення результатів хімічних аналізів за кожним із показників;
- розрахунок індексу забруднення вод;
- визначення класу якості вод;
- картографування результатів виконаного оцінювання якості за ІЗВ.

**Визначення середнього арифметичного значення результатів хімічних аналізів по кожному з показників.** Розрахунок ІЗВ здійснюють за обмеженою кількістю інгредієнтів. Визначається середнє арифметичне значення результатів хімічних аналізів за кожним з таких показників: азот амонійний, азот нітритний, нафтопродукти, феноли, розчинений кисень, біохімічне споживання кисню  $BCK_5$ .

За результатами аналізів кожного з показників виводиться середньоарифметичне значення. Кількість аналізів для визначення середнього значення має бути не меншою за 4, незалежно від того, перевищують води ГДК чи ні, але обов'язково включати розчинений кисень та  $BCK_5$ . У цілому, показники вибираються незалежно від лімітної ознаки шкідливості; при рівних концентраціях показників перевага надається речовинам, які мають токсикологічну ознаку шкідливості. Якщо при розрахунку середньоарифметичного використовувалися значення, що виходять за межі звичайного ряду спостережень (у результаті аварійного скиду забруднювальних речовин), у тексті повинна бути відповідна

примітка.

**Розрахунок індексу забруднення вод.** Знайдене середнє арифметичне значення кожного з показників порівнюється з їх ГДК. При цьому у випадку розчиненого кисню величина ГДК ділиться на знайдене середнє значення концентрації кисню, тоді як для інших показників це робиться навпаки. ІЗВ розраховується за формулою

$$ІЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (6.1)$$

де  $C_i$  – середня концентрація одного із шести показників якості води;  $ГДК_i$  – гранично допустима концентрація кожного із шести показників якості води.

Для розрахунків використовуються значення ГДК (мг/дм<sup>3</sup>): азот амонійний – 0,39; азот нітритний – 0,02; нафтопродукти – 0,05; феноли – 0,001 та  $БСК_5$ . З урахуванням того, що величина біохімічного споживання кисню ( $БСК_5$ ) є інтегральним показником наявності легкоокиснюваних органічних речовин (ГДК для повного БСК становить 3 мг/л щодо  $O_2$ ), а також того, що зі зростанням умісту легкоокиснюваних органічних речовин і зменшенням умісту розчиненого кисню якість вод знижується непропорційно різко, нормативи для цих показників при розрахунках ІЗВ беруться дещо інші, ніж ГДК (дані наведено в таблиці 6.1 та 6.2)

Таблиця 6.1

#### Нормативні значення для $БСК_5$

Споживання кисню ( $БСК_5$ ), мг/дм <sup>3</sup>	Норматив, мг/дм <sup>3</sup>
$\geq 3$	3
$3 \geq 15$	2
$\geq 15$	1

Величину ГДК для розчиненого кисню визначають за табл. 6.2.

Таблиця 6.2

#### Нормативні значення розчиненого кисню

Середній уміст розчиненого кисню ( $C_i$ ), мг/дм <sup>3</sup>	Норматив (ГДК), мг/дм <sup>3</sup>
$> 6$	6
$6 > C_i > 5$	12
$5 > C_i > 4$	20
$4 > C_i > 3$	30
$3 > C_i > 2$	40
$2 > C_i > 1$	50
$1 > C_i > 0$	60

При визначенні ІЗВ можна враховувати і водність. Для цього треба спочатку обчислити коефіцієнт водності річки  $\epsilon$ , який дорівнює

відношенню фактичної середньої (сезонної) витрати  $Q_{\phi}$  і середньобагаторічної  $Q_{сер}$

$$k = \frac{Q_{\phi}}{Q_{сер}}. \quad (6.2)$$

Потім отриману величину множимо на коефіцієнт водності.

**Визначення класу якості.** Для порівняння якості води у різних створах, визначення її динаміки використовують як критерії класи якості води:

I – дуже чиста ( $IЗВ \leq 0,3$ ); II – чиста ( $0,3 < IЗВ < 1$ ); III – помірно забруднена ( $1 < IЗВ < 2,5$ ); IV – забруднена ( $2,5 < IЗВ < 4$ ); V – брудна ( $4 < IЗВ < 6$ ); VI – дуже брудна ( $6 < IЗВ < 10$ ); VII – надзвичайно брудна ( $IЗВ > 10$ ).

1. До першого класу належать води, на які найменше впливає антропогенне навантаження. Величини їх гідрохімічних та гідробіологічних показників близькі до природних значень для певного регіону.

2. Для вод другого класу характерні певні зміни порівняно з природними, однак ці зміни не порушують екологічної рівноваги.

3. До третього класу відносять води, що знаходяться під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистем.

4. Води IV – VII класів – це води з порушеними екологічними параметрами, їх екологічний стан оцінюється як екологічний регрес.

Звичайно IЗВ розраховують за шістьма – сімома гідрохімічними показниками, обов'язковими з яких є: вміст розчиненого кисню, водневий показник, біологічне споживання кисню й ін.

Залежно від величини IЗВ ділянки водних об'єктів поділяються на класи. IЗВ порівнюють для водних об'єктів однієї біохімічної провінції та східного типу для одного й того ж водотоку (за течією, за часом тощо).

### **Картографування результатів виконаного оцінювання якості за IЗВ**

Особливістю картографування оцінки якості за IЗВ є складання карт за даними спостережень якості вод на відповідних пунктах контролю. Збір, обробка і розрахунок даних за методикою дає змогу визначити їх оцінку якості за невеликими кількостями показників.

### **Тема 7. Споживання і розчинність кисню у воді водойми. Біохімічна потреба кисню. Хімічна потреба кисню**

У воді знаходиться розчинений кисень. При надходженні органічних забруднень відбувається їх окиснення з використанням розчиненого кисню. Цей процес називається біохімічним окисненням. Паралельно йде процес розчинення кисню з повітря у воді. Чим сильнішим є забруднення,

тим швидше йде біохімічне окиснення. Поповнення киснем води за рахунок надходження його з повітря називається реаерацією. Розчинення кисню у воді залежить від температури і турбулентності. Чим вища температура, тим розчинність нижча. Існує межа насичення води киснем.

За 0° С – межа насичення 14,62 мг/л кисню;

10° С – межа насичення 11,33 мг/л кисню;

20° С – межа насичення 9,17 мг/л кисню.

Якщо кисню достатньо, то процес окиснення у першій вуглеводистій фазі підкоряється визначеному закону: швидкість окиснення (або швидкість споживання кисню) за однакової температури у певний час пропорційна кількості органічних речовин, що залишаються у стічній воді. Чим менше залишається у воді органічних речовин, тим повільніше йде процес окиснення.

Цей закон може бути представлений рівнянням

$$L_t = L_a \times 10, \quad (7.1)$$

де  $L_t$  – кількість кисню, необхідна для окиснення органічної речовини понад часу  $t$ ;

$L_a$  – кількість кисню, необхідна для окиснення органічної речовини, яку маємо на початку процесу;

$K_1$  – коефіцієнт пропорційності, або константа швидкості біохімічного споживання кисню.

Дефіцит кисню – різниця між межею насичення й дійсним умістом кисню у воді. За відсутності кисню у воді дефіцит дорівнює 1, а при повному насиченні

$$D_t = D_a \times 10, \quad (7.2)$$

де  $D_t$  – дефіцит кисню;

$t$  – тривалість процесу спостереження;

$D_a$  – початкове значення дефіциту;

$K_2$  – емпірична константа швидкості реаерації.

За температури 20°С  $K_2 = 0,2$ ;  $K_1 = 0,1$ .

#### Біохімічне споживання кисню

Біохімічним споживанням кисню (БСК) називається кількість кисню, що витрачається на біохімічне окиснення органічних речовин, виражається в мг/л, г/м<sup>3</sup>.

БСК визначається в пробі стічної води за температури 20°С, попередньо відстояної протягом 2 год, яку розводять водопровідною або іншою водою і залишають у термостаті до появи нітритів у кількості 0,1 мг/л.

Це відбувається на 15-ту – 30-ту добу і супроводжується майже повним (99%) споживанням кисню.

На виробництві неможливо витримувати такі терміни. До того ж окиснення йде нерівномірно.

На 1-шу добу споживається кисню – 21%; на 20-ту добу БСК 20 –

99%; на 5-ту добу БСК<sub>5</sub> – 68%; на 100-ту добу БСК<sub>повн</sub> – 100%.

При розрахунках очисних споруд вважається, що  $\text{БПК}_{\text{повн}} = \text{БПК}_{20} = \text{БПК}_5 / 0,68 = 1,5 \text{БПК}_5$ .

Визначена величина БПК<sub>5</sub> на одного мешканця  $a = 40$  г/(доб.ос.), коли рідину попередньо відстоюють 2 год, а коли рідина не вистояна,  $a = 75$  г/(доб.ос.).

Концентрація стічної води за БПК<sub>20</sub> залежно від норм водовідведення дорівнює

$$L_{20} = a \times 1000 / q_{\text{ж}}, \quad (7.3)$$

де  $q_{\text{ж}}$  – норма відведення, л/доб, на 1 людину.

Чим більше БПК, тим більше забруднена вода органічними сполуками.

#### Хімічна потреба в кисні

Загальна кількість кисню, необхідна для перетворення вуглецю органічних сполук на вуглекислоту, водню на воду, азоту на аміак, сірки на сірчаний ангідрид, називається хімічною потребою в кисні й позначається ХПК. ХПК більше БПК.

БПК не характеризує всієї кількості органічних речовин, тому що :

- частина органічних речовин узагалі не піддається біохімічному окисненню;
- частина органічних речовин витрачається на приріст мікроорганізмів.

Тому використовуються хімічні методи окиснення. Для визначення ХПК пробу стічної води змішують із сірчаною кислотою, куди додають йодид калію або солі хромової кислоти, що віддають свій кисень для окиснення. Окиснення відбувається при кип'ятінні.  $\text{БПК} = 0,86 \text{ХПК}$ .

БПК визначається при проектуванні міських очисних споруд, а ХПК – при проектуванні промислових очисних споруд.

### **Тема 8. Умови спуску стічних вод. Обчислення допустимих величин концентрації забруднюючих речовин, що скидаються у водоймище.**

#### **Визначення кратності розбавлення та змішування стічних вод при скиданні у поверхневе водоймище**

Для визначення умов змішування і розбавлення стоків у водах водного об'єкта сьогодні запропоновано багато методик розрахунків різного ступеня складності. Для приблизного розв'язання приведених нижче задач можна користуватися такими спрощеними формулами:

кратність розбавлення стічних вод у річці

$$n = \frac{q + Q_{sm}}{q}, \quad (8.1)$$

де  $q$  – витрати стічних вод, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{sm}$  – частина витрат води водного об'єкта, котра бере участь у розбавленні стічних вод, м<sup>3</sup>/с,

$$Q_{sm} = aQ_R, \quad (8.2)$$

де  $a$  – коефіцієнт змішування, що показує, яка частина витрат водного об'єкта змішується у цьому створі зі стічними водами,  $a$  у випадку зосередженого випуску дорівнює 0; у створі повного змішування – 1; в інших випадках –  $0 < a < 1$ ;

$Q_R$  – витрати води у водному об'єкті, м<sup>3</sup>/с.

Після випуску стічних вод водоймища вони змішуються з водами ріки поступово, в міру віддалення від місця скидання. Крім того, на ступінь змішування впливають співвідношення витрат річної та стічних вод, швидкість течії ріки, її глибина, звивистість, тип скидання й інші фактори.

Для визначення ролі річної води, котра бере участь у змішуванні зі стічними водами, вводять коефіцієнт змішування, який рекомендується розраховувати за методом Фролова – Родзіллера,

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha\sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q}{Q_{cm}} e^{-\alpha\sqrt[3]{L}}}, \quad (8.3)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує вплив гідравлічних факторів,

$$\alpha = \varphi \cdot \xi \sqrt[3]{\frac{E}{Q_{cm}}}, \quad (8.4)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт звивистості русла ріки, який визначається за планом-схемою як співвідношення довжини по фарватеру до довжини по прямій;

$\xi$  – коефіцієнт, котрий залежить від місця скидання стічних вод, для берегового випускання дорівнює 1, для скидання у фарватері – 1,5; вибираємо випускання у фарватері водойми, бо завдяки більшій швидкості течії річки отримується найкраще змішування стічних вод із водою водоймища;  $E$  – коефіцієнт турбулентної дифузії для рівнинних річок,

$$E = \frac{v_{cp} \cdot H_{cp}}{200}, \quad (8.5)$$

де  $v_{cp}$  – середня швидкість води у річці, м/с;  $H_{cp}$  – середня глибина водотоку, м.

**Гранично допустимий уміст забруднюючої речовини у стічних водах**

$$C_{ст} = \frac{aQ + q}{q} C_{п.д.} - C_0 \cdot \gamma \cdot C_{п.д.}, \quad (8.6)$$

де  $C_0$  – концентрація забруднюючої речовини у воді водного об'єкта у створі, розташованому вище створу скидання стічних вод (фонова концентрація);

$C_{п.д.}$  – гранично допустима концентрація забруднюючої речовини у воді водних об'єктів.

При скиданні декількох забруднюючих речовин, що мають однаковий ЛПШ,  $C_{п.д.}$  кожного з них повинна бути зменшена у стільки разів, скільки таких речовин знаходиться у стічних водах. У цьому випадку

$$C_{ст} = \frac{aQ + q}{q} \left( \frac{C_{п.д.}}{n} - C_0 \right) + \frac{C_{п.д.}}{n}, \quad (8.7)$$

де  $n$  – число забруднюючих речовин, що скидаються у водний об'єкт з однаковим ЛОШ.

### **Оцінювання ефективності роботи споруд з очищення стічних вод перед скиданням їх у водні об'єкти**

Ефективність роботи споруд з очищення стічних вод перед скиданням їх у водні об'єкти оцінюється порівнянням якості вихідної води та очищеної стічної води і виражається у відсотках.

Достатність очищення визначається гарантованим забезпеченням дотримання ГДС при скиданні очищених стічних вод у водні об'єкти.

Ступінь очищення стічних вод, скинутих у водні об'єкти, повинен відповідати вимогам Правил [26], повторно використовуваних – санітарно-гігієнічним, а також технологічним вимогам споживача.

Ступінь змішування і розведення стічних вод з водою водного об'єкта слід визначати згідно з «Методичними вказівками щодо застосування правил охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами».

Правилами охорони поверхневих вод від забруднень стічними водами нормуються гранично допустимі концентрації забруднень і гранично припустиме зниження концентрацій розчиненого кисню в суміші стічних вод та води водозбору (табл. 8.1). Для забезпечення цих умов стічні води перед спуском у водозбір повинні бути очищені.

Таблиця 8.1

Показники складу і властивостей води водозбору	Категорія водозбору		
	1-й вид водокористування	2-й вид водокористування	Рибогосподарське призначення
Зважені речовини	Уміст зважених речовин, мг/л, не повинен збільшуватися більше ніж на:		
	0,25	0,75	0,25
Розчинений кисень	У кожний період року в пробі, відібраній до 12 год дня, концентрація $O_2$ , мг/л, має бути не меншою ніж		
	4	4	6
БПК	Повна потреба води в кисні при $20^\circ C$ , мг/л, не повинна перевищувати		
	3	6	3

Необхідний ступінь очищення міських стічних вод повинен бути визначений за показниками: БПК<sub>повн.</sub>, розчинений кисень і зважені речовини.

Крім того, при скиданні у водозбори, що використовуються для централізованого господарсько-питного водопостачання, необхідно стежити за якістю води в межах класу, до якого належить джерело водопостачання.

### ***Визначення вмісту зважених речовин, допустимих для скидання у водозбір***

Допустиму концентрацію зважених речовин у стічних водах, мг/л, які спущені у водойму, відповідно до санітарних правил, визначають за формулою

$$C_{EX} = \left( \frac{\gamma \cdot Q_P}{q} + 1 \right) \cdot C_{ГПК} + C_P, \text{ мг/л}, \quad (8.8)$$

де  $C_{ГПК}$  – гранично допустиме за санітарними правилами збільшення вмісту зважених речовин у водоймі після спуску стічних вод (залежно від виду водокористування), мг/л;

$C_P$  – уміст зважених речовин у воді водойми до спуску стічних вод, мг/л;

$\gamma$  – коефіцієнт змішування;

$Q_B$  – витрата води у водоймі, м<sup>3</sup>/с;

$Q$  – витрата стічних вод середньодобова, м<sup>3</sup>/с.

$$C_{EX} = \left( \frac{0,81 \cdot 7,89}{0,343} + 1 \right) \cdot 0,25 + 7 = 11,9 \text{ мг/л.}$$

### ***Установлення БПК<sub>повн.</sub> L<sub>ex</sub> у стічній воді, допустиме для скидання у водойму***

Концентрацію органічних забруднень за БПК<sub>повн.</sub>, мг/л, у стічних водах, припустимих для спуску у водойму, розраховують за формулою

$$L_{EX} = \frac{\gamma \cdot Q}{q \cdot 10^{-K_1 t}} \left( L_{ГПК} - L_P \cdot 10^{-K_2 t} \right) + \frac{L_{ГПК}}{10^{-K_1 t}}, \text{ мг/л}, \quad (8.9)$$

де  $L_{EX}$  – БПК<sub>повн.</sub> стічної рідини, що повинна бути досягнута у процесі очищення, мг/л;

$L_P$  – БПК<sub>повн.</sub> річкової води до місця випуску стічних вод, мг/л;

$L_{ГПК}$  – гранично допустиме БПК<sub>повн.</sub> суміші річкової та стічної води у розрахунковому створі, мг/л;

$K_1$  і  $K_2$  – константи швидкості споживання кисню стічною й річковою водою.

Значення констант  $K_1$  і  $K_2$  коливаються залежно від температури середовища, мінливості органічних речовин і т.п. У розрахунках слід

приймати: при температурі води 20°C середнє значення константи  $K_1 = 0,1$ ; константи  $K_2 = 0,2$ ;

$T$  – тривалість, доб., переміщення води від місця випуску стічних вод до розрахункового пункту на добу, дорівнює відношенню відстані  $L_\phi$ , м, по фарватеру від місця випуску стічних вод до розрахункового пункту до середньої швидкості плинину води у ріці на цій ділянці  $V_p$ , м/с,

$$t = \frac{L_\phi + 1000}{V_p \cdot 86400} = \frac{3000 + 1000}{0,60 \cdot 86400} = 0,77, \text{ м/с};$$

$$L_{EX} = \frac{0,81 \cdot 7,89}{0,343 \cdot 10^{-0,1 \cdot 0,77}} \left[ -3 \cdot 10^{-0,2 \cdot 0,77} \right] + \frac{3}{10^{-0,1 \cdot 0,77}} = 5,34 \text{ мг/л.}$$

### **Визначення необхідного ступеня очищення за розчиненим у воді киснем**

Розрахунок допустимої максимальної величини БПК<sub>повн.</sub> скинутих у водойму стічних вод, мгО<sub>2</sub>/л, виходячи з вимог санітарних правил щодо збереження у водоймі мінімального вмісту розчиненого кисню О<sub>2</sub>, роблять за рівнянням

$$O_{EX} = \frac{\gamma \cdot Q}{0,4 \cdot q} \left( O_p - 0,4 \cdot L_p - O_{ГПК} \right) \geq \frac{O_{ГПК}}{0,4}, \text{ мгО}_2/\text{л}, \quad (8.10)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт змішування;

$Q$  – витрата води у водоймі, м<sup>3</sup>/с;

$q$  – витрата стічних вод, що надходять у водойму, м<sup>3</sup>/с;

$O_p$  – уміст розчиненого кисню у річковій воді до місця спуску стічних вод, мг/л;

$L_p$  – БПК<sub>повн.</sub> річкової води, мг/л;

$O_{ГПК}$  – мінімальна концентрація розчиненого кисню, мг/л, яка повинна зберегтися у водоймі після спуску стічних вод

$$O_{EX} = \frac{0,81 \cdot 7,89}{0,4 \cdot 0,343} \left[ -0,4 \cdot 3 - 6 \right] \geq \frac{6}{0,4} = -206, \text{ мгО}_2/\text{л.}$$

Перед скиданням стічних вод у водойму необхідна реаерація.

### **Визначення необхідного ефекту очищення стічних вод, що скидаються у водойму**

Ефект очищення стічних вод визначають як частку від розподілу різниці значення показника забруднення у воді, що надходить на очищення, і значення показника, встановленого розрахунком для скидання у водойму, з урахуванням правил спуску стічних вод у водойму, на значення показника забруднення у воді, що надходить на очищення.

Якщо значення показника забруднення, розраховане за правилами спуску стічних вод у водойму, погіршує стан водойми, то треба зменшити до необхідного ступеня значення показника в стічній воді, що скидається у водойму.

Необхідний ефект очищення за зваженими речовинами і БСК обчислюють за виразом (%)

$$\Theta = \frac{C_{EH} - C_{EX}}{C_{EH}} \cdot 100\% ; \quad (8.11)$$

$$\Theta = \frac{L_{en} - L_{ex}}{L_{en}} \cdot 100\% ; \quad (8.12)$$

де  $C_{en}$  – концентрація зважених речовин у стічній воді, яка надходить на очищення, мг/л.

$C_{ex}$  – допустимий уміст зважених речовин у стічній воді, що спускається у водойму, мг/л.

$L_{en}$  – значення БСК<sub>повн.</sub> у стічній воді, яка надходить на очищення, мг/л.

$L_{ex}$  – значення БСК<sub>повн.</sub> у стічній воді, що скидається у водойму, мг/л.

$$\Theta = \frac{279,76 - 11,9}{279,76} \cdot 100 = 95,7\% .$$

Необхідний ефект очищення за БСК<sub>повн.</sub> визначають за виразом (%)

$$\Theta = \frac{207,94 - 5,34}{207,94} \cdot 100 = 97,4\% .$$

### Задача 1.

Визначити необхідний ступінь очищення за БСК<sub>п</sub>, якщо витрати стічних вод  $q = 500 \text{ м}^3 / \text{год}$ , концентрація забруднень при вході на очисні споруди  $L_a = 800 \text{ мг/л}$ , витрата води в річці  $q = 10 \text{ м}^3 / \text{с}$ , коефіцієнт змішування  $a = 0,1$ , концентрація забруднень у річці до місця скидання  $L_p = 2,4 \text{ мг/л}$ . Контрольний ствір знаходиться на відстані  $L = 1 \text{ км}$  від місця скидання, середня швидкість ріки за добу  $V_{ср} = 2000 \text{ м/доб}$ . Константи  $K_{ст} = 0,01 \text{ доб}^{-1}$ ,  $K_p = 0,08 \text{ доб}^{-1}$ , гранично допустима концентрація  $L_{пд} = 3 \text{ мг/л}$ .

#### Розв'язок:

1. Обчислюємо час просування води від місця скидання до контрольного створу

$$t = \frac{l}{V_{ср}} ,$$

де  $l$  – відстань до контрольного створу, м;

$V_{ср}$  – середня швидкість течії ріки, м/доб.

$$t = \frac{1000}{2000} = 0,5 \text{ діб} .$$

2. Розраховуємо концентрацію забруднень за БСК<sub>п</sub>, що повинна бути досягнута у процесі очищення,

$$L_{СТ} = \frac{a \cdot Q}{q \cdot 10^{-K_{СТ} t}} \cdot \left( L_{пд} - L_p \cdot 10^{-K_p t} \right) + \frac{l_{пд}}{10^{-K_{СТ} t}} ;$$

$$L_{cm} = \frac{0,1 \cdot 10 \cdot 3600}{500 \cdot 10^{0,01 \cdot 0,5}} \cdot (3 \cdot 2,4 \cdot 10^{0,08 \cdot 0,5}) + \frac{3}{10^{0,01 \cdot 0,5}} = 8,99 \text{ мг / л.}$$

3. Знаходимо необхідний ступінь очищення стічних вод на очисних спорудах:

$$E = \frac{800 - 8,99}{800} \cdot 100\% = 98,88\% .$$

**Задача 2.** Визначити допустимі концентрації забруднюючих речовин, що містяться в стічній воді промислового підприємства.

Вихідні дані:

№ з/п	Назва забруднюючої речовини	Концентрація в стічній воді, мг/л	Концентрація в річці, мг/л	Витрата стічних вод, м <sup>3</sup> /с	Витрата річки, м <sup>3</sup> /с	Коефіцієнт змішування
1	Замулюючі речовини	100	15	15	25	0,95
2	Аміак	3,5	0,5			
3	Фтор	0,9	0,25			
4	Хром	0,79	-			
5	Свинець	0,54	-			

**Задача 3.** Обчислити концентрації забруднень, які містяться в стічній воді промислового підприємства.

Вихідні дані такі, як для задачі №1.

**Задача 4.** Машинобудівний завод скидає в ріку К стічні води з витратою  $q = 2 \text{ м}^3/\text{с}$ . Витрати води в річці  $Q = 120 \text{ м}^3/\text{с}$ . Скидання стічних вод зосереджене, берегове. На відстані 500 м від місця скидання стічних вод коефіцієнт  $a = 0,3$ . На відстані 2000 м  $a = 1,0$ .

**Задача 5.** Тепловозоремонтний завод скидає стічні води з витратою  $q = 0,15 \text{ м}^3/\text{с}$  у ріку Н. Витрати води в річці  $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ . Випускання стічних вод берегове, зосереджене. У місці скидання коефіцієнт  $a = 0$ . На відстані 1500 м  $a = 1,0$ .

**Задача 6.** Авторемонтне підприємство скидає стічні води з витратою  $q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$  у ріку А. Витрати води у річці  $Q = 0,4 \text{ м}^3/\text{с}$ . Випускання стічних вод берегове, зосереджене. На відстані 350 м від місця скидання коефіцієнт  $a = 0,6$ . На відстані 500 м  $a = 1,0$ ; на відстані 1000 м  $a = 0,8$ .

**Задача 7.** Комбінат із перероблення м'ясопродуктів скидає стічні води з двох розсіюючих випусків із витратою  $q_1 = 3 \text{ м}^3/\text{с}$  і  $q_2 = 4 \text{ м}^3/\text{с}$  у ріку М. Витрати води в річці М  $Q = 0,2 \text{ м}^3/\text{с}$ . На відстані 100 м від місця скидання коефіцієнт  $a = 1,0$ ; на відстані 500 м  $a = 0,8$ ; 1000 м –  $a = 0,95$ .

**Задача 8.** Молочний завод скидає стічні води в ріку С із витратою  $q = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ . Випускання стічних вод берегове, зосереджене. Витрата води в річці С  $Q = 0,3 \text{ м}^3/\text{с}$ . На відстані 300 м від місця скидання коефіцієнт  $a = 1,0$ .

## Тема 9. Розрахунок нормативів ГДС. Складання паспорта річки

При виконанні розрахунків необхідно користуватися Інструкцією про порядок розробки та затвердження граничнодопустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами.

Розрахунок гранично допустимих скидів складається із чотирьох етапів виконання, які включають:

1. Підготовку розрахункових гідрологічних та гідравлічних характеристик зі складанням гідрологічного нарису.
2. Обґрунтування фактичних концентрацій та витрат зворотних вод.
3. Розрахунок гранично допустимих скидів.
4. Корегування отриманих даних за ЛОШ.

Для визначення розрахункових умов, за яких формуються найменші розрахункові величини асимілюючої спроможності річок басейну, необхідно застосувати такі стандартні регламенти розрахункових характеристик річок:

а) витрати води ( $Q$ , м<sup>3</sup>/с) на незарегульованих ділянках річок – розрахункові мінімальні середньомісячні (за лімітуючими сезонами року) 95-відсоткової забезпеченості;

б) якість води річок у фонових створах ( $C_{\phi}^i$ , мг/л) – розрахункова фонові концентрація для лімітуючих сезонів року за заданих розрахункових умов, що передбачають дотримання ГДС речовин по випусках зворотних вод і норм якості води у контрольних створах на розташованих вище за течією ділянках басейну;

в) швидкість течії річок ( $V$ , м/с) – відповідно до прийнятих розрахункових витрат води за лімітуючими сезонами року;

г) коефіцієнти неконсервативності речовин ( $k$ , 1/доб) – розрахункові на основі даних замірів або опублікованих мінімальних значень з урахуванням швидкості течії й температури води.

Фактичні концентрації ( $C_{\phi}$ , мг/л) скидуваних СВ приймають за даними систематичного контролю.

Фактичні витрати зворотних вод ( $q$ , м<sup>3</sup>/с) скидуваних стічних вод (СВ) приймають за даними форми 2-ТП (водгосп) за останній звітний рік.

Розрахунок ГДС виконується згідно з діючою в Україні Інструкцією про порядок розробки та затвердження граничнодопустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами.

### Розрахунок ГДС для водотоків

Для окремого випуску розрахункова формула  $C_{гдс}$  без урахування еконсервативності речовини має вигляд

$$C_{гдс} = n \left( C_{гдк} - C_{\phi} \right) + C_{\phi}, \quad (9.1)$$

де  $C_{гдс}$  – гранично допустима концентрація забруднюючої речовини у воді водотоку, г/м<sup>3</sup>;

$C_{\phi}$  – розрахункова фонові концентрація забруднюючої речовини у

водотоці до випуску зворотних вод, г/м<sup>3</sup>;

n – кратність загального розбавлення зворотних вод у контрольному створі водотоку,

$$n = n_n n_0, \quad (9.2)$$

де n<sub>n</sub>, n<sub>0</sub> – відповідно кратності початкового та основного розбавлення.

З урахуванням неконсервативності забруднюючої речовини та можливої наявності природного вмісту деяких речовин у воді водотоку, сталого в границях розрахункової ділянки, розрахункова формула має вигляд

$$C_{ГДС} = m \left( C_{ГДК} - C_0 \right) e^{kt} - C_\phi + C_0 + C_\phi, \quad (9.3)$$

де C<sub>0</sub> – розрахункова природна фонова концентрація забруднюючої речовини у воді водотоку, г/м<sup>3</sup> (C<sub>0</sub> < C<sub>ф</sub>);

k – коефіцієнт неконсервативності, 1/доба;

t – час переміщення води від місця випуску до розрахункового створу, доба,

$$t = \frac{L}{86,4V}, \quad (9.4)$$

де L – відстань від місця випуску до розрахункового створу за фарватером річки, км;

V – середня швидкість течії річки, м/с.

Для показника біохімічного споживання кисню (БСК) величина C<sub>0</sub> може бути прийнята за довідковими даними: для гірських річок – 0,6 – 0,8 г/м<sup>3</sup>; для рівнинних річок, що протікають територією, ґрунт якої містить мало органічних речовин, – 1,7 – 2 г/м<sup>3</sup>; для річок болотного живлення або тих, котрі протікають територією, з якої змивається підвищена кількість органічних речовин – 2,3 – 2,5 г/м<sup>3</sup>.

Значення коефіцієнта k знаходиться за формулою

$$k = \alpha k_1 \cdot k_2, \quad (9.5)$$

де α – поправка на швидкість течії,

$$\alpha = \begin{cases} 5, & V \geq 0,2 \text{ м/с} \\ 5 - 4 \exp \left( - \frac{80V}{V} \right), & V < 0,2 \text{ м/с} \end{cases} \quad (9.6)$$

де k<sub>2</sub> – поправка на температуру води T, °C ;

при T < 30, k<sub>2</sub> = 0,0451 T + 0,101 ;

k<sub>1</sub> – остаточний (для нерухомої води) коефіцієнт неконсервативності при температурі 20°C, 1/доба для основи натуральних логарифмів (значення k<sub>1</sub>, наведене для основи десяткових логарифмів, слід помножити на модуль переходу до натуральних логарифмів, lg 10 ~ 2,3), якщо для якоїсь речовини k<sub>1</sub> невідомий напевно, вважається, що k<sub>1</sub> = 1.

Таблиця 9.1

Значення коефіцієнта  $k_1$ , (1/доба)

Характеристика водного об'єкта	Значення коефіцієнта $K_1$ при $t$ °C					
	5	10	15	20	25	30
Водойми	-	-	0,11	0,15	-	-
Водотоки з $v$ ( м/с): 0,1	0,16	0,17	0,18	0,2	0,21	0,23
0,25 та більше	-	0,68	0,74	0,8	0,86	0,93

Якщо природна концентрація забруднюючої речовини у воді дорівнює 0, використовується формула

$$C_{ГДС} = n \left( C_{ГДК} \cdot e^{kt} - C_{\phi} \right) + C_{\phi} \quad (9.7)$$

Кратність початкового розбавлення  $n$  визначається за методом М.М. Лапшева для напірних зосереджених і випусків, що розсіюються при абсолютних швидкостях витікання струменя з випуску  $V_0$ , більших ніж 2 м/с, але не менше ніж у 4-кратному перевищенні  $V_0$  над швидкістю течії  $V_p$ . В іншому разі кратність початкового розбавлення приймається такою, що дорівнює 1.

Абсолютна швидкість витікання струменя з випуску має визначатися безпосередньо на вході зворотних вод у водний об'єкт. При цьому для затоплених випусків  $V$  обчислюється за формулою

$$V_0 = \frac{4q}{\pi d_0^2 N_0}, \quad (9.8)$$

де  $q$  – витрата зворотних вод, м<sup>3</sup>/с;  
 $d_0$  – діаметр випускного отвору, м;  
 $N_0$  – кількість випускних створів оголовка випуску (для зосередженого випуску  $N_0=1$ ).

Для випусків із вільною поверхнею ( лоток, канава, випуск над поверхнею води і т.ін.)  $V_0$  приймається за даними фактичних вимірювань, а за  $d_0$  приймається еквівалентний діаметр випускного отвору

$$d_0 = \sqrt{\frac{4q}{\pi V_0}}. \quad (9.9)$$

Кратність початкового розбавлення розраховується таким чином. Обчислюється відношення

$$\Delta V = \frac{0,15}{V_0 - V_p}, \quad m = \frac{V_p}{V_0}, \quad (9.10)$$

де 0,15 – рекомендоване значення перевищення швидкості на осі струменя зворотних вод над швидкістю течії водотоку (м/с), що відповідає граничному створу зони початкового розбавлення. Далі обчислюється діаметр забрудненої плями у цьому створі  $d$ , м,

$$d = \frac{1,972d_0}{\sqrt{m \Delta V^2 / 1,92 + m \Delta V}} \quad (9.11)$$

Якщо  $d > H$ , де  $H$  – глибина річки, м, то приймаємо  $d = H$ . Кратність початкового розбавлення  $n_n$  при розповсюдженні струменя в однорідному супутньому потоці знаходиться за формулою

$$n_n = \frac{0,248}{1-m} \bar{d}^2 \sqrt{m^2 + 8,1(-m) \bar{d}^2 - m}, \quad (9.12)$$

де  $\bar{d} = d / d_0$ .

Якщо  $N_0 > 1$  та відстань між випускними створами  $l_1$  менша за  $d$ , то треба обчислити

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot K_\phi \cdot m \cdot S}{\ln \frac{R}{\tau}} = \frac{2,73 \cdot K_\phi \cdot m \cdot S}{\lg \frac{R}{\tau}}, \quad \text{м}^3/\text{ГОД}, \quad (9.13)$$

знайти  $N_{n2}$  – кратність початкового розбавлення у припущенні  $d=l_1$  та прийняти за  $n_n$  більшу з величин  $n_{n1}$ ,  $n_{n2}$ . Якщо  $n_n < 1$ , приймаємо  $n_n = 1$ .

Якщо розрахунок ГДС виконується тільки для граничного створу початкового розбавлення, то кратність розбавлення зворотних вод у максимально забрудненому створі розрахункового створу приймаємо

$$n = \max(0,428 \cdot n_n, 1), \quad (9.14)$$

бо кратність початкового розбавлення відповідає не максимальній, а середній концентрації речовини у граничному створі зони початкового розбавлення для суміші зворотних вод і води водного об'єкта з витратою  $Q_{\text{см}} = n_n \cdot q_0$ , що підлягає далі основному розбавленню.

При цьому відстань до граничного створу зони початкового розбавлення обчислюється за формулою

$$l_0 = (Q - d_0) \sqrt{0,48(-3,12m)}. \quad (9.15)$$

Кратність основного розбавлення  $n_0$  визначається за методом Фролова – Родзіллера. Позначимо як  $\delta$  відношення початкових витрат води в незабрудненому та забрудненому струменях

$$\delta = (Q - q) \sqrt{n_n - 1} \sqrt{n_n \cdot q}, \quad (9.16)$$

де  $Q$  – розрахункова витрата водотоку до скиду вод; якщо початкове розбавлення не враховується, то  $n_n = 1$ . Для максимально забрудненого струменя, прилеглого до берега, з якого скидають зворотні води,

$$n_0 = 1 + \gamma\delta, \quad (9.17)$$

де  $\gamma$  – частка витрат води, що змішується із зворотними водами у максимально забрудненому струмені водотоку в контрольному створі на відстані  $l$  від випуску до цього створу за фарватером, м,

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha\sqrt{l}}}{1 + \delta \cdot e^{-\alpha\sqrt{l}}}; \quad \alpha = \varphi \xi^3 \sqrt{\frac{D}{q}}, \quad (9.18)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт звивистості ( відношення відстані до контрольного створу за фарватером до відстані по прямій); при випуску з берега  $\xi = 1$ , при випуску у стрижень річки  $\xi = 1,5$ ;

$g$  – коефіцієнт турбулентної дифузії,  $m^2/c$ , при відсутності льодоставу

$$D = gV R / 37 \cdot n_{ш} \cdot C^2, \quad (9.19)$$

де  $g = 9,81$  м/с – прискорення вільного падіння;

$V$  – середня швидкість течії річки, м/с;

$R$  – гідравлічний радіус потоку, м ( $R=H$ , де  $H$  – середня глибина річки, м);

$n_{ш}$  – коефіцієнт шорсткості ложа річки, що визначається за таблицею М.Ф. Срібного;

$C$  – коефіцієнт Шезі, м/с, при  $R < 5$  м він визначається за формулою М.М. Павловського

$$C = \frac{R^y}{n_{ш}}, \quad (9.20)$$

де

$$y = 2,5\sqrt{n_{ш}} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R} \cdot (n_{ш} - 0,1); \quad (9.21)$$

при  $R > 5$  м – за формулою В.Г. Талмази

$$C = \frac{1}{n_{ш}} + (1 - 100n_{ш})^{0,67} \sqrt{g R}. \quad (9.22)$$

Для періоду льодоставу величина  $D$  обчислюється за формулами, в яких величина  $R$  замінюється на приведений гідравлічний радіус  $R_{пр} \approx 0,5H$ , а  $n_{ш}$  – на приведений коефіцієнт шорсткості  $n_{пр}$ , що враховує коефіцієнт шорсткості нижньої поверхні льоду (за П.М. Белоконом)  $n_{л}$ ,

$$n_{пр} = n_{ш} \left[ 1 + \left( \frac{n_{л}}{n_{ш}} \right)^{1,5} \right]^{0,67}. \quad (9.23)$$

Для підвищення точності розрахунків замість середніх значень  $V$ ,  $H$ ,  $n_{ш}$  і  $C$  рекомендується брати їх значення в зоні безпосереднього змішування зворотної води з річковою. Для мінімально забрудненого струменя, прилеглого до берега, протилежного скиду зворотних вод,

$$n = \frac{\delta + 1}{1 + \ell \cdot a(\sqrt[3]{l} \sqrt[3]{l_0})}, \quad (9.24)$$

де  $l_0$  – відстань від випуску, на якій забруднений струмінь досягає протилежного берега, м,

$$l_0 = \left( \frac{n \delta}{\alpha} \right)^3. \quad (9.25)$$

При  $l_0 < 1$  випуск не впливає на мінімально забруднений струмінь. Розглянутий метод може застосовуватися, якщо

$$0,0025 \leq q/Q \leq 0,1. \quad (9.26)$$

При встановленні ГДС за речовинами, що нормуються за ЛОШ, для кожної ЛОШ, визначеної нормативними вимогами до якості води в контрольному створі, спочатку вибирається бажане співвідношення концентрацій речовин із цією ЛОШ у зворотних водах. Це співвідношення задається набором коефіцієнтів  $\mu_i$ ,  $i = 1, \dots, L$ , де  $L$  – кількість речовин з певною ЛОШ ( $\mu_i$  можуть вибиратися, виходячи з характеристик способів очищення, з умови мінімізації плати за скид, дорівнювати початковим концентраціям відповідних речовин у зворотних водах і т.ін.). Якщо асимілююча здатність водного об'єкта щодо речовин з цією ЛОШ вичерпана, тобто

$$\sum_{j=1}^L C_{\phi j} / C_{ГДК j} \geq 1, \quad (9.27)$$

то для  $i = 1, \dots, L$ ,

$$C_{ГДС i} = \mu_i \frac{\max \left( 1, \sum_{j=1}^L C_{\phi j} / C_{ГДК j} \right)}{\sum_{j=1}^L \mu_j / C_{ГДК j}}. \quad (9.28)$$

Інакше при застосуванні моделі з урахуванням  $C_{0, j}$

$$C_{ГДС i} = n \mu_i \frac{1 - \sum_{i=1}^L \left( \frac{1}{n} \xi_i \cdot C_{\phi i} + \xi_i C_{0i} \right) C_{iДД}}{\sum_{i=1}^L \xi_i \cdot \mu_i / C_{ГДС i}}, \quad (9.29)$$

де  $\xi_i = \exp(-k_j t)$ .

Якщо речовина  $i$ , що має ЛОШ, нормується за прирощенням до природного фону, то у формулах для індекса  $i$  належить прийняти  $C_{0, i} = 0$ , а під  $C_{ГДС, i}$ ,  $C_{\phi, i}$  та  $C_{ГДК, i}$  розуміти відповідні прирощення до природного фону.

Отримані розрахункові дані надаються за нижченаведеною формою:

- найменування водного об'єкта, що приймає зворотні води, та місце скиду;

- категорія водокористування водного об'єкта;
- фактична витрата зворотних вод, тис. м<sup>3</sup>/рік, м<sup>3</sup>/год;
- фактичні й затверджені склад і скиди речовин у зворотних водах (скид будь-яких речовин, пов'язаних з діяльністю водокористувача, але не зазначених нижче, заборонено):

№	Показники скиду	Фактичні концентрації, мг/л	Фактичні скиди, г/год	Затверджені допустимі концентрації, мг/л	Затверджені ГДС, г/год	Скиди, перераховані в т/рік
1	Замулюючі речовини					
2	Органічні речовини (БСК <sub>п</sub> )					
3	ІТД					

Розрахувати ГДС у водні об'єкти для зазначених у задачах промислових підприємств.

**Задача.** Машинобудівний завод скидає в ріку К. стічні води з витратою  $q = 1,0 \text{ м}^3/\text{с}$ . Витрати води в ріці  $Q = 15 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $a = 0,3$ . У стічних водах утримуються нафтопродукти, мідь, свинець, хром (+6), цинк, замулюючі речовини. Утримання забруднюючих речовин у річці у створі вище скидання стічних вод  $C_{0 \text{ нафт}} = 0,01 \text{ мг/л}$ ,  $C_{0 \text{ си}} = 0,1 \text{ мг/л}$ ,  $C_{0 \text{ свинц}} = 0,01 \text{ мг/л}$ ,  $C_{0 \text{ хром}} = 0,01 \text{ мг/л}$ ,  $C_{0 \text{ цинк}} = 0,01 \text{ мг/л}$ ,  $C_{0 \text{ зам}} = 0,8 \text{ мг/л}$ . Категорія водокористування 1.

**Паспорт річки** – це уніфіковане зведення основних даних про водний режим, фізико-географічні особливості, використання природних ресурсів і екологічну обстановку в її басейні, а також відпрацювання рекомендацій щодо підвищення стійкості екологічної системи.

Паспорти розробляються на річки, які мають площу водозбору до 50 тис. км<sup>2</sup>, за замовленням водогосподарських організацій Держводагентства. Основними джерелами вихідної інформації для складання паспортів річок є:

- матеріали комплексних польових обстежень річок та їх басейнів;
- дані багаторічних спостережень за режимом поверхневих і підземних вод;
- відомості про природні умови регіону;
- архівні матеріали про екстремальні показники гідрометеорологічних характеристик;
- матеріали інженерно-гідрометеорологічних і спеціальних експедиційних досліджень;
- топографічні та тематичні карти й плани, складені за матеріалами аерофотозйомок;

- дані водообліку, Державний водний кадастр;
- схеми комплексного використання та охорони водних ресурсів;
- Державний земельний кадастр та природно-сільськогосподарське районування території басейну річки;
- фондові й оперативні дані наукових та проектних організацій.

Головною проектною організацією з проведення робіт, пов'язаних із складанням паспортів річок, є інститут «Укрводпроект», який здійснює методичне і технічне керівництво цим процесом, створює банк даних, складає каталог річок України по головних басейнах, проводить аналіз їх екологічного стану, розробляє заходи щодо раціонального використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів.

### Тема 10. Розрахунок споруд механічного очищення стічних вод

*Механічне очищення* здійснюють для виділення зі стічних вод нерозчинених забруднень шляхом проціджування, відстоювання і фільтрування.

При механічному очищенні затримується не більше 60% зважених речовин, що осаджуються. Більш високий ефект досягається шляхом застосування різних способів інтенсифікації. До них відносять преаерацію, біокоагуляцію та освітлення у зваженому шарі.

Механічне очищення як самостійний метод застосовують у тих випадках, коли звільнену від забруднень воду використовують повторно у виробництві чи за місцевими й санітарними умовами її можна скинути у водойму. В інших випадках механічне очищення є попередньою стадією перед біохімічною.

Механічний спосіб дозволяє знизити загальну кількість забруднень від початкового на 40 – 50%.

На підставі обчисленого необхідного ступеня очищення стічних вод вибираємо метод їх очищення за даними табл.10.1.

Таблиця 10.1

Вибір методу очищення

№ з/п	Рекомендований метод очищення	Необхідний ступінь очищення за зваженими речовинами $C_{ex}$ , мг/л	Необхідний ступінь очищення по БПК $L_{ex}$ , мг/л
1	Механічний	80	-
2	Механічний і частково біологічний	25 – 80	25 – 80
3	Механічний і повний біологічний	15 – 25	15 – 25
4	Механічний, повний біологічний і доочищення	15	15

Орієнтовний вибір основних споруд станції очищення необхідно зробити за даними табл. 10.2.

Таблиця 10.2

№ з/п	Споруди для очищення	Продуктивність очисної станції, м <sup>3</sup> /доб				
		до 5000	до 10000	до 30000	до 50000	більш 50000
1	2	3	4	5	6	7
Споруди для механічного очищення						
1	Ґрати	+	+	+	+	+
2	Пісколовлювачі горизонтальні: – з прямолінійним рухом води; – аеровані; – з коловим рухом води					
		+	+	+	+	+
		-	-	+	+	+
		+	+	+	+	+
Відстійники						
3	– двоярусні;	+	+	-	-	-
4	– вертикальні	+	+	-	-	-
5	– горизонтальні	-	-	+	+	+
6	– радіальні	-	-	+	+	+
Споруди для обробки осаду стічних вод						
7	Мулоущільнювач	-	+	+	+	+
8	Метантенки	-	+	+	+	+
9	Аеробні стабілізатори	+	+	+	-	-
10	Мулові площадки	+	+	+	+	+
11	Вакуум - фільтри	-	-	-	+	+
12	Центрифуги	-	+	+	+	+
Споруди для біологічного очищення стічних вод						
13	Біофільтри	+	+	+	-	-
14	Біологічні ставки	+	-	-	-	-
15	Аерофільтри	-	+	+	+	-
16	Аеротенки	+	+	+	+	+
Вторинні відстійники:						
17	– вертикальні	+	+	-	-	-
18	– горизонтальні	-	-	+	+	+
19	– радіальні	-	-	+	+	+

*Примітка: знак «+» – рекомендується; знак «-» – не рекомендується.*

Нижче зазначена технологічна схема очищення стічних вод на очисних спорудах з урахуванням усіх нормативних вимог, наведених у спеціальному керівництві.

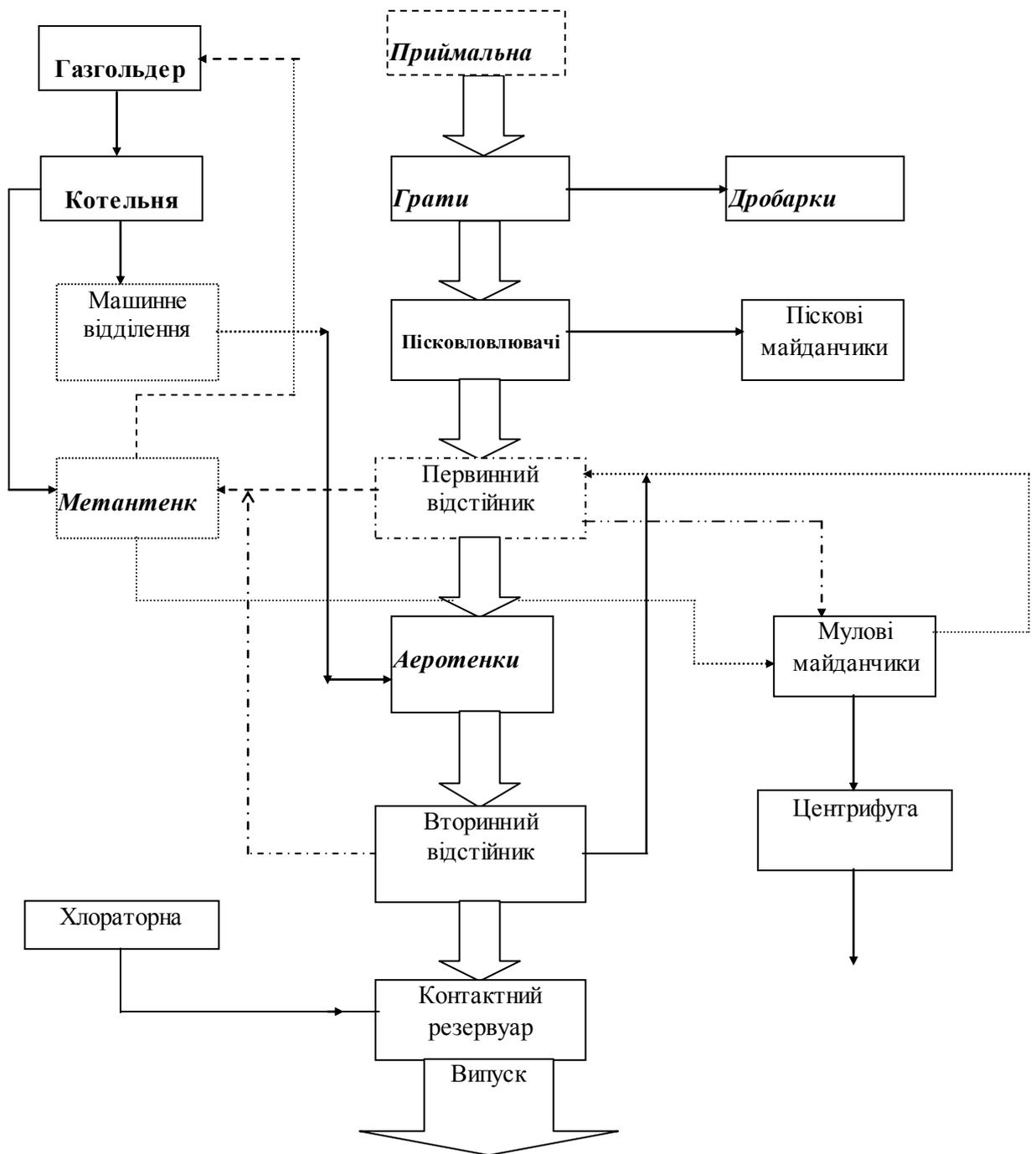


Рис. 10.1. Технологічна схема очищення стічних вод

Після визначення складу споруд приступають до їхнього розрахунку.

#### Розрахунок ґрат для очищення стічних вод

Ґрати розраховують на максимальний приплив стічних вод. Стічна рідина направляєється до ґрат лотком, що підводить. При максимальній секундній витраті  $q=744,352$  л/с ширину лотка приймаємо  $B=1000$  мм,

висоту води в лотку  $h_{л}=0,8 \cdot 1000=0,8\text{м}$ , швидкість води в лотку  $U_{л}=0,93\text{ м/с}$ , ухил лотка  $i=0,0008$ .

Вибираємо ґрати марки МГ-11Т.

ґрати встановлюють у розширеній частині лотка (камері). Її ширина дорівнює

$$B_p = S \cdot (n - 1) + b \cdot n, \quad (10.1)$$

де  $S$  – товщина стрижня ґрат, м (8 мм);

$b$  – ширина зазорів, м (16 мм);

$n$  – число зазорів, дорівнює прийнятому в типовому проекті.

$$B_p = 8 \cdot (39 - 1) + 16 \cdot 39 = 928 \text{ мм} = 0,928 \text{ м}$$

Відстань довжини розширеної частини перед ґратами

$$l_1 = \frac{B_p - B}{2 \operatorname{tg} \alpha} \text{ при } \alpha = 20^\circ, l_1 = 1,37 (B_p - B) \quad (10.2)$$

$$l_1 = 1,37 (0,928 - 1,0) = \frac{1,17}{2} = 0,585 \text{ м.}$$

Витрати напору в ґратах знаходимо за формулою

$$h_p = \zeta \frac{U_1^2}{2g} \cdot P, \quad (10.3)$$

де  $\zeta$  – коефіцієнт місцевого опору ґрат,

$$\zeta = \beta \cdot \left( \frac{S^1}{B} \right)^3 \cdot \sin \alpha, \quad (10.4)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт для стрижнів прямокутної форми, який дорівнює  $\beta=2,42$ ;

$U_1$  – швидкість води перед ґратами,

$$U_1 = \frac{Q}{B \cdot h_1}; \quad (10.5)$$

$P$  – коефіцієнт, який ураховує спадання напору внаслідок засмічення ґрат, приймається таким, що дорівнює 3.

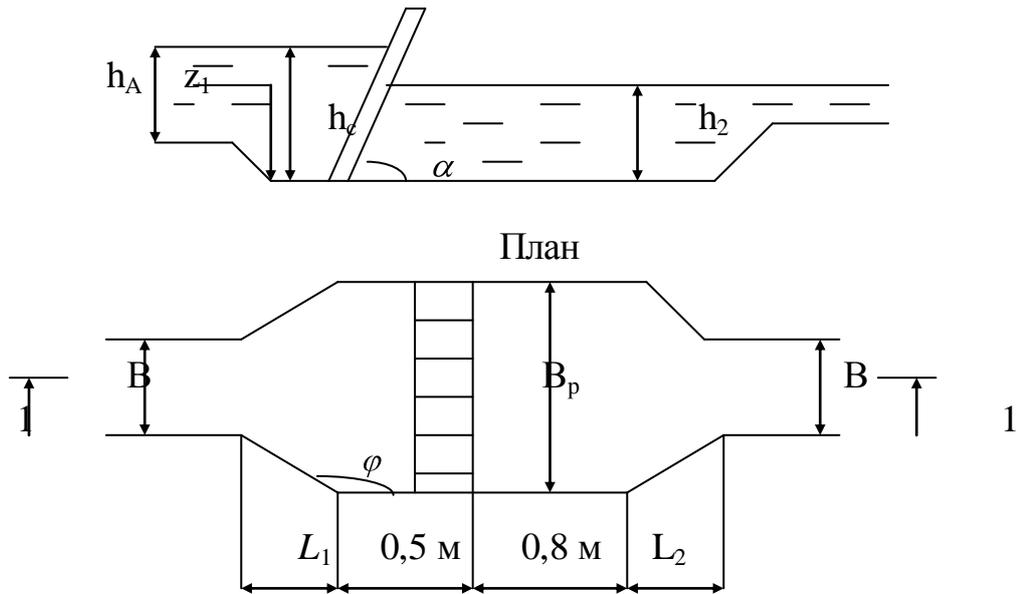
$$\zeta = 2,42 \cdot \left( \frac{8}{16} \right)^3 \cdot \sin 60^\circ = 2,42 \cdot 0,39 \cdot 0,866 = 0,82;$$

$$U_1 = \frac{0,74}{1 \cdot 0,8} = 0,93 \text{ м/с};$$

$$h_p = 0,82 \cdot \frac{0,93^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 3 = 0,11;$$

$$h_2 = 0,8 - 0,11 = 0,69.$$

Розріз 1 – 1



$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g} + h_p,$$

$$z_1 = 0; z_2 = 0; \frac{P_1}{\gamma} = h_1; U_2 = \frac{2g}{B \cdot h_2} = \frac{0,74}{1,856 \cdot 0,69} = 0,58 \text{ м/с}.$$

Кількість сміття, що знімається з ґрат, на одну людину складає 8 л/рік. Середня щільність сміття –  $750 \text{ кг/м}^3$ , коефіцієнт годинної нерівномірності їхнього надходження складає 2 (вологість відходів – 53,8 – 88%, зольність – 2,7 – 40,8%).

Об'єм сміття, що вловлюється,  $\text{м}^3/\text{доб}$ ,

$$V_{\text{сут}} = \frac{N_{\text{ппри}} \cdot 8}{1000 \cdot 365}, \text{ м}^3/\text{доб}, \quad (10.6)$$

$$V_{\text{сут}} = \frac{127558 \cdot 8}{1000 \cdot 365} = 2,8.$$

При щільності сміття  $750 \text{ кг/м}^3$ , маса забруднень дорівнює

$$M = V \cdot 0,75 \text{ т/доб}; \quad (10.7)$$

$$M = 2,8 \cdot 0,75 = 2,1 \text{ т/доб}.$$

Методику розрахунку ґрат може бути застосовано і для промислових стічних вод, що містять нафтопродукти й механічні забруднення.

### Розрахунок пісковловлювачів для очищення стічних вод

Для очищення поверхневого стоку найбільш доцільно застосовувати горизонтальні або тангенціальні пісковловлювачі. Довжину **горизонтальних** пісковловлювачів  $L$ , м, рекомендується визначати за формулою

$$L = 1000 \cdot k \cdot h_p \cdot v/u_0, \quad (10.8)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує неповне використання зони відстоювання, дорівнює 1,7;

$h_p$  – розрахункова глибина пісковловлювача, приймається від 0,5 до 2 м;  
 $v$  – швидкість руху стічних вод, при максимальному припливі  $v_{\max} = 0,3$  м/с;  
 $u_0$  – гідравлічна крупність частинок піску, на затримку яких розраховуються параметри пісковловлювача,  $u_0 = 18,7$  мм/с;  
 1000 – перекладний коефіцієнт розмірності.

Площа живого перерізу пісковловлювача

$$F = Q/v_{\max} \quad (10.9)$$

де  $Q$  – максимальна витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/с;

$v_{\max}$  – швидкість руху стічних вод, м/с.

З рівняння нерозривності струменя

$$Q = F \cdot v, \text{ м}^3/\text{с} \quad (10.10)$$

визначають ширину пісковловлювача

$$B = F/h_p, \text{ м.} \quad (10.11)$$

При декількох відділеннях пісковловлювача ширина одного відділення

$$b = B/N, \text{ м,} \quad (10.12)$$

де  $N$  – кількість пісковловлювачів або їхніх відділень.

Ширина відділень звичайно приймається від 0,5 до 2 м.

Для визначення висоти шару осаду, що затримується в пісковловлювачі ( $h_{oc}$ ), встановлюється загальний обсяг затриманого осаду ( $W_{oc}$ )

$$W_{oc} = Q \cdot C_0 \cdot 0,15 / (100 - b) \cdot v \cdot 10^4, \text{ м}^3/\text{год,} \quad (10.13)$$

де  $Q$  – витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/год;

$C_0$  – концентрація завислих речовин у стічній воді, що надходить, мг/л.

$b$  – вологість осаду, % (60 – 70 %);

$v$  – щільність осаду, г/см<sup>3</sup> (1,2 – 1,5 г/см<sup>3</sup>).

Кількість діб між очищеннями пісковловлювача приймається 0,33 – 2 доби.

$$h_{oc} = W_{oc} / L \cdot B \cdot N, \text{ м.} \quad (10.14)$$

Загальна будівельна глибина пісковловлювача визначається за формулою

$$H = h_0 + h_p + h_{oc}, \text{ м,} \quad (10.15)$$

де  $h_0$  – висота бортів над рівнем води в пісковловлювачі (приймається 0,2 – 0,4 м).

Час протікання в пісковловлювачі визначається в секундах (с) з рівняння  $L = v_{\max} \cdot t$ , м.

Звідси

$$t = L / v_{\max}. \quad (10.16)$$

Тривалість протікання стічних вод у горизонтальному пісковловлювачі має бути не меншою ніж 30 с.

Розрахунок **тангенціальних** пісковловлювачів здійснюється за гідравлічним навантаженням на поверхню пісковловлювача в плані.

Необхідна площа пісковловлювачів у плані визначається за формулою

$$F = Q / q_0, \text{ м}^2, \quad (10.17)$$

де  $Q$  – розрахункова витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/год;  
 $q_0$  – розрахункове гідравлічне навантаження, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>· год).

Розрахункове гідравлічне навантаження на поверхню тангенціальних пісковловлювачів у плані рекомендуються приймати в межах 90 – 130 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>· год) (на маленьких очисних станціях – 60 – 80 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>· год)) [16]. За СНіП 2.04.03-85 розрахунок тангенціальних пісковловлювачів рекомендується здійснювати за гідравлічним навантаженням 110 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>· год).

Діаметр пісковловлювача повинен складати

$$D = \sqrt{\frac{F}{0,785 \cdot N}}, \text{ м}, \quad (10.18)$$

де  $N$  – кількість пісковловлювачів (не менше двох).

Діаметр тангенціальних пісковловлювачів не повинен перевищувати 6 м, а робоча глибина приймається не більшою від величини радіуса.

### Розрахунок піскових майданчиків

Для підсушування піску, який надходить з пісковловлювачів, треба передбачати майданчики з валиками, що огорожують, висотою 1 – 2 м. Допускається застосовувати накопичувачі із шаром напуску піску до 3 м за рік.

Розрахункова площа піскових майданчиків складає

$$F_{mn} = W_{oc} / q_{mn}, \text{ м}^2, \quad (10.19)$$

де  $q_{mn}$  – навантаження на піскові майданчики, передбачається 3 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> за рік.

*Примітка:* При підвищенні розрахункової витрати поверхневого стоку для попередження порушення режиму роботи пісковловлювача (виносу піску) передбачається обвідний канал відведення води, що перевищує розрахункову витрату, на наступні споруди, наприклад акумулюючу ємність.

При застосуванні пісковловлювачів для очищення стічних вод (поверхневих, промислових і т.д.) необхідно визначати їхній тип з урахуванням продуктивності очисних споруд, схеми очищення стічних вод, характеристики завислих речовин тощо.

### Розрахунок відстійників для очищення стічних вод

Розрахунок відстійників треба виконувати за гідравлічною крупністю частинок суспензії, виділення яких забезпечує необхідний ефект очищення. Як приклад наводимо методику розрахунку горизонтального і тонкошарового відстійників.

Дані для розрахунку **горизонтальних відстійників:**

$B$  – ширина відстійника або його секції, приймається в межах 3 – 9 м;

$u_0$  – гідравлічна крупність, складає 1 – 0,05 мм/с при ефекті видалення суспензій  $E$  (%) від 25 до 85 %;

$t_p$  – розрахунковий час перебування води у відстійнику,  $t_p = 1 - 3$  год;  
 $H_0$  – висота зони відстоювання,  $H_0 = 2 - 3$  м.

Сумарну площу горизонтальних відстійників визначають за формулою

$$F_0 = \frac{\alpha}{3,6} \cdot \frac{Q_{оч}}{u_0}, \quad (10.20)$$

$$\alpha = \frac{u_0}{u_0 - \frac{v_{cp}}{30}}, \quad (10.21)$$

де  $Q_{оч}$  – розрахункова витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/год;  
 $u_0$  – швидкість випадання (спливання) домішок (завислих речовин, нафтопродуктів і т.д., затримуваних відстійником (гідравлічна крупність), мм/с;

$\alpha$  – коефіцієнт, що враховує вертикальну складову швидкості потоку;

$v_{cp}$  – швидкість руху води у відстійнику, приймається в межах 5 – 7 мм/с, при його розрахунку на видалення суспензій з  $u_0 \geq 0,55$  мм/с і 3 – 5 мм/с при розрахунку на видалення суспензій з  $u_0 \leq 0,4$  мм/с.

Довжина відстійника  $L_0$  (м)

$$L_0 = \frac{\alpha \cdot H_0 \cdot v_{cp}}{u_0}, \text{ м.} \quad (10.22)$$

Загальна ширина відстійників  $B$  (м) визначається за формулою

$$B = F_0/L_0. \quad (10.23)$$

Після встановлення величини  $B$  визначають фактичну швидкість  $v_{cp}$ , мм/с, у проточній частині відстійників

$$v_{cp} = 10^3 \cdot \frac{Q_{оч}}{B \cdot H_0}, \text{ мм/с.} \quad (10.24)$$

Ширину приймають 3 – 9 м, а довжину – не більше  $10H_0$ . Розрахункова кількість відстійників або секцій не менше двох.

При розрахунку осадової частини відстійника слід виходити з розрахункового нагромадження осаду і прийнятої частоти його видалення.

У відстійниках для механічного очищення поверхневого стоку, як у нафтовловлювачах і в первинних відстійниках міських очисних споруд, повинні бути передбачені пристрої для затримування та періодичного видалення спливаючих домішок (в основному нафтопродуктів і масла) й осаду, що накопичується. Спливаючі домішки, які видаляються з поверхні відстійника, відводяться у збірники, де витримуються протягом декількох діб для відокремлення нафтопродуктів. Частково освітлені й зневоднені нафтопродукти залежно від їхньої якості повинні направлятися на утилізацію або спалювання, а вода, що відокремилася, чи шлам повертатися у відстійник.

### Розрахунок акумулюючої ємності

При накопиченні стоку в акумулюючій ємності відбувається усереднення його складу, а при наступному витримуванні перед спорожненням – видалення зі стоку основної маси нерозчинених домішок.

Річна кількість дощових  $W_d$  і талих  $W_m$  вод ( $\text{м}^3$ ), що стікають з 1 га площі водозбору, визначається за формулами:

$$W_d = 10 \cdot h_d \cdot \psi_d; \quad (10.25)$$

$$W_m = 10 \cdot h_m \cdot \psi_m, \quad (10.26)$$

де  $h_d$  – шар опадів за теплий період року, мм;  
 $h_m$  – шар опадів у міліметрах за холодний період року (визначає загальну річну кількість талих вод) або запас води в сніжному покриві до початку сніготанення (визначає кількість талих вод у весняну повідь);  
 $\psi_d, \psi_m$  – загальний коефіцієнт стоку дощових і талих вод відповідно.

Значення  $\psi_m$  приймається в межах 0,5 – 0,7, а  $\psi_d$  визначається як середньозважена величина для всієї площі водозбору з урахуванням середніх значень коефіцієнтів стоку для різної поверхні (останні можуть прийматися для водонепроникних покриттів у межах 0,6 – 0,8, для ґрунтових поверхонь – 0,2, для газонів – 0,1).

Робочий обсяг акумулюючої ємності  $W$  ( $\text{м}^3$ ) для дощового стоку визначається за формулою

$$W = 10 \cdot h_d \cdot F \cdot \psi_d; \quad (10.27)$$

де  $h_d$  – максимальний шар опадів у вигляді дощу, мм, стік від яких акумулюється в повному обсязі; величина  $h_d$  для промислових підприємств першої групи приймається, як правило, в межах 10 – 15 мм, а для підприємств другої групи такою, що дорівнює середньому добовому максимуму опадів;

$\psi_d$  – загальний коефіцієнт стоку дощових вод, залежно від виду поверхні приймається 0,1 – 0,8.

Загальна річна кількість поливальних вод  $W_m$ , ( $\text{м}^3$ ), що стікають з території промайданчиків, визначається за формулою

$$W_m = 10 \cdot m \cdot k \cdot F_m \cdot \psi_m, \quad (10.28)$$

де  $m$  – витрата води на одну мийку дорожніх покриттів (складає 1,2 – 1,5 л/ $\text{м}^2$ );

$\psi_m$  – коефіцієнт стоку (може бути прийнятий 0,5);

$k$  – середня кількість мийок на рік;

$F_m$  – площа покриттів, що піддаються мокрому прибиранню, га.

Аналогічно визначається робочий обсяг ємності, що акумулює, у кубічних метрах, для поталого стоку, величина  $h_m$  може бути прийнята 25 – 30 мм,  $\psi_m$  – 0,5 – 0,7.

Середня тривалість сухої погоди при шарі опадів  $\geq 5$  мм складає до 10 діб.

Залежно від складу домішок, що накопичуються на території промайданчиків і які змиваються поверхневим стоком, промислові

підприємства й окремі їх ділянки можна розділити на дві групи.

До першої групи відносять підприємства чорної металургії (за винятком коксохімвиробництва), машино- і приладобудівної, електротехнічної, вугільної, нафтової, легкої, хлібопродуктової, молочної, харчової промисловості, сірчаної і содової підгалузей хімічної промисловості, енергетики, автотранспортні підприємства, річкові порти, ремонтні заводи, а також окремі виробництва нафтопереробних, нафтохімічних і хімічних підприємств, на територію яких не потрапляють специфічні забруднення.

Середні концентрації основних домішок у стоці дощових вод на цих підприємствах можуть бути прийнятні:

- за завислими речовинами – 500 – 2000 мг/л, при цьому більш високі значення стосуються до підприємств з інтенсивним рухом автотранспорту;
- за нафтопродуктами – 30 – 70 мг/л для підприємств з інтенсивним рухом автотранспорту і значним споживанням паливно-мастильних матеріалів і 10 – 30 мг/л для інших (виняток становлять підприємства нафтової промисловості, де вміст нафтопродуктів у поверхневому стоці може досягати 0,5 г/л за рахунок скидання разом з атмосферними водами деяких видів виробничих стічних вод);
- за ХПК і БПК – 100 – 150 та 20 – 30 мг/л відповідно в перерахуванні на розчинені домішки, а з урахуванням диспергованих домішок ці показники збільшуються вдвічі – втричі;
- за загальним солевмістом – в основному 0,2 – 0,5 г/л, а на підприємствах хімічної промисловості (содових і сірчаних) – 0,5 – 3 мг/л.

До другої групи належать підприємства кольорової металургії, коксохімії, хімічної, лісохімічної, целюлозопаперової, нафтопереробної, нафтохімічної та мікробіологічної промисловості, шкір-сировинні й шкіряні заводи, м'ясокомбінати, шпалопросочувальні заводи.

У поверхневому стоці підприємства другої групи, крім домішок, перерахованих у першій групі, можуть бути наявні також домішки, специфічні для цього виробництва.

Висоту зони відстоювання в ємності варто приймати в межах 1,5 – 4 м, висоту вільної зони над рівнем води – 0,3 – 0,5 м, висоту нейтральної зони над рівнем осаду – 0,4 – 0,5 м.

Секції акумулюючої ємності повинні бути обладнані пристроями для періодичного видалення нафтопродуктів, що спливли, та осаду.

При проектуванні нафтозгінних і нафтозбірних пристроїв слід враховувати періодичне коливання рівня заповнення секцій нижче розрахункового.

Мулові приямки в акумулюючій ємності рекомендовано розташовувати в середній частині. Ухил днища до приямків та

поперечний ухил дна слід приймати не меншим ніж 0,05, а ухил стінок приямку – не меншим від 45°. Для видалення осаду з площі днища в приямок варто передбачати гідрозмив. Об'єм мулової частини ємності визначається виходячи із заданої періодичності видалення осаду.

Для періодичного видалення осаду, що накопичується, з акумулюючої ємності варто передбачити влаштування гідроелеваторної установки або насосної станції, обладнаної плунжерними чи іншими насосами, призначеними для перекачування шламів з високим умістом механічних домішок.

Для зневоднення осаду рекомендується застосовувати його витримування на мулових майданчиках або на майданчиках-ущільнювачах, навантаження на майданчики зневоднення може бути прийняте таким, що дорівнює 3 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> за рік. Майданчики слід розділити на карти, обладнані випускними пристроями для відведення мулової води.

На підставі даних про середню тривалість періодів між стокоутворюючими опадами тривалість відстоювання стоку в акумулюючій ємності може бути прийнята такою, що дорівнює 1 – 2 доби. У таких же межах може бути прийнята тривалість відводу освітленої води.

При тривалості відстоювання 1 – 2 доби ефект зниження вмісту завислих речовин і показника ХПК в акумулюючій ємності коливається в межах 80 – 90 %, а показники БПК – у межах 60 – 80%. Залишковий уміст завислих речовин у відстоюній воді орієнтовно може бути прийнятий в межах 50 – 200 мг/л, нафтопродуктів – 0,5 – 5 мг/л, а органічних домішок – 50 – 100 мг/л у перерахунку на ХПК і 20 – 30 мг/л у перерахунку на БПК.

При відомій годинній витраті (м<sup>3</sup>/год) поверхневих стічних вод розрахунки ведуть у такий спосіб.

Визначається кількість поверхневого стоку, що може надійти за добу (24 год), м<sup>3</sup>:

$$W_n = Q \cdot 24 \text{ год}, \quad (10.29)$$

де  $Q$  – витрата поверхневих стічних вод, м<sup>3</sup>/год.

Згідно з довідковими даними середня тривалість сухої погоди між дощами шаром  $\geq 1$  мм – близько 3,5 доби, а шаром  $\geq 5$  мм – до 10 діб. Для розрахунку приймаємо тривалість сухої погоди, виходячи із шару дощу.

Акумулюючі ємності рекомендовано проектувати прямокутними в плані, розділеними на секції. Корисний обсяг однієї секції слід розраховувати на прийом стоку від шару опадів 2,5 – 5 мм.

$W_{\text{секції}}$  – робочий об'єм секції:

$$W_{\text{секції}} = L \cdot B_c \cdot H, \quad (10.30)$$

де  $H$  – робоча висота секції 1,5 – 4 м;

$B_c$  – ширина секції, може бути прийнята кратною 3 м;

$L$  – довжина секції, приймається, виходячи з обсягу споруди, кількість секцій – не менша від двох.

$$L = 2,5 \cdot W_n / H \cdot 15 \cdot B_c, \text{ м}; \quad L = W_n / 6 \cdot H \cdot B_c, \text{ м}. \quad (10.31)$$

При визначенні обсягу акумулюючої ємності необхідно враховувати накопичення осаду і вільний обсяг

$$W_a = W_n + W_o + W_c, \quad (10.32)$$

де  $W_a$  – загальний обсяг акумулюючої ємності, м<sup>3</sup>;

$W_n$  – об'єм поверхневого стоку, м<sup>3</sup>/доб;

$W_o$  – об'єм осаду, м<sup>3</sup>;

$W_c$  – вільний об'єм ( $\approx 10-12\%$  від  $W_o$ );

$$W_o = \frac{W_n (C_o - C_{o.ч.}) \cdot t \cdot 365}{(100 - b) \cdot \gamma \cdot 10^4}, \quad (10.33)$$

де  $C_o, C_{o.ч.}$  – концентрації завислих речовин у вихідній і очищеній воді, мг/л;

$t$  – період накопичення осаду, кількість років (від 1 до 7);

$b$  – вологість осаду (50 – 60 %);

$\gamma$  – щільність осаду (2 – 2,2 г/см<sup>3</sup>).

### Розрахунок мулових майданчиків

Корисну площу мулових майданчиків визначають за формулою

$$F_{мм} = 365C/q_{мм} \cdot K_k, \text{ м}^2, \quad (10.34)$$

де  $C$  – добова витрата стабілізованого осаду, м<sup>3</sup>/доб;

$q_{мм}$  – навантаження на мулові майданчики, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> · рік);

$K_k$  – кліматичний коефіцієнт.

Навантаження на мулові майданчики приймають 3 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> за рік при  $K_k = 1,0$ . Значення кліматичного коефіцієнта приймають за рис. 3 [1].

Кількість карт мулових майданчиків має бути не менше 4. За отриманою корисною площею приймають розміри однієї карти.

Додаткова площа мулових майданчиків, що займається валиками, дорогами, каналами,

$$F_{дон} = k \cdot F_{мм}, \text{ м}^2, \quad (10.35)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує додаткову площу та приймається таким, що дорівнює 0,2 для великих і 0,4 для маленьких очисних станцій.

Мулові майданчики перевіряють на зимове намерозення осаду. Висота шару намерозеного осаду складає

$$h_{нам} = \frac{CT_{нам} k_1}{F_{мм} k_2}, \quad (10.36)$$

де  $T_{нам}$  – тривалість періоду намерозення (кількість днів за рік із середньою добовою температурою, нижчою ніж  $-10^\circ\text{C}$ );

$k_1$  – коефіцієнт, що враховує зменшення обсягу осаду внаслідок зимової фільтрації та випару;

$k_2$  – коефіцієнт, котрий ураховує частину площі, яка виділяється під зимове намороження.

Отримане значення висоти шару намороженого осаду  $h_{нам}$  має бути меншим від висоти огорожувальних валиків мулових майданчиків на 0,1 м.

При проектуванні мулових майданчиків слід приймати: робочу глибину карт 0,7 – 1 м; висоту огорожувальних валиків – на 0,3 м вище робочого рівня; при використанні механізмів для ремонту земляних валиків робоча глибина карт – 1,8 – 2 м. Осад на мулових майданчиках висушують до вологості 50 % .

## **Тема 11. Підбір та розрахунок споруд біологічного очищення стічних вод**

*Біохімічні методи* очищення базуються на життєдіяльності мікроорганізмів, що сприяють окиснюванню чи відновленню органічних речовин, які знаходяться у стічній рідині у вигляді тонких суспензій, колоїдів і розчинів.

Для біохімічного очищення стічних вод у штучних умовах застосовують біологічні фільтри й аеротенки. У цих спорудах процес очищення протікає більш інтенсивно, ніж у природних умовах. Інтенсивністю процесу очищення стічних вод у тій чи іншій споруді визначають окиснювальну потужність споруди, під якою розуміють кількість грамів кисню, котрий одержують з 1 м<sup>3</sup> споруди за добу й використовують для зниження БПК стічних вод, окиснювання амонійних солей до нітритів і нітратів, а також підвищення вмісту в стічних водах розчиненого кисню. Розмір окисної потужності для різних споруд коливається в широких межах.

Біохімічний метод дозволяє знизити кількість забруднень на 65 – 95% і довести воду до кондиції технічної, придатної до повторного застосування у технічному водопостачанні, для зрошення в сільському господарстві при скиданні у відкриті водойми без небезпеки забруднення.

Споруди для біологічного (біохімічного) очищення стічних вод можна розділити на два основних типи:

1) споруди, в яких біологічне очищення здійснюється в умовах, близьких до природних (поле фільтрації та біологічні ставки). Стічна рідина очищається в них досить повільно. За рахунок запасу кисню в ґрунті й у воді біологічних ставків унаслідок життєдіяльності мікроорганізмів-мінералізаторів окиснюються органічні забруднення, що потрапляють у ґрунт і воду;

2) споруди, в котрих очищення стічних вод здійснюється в штучно створених умовах (біологічні фільтри й аеротенки) і процеси очищення стічних вод ідуть набагато краще.

Слід знати, що найбільш ефективними спорудами для біологічного очищення є аеротенки, що застосовуються для повного і неповного біологічного очищення стічних вод. Стічні води надходять в аеротенки після споруд механічного очищення.

*Аеротенки* – це резервуари, в яких стічна вода, що очищається, та активний мул насичуються повітрям і переміщуються. *Активний мул* являє собою пластинчасті скупчення аеробних мікроорганізмів, здатних сорбувати на своїй поверхні й окиснювати за наявності кисню повітря органічні речовини стічної рідини.

Аеротенки можуть застосовуватися за одно- і двоступінчастою схемою з регенерацією та без неї. Регенерацію активного мулу необхідно передбачати при БПК<sub>повн.</sub> стічної води, що надходить в аеротенки, понад 150 мг/л, а також за наявності у воді шкідливих виробничих домішок.

Двоступенева схема очищення складається з аеротенків із вторинними відстійниками після кожного ступеня висококонцентрованих стічних вод (БПК<sub>повн.</sub> більше 1000 мг/л) чи вод, що містять важкоокиснювані домішки. В аеротенках одного ступеня завершується перша стадія очищення: сорбція органічних забруднень активним мулом і окиснювання деякої частини затриманих забруднень. Не повністю очищена вода надходить в аеротенки другого ступеня, де відбувається її остаточне очищення.

Для нормальної життєдіяльності мікроорганізмів-мінералізаторів в аеротенках необхідно безупинно подавати повітря.

Залежно від способу подачі й розподілу повітря аеротенки можуть бути з аерацією:

- **пневматичною** (повітря подають по металевих трубах і розподіляють через дірчасті труби фільтроси, що являють собою проникні для повітря пористі пластинки розміром 30 x 30 і товщиною 4 см);
- **механічною** (принцип роботи *механічних аеротенків* – залучення повітря безпосередньо з атмосфери обертливими частинами аератора (ротором) і перемішування його з усім умістом аеротенків);
- **комбінованою**, що сполучає в собі елементи пневматичної і механічної аерації.

Як правило, застосовують механічну або пневматичну систему аерації.

Залежно від способу введення стічних вод і активного мулу слід розрізняти:

- 1) аеротенки-змішувачі – подача й випуск стічної води і мулу здійснюються розосереджено вздовж довгих сторін коридору аеротенка;
- 2) аеротенки-витиснювачі – стічна вода й активний мул подаються зосереджено з однієї з торцевих сторін аеротенків, а випускаються також зосереджено з іншої.

Аеротенки-витиснювачі доцільно застосовувати при БПК<sub>повн.</sub> стічної

води до 300 мг/л, а аеротенки-змішувачі – при БПК<sub>повн</sub> до 1000 мг/л.

При двоступінчастій схемі для першого ступеня очищення рекомендується використовувати аеротенки-змішувачі, для другого – аеротенки-витиснювачі.

Для аеротенків і регенераторів число секцій повинно бути не менше двох. Для станцій продуктивністю до 50 тис. м<sup>3</sup>/доб найбільш доцільне число секцій 4 – 6, а при більшій продуктивності – 6 – 8, всі секції – робочі, кожна складається з двох – чотирьох коридорів.

Аеротенки можна компонувати з вторинними відстійниками, об'єднати в блок при прямокутній формі обох споруд у плані. Найбільш компактні комбіновані споруди – це аеротенки-відстійники. Цей тип споруд круглої в плані форми з механічними аераторами називають *аероакселератором*.

Слід знати, що в практиці проектування й будівництва аеротенків використовують типові проекти, розроблені Союзводоканалпроектом. Є також типові проекти аероакселераторів діаметром 18 і 24 м.

Розрахунок аеротенків включає визначення місткості й розмірів споруди, об'єму необхідного повітря і надлишкового активного мулу.

**Біологічний фільтр** – споруда, у якій стічна вода фільтрується через завантажувальний матеріал, покритий біологічною плівкою, утвореною колоніями мікроорганізмів. Біофільтр складається із частин: фільтруючого завантаження, уміщеного в резервуар круглої чи прямокутної форми в плані; водорозподільного пристрою, що забезпечує рівномірне зрошення стічною водою поверхні завантаження біофільтра; дренажного пристрою для видалення води, що профільтрувалася; повітророзподільного пристрою, за допомогою якого надходить необхідне для окиснювального процесу повітря, відпрацьована й змертва плівка змивається стічною водою і виноситься з тіла біофільтра.

За характером завантажувального матеріалу біофільтри можна розділити на два види: об'ємне (зернисте) – гравій, шлак, керамзит, щебінь та ін. і площинне завантаження – пластмаси, азбестоцемент, кераміка, метал, тканини тощо. Біофільтри з об'ємним завантаженням розподіляють на краплинні – величина фракції завантажувального матеріалу – 20 – 30 мм і висота шару завантаження – 1 – 2 м; високонавантажені – розмір часток завантажувального матеріалу – 40 – 60 мм, висота шару завантаження – 2 – 4 м; великі висоти (баштові) – величина завантажувального матеріалу – 60 – 80 мм, висота шару завантаження – 8 – 16 м.

До біофільтрів із площинним завантаженням належать: біофільтри з твердим засипним завантаженням (керамічні, пластмасові й металеві засипні елементи), висота шару завантаження – 1 – 6 м; біофільтри з твердим блоковим завантаженням – різні види пластмаси (гофровані й плоскі листи), висота шару завантаження – 2 – 16 м; азбестоцементні листи, в яких висота шару завантаження 3 – 8 м.

Краплинні біофільтри застосовують при витратах стічних вод до 1000 м<sup>3</sup>/доб, припустима БПК<sub>повн</sub> стічних вод, які подаються на біофільтр, складає 220 мг/л, при БПК<sub>повн</sub>, що дорівнює 220 мг/л чи більше, передбачають рециркуляцію (розведення) очищених стічних вод, БПК<sub>повн</sub> очищених вод – 15 мг/л.

Високонавантажені фільтри, як правило, розміщують на відкритому повітрі й застосовують при витраті стічних вод до 50 тис. м<sup>3</sup>/доб, припустиме БПК<sub>повн</sub> стічних вод, що надходять на біофільтр, – 300 мг/л. При більшому БПК<sub>повн</sub> необхідно передбачити рециркуляцію очищених стічних вод (коли стічні води з великою концентрацією за БПК<sub>повн</sub>, їх слід розбавляти очищеними стічними водами).

За способом подачі повітря біофільтри (краплинні й високонавантажені) можуть бути з природною і штучною вентиляцією (аерофільтри). Сьогодні найбільше застосовують біофільтри зі штучною піддувкою за допомогою вентиляторів (високонавантажені аерофільтри).

Біофільтри з площинним завантаженням рекомендовано розміщувати в закритому приміщенні.

БПК<sub>повн</sub> стічних вод, подаваних на біофільтри з пластмасовим завантаженням, допускається приймати не більше 250 мг/л. Для біофільтрів із пластмасовим завантаженням (як завантаження використовують блоки з полівінілхлориду, гладких чи перфорованих пластмасових труб діаметром 50 – 100 мм або засипні елементи у вигляді обрізків труб довжиною 50 – 150 мм діаметром 30 – 75 мм з перфорованими і гладкими стінками) робочу висоту слід приймати 3 – 4 мм.

Надійна робота біофільтра може бути досягнута тільки при рівномірному зрошенні водою його поверхні. Стічна вода розподіляється по поверхні біофільтрів за допомогою спринклерної системи, що складається з дозуючого бака, який розводить мережі, та спринклерів, або за допомогою реактивних зрошувачів, що складаються зі стояка і дірчастих труб.

**Аеротенки.** При виконанні курсових проектів рекомендується використовувати найбільш розповсюджені типи аеротенків:

- аеротенки-змішувачі застосовують при очищенні міських стічних вод у суміші зі значною кількістю неочищених виробничих стічних вод, які містять токсичні органічні речовини в допустимих межах, а також на першому ступені двоступінчастих схем [6];
- аеротенки-витиснювачі використовують за відсутності залпових надходжень токсичних речовин, а також на другому ступені двоступінчастих схем.

При БПК<sub>повн</sub> стічних вод, що надходять в аеротенки, більше 150 мг/л необхідно передбачати регенерацію активного мулу.

Місткість аеротенків слід визначати за середньогодинною витратою стічних вод у години максимального припливу  $q_w$  (м<sup>3</sup>/год).

Аеротенки забезпечують зниження вмісту органічних речовин в очищених стічних водах за БПК<sub>повн</sub> до 15 мг/л.

### Методика розрахунку аеротенків без регенераторів

#### Аеротенки-змішувачі

При проектуванні аеротенків будь-яких типів необхідно розрахувати період аерації й об'єм споруд.

Період аерації в аеротенках-змішувачах без регенераторів визначають за формулою

$$t_{\text{atm}} = \frac{L_{\text{en}} - L_{\text{ex}}}{a_i \cdot (1 - s \cdot \rho)}, \quad (11.1)$$

де  $L_{\text{en}}$  – БПК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить в аеротенки, з урахуванням зниження БПК<sub>повн</sub> при первинному відстоюванні, мг/л;

$L_{\text{ex}}$  – БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води, мг/л, визначеної за необхідним ступенем очищення стічних вод;

$a_i$  – доза мулу, визначають за табл. 11.1;

$s$  – зольність мулу, приймають у частках одиниці, рівної 0,3;

$\rho$  – питома швидкість окислювання міліграмів БСК<sub>повн</sub> на грам беззольної речовини мулу на годину, обумовлена за формулою

$$\rho = \rho_{\text{max}} \frac{L_{\text{ex}} \cdot C_0}{L_{\text{ex}} \cdot C_0 + K_1 \cdot C_0 + K_0 \cdot L_{\text{ex}}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi_{a_i}}, \quad (11.2)$$

де  $\rho_{\text{max}}$  – максимальна швидкість окислювання для міських стічних вод, приймається рівною 85 мг БПК<sub>повн</sub>/(м · год);

$C_0$  – концентрація розчиненого кисню в аеротенку, допускається прийняти 2 мг/л;

$K_1$  – константа, що характеризує властивості органічних забруднюючих речовин, для міських стічних вод дорівнює 33 мг БПК<sub>повн</sub>/л;

$K_0$  – константа, яка характеризує вплив кисню, для міських стічних вод приймається 0,625 мг O<sub>2</sub>/л;

$\varphi$  – коефіцієнт інгібування продуктами розпаду активного мулу, дорівнює для міських стічних вод 0,07 л/г.

**Примітки:** 1. Формули (11.1) і (11.2) справедливі при середньорічній температурі стічних вод 15<sup>0</sup>С. При іншій середньорічній температурі стічних вод  $T_w$  вираз для  $t_{\text{atm}}$  (1) збільшується на відношення 15/ $T_w$ .

2. Тривалість аерації у всіх випадках не повинна бути менше 2 год.

Таблиця 11.1

Тип аеротенка	БСК <sub>повн</sub> води, що надходить, $L_{\text{en}}$ , мг/л	Доза мулу $a_i$ , г/л
Аеротенк-змішувач		
без регенераторів	100 – 150	3
з регенераторами	150 – 300	2 – 3
Аеротенк-витиснювач		
без регенераторів	100 – 150	3 – 5

з регенераторами	300 – 400	2,5 – 4,5
------------------	-----------	-----------

Місткість аеротенка визначають за формулою

$$W_{atm} = t_a t_m \cdot q_w \cdot \quad (11.3)$$

Число секцій аеротенків  $n_{atm}$  повинно бути не меншим від двох, робоча глибина  $H_{atm} = 3 - 6$  м, відношення ширини коридора  $B_{atm}$  до робочої глибини  $H_{atm}$  дорівнює  $1 \div 1$  і  $2 \div 1$ . Довжину кожної секції визначають за формулою

$$l_{atm} = \frac{W_{atm}}{n_{atm} \cdot H_{atm} \cdot B_{atm} \cdot m} \cdot \quad (11.4)$$

За табл. 11.2 студенти можуть підібрати відповідно до своїх розрахунків типовий проект аеротенка-змішувача без регенератора з типовими розмірами секцій і коридорів. При розбіжності розрахункових розмірів з типовими вносять необхідні корективи в бік збільшення довжини секції, зберігаючи при цьому її кратність 6 м (довжина стінових панелей).

Приріст активного мулу, мг/л,

$$P_i = 0,8 \cdot C_{cdp} + K_g L_{en}, \quad (11.5)$$

де  $C_{cdp}$  – концентрація зважених речовин у стічній воді, що надходить в аеротенк, не більше 150 мг/л;

$K_g$  – коефіцієнт приросту, для міських і близьких до них за складом виробничих стічних вод  $K_g = 0,3$ .

Таблиця 11.2

Аеротенки-змішувачі без регенератора

Ширина коридору $B_{atm}, \text{м}$	Робоча глибина аеротенків $H_{atm}, \text{м}$	Число коридорів $m$	Робочий об'єм секції $W_{atm}, \text{м}^3$	Довжина секції $l_{atm}, \text{м}$	Номер типового проекту
3	1,2	2	170	24	902-2-94
			260	36	902-2-95/96
4	4,5	2	864	24	902-2-215/216
			1296	36	902-2-217/218
6	5	3	3780	42	902-2-268
			5400	60	902-2-269
9	5,2	4	7500	84	902-2-211
			21680	120	902-2-120/72
			28080	150	902-2-264

Питому витрату повітря  $q_{air}, \text{м}^3/\text{м}^3$ , води, що очищається, при пневматичній системі аерації визначають за формулою

$$q_{air} = \frac{q_0 (C_{en} - L_{ex})}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_r \cdot K_3 (C_a - C_0)}, \quad (11.6)$$

де  $q_0$  – питома витрата кисню повітря, мг на 1 мг знятої БПК<sub>повн</sub>, приймають при очищенні до  $L_{ex} = 15 - 20$  мг/л – 1,1, при очищенні до  $L_{ex}$

понад 20 мг/л – 0,9;

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує тип аератора і прийнятий для середньопузирчастої і низьконапірної аерації 0,75; для дрібнопузирчастої аерації  $K_1$  залежить від відношення площі аерованої зони, що аерується  $f_{az}$ , до площі аеротенка  $f_{at}$  і визначається за табл. 11.3;

Таблиця 11.3

$f_{az} / f_{at}$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1,0
$K_1$	1,34	1,47	1,68	1,89	1,94	2,0	2,12	2,3
$J_{a,max} \text{ М}^3/(\text{М}^2 \cdot \text{ч})$	5	10	30	30	40	50	75	100

$K_2$  – коефіцієнт, залежний від глибини занурення аераторів, приймається за табл. 11.4

Таблиця 11.4

$h_a, \text{ м}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$K_2$	0,4	0,46	0,6	0,8	0,9	1,0	2,08	2,52	2,92	3,3
$J_{a,min} \text{ М}^3/(\text{М}^2 \cdot \text{ч})$	48	42	38	32	28	24	4	3,5	3	2,5

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує температуру стічних вод, який слід визначати за формулою

$$K_T = 1 + 0,02(T_w - 20), \quad (11.7)$$

де  $T_w$  – середньомісячна температура стічної води за літній період, для середньоевропейської смуги можна прийняти рівною 21°C;

$K_3$  – коефіцієнт якості води, прийнятий для міських стічних вод 0,85;

$C_a$  – розчинність кисню повітря у воді, мг/л, обчислюють за формулою

$$C_a = \left( \frac{1 + h_a}{20,6} \right) \cdot C_T, \quad (11.8)$$

де  $C_T$  – розчинність кисню у воді залежно від температури  $T_w$  і атмосферного тиску, приймають за табл. 11.5

Таблиця 11.5

$T_w, ^\circ\text{C}$	10	11	12	13	14	15	16		
$C_T$	11,33	11,08	10,83	10,6	10,37	10,15	9,95		
$T_w, ^\circ\text{C}$	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$C_T$	9,74	9,64	9,35	9,17	8,89	8,83	8,68	8,53	8,38

При визначенні площі аерованої зони для пневматичних аераторів до неї включають просвіти між аераторами до 0,3 м.

Інтенсивність аерації,  $\text{М}^3/(\text{М}^2 \cdot \text{г})$ , розраховують за формулою

$$I_a = \frac{Q_{air} \cdot H_{at}}{t_a t_m}. \quad (11.9)$$

**Примітка.** Якщо обчислена інтенсивність аерації  $J_a$  більша за  $J_{a,max}$  для прийнятого значення  $K_1$ , необхідно збільшити площу  $\sim 57321$  зони  $f_{az}$ ;

якщо менша від  $J_{a \min}$  для прийнятого значення  $K_2$ , – слід збільшити витрату повітря, прийнявши  $J_{a \min}$  за табл. 11.4

Годинна витрата повітря, котре подають в аеротенк, м<sup>3</sup>/год,

$$Q_{\text{air}} = q_w \cdot q_{\text{air}} \cdot \quad (11.10)$$

При підборі механічних, пневмомеханічних і струминних аеротенків їхнє число треба визначати за формулою

$$N_{\text{ma}} = \frac{q_0 \cdot (C_{\text{en}} - L_{\text{ex}}) \cdot W_{\text{atm}}}{1000 \cdot K_T \cdot K_3 \left( \frac{C_a - C_0}{C_a} \right) \cdot t_{\text{atm}} \cdot Q_{\text{ma}}}, \quad (11.11)$$

де  $Q_{\text{ma}}$  – продуктивність аератора за киснем, прийнята за паспортними даними аераторів НКТІГХ (табл.11.6)

Таблиця 11.6

Аеротенки НКТІГХ

Тип аератора	Продуктивність за киснем, кг/год	Об'єм зони дії, м <sup>3</sup>		Глибина аеротенка $H_{\text{atm, м}}$	Потужність, кВт	
		за аеруванням	за перемішуванням		установлена	спожита
АИ-ІМ	І-І	100	70	2	5,5	2,8
ІАРН	10	100	300	2,5	10	6
ІАРП	6	70	200	2,5	7	4
АР-І	25	500	600	3	20	18
АР-2	100	1500	2000	-	75	-
ТА-І	80	1000	1800	5	40	37
ТА-2	30	400	1000	3	17	11
ТАП-5	150	2000	-	-	55	-
ТАП-6	40	500	-	-	17	-

Аератори бажано розміщувати таким чином, щоб зону дії одного аератора можна було подати у формі квадрата. Кількість аераторів на першій половині довжини аеротенків-витиснювачів необхідно приймати вдвічі більшою, ніж на іншій довжині аеротенків.

#### Аеротенки-витиснювачі

Слід розрахувати період аерації й об'єм аеротенка.

Період аерації в аеротенках-витиснювачах

$$t_{\text{atv}} = \frac{1 + \varphi \cdot a_i}{\rho_{\text{max}} \cdot C_0 \cdot a_i} \left[ (C_0 + K_0) \cdot (C_{\text{mix}} - L_{\text{ex}}) + K_1 \cdot C_0 \cdot l_n \frac{L_{\text{mix}}}{L_{\text{ex}}} \right] \cdot K_p, \quad (11.12)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт інгібування продуктами розпаду активного мулу, прийнятий для міських стічних вод 0,07 л/г;

$a_i$  – доза мулу, обумовлена за табл. 11.7;

$\rho_{\text{max}}$  – максимальна швидкість окиснювання для міських стічних вод, приймається 85 мг БСК<sub>повн</sub>/ (м · год);

$C_0$  – концентрація розчиненого кисню в аеротенку, допускається приймати 2 мг/л;

$S$  – зольність мулу, прийнята в частках одиниці, рівної 0,3;

$K_0$  – константа, що характеризує вплив кисню для міських стічних вод, приймається рівною 0,625 мгО<sub>2</sub>/л;

$K_p$  – коефіцієнт, що враховує вплив поздовжнього перемішування:  $K_p = 1,5$  при біологічному очищенні до  $L_{ex} = 15$  мг/л;  $K_p = 1,25$  при  $L_{ex}$  більше 30мг/л. Для проміжних значень  $L_{ex}$  величину  $K_p$  визначають інтерполюванням;

$L_{en}$  – БСК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить в аеротенк, з урахуванням зниження БСК<sub>повн</sub> при первинному відстоюванні;

$L_{ex}$  – БСК<sub>повн</sub> очищеної стічної води, мг/л, визначеної за необхідним ступенем очищення стічних вод;

$K_i$  – константа, що характеризує властивості органічних забруднюючих речовин, рівна для міських стічних вод 33 мг БСК<sub>повн</sub>/л;

$L_{mix}$  – БСК<sub>повн</sub> стічної води, яка надходить на початок аеротенка-витиснювача з урахуванням розведення циркуляційним мулом:

$$L_{mix} = \frac{L_{en} + L_{ex} \cdot R_i}{1 + R_i}, \quad (11.13)$$

де  $R_i$  – ступінь рециркуляції активного мулу, визначають за формулою

$$R_i = \frac{a_i}{1000 / J_i - a_i}, \quad (11.14)$$

де  $J_i$  – муловий індекс, прийнятий за табл. 11.7.

**Примітка:** Формула (11.14) справедлива при  $J_i \leq 175$  см<sup>3</sup> і  $a_i$  до 5 г/л. Значення  $R_i$  повинне бути не меншим ніж 0,3 для відстійників, 0,4 – з мулоскребками, 0,6 – при самопливному видаленні мулу.

Таблиця 11.7

Навантаження на мул $q_i$ , мг/ (м · доб)	100	200	300	400	500	600
Муловий індекс $J_i$ , дм <sup>3</sup> /м	130	100	70	80	95	130

У всіх випадках період аерації повинен бути не меншим від двох годин.

Для уточнення значення мулового індексу варто розрахувати навантаження на мул, мг, БСК<sub>повн</sub> на 1 м беззольної речовини мулу за добу за формулою

$$q_i = \frac{24(L_{mix} - L_{ex})}{a_i(t_{at} - S)}, \quad (11.15)$$

де  $t_{at}$  – період аерації, год.

Місткість аеротенка-витиснювача визначають з урахуванням

циркуляційної витрати

$$W_{atv} = t_{atv} \left( R_i \bar{q}_w \right) \quad (11.16)$$

При проектуванні аеротенків-витиснювачів слід урахувувати, що режим витиснення при відношенні довжини коридорів  $l_{am}$  до ширини  $B_{atm}$  дорівнює понад 30. При  $l_{am}/B_{atm}$  менше 30 необхідно передбачати секціонування коридорів з п'ятьма – шістьма осередками.

Приріст активного мулу визначають за формулою (11.5).

За табл. 11.8 можна підібрати відповідно до розрахунків типовий проект аеротенка-витиснювача без регенератора з типовими розмірами секцій і коридорів.

Витрата повітря для аеротенка-витиснювача обчислюється за формулами (11.6 – 11.8), (11.10), інтенсивність аерації  $J_a$  – за формулою (11.9) з урахуванням примітки.

При підборі механічних, пневмомеханічних і струминних аераторів необхідно визначати кількість аераторів за формулою (11.11).

### Методика розрахунку аеротенків з регенераторами

При концентрації органічних забруднень у стічних водах, що виражаються їхнім кисневим еквівалентом БСК<sub>повн</sub>, більшим ніж 150 мг/л, аеротенки проектують з регенераторами. При цьому рекомендовано застосовувати аеротенки-витиснювачі при БСК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить, до 300 мг/л; аеротенки-змішувачі – при БСК<sub>повн</sub> до 1000 мг/л у двоступінчастих схемах, особливо при залпових скиданнях стічних вод промисловими підприємствами.

При регенерації активного мулу доцільно застосовувати аеротенки-витиснювачі 2-3-4 – коридорного типу, конструкція яких дозволяє відводити 25 – 50% їхнього об'єму під регенератори.

Для аеротенків з регенераторами визначають тривалість окиснювання органічних забруднень за формулою

$$t_0 = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i \cdot a_r \left( 1 - S \rho \right)}, \quad (11.17)$$

де  $L_{en}$  – БСК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить в аеротенк, з урахуванням зниження БСК<sub>повн</sub> при механічному очищенні, мг/л;

$L_{ex}$  – БСК<sub>повн</sub> очищеної води, мг/л, визначеної за необхідним ступенем очищення стічних вод;

$R_i$  – ступінь рециркуляції активного мулу, визначають за формулою (11.14);

$S$  – зольність мулу, приймається в частках одиниці, дорівнює 0,3;

$\rho$  – питома швидкість окиснювання, що обчислюється за формулою (11.2) при дозі мулу  $a_r$ ;

$a_r$  – доза мулу в регенераторі, г/л, визначають за формулою

$$a_r = a_i \left( \frac{1}{2R_i + 1} \right), \quad (11.18)$$

де  $a_i$  – доза мулу в аеротенку.

Тривалість обробки води в аеротенку, год,

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \cdot \lg \frac{L_{mix}}{L_{ex}}. \quad (11.19)$$

При розрахунку аеротенків-змішувачів з регенерацією доза мулу  $a_i$  приймається такою, що дорівнює дозі мулу в регенераторі  $a_r$ , при розрахунку аеротенків-витиснювачів з регенерацією  $a_i = 2 - 4,5$  г/л (табл. 11.1). Тривалість аерації в аеротенку  $t_{at}$  визначається з урахуванням розведення циркулюючою витратою, тривалість окиснювання  $t_0$  – без урахування розведення [3]. Біохімічна потреба в кисні  $L_{mix}$  визначається за формулою (11.13) з урахуванням розведення циркуляційною витратою.

Тривалість регенерації, год, знаходять за формулою

$$t_r = t_0 - t_{at}. \quad (11.20)$$

Місткість аеротенка,  $m^3$ , розраховують за виразом

$$W_{at} = t_{at} (R_i + R_r) q_w, \quad (11.21)$$

де  $q_w$  – розрахункова витрата, дорівнює середньогодинному значенню в години максимального припливу стічних вод,  $m^3$ /год.

Об'єм регенераторів  $W_r$ ,  $m^3$ , визначають за формулою

$$W_r = t_r \cdot R_i \cdot q_w. \quad (11.22)$$

Загальний обсяг аеротенка і регенератора,  $m^3$ ,

$$W = W_{at} + W_r. \quad (11.23)$$

Слід відзначити, який відсоток у загальному обсязі аеротенка  $W$  складає місткість регенератора  $W_r$ . У двокоридорних аераторах можна 50% об'єму аеротенка відвести під регенерацію, у трикоридорних – 33%, у чотирикоридорних – 25 і 50%.

За формулою (11.4) визначають довжину секції аеротенка, за табл. 11.2 чи 11.8 уточнюють основні параметри і типовий проект аеротенка.

Для всіх типів аеротенків з регенератором розраховують приріст активного мулу  $P_i$  за формулою (11.5), витрату повітря  $Q_{air}$  – за рівнянням (11.10), інтенсивність аерації  $J_a$  – за формулою (11.9), а при виборі механічних, двокоридорних і струминних аераторів – їхнє число  $N_{ma}$  – за формулою (11.11). Число аераторів у регенераторах і на першій половині довжини аеротенків-витиснювачів слід приймати вдвічі більше, ніж на іншій довжині аеротенків.

### Приклади розрахунку аеротенків

#### Приклад 1

*Вихідні дані:*

витрата стічних вод від міста  $Q = 35000$   $m^3$ /доб;  
розрахункова витрата  $Q_{\text{ч}} = 2217$   $m^3$ /год;

БСК<sub>повн</sub> стічних вод, що надходять,  $L_{en} = 125$  мг/л;

БСК<sub>повн</sub> очищених стічних вод  $L_{ex} = 15$  мг/л;

концентрація зважених речовин, що надходять в аеротенк,  $C_{cdp} = 150$  мг/л;

$t_n$  – середньомісячна температура в літній період.

*Розрахувати:* аеротенки, загальну витрату повітря, котре подається в аеротенки, і приріст мулу.

Приймаємо аеротенки -змішувачі без регенераторів, тому що  $L_{en} \leq 150$  мг/л. Розраховуємо період аерації за формулою (11.1).

Питому швидкість окислювання на 1 м беззольної речовини мулу в годину визначаємо за формулою (11.2), при цьому дозу мулу  $a_i$  приймаємо відповідно до табл. 11.7.

$$\rho = 85 \frac{15 \cdot 2}{152 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 15} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 3} = 20 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{год}).$$

Період аерації

$$t_{atm} = \frac{125 - 15}{3(-0,3) \cdot 20} = 2,624 \text{ год.}$$

Необхідну місткість аеротенка враховуємо без рециркуляції витрати за формулою (11.3)

$$W_{atm} = 2,624 \cdot 2217 = 5817 \text{ м}^3.$$

Користуючись табл. 11.2, підбираємо за типовим проектом 902-2-268 двосекційний трикоридорний аеротенк - змішувач із шириною коридору  $B_{atm} = 6$  м, робочою глибиною  $H_{atm} = 5$  м.

За формулою (11.4) обчислюємо довжину кожної секції аеротенка:

$$l_{at} = \frac{5817}{2 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 3} = 32 \text{ м.}$$

Приймаємо довжину секції 36 м (кратною 6 м – довжині стінової панелі). Загальний об'єм підібраних аеротенків дорівнює  $6480 \text{ м}^3$ .

Фактичний час перебування стічної води  $W/Q_{расч} = 6480/2217 = 2,9$  год, що допустимо перевищує розрахунковий час аерації на 0,3 години.

Приріст мулу визначаємо за формулою (11.5)

$$P_i = 0,8 \cdot 150 + 0,3 \cdot 125 = 157,5 \text{ мг} / \text{л}.$$

Питому витрату повітря  $q_{air}$  обчислюємо за формулою (11.6).

При цьому приймаємо дрібноміхурові аератори з керамічних фільтросних пластин, відношення площі фільтросів до площі аеротенка  $f_{az}/f_{at} = 0,1$ , звідси  $K_1 = 1,47$  (табл. 11.3).

Коефіцієнт  $K_T$  визначаємо за формулою (11.7):

$$K_T = 1 + 0,02(21 - 20) = 1,02,$$

розчинність кисню у воді  $C_a$  – за формулою (11.8):

$$C_a = \left( \frac{1 + 5}{20,6} \right) \cdot 8,89 = 11,05 \text{ мг} / \text{л}.$$

Звідси

$$q_{\text{air}} = \frac{1,1 \cdot (25 - 15)}{1,47 \cdot 2,92 \cdot 1,02 \cdot (1,05 - 2)} = 3,05 \text{ м}^3 / \text{м}^3.$$

За формулою (11.9) знаходимо інтенсивність аерації

$$I_0 = \frac{3,05 \cdot 5}{2,624} = 5,82 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{год}.$$

Інтенсивність аерації  $I_0 = 5,82$ , тому що вона більша за  $I_{\text{min}}$  (табл. 11.4) і менша  $I_{\text{max}}$  (табл.11.3) для прийнятих значень  $K_2$  і  $K_1$ . Отже отримана величина інтенсивності аерації входить у допустимі межі й немає потреби в перерахуванні.

Загальну витрату повітря, котре подається в аеротенк, знаходимо за формулою (11.10)

$$Q_{\text{air}} = 2217 \cdot 3,05 = 6762 \text{ м}^3/\text{год}.$$

### Приклад 2

*Вихідні дані:*

витрата стічних вод від міста  $Q = 60000 \text{ м}^3/\text{доб}$ ;  $Q_{\text{расч}} = 3725 \text{ м}^3/\text{год}$ ;

БСК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить,  $L_{\text{ен}} = 140 \text{ мг/л}$ ;

БСК<sub>повн</sub> очищених стічних вод  $L_{\text{ex}} = 15 \text{ мг/л}$ ;

*Розрахувати:* аеротенки.

Приймаємо аеротенки-витиснювачі без регенерації активного мулу, тому що  $L_{\text{ен}} \leq 150 \text{ мг/л}$ .

Визначаємо ступінь рециркуляції за формулою (11.14), прийнявши в першому наближенні муловий індекс  $I = 100 \text{ см}^3/\text{м}$  і дозу мулу відповідно до табл.11.1  $a_i = 3 \text{ г/л}$ .

$$R_i' = \frac{3}{10000 / 100 - 3} = 0,43.$$

При розрахунку аеротенків-витиснювачів з регенерацією та без неї враховуємо рециркуляційну витрату. Визначаємо БСК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить у початок аеротенка, з урахуванням розведення рециркуляційної витрати за формулою (11.13)

$$L_{\text{mix}}' = \frac{(40 + 15 \cdot 0,43)}{(1 + 0,43)} = 102,4 \text{ мг/л}.$$

Період аерації знаходимо за формулою

$$t_{\text{atv}}' = \frac{1 + 0,07 \cdot 3}{85 \cdot 2 \cdot 3 \cdot (-0,3)} \left[ (1 + 0,625) (102,4 - 15) + 33 \cdot 2 \cdot \ln \frac{102,4}{15} \right] \cdot 1,5 = 1,81 \text{ год}.$$

Відповідно до СНіП 2.04.03 – 85 приймаємо період аерації таким, що дорівнює 2 год.

Розраховуємо навантаження на мул за формулою (11.15). Тут  $L_{\text{ен}} = L_{\text{mix}}$ ,

$$q_i = \frac{24 \cdot (102,4 - 15)}{3 \cdot (-0,3) \cdot 2} = 499 \text{ мг/л} \cdot \text{доб}.$$

Визначаємо скоректоване значення мулового індексу  $I_1 = 95 \text{ см}^3/\text{м}$  за табл. 11.7 й уточнюємо значення ступеня рециркуляції

$$R_i^2 = \frac{3}{1000 / 95 - 3} = 0,4.$$

Уточнюємо БСК<sub>повн</sub> стічних вод, що надходять в аеротенк-витиснювач

$$L_{mix}^2 = \frac{40 + 15 \cdot 0,4}{1 + 0,4} = 104,3 \text{ мг/л.}$$

Час аерації

$$t_{avr}^\alpha = \frac{1 + 0,07 \cdot 3}{85 \cdot 2 \cdot 3 \cdot (-0,3)} \left[ 0 + 0,625 (104,3 - 15) + 33 \cdot 2 \frac{104,3}{15} \right] \cdot 1,5 = 1,85 \text{ год.}$$

Навантаження на мул

$$q_i' = \frac{24 \cdot (104,3 - 15)}{3 \cdot (-0,3) \cdot 2} = 510,3 \text{ мг/(г·доб)}.$$

За табл. 11.7 визначаємо уточнене значення  $I_1 = 98 \text{ см}^3/\text{м}$ . Отримані величини незначно відрізняються від попередніх значень, тому далі уточнювати не будемо.

Обчислюємо місткість аеротенка-витиснювача з урахуванням рециркуляційної витрати активного мулу за формулою (11.16)

$$W_{avr} = 2 (1 + 0,4) \cdot 3725 = 10430 \text{ м}^3,$$

і за табл. 11.8 підбираємо двосекційний чотирикоридорний аеротенк - витиснювач з шириною коридору  $B_{at} = 4,5 \text{ м}$ , робочою глибиною  $H_{at} = 4,4$ , числом коридорів  $m = 4$ . Номер типового проекту аеротенка 902-2-178.

Довжину секції визначаємо за формулою (11.4)

$$l_{at} = \frac{10430}{2 \cdot 4,4 \cdot 4,5 \cdot 4} = 65,8 \approx 66 \text{ м.}$$

## Тема 12. Розрахунок збитків, нанесених водним ресурсам від господарської діяльності

Ефективність з економічної точки зору можна оцінити за допомогою розрахунків збитків, яких зазнає навколишнє природне середовище, без будівництва та ефекту природоохоронних заходів у певному регіоні.

Збитки водним ресурсам від скидання стічних вод можна визначити за формулою, грн/рік,

$$Y = \gamma \cdot G_k \cdot M, \quad (12.1)$$

де  $\gamma$  – множник у цінах 1990 року, який дорівнює 400 грн/ум.тонну;

$G_k$  – константа, що має різні значення для різних водогосподарських ділянок України;

$M$  – приведена маса річного скидання домішок певним джерелом (ППР), ум. тонн/рік,

$$M = \sum_{i=1}^n A_i \cdot m, \quad (12.2)$$

де  $A_i$  – показник відносної небезпеки скидання  $i$ -ої речовини у

водоймище,  
ум.тонн/тонну,

$m_i$  – загальна маса річного скидання  $i$ -ої домішки у водоймище, тонн/ рік.

Згідно з Методикою розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів, затвердженою наказом від 18.05.95 за № 37, розрахунок величини збитків виконують в такому порядку:

– збитки для наднормативних скидів визначаються за формулою

$$Z_{\text{над}} = V * T * (C_{\text{с.ф.}} - C_{\text{д.}}) * \Sigma(0,003 * A_i * n) * K * 10^{-3}, \quad (12.3)$$

де  $V$  – витрати зворотних вод,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$T$  – тривалість наднормативного скидання, годин;

$C_{\text{с.ф.}}$  – середня фактична концентрація забруднюючих речовин у зворотних водах,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;

$C_{\text{д}}$  – дозволена для скидання концентрація забруднюючих речовин, визначена при затвердженні ГДС (ТПС)  $\text{г}/\text{м}^3$ . У разі скидання речовин, які відсутні в переліку допустимих для скидання, а фактична концентрація їх перевищує ГДК для водного об'єкта, що приймає зворотні води, в розрахунковій формулі  $C_{\text{д}}$  приймається таким, що дорівнює ГДК;

0,003 – базова ставка відшкодування збитків, у частках неоподаткованого мінімуму доходів громадян, нмд/кг (розрахована як середня вартість знешкодження різних забруднюючих речовин у частках неоподаткованого мінімуму доходів за одиницю маси речовини);

$A_i$  – показник відносної небезпечності речовини; у разі скидання речовин, для яких не встановлені рівні ГДК або ОБРВ, показник відносної небезпечності приймається таким, що дорівнює 100, а при ГДК – «відсутність» – 100000;

$n$  – величина неоподаткованого мінімуму доходів громадян в одиницях національної валюти;

$K$  – коефіцієнт, що враховує категорію водного об'єкта;

10-3 – коефіцієнт, який ураховує розмірність величин;

– збитки для самовільних, аварійних та санкціонованих вимушених скидань зворотних вод (крім скидів із водних транспортних засобів) обчислюються за формулою

$$Z_{\text{над}} = V * T * C_{\text{с.ф.}} * \Sigma(0,003 * A_i * n) * K * 10^{-3}, \quad (12.4)$$

де позначення аналогічні до тих, що використані у попередній формулі;

– збитки для скидань зворотних вод із водних транспортних засобів визначаються за формулою

$$Z_{\text{в}} = \Sigma(W * C_{\text{ф.}} * 0,003 * A_i * n * K * 10^{-3}), \quad (12.5)$$

де  $C_{\text{ф}}$  – фактична концентрація забруднюючої речовини у зворотних водах,  $\text{г}/\text{м}^3$ . У разі відсутності даних про витрати скинутих із судна господарсько-фекальних вод та їх концентрацію для суден 1-ї категорії (судна довжиною більше 65 м необмеженого району плавання, незалежно

від чисельності екіпажу) приймається 50 л, а для всіх інших категорій – 25 л на одну особу за добу при БСК<sub>20</sub> 350 мг/л і вмісті завислих речовин 350 мг/л;

– збитки для аварійних та інших скидів сировини, речовин у чистому вигляді (нафтопродуктів, фенолів) обчислюються за формулою

$$Z_a = (M \cdot K_x \cdot 0,17) \cdot A_i \cdot n \cdot K, \quad (12.6)$$

де М – маса скинутої забруднюючої речовини, кг.

**Задача 1.** Унаслідок порушення технологічного режиму очищення якість СВ після очищення протягом двох тижнів не відповідала затвердженим величинам ГДС. Наведіть розрахунки еколого-економічного оцінювання збитків при вихідних даних, наведених у таблиці 12.1

Таблиця 12.1

№ з/п	Назва показника	Варіанти		
		Значення коефіцієнта, що враховує категорію водного об'єкта, γ		
		1,6	1,4	2,0
1	Витрати СВ, тис. м <sup>3</sup> /добу	20	10	15
2	Середня фактична концентрація, мг/л:			
	а) органічних речовин за БПК=0 (A <sub>i</sub> =0,3), c <sub>q</sub> =15 мг/л;	35	40	45
	б) замулюючих речовин (A <sub>i</sub> =0,3, c <sub>q</sub> =15 мг/л);	30	28	33
	в) нафтопродуктів (A <sub>i</sub> =20, c <sub>q</sub> =0,3 мг/л);	2,5	3,0	1,5
	г) речовина «л»	2,0	1,0	2,0
3	Величина неоподаткованого мінімуму доходів громадян, грн	17	17	17

**Задача 2.** Унаслідок аварії, що сталася на каналізаційній насосній станції, протягом 12 діб у водний об'єкт рибогосподарського користування 1-ї категорії скидалися стічні води місцевої каналізації. Наведіть розрахунки еколого-економічного оцінювання збитків за наявності вихідних даних, наведених у таблиці 12.2

Таблиця 12.2

№ з/п	Назва показника	Варіанти		
		Значення коефіцієнта, що враховує категорію водного об'єкта, γ		
1	Витрати СВ, м <sup>3</sup> /год	14968	15000	12436
2	Середня фактична концентрація, мг/л:			
	а) БСК <sub>20</sub> = 105 (A <sub>i</sub> =0,3);	35	45	40
	б) завислих речовин = 72,5 (A <sub>i</sub> =0,3);	30	27	25
	в) нафтопродуктів = 8,57 (A <sub>i</sub> = 20)	2,0	1,5	1,7

3	Величина неоподаткованого мінімуму доходів громадян, грн	17	17	17
---	--	----	----	----

### Тема 13. Розрахунок забруднення водних об'єктів біогенними елементами, що виносяться із сільськогосподарських угідь

Сільське господарство – головний водоспоживач серед галузей народного господарства. Разом із зворотними водами зрошувальних систем, дренажним і поверхневим стоком, скидними водами у водні об'єкти надходять у значній кількості мінеральні солі, залишки добрив та пестицидів. Особливу загрозу для водних об'єктів являють біогенні елементи, насамперед з'єднання азоту й фосфору, збільшення концентрацій яких у воді прискорює евтрофікацію озер і водоймищ та, як наслідок, призводить до необхідності ліквідації цілого ряду негативних явищ. У зв'язку з хімізацією сільськогосподарського виробництва у водойми і водотоки виносяться до 80 – 90% річного навантаження фосфору. У ряді регіонів країни на частку сільського господарства припадає до 80% з'єднань азоту від загального їхнього надходження у водні об'єкти. Не менш шкідливими є нітрати, що мають високу міграційну активність їх концентрації, перевищуючи ГДК, викликають таке найнебезпечніше захворювання у людини, як токсичний ціаном. З різноманітних причин тільки поверхневим і дренажним стоками у водойми й водотоки виносяться до 22 % внесених на поля з'єднань азоту, та навіть при дотриманні всіх правил і нормативів унесення азотних добрив із полів надходить до 10% унесеного азоту.

Середня концентрація нітратів у водоприймачеві після надходження в нього поверхневого і дренажного стоків, мг/л,

$$C_{NO_3} = \frac{Q_P \cdot C_P + \sum_{i=1}^N C_{ДРi} \cdot Q_{ДРi} \cdot F_i + \sum_{i=1}^M C_{ПОВi} \cdot Q_{ПОВi} \cdot F_i}{Q_P + \sum_{i=1}^N C_{АРi} \cdot F_i + \sum_{i=1}^M Q_{ПОВi} \cdot F_i}, \quad (13.1)$$

де  $Q_P$  – витрата води у водоприймачеві в розрахунковий період, л/с;  
 $C_P$  – фонові концентрації нітратів у воді водоприймача у створі перед ділянкою зрошення (осушення), мг/л;

$C_{др.i}$ ,  $C_{пов.i}$  – концентрації нітратів відповідно в дренажному і поверхневому стоках із сільгоспугідь, мг/л.

$F_i$  – зрошувана (дренажна) площа, га;

$Q_{др.i}$ ,  $Q_{пов.i}$  – модуль відповідно дренажного і поверхневого стоків, л/доб га;

N – кількість ділянок дренажного стоку;  
M – кількість ділянок поверхневого стоку.

### Приклад 1

Сільгоспідприємство має масив зрошення площею 600 га. Дренажний модуль масиву зрошення – 3 м<sup>3</sup>/доб га, модуль поверхневого стоку – 12 м<sup>3</sup>/доб га. Концентрація нітратів у дренажному стоці на першій ділянці площею 200 га – 25 мг/л, на другій ділянці площею 400 га – 20 мг/л, у поверхневому стоці відповідно по ділянках – 5 і 3 мг/л. Фонова концентрація нітратів у р. Швидка (на ділянці до меліоративного поліпшення земель) – 3 мг/л; витрата води в річці у розрахунковий період – 2 м<sup>3</sup>/с. Визначити середню концентрацію нітратів у р. Швидка на ділянці виносу з масиву зрошення.

### Розв'язок

Усі кількісні показники перекладаємо в одну систему одиниць, а потім підставляємо у формулу

$$C_{NO_3} = \frac{Q_P \cdot C_P + \sum_{i=1}^N C_{ДРi} \cdot Q_{ДРi} \cdot F_i + \sum_{i=1}^M C_{ПОВi} \cdot Q_{ПОВi} \cdot F_i}{Q_P + \sum_{i=1}^N C_{АРi} \cdot F_i + \sum_{i=1}^M Q_{ПОВi} \cdot F_i};$$

$$C_{NO_3} = \frac{2000 \cdot 3 + \left[ 25 \cdot 3000 \cdot 200 + 20 \cdot 3000 \cdot 400 \right] + \left[ 5 \cdot 12000 \cdot 200 + 3 \cdot 12000 \cdot 400 \right]}{2000 + \left[ 3000 \cdot 200 + 3000 \cdot 400 \right] + \left[ 2000 \cdot 200 + 12000 \cdot 400 \right]} = 7,3 \text{ мг/л}$$

За даних конкретних значень витрат ріки і незначного фонового вмісту нітратів концентрація останніх у воді на ділянці ріки в районі масива зрошення збільшується не на багато (на 0,2 мг/л), а загальний уміст нітратів – значно менший, ніж ГДК за цим інгредієнтом для водойм госпитного призначення (40 мг/л). Проте в районах інтенсивного сільськогосподарського виробництва при невеликій асимілюючій здатності водного об'єкта (перш за все малих річок) і відносно високих концентраціях нітратів у дренажному стоці (наприклад, на масивах зрошення сточними водами тваринницьких комплексів) виникає проблема вибору спеціальних водоохоронних заходів.

Значення дренажного модуля для конкретних масивів зрошення можна визначити за даними гідрогеолого-меліоративних експедицій. Вони залежать від типу порід зони аерації, кліматичних умов, норм зрошення, геологічних та гідрогеологічних умов і т. д. Для природних територіальних систем, на прикладі пісків і суглинків, значення дренажного модуля такі:

	Весна	Літо	Осінь	Зима
Суглинки	6 – 8	1 – 3	3 – 5	2 – 3
Піски	20 – 30	2 – 7	7 – 10	3 – 7

## Приклад 2

Колгосп має 800 га зрошуваних земель, на яких використовуються очищені стічні води тваринницьких комплексів. Підстилаючі гірські породи представлені пісками, що зумовлює високі значення дренажного модуля –  $12 \text{ мг л}^{-1} \text{ га}^{-1}$ , модуля поверхневого стоку –  $5 \text{ м}^3 \text{доб}^{-1} \text{ га}^{-1}$ . Концентрація нітратів у дренажному стоці на розрахунковий період (весна) –  $80 \text{ мг/л}$ , у поверхневому стоці –  $10 \text{ мг/л}$ . Фонова концентрація у річці –  $15 \text{ мг/л}$ , її витрата на розрахунковий період –  $0,05 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Визначити необхідність призначення спеціальних водоохоронних заходів на ділянці скидання дренажних вод.

### Розв'язок

Середню концентрацію нітратів у річці визначаємо за формулою

$$C_{NO_3} = \frac{50 \cdot 15 / 0.13 \cdot 800 \cdot 80 + 0.06 \cdot 800 \cdot 10}{50 + 104 + 48} = 47.7 \text{ мг / л .}$$

Концентрація нітратів у річці на ділянці зрошення стічними водами перевищує значення ГДК для водотоків госпитного призначення на  $7,7 \text{ мг/л}$ . Для недопущення такого положення необхідно застосовувати спеціальні водоохоронні заходи: для збору й очищення поверхового стоку – різні типи протиерозійних заходів, які виконують водоохоронну функцію, наприклад фітомеліорацію схилів, що прилягають до річки; для знешкодження дренажного стоку – водоохоронні біоінженерні спорудження чи їхні аналоги.

Альтернативою застосуванню спеціальних водоохоронних рішень може бути перегляд норм зрошення стічними водами для певної конкретної ділянки або спеціальні сівозміни.

## Тема 14. Зони санітарної охорони

Проект зони санітарної охорони (ЗСО) розробляють для джерел водопостачання, ділянок водопровідних споруд і водоводів. Зона санітарної охорони з центром у точці забору води складається з першого поясу – суворого режиму, другого і третього – режимів обмеження.

Для водозабірних споруд така зона складається з першого поясу і санітарно-захисної смуги, для водоводів передбачається тільки санітарно-захисна смуга. Перший пояс ЗСО потрібний для запобігання випадковому чи навмисному забрудненню води джерела, а інші пояси і смуги – для навколишніх промислових об'єктів. Санітарні заходи в ЗСО регламентуються СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». Перший пояс обов'язково повинен мати огородження. Межі ЗСО встановлюються такі:

### *для поверхневих джерел*

#### 1-й пояс для водотоків

- уверх за течією – не менше 200 м, вниз за течією – не менше 100 м;

- по берегу, що примикає, – не менше 100 м від урізу води при літньо-осінній межні;
- у напрямку до протилежного берега – вся акваторія та протилежний берег завширшки 50 м від урізу води при літньо-осінній межні та ширині ріки до 100 м і смуга шириною 100 м при ширині ріки понад 100 м;

1-й пояс для водоймищ

- по акваторії в усіх напрямках – не менше 100 м;
- по берегу, що примикає до водозабору – не менше 100 м від урізу води при нормальному підпірному рівні у водоймищі або літньо-осінній межні;

2-й пояс для водотоків

$$L = 86,4t\upsilon, \quad (14.1)$$

де L – відстань уверх за течією, км;

$\upsilon$  – швидкість потоку води у літньо-весняну межень, м/с;

t – час протікання води (для кліматичних районів 1А, Б, В, Г і 11А – 5 діб; для інших – 3 доби; при цьому Північ України відноситься до району 111В; Південний Схід – 111В, Південний Захід – 111Б); униз за течією – не менше 250 м; бічні межі – 500 м від урізу води літньо-осінньої межні при рівнинному рельєфі; при гористому рельєфі – до вершини першого схилу; 750 м – при пологому і 1000 м – при крутому;

2-й пояс для водоймищ

бічні межі такі ж, як і для водотоку: по акваторії в усіх напрямках на відстані 3 км – при кількості вітрів до 10% в бік водозабору та 5 км – при кількості вітрів більше 10%;

3-й пояс

уверх і вниз за течією водотоку або в усі боки по акваторії водоймища збігається з другим поясом, бічні межі – по вододілу, але не більше 3 – 5 км від водотоку або водойми;

**для підземних джерел**

1-й пояс

30 м – при використанні захищених підземних вод;

50 м – при використанні недостатньо захищених підземних вод;

для інфільтраційного водозабору, який розміщено від водоймища на відстані, меншій ніж 150 м, входить також уся прибережна зона;

для підруслових вод так, як і для поверхневих;

50 м – для інфільтраційних свердловин, колодязів у схемі штучного поповнення підземних вод і 100 м – для відкритих басейнів.

2-й пояс

Установлюється, виходячи із часу просування води з мікробними забрудненнями, для ґрунтових вод, які мають гідравлічний зв'язок з

відкритими водоймищами, – 100 діб; для ґрунтових вод за відсутності такого зв'язку – 400 діб; для 3-го – 4-го кліматичних районів – 200 діб;

напірна і безнапірна міжпластова вода з гідравлічним зв'язком з водоймищем – 200 діб, те ж саме, але без гідравлічного зв'язку – 200 діб.

### 3-й пояс

Установлюється, виходячи з часу просування води з хімічним забрудненням, – протягом 25 років.

Межі 1-го поясу для водоємних споруд установлюються такі: для резервуарів чистої води, фільтрів (крім напірних, контактних освітлювачів) – не менше 30 м; від стін інших споруд і стовбурів водонапірних башт – не менше 15 м.

Санітарно-захисна смуга цих споруд має ширину, не меншу ніж 100 м, для водоводів діаметром до 1000 мм вона встановлюється до 50 м у мокрих ґрунтах та до 10 м – у сухих.

Зони санітарної охорони повинні бути узгоджені з місцевими органами санітарно-епідеміологічної служби, в окремих утруднених умовах розміри деяких поясів і смуг можуть бути скорочені.

Для визначення ширини ЗСО для підземного джерела можна користуватися виразом

$$R = \sqrt{\frac{Q_{\text{вод}} T_p}{\pi m \Pi}}, \quad (14.2)$$

де R – відстань від межі зони за відсутності побутового потоку підземних вод, м;

$Q_{\text{вод}}$  – продуктивність водозабору, м<sup>3</sup>/доб;

m – потужність водоносного пласта, м;

$T_p$  – розрахунковий час просування забруднень до водозабору, діб;

$\Pi$  – активна пористість.

### **Приклади розрахунку**

#### **Приклад 1**

Запроектувати зони санітарної охорони для чотирьох водозабірних свердловин з дебітом  $q_{\text{св}} = 224$  м<sup>3</sup>/добу, які забирають воду із захищеного водоносного пласта потужністю  $m = 10$  м з глибини 70 м, активна пористість порід  $\Pi = 0,2$ . Напрямок побутового потоку підземних вод відсутній. Відстань між свердловинами – 200 м.

Межа першого поясу ЗСО встановлюється на відстані 30 м від свердловини, в плані – квадрат 60х60 м, огорожений металевою сіткою з чотирма нитками колючого дроту на кронштейнах із внутрішньої сторони.

Другий пояс ЗСО повинен мати межу на відстані від свердловин

$$R_2 = \sqrt{\frac{224 \cdot 200}{3.14 \cdot 10 \cdot 0.2}} = 84 \text{ м.}$$

Установлюємо межу другого поясу ЗСО, що охоплює всі свердловини по контуру з розміром у плані 800\*200 м.

Третій пояс ЗСО повинен охоплювати зону радіусом від крайньої свердловини

$$R_3^1 = \sqrt{\frac{224 \cdot 25 \cdot 365}{3.14 \cdot 10 \cdot 0.2}} = 580 \text{ м.}$$

Установлюємо третій пояс ЗСО радіусом  $R_3 = 580 + 100 + 50 = 730$  м із центром між другою і третьою свердловинами (рис. 14.1).

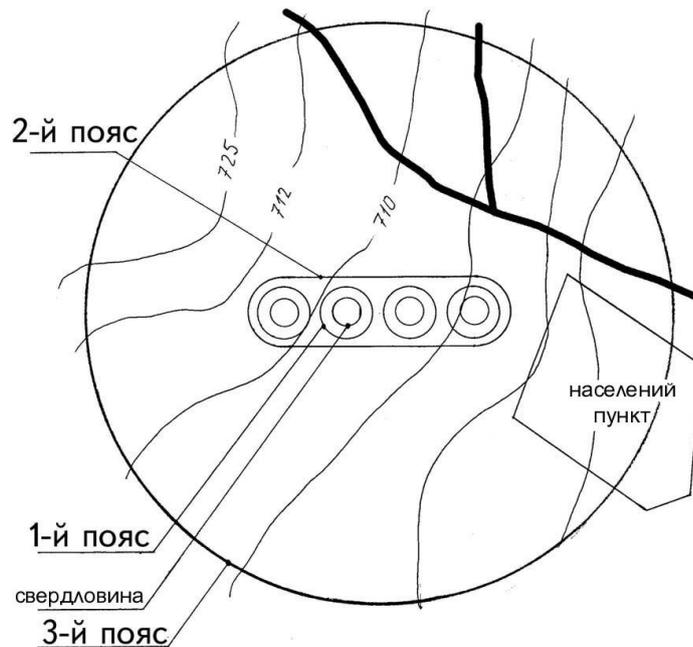


Рис. 14.1. Ситуаційний план підземного водозабору з межами поясів зони санітарної охорони

### Приклад 2.

Запроектувати зону санітарної охорони для водозабору з ріки, яка має швидкість потоку  $V_{\max} = 1,1$  м/с  $V_{\min} = 0,4$  м/с. Ширина ріки під час літньо-осінньої межені 30 м. Водозабір знаходиться у Житомирській області; водорозділ на відстані 7 км від ріки.

### Розв'язок

Межі першого поясу ЗСО: вверх по течії – 200 м, вниз – 100 м, протилежний – уся ширина ріки та смуга на березі завширшки 50 м.

Межа другого поясу ЗСО: вниз по течії – 250 м, уверх  $L = 86,4 \cdot 0,4 \cdot 0,3 = 103$  км, бокові межі – на відстані 500 м.

Межі третього поясу: вверх і вниз, як на другому поясі, бокові – на відстані 3 км від ріки (рис.14.2).

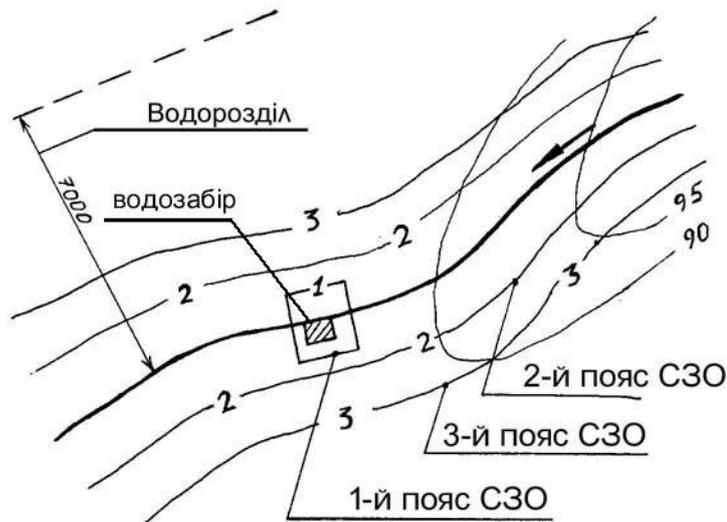


Рис. 14.2. Ситуаційний план поверхневого водозабору з межами поясів зони санітарної охорони

### **Тема 15. Екологічний моніторинг поверхневих вод у школі**

Учнівське дослідження з екології поверхневих водойм поєднує у собі використання теоретичних знань і практичних дій, вимагає вміння моделювати, будувати план дослідження, здійснювати експеримент, мати навички екологічного картографування, побудови схем, діаграм. Основними формами екологічної роботи, в яких реалізуються ці види діяльності, є: шкільні екологічні гуртки, науково-дослідницькі групи (МАН), лабораторії, екологічні загони, клуби, центри, будинки творчості, екологічні літні табори, практикуми, експедиції, шкільні наукові товариства, науково-практичні конференції тощо.

#### **Визначення фізичних властивостей води**

Дослідження органолептичних властивостей води (забарвлення, запаху, присмаку) має велике значення, оскільки їх погіршення легко виявляється і призводить до різкого зниження користування водними джерелами. Усунути ж ці недоліки звичайними методами очищення практично не вдається.

1. Уміст зважених частинок. Цей показник якості води визначають шляхом фільтрування певного об'єму води через паперовий фільтр і подальшого висушування осаду на фільтрі в сушильній шафі до постійної маси.

2. Кольоровість води визначають візуально, порівнюючи з розчинами, що імітують кольоровість природних вод.

3. Колір (забарвлення). При забрудненні водойми стоками промислових підприємств вода може мати забарвлення, не властиве

кольору природних вод. Для джерел господарсько-питного водопостачання забарвлення не повинне виявлятися в стовпчику висотою 20 см, для водойм культурно-побутового призначення – 10 см.

4. Прозорість характеризується граничною глибиною, на якій ще видно спеціальний білий диск діаметром близько 20 см (диск Секкі), котрий опускається у воду (можна взяти фанерку розміром 20x20 см з білою поверхнею, до якої прикріплений вантаж і мотузка з мітками на ній для визначення глибини).

5. Інтенсивність запаху також оцінюється при 20 і 60°C за 5-бальною системою інтенсивності запаху: ніякий (0 балів), дуже слабкий (1), слабкий (2), помітний (3), чіткий (4), дуже сильний (5 балів).

#### **Визначення хімічних показників води**

6. Водневий показник. рН можна встановити за допомогою універсального індикаторного паперу, порівнюючи його забарвлення зі шкалою; найбільш точно значення рН можна визначити на рН-метрі або за шкалою набору Алямовського.

7. Жорсткість води. Методами хімічного аналізу звичайно визначають загальну жорсткість (Жз) і карбонатну (Жк), а некарбонатна (Жн) розраховується як різниця Жз – Жк.

8. Розчинений кисень. Розчинений кисень установлюють за методом Вінклера.

9. Окиснюваність. Усі методи визначення окиснюваності умовні, а одержувані результати порівняльні тільки тоді, коли точно дотримуються всіх умов проведення аналізу. Найповніше окиснювання досягається діхроматом калію, тому діхроматну окиснюваність нерідко називають «хімічним споживанням кисню» (ХСК). Це основний спосіб визначення окиснюваності.

10. Біохімічне споживання кисню (БСК). Найпоширенішим є визначення БСК за різницею вмісту розчиненого кисню до й після інкубації у стандартних умовах (20°C, аеробні умови без додаткового доступу повітря і світла).

11. Аміак, іони амонію, нітрати, нітрити. Підвищення концентрації іонів амонію та нітритів звичайно вказує на свіже забруднення, у той час як збільшення вмісту нітратів – на забруднення у попередній час. Усі форми азоту, включаючи і газоподібну, здатні до взаємних перетворень.

12. Хлориди є складовою частиною більшості природних вод. Однак у воді річок концентрація хлоридів невелика та не перевищує 10 – 30 мг/л, тому підвищена кількість хлор-іонів вказує на забруднення джерела стоковими водами.

13. Сульфати. У річкових водах і у водах прісних озер вміст сульфатів часто коливається від 5 – 10 до 60 мг/дм<sup>3</sup>, у дощових водах – від 1 до 10 мг/дм<sup>3</sup>. Підвищення вмісту сульфатів погіршує органолептичні властивості води і чинить фізіологічний вплив на організм людини.

## **Визначення наявності рослинних індикаторів чистоти води**

14. Біоіндикація якості води з використанням водоростей (альгоіндикація). Як індикатори забруднення води органічними речовинами поряд з іншими організмами використовуються водорості. Розроблена спеціальна шкала, що дозволяє за складом водоростей оцінити ступінь органічного забруднення. При аналізі проб підраховується загальна кількість видів і кількість кожного виду (за 5-бальною шкалою); виявляються домінуючі види та їх сапробність; робиться висновок про переважання видів певної сапробності.

У полісапробній зоні водойми спостерігається велика кількість інфузорій і бактерій, видів водоростей небагато: хлорела, політома, деякі види хламідомонад. При цьому кількість водоростей може бути високою. Переважання полісапробів у природних водоймах, як правило, приурочене до місць скидання органічних стоків, місць «гниття». У мезосапробній зоні видове різноманіття водоростей велике. У бета-мезосапробній зоні видів водоростей більше, ніж у альфа-мезосапробній, але їх кількість може бути нижчою.

Наявність альфа-мезосапробів свідчить про існування осередків забруднення у відносно чистих водоймах або приурочено до ділянок, де закінчується вплив сильного забруднення (так, наприклад, у скидах очищених вод міської каналізації).

Бета-мезосапроби – показники помірного, можна сказати, природного забруднення, характерного для живої, наповненої багатьма гідробіонтами водойми: діатомея-планктон, кладофора (бентос, перифитона), спірогири, зигнеми, мікроцистис.

В олігосапробній зоні водорості різноманітні, але кількість їх невелика. Олігосапроби зустрічаються переважно в чистих джерелах, у мочажинах на верхових болотах, у річкових струмочках.

15. Сапробність водойм. Якість води оцінюють за рівнем сапробності, тобто за ступенем її насичення органічними речовинами. Водні об'єкти або їх ділянки залежно від умісту органічних речовин поділяють на полісапробні (личинки комара *Chaoborus*, мухи-бджоловидки *Fristalis tenax*),  $\alpha$ -мезосапробні,  $\beta$ -мезосапробні (інфузорія парамеція, карась, короп, лин) та олігосапробні, (форель, личинки мошок); найбільш забруднені – полісапробні водні об'єкти).

Кожному рівню сапробності відповідає свій набір індикаторних організмів-сапробіонтів. На основі індикаторної значущості організмів і їх кількості визначають індекс та відповідний йому рівень сапробності. Зі збільшенням ступеня забруднення водних об'єктів їх видова різноманітність, як правило, знижується. Тому зміна видової різноманітності є показником зміни якості води. Оцінювання видової різноманітності здійснюють на основі індексів різноманітності. Оцінювання якості води за функціональними характеристиками водного

об'єкта полягає в тому, що про її якість судять комплексно за величиною первинної продукції, інтенсивністю деструкції й деякими іншими показниками.

Виявити присутність небезпечної забруднюючої речовини у водоймі можна за допомогою проявів її токсичного ефекту на рибах (табл. 15.1).

Таблиця 15.1

### Деякі зовнішні ознаки отруєння риб

Токсиканти	Ознаки отруєння
Хлор	Вражені зябра та війковий епітелій. Кінчики зябер світлі. При загибелі – швидкі обертальні рухи.
Важкі метали	Товста слизова оболонка тіла і зябер. На зябрах і шкірі – відклади гідроксидів відповідних солей.
Фосфор	Вирячування очей.
Аміак та солі амонію	Судоми, вялоподібні обертальні рухи, розширення плавників, зяброва кровотеча, рот зімкнутий. Риба тоне хвостом донизу.
Залізо та його солі	На зяберних пелюстках бурий наліг гідроксиду заліза.
Фтор	Водянка, вирячування очей.
Мідь	Тіло вкрите голубуватим слизом.
СПАР	Ураження шкіри та плавників з наступним їх руйнуванням. Зябра яскраво-червоні, запалені.

### 16. Індикація сапробності водойми за допомогою молюсків.

Прісноводні молюски можуть слугувати біоіндикаторами ступеня забруднення водойми органічними речовинами, що скидаються з ферм, птахофабрик, свинарських комплексів, підприємств легкої промисловості та сфери побуту. Біоіндикатори – прісноводні молюски, чутливі до вмісту у воді органічних речовин і кисню. Відповідно виділяють  $\alpha$ -мезосапробів,  $\beta$ -мезосапробів та олігосапробів. Полісапробів серед молюсків немає.

17. Біоіндикація забруднення води. Гідробіологічні показники дають можливість оцінити якість води за тваринним населенням і рослинністю водойм. Зміна видового складу водних екосистем може відбуватися при такому слабкому забрудненні водних об'єктів, що його не можна виявити ніякими іншими методами.

Тому гідробіологічні показники є найбільш чутливими.

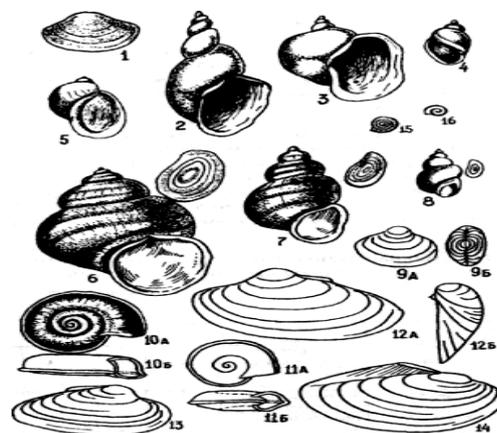


Рис. 15.1. Прісноводні молюски – біоіндикатори чистоти водойми:

1. Рогова шарівка. 2. Прудовик звичайний. 3. Прудовик ушковий. 4. Фіза ключова. 5. Прудовик яйцеподібний. 6. Лужанка справжня. 7. Лужанка смугаста. 8. Бігінія щупальцева. 9. Горошина (а, б). 10. Котушка звичайна (а, б). 11. Котушка кільова (а, б). 12. Перловиця роздута (а, б). 13. Перловиця звичайна. 14. Беззубка качина. 15. Котушка завита. 16. Котушка гладка

### **Визначення наявності тварин – індикаторів чистоти водойм**

18. Установлення ступеня забруднення водойми за індексом Гуднайта й Уотлея. Евтрофікацію водойми можна виявити у процесі її дослідження із застосуванням біоіндикаторів. Личинки хірономусів і кольцеців живуть у мулі, харчуються органічними залишками й пристосовані до нестачі кисню завдяки вмісту в крові гемоглобіну. Якщо у складі донного мулу наявні названі організми – це вірна ознака евтрофікації.

19. Оцінювання якості води малих річок і озер за біотичним індексом. Показником якості води є біотичний індекс, який установлюється за кількістю ключових та супутніх видів безхребетних тварин, що мешкають у досліджуваній водоймі. Найвищий біотичний індекс визначається числом 10, він відображає якість води екологічно чистих водойм, вода котрих містить оптимальну кількість біогенних елементів і кисню, у ній відсутні шкідливі гази й хімічні сполуки, здатні обмежити проживання безхребетних тварин. Визначивши кількість груп та ключових видів, знаходимо (табл. 15.2) вертикальний стовпчик і горизонтальний рядок та на перетині їх визначаємо біотичний індекс.

Таблиця 15.2

### **Визначення біотичного індексу прісноводних екосистем за донними безхребетними**

Ключові організми		Загальна кількість груп				
		0 – 1	2 – 5	6 – 10	11 – 15	16
		Біотичний індекс				
Личинки веснянок	Більше одного виду	-	7	8	9	10
	Тільки один вид	-	6	7	8	9
Личинки поденок	Більше одного виду	-	6	7	8	9
	Тільки один вид	-	5	6	7	8
Личинки ручейників	Більше одного виду	-	5	6	7	8
	Тільки один вид	4	4	5	6	7
Бокоплави	Інші види відсутні	3	4	5	6	7
Водяні віслочки	Інші види відсутні	2	3	4	5	6
Черви-трубочники / червоні личинки хірономід	Інші види відсутні	1	2	3	4	-
Усі інші ключові групи відсутні	Деякі організми, які не потребують розчиненого кисню, можуть бути наявними (личинки мух)	0	1	2	-	-

## Визначення класу якості за методом автографії на фотопапері

Техніка визначення рівня відновленості субстрату за допомогою автографії на фотопапері полягає в наступному:

1. Зразки мулу чи ґрунту, взяті напередодні, але не більше ніж за добу до початку досліду, кладуть у літрові або півлітрові хімічні склянки (чи банки). Зразки заливають дистильованою водою з досліджуваної водойми до їх повного насичення. Для заповнення водою всіх пор субстрату зразкам дають витримку близько однієї години. Донні відклади повинні бути покриті приблизно сантиметровим шаром води.

2. Фотопапір (глянсовий, тонкий, нормальний) нарізують у вигляді смуг розміром 4 x 9 см і після нумерації відповідно до номерів зразків поміщають вертикально у вологі зразки. Для цього торцем металевої лінійки або ножем із широким лезом роблять у зразку щілину глибиною близько 8,5 см і шириною 4 – 5 см, опускають у неї смужку фотопаперу, а потім ножем або лінійкою притискають субстрат до фотопаперу. Не рекомендується тримати фотопапір на світлі більше 15 – 20 хвилин. Цього часу цілком вистачить для його нарізання, маркування й установа в досліджуваній субстрат.

3. Після 72-годинної експозиції фотопапір витягують із субстрату, швидко промивають звичайною, а потім дистильованою водою, закріплюють протягом 5 хвилин у 25-процентному розчині гіпосульфїту і знову промивають.

4. Висушують смужки на фільтрувальному папері так, щоб емульсійний шар був зверху.

Таким чином, одночасно визначається і рівень відновленості середовища, і рівень активності анаеробних мікроорганізмів у субстраті. Відновлені та окиснені ділянки на фотопапері розрізняються за кольором. Більш темні плями свідчать про високу концентрацію відновлених речовин – продуктів життєдіяльності анаеробів. Слабозабарвлена поверхня на фотопапері відповідає тим місцям субстрату, де переважають окисні умови. Автографія мулів зазвичай пофарбована більш рівномірно. Аплікаційний метод дає гарні результати при екологічній діагностиці стану водойм за донними відкладами. Результати проведених досліджень вносяться (табл. 15.3, табл. 15.4) до екопаспорту

Таблиця 15.3

### Основні характеристики водойм

Біоіндикатори стану водойм. Види-біоіндикатори (оцінка кількості у

Показники	Точки відбору проб з указанням водойми					
	1	2	3	4	5	6

балах):

0 – вид не зустрічається; 1 – вид рідкісний (одиночні екземпляри); 2 – нормальна кількість; 3 – вид зустрічається дуже часто. За відсутності

оцінки великої кількості у клітині таблиці ставиться прочерк.

Таблиця 15.4

**Біоіндикація чистоти водойми**

Види-індикатори (оцінювання кількості у балах, 0-3)	Точки спостереження з указанням водойми					
Веснянки						
Поденки						
Бабки						
Жаби						
Рак						
Перловиця						
Пічкур						
Єлець						

**Додатки**  
**Додаток А**

Вимоги до якості води джерел централізованого господарсько-питного  
водопостачання

Показник	Одиниця	Норма
Сухий залишок	мг/л	1000
Сульфати	мг/л	500
Хлориди	мг/л	350
	Мг-екв/л	7 в окремих випадках, не більше 14
Залізо (у підземних джерелах)	мг/л	1,0
Колі-титр для джерел, намічуваних до використання	мл/шт.	1
Колі-титр для джерел, намічуваних до використання, з освітленням, знебарвленням та хлоруванням	мл/шт.	0,1
Запах і присмак при 20 °С	бал	3
Уміст солей важких металів, радіоактивних елементів та інших шкідливих речовин	мг/л	Має відповідати нормам, установленим головним санітарно-епідеміологічним управлінням Міністерства охорони здоров'я.

## Додаток Б

Токсикологічні показники нешкідливості хімічного складу питної води

№	Найменування показників	Одиниці вимірювання	Нормативи, не >	Клас небезпеки
1	Алюміній	мг/дм <sup>3</sup>	0,2 (0,5)	2
2	Барій	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	2
3	Миш'як	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	2
4	Селен	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	2
5	Свинець	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	2
6	Нікель	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	3
7	Нітрати (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	45,0	3
8	Фтор	мг/дм <sup>3</sup>	1,5	3

### Органічні компоненти

№	Найменування показників	Одиниці вимірювання	Нормативи, не >	Клас небезпеки
	Тригалометани	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	2
	(ТГМ, сума)	мг/дм <sup>3</sup>	0,06	2
	Хлороформ	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	2
	Дибромхлорметан	мг/дм <sup>3</sup>	0,002	2
	Термохлорвуглець	мг/дм <sup>3</sup>	0,0001	**
	Пестициди (сума)			

### Інтегральні показники

№	Найменування показників	Одиниці вимірювання	Нормативи, не >	Клас небезпеки
	Окислюваність (KMnO <sub>4</sub> )	мг/дм <sup>3</sup>	4,0	-
	Загальний органічний вуглець	мг/дм <sup>3</sup>	3,0	-

Примітки:

\* Величина, зазначена у дужках, допускається при обробленні води реагентами, що містять алюміній.

\*\* Перелік контрольованих пестицидів установлюють з урахуванням конкретної ситуації.

Вода не має містити інші токсичні компоненти (ртуть, талій, кадмій, нітрити, ціаніди, хром (6+)) у концентраціях, що визначаються стандартними методами досліджень.

### Органолептичні показники якості води

№	Найменування показників	Одиниці вимірювання	Нормативи, не >	Клас небезпеки
1	Запах	ПР*	2	-
2	Каламутність	НОМ*	0,5 (1,5)***	-
3	Кольоровість	град.	20 (30)	-
4	Присмак	ПР	2	-

5	Водневий показник рН у діапазоні	одиниці	6,5 – 8,5	-
6	Мінералізація загальна (сухий залишок)	мг/дм <sup>3</sup> мг/еквдм <sup>3</sup>	1000 (1500)	-
7	Жорсткість загальна	мг/дм <sup>3</sup>	7 (10)	-
8	Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	250 (500)	4
9	Хлориди	мг/дм <sup>3</sup>	250 (350)	4
10	Мідь	мг/дм <sup>3</sup>	1,0	3
11	Марганець	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	3
12	Залізо	мг/дм <sup>3</sup>	0,3	3
13	Хлорфеноли	мг/дм <sup>3</sup>	0,0003	4

#### Примітки

\* Показник розведення (до зникнення запаху, присмаку).

\*\*Величини, зазначені в дужках, допускаються з урахуванням конкретної ситуації.

Вода не має містити інші компоненти, спроможні змінювати її органолептичні властивості: цинк, ПАР, нафтопродукти, феноли у концентраціях, що визначаються стандартними методами досліджень.

## Додаток В

ГДК шкідливих речовин у водоймах господарсько-питного, санітарно-побутового водокористування і рибогосподарських водоймах

Найменування інгредієнтів	ГДК шкідливих речовин у водоймах, мг/л	
	санітарно-побутового водокористування	рибогосподарських
Анілін	0,1	0,001
Бензол	0,1	-
Залізо( $Fe^{3+}$ )	0,5	-
Мідь ( $Cu^{2+}$ )	0,1	0,01
Нафта багатосірчиста	0,1	-
Нафта міцна і нафтопродукти в розчиненому й бл. сованому стані	0,3	0,05
Свинець ( $Pb^{2+}$ )	0,1	0,01
Фенол	0,001	0,001
Хром ( $Cr^{6+}$ )	0,1	-
Нітробензол	0,2	-
Цинк ( $Zn^{2+}$ )	0,1	0,01

Примітки:

30 При забрудненні водойм, які служать для побутового користування, комплексом речовин з однаковими лімітуючими показниками шкідливості – органолептичним (за запахом, присмаком, забарвленням), впливом на загальний санітарний режим водойми (на процеси самоочищення від органічних забруднень), санітарно-токсикологічним – наведені ГДК окремих речовин повинні прийматися таким чином: значення гранично допустимої концентрації кожної речовини, що входить у комплекс, має бути зменшене в стільки разів, скільки шкідливих речовин з однаковими показниками, які лімітують, передбачається до скидання зі стічними водами чи міститься у водоймі.

Надалі сума концентрацій усіх речовин, виражена у відсотках від відповідних ГДК для кожної речовини окремо, не повинна перевищувати 100%.

2. Значення ГДК кожної речовини, що входить у комплекс, з однаковими показниками шкідливості, які лімітують, повинне бути зменшене в стільки разів, скільки шкідливих речовин передбачається до скидання в рибогосподарські водойми.

**Додаток Г**  
**Критерії оцінювання забрудненості поверхневих вод**

Інгредієнти	ГДК, мг/л	Лімітуючий показник шкідливості
Амоній ( $\text{NH}_4^+$ )	0,5 (0,39)	Токсикологічний
Нітрат-іон ( $\text{NO}_3^-$ )	40 (9,1)	Санітарно-токсикологічний
Нітрат-іон ( $\text{NO}_2^-$ )	0,08 (0,02)	Токсикологічний
Нафта та нафтопродукти	0,05	Рибогосподарський
Феноли	0,001	Рибогосподарський
СПАВ (аніонактивні)	0,1	Токсикологічний
Залізо ( $\text{Fe}^{3+}$ )	0,5	Органолептичний
Мідь ( $\text{Cu}^{2+}$ )	0,001	Токсикологічний
Цинк ( $\text{Zn}^{2+}$ )	0,01	Токсикологічний
Хром ( $\text{Cr}^{3+}$ )	0,5	Органолептичний
Хром ( $\text{Cr}^{6+}$ )	0,001	Санітарно-токсикологічний
Нікель ( $\text{Ni}^{2+}$ )	0,01	Токсикологічний
Кобальт ( $\text{Co}^{2+}$ )	0,01	Токсикологічний
Свинець ( $\text{Pb}^{2+}$ )	0,03	Санітарно-токсикологічний
Миш'як ( $\text{As}^{3+}$ )	0,055	Токсикологічний
Ртуть ( $\text{Hg}^{2+}$ )		Токсикологічний
Марганець ( $\text{Mn}^{2+}$ )	0,01	Токсикологічний
Фтор ( $\text{F}^-$ )	1,5	Санітарно-токсикологічний
Ціаніди ( $\text{CN}^-$ )	0,05	Токсикологічний
Сульфіди ( $\text{S}^{2-}$ )	-	Загальносанітарний
Роданіди ( $\text{CNS}^-$ )	0,1	Санітарно-токсикологічний
ХОП і ДОП	-	Токсикологічний
$\text{CH}_3\text{CN}$	0002	Органолептичний
$\text{C}_6\text{H}_6$	05	Токсикологічний
Фурфурол	1,0	Органолептичний
$\text{CH}_3\text{OH}$	0,1	Санітарно-токсикологічний
$\text{CH}_2\text{O}$	0,01	Санітарно-токсикологічний
Калій ( $\text{K}^+$ )	500	Санітарно-токсикологічний

Кальцій ( $\text{Ca}^{2+}$ )	180,0	Санітарно-токсикологічний
Магній ( $\text{Mg}^{2+}$ )	40,0	Санітарно-токсикологічний
Натрій ( $\text{Na}^+$ )	1200	Санітарно-токсикологічний
Сульфати ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	100,0	Санітарно-токсикологічний
Хлориди ( $\text{Cl}^-$ )	300,0	Санітарно-токсикологічний
Мінералізація	1000	

### Додаток Д

#### Значення константи $G_k$

1,64	1,84	1,75	2,33	0,99
Крим	Львів, Івано-Франківськ, південь Тернопільщини, Вінниця, північ Хмельниччини	Рівне, Волинь, Хмельницький, Житомир, Київ, Чернігів, Суми	Черкаси, Полтава, Харків, Дніпропетровськ, Запоріжжя, Херсон	Кропивницький, Донецьк, Дніпропетровська обл. (без західної частини), Запорізька бл. (без півночі)

### Додаток Е

#### Орієнтовний склад міських стічних вод

Показник	Уміст, г/м <sup>3</sup>		
	до очищення	механічне очищення	біологічне очищення
Мінеральний склад	800	680	530
Зважені речовини	250	120	12
Азот амонійний	30	30	15
Азот загальний	45	35	25
Фосфати	15	15	12
Хлориди	35	35	34
ПАР	10	9	4
БПК п	280	150	15
БПК 5	200	135	10

Питомі норми вмісту речовин у неочищених господарських стічних водах (із розрахунку на одного мешканця)

Показник	Кількість речовини, г/доб
Зважені речовини	65,0
БПК 5	54,0
БПК 20	75,0
СПАР	2,5
Азот амонійний	8,0
Фосфати	3,3
Хлориди	9,0
Сульфати	4,4
Калій	3,0

Усереднені показники складу дощового стоку з територій промислових підприємств

Показник	Уміст речовин, г/м <sup>3</sup>	
	1-групи	2-ї групи
Зважені речовини	500 – 2000	2000 – 4000
БСК <sub>5</sub> в перерахунку на розчинені речовини – з врахуванням диспергованих речовин	20 – 30	40 – 90
	40 – 60	80 – 180
ХСК у перерахунку на розчинені речовини – з врахуванням диспергованих речовин	100 – 200	-
	200 – 600	-
Нафтопродукти: – при інтенсивному русі автотранспорту – для нафтової галузі	30 – 70	-
	до 500	-
Мінеральний склад	200	
	500	

**Додаток Ж**

**Витрати промислових стічних вод на підприємствах різних галузей промисловості**

№ з/п	Галузі промисловості, спосіб виробництва, назва підприємства	Витрати промислових стічних вод, м <sup>3</sup> /добу
<b>1. Чорна металургія</b>		
1.1	Комбінати і заводи з повним технологічним циклом (діючі та перспективні)	8000 – 12000
1.2	Трубопрокатні заводи	5000 – 12000
1.3	Коксохімічні заводи	800 – 3000
<b>2. Нафтопереробна і нафтохімічна промисловість</b>		
2.1	Нафтопереробні заводи паливного профілю з неглибокою	1800 – 2500

	схемою переробки	
2.2	Те ж з глибокою схемою переробки	1000 – 2000
2.3	Виробництво синтетичних жирних кислот	500 – 1500
2.4	Заводи синтетичного каучуку	1000 – 3000
2.5	Шинні заводи	800 – 1000
2.6	Заводи гумотехнічних виробів	1500 – 2000
<b>3. Хімічна промисловість</b>		
3.1	Виробництво основної хімії	500 – 2000
3.2	Підприємство азотної промисловості	1200 – 3000
3.3	Підприємство хлорної промисловості	2000 – 3000
3.4	Підприємство лакофарбної промисловості	500 – 600
3.5	Підприємство органічних полуфабрикатів та барвників	500 – 1000
3.6	Підприємство з виробництва пластмас та фенолу іонообмінних смол	3000 – 5000
3.7	Підприємство хімічних волокон	15000 – 35000
<b>4. Деревопереробна і лісохімічна промисловість</b>		
4.1	Виробництво деревинно-волокнистих плит	5000 – 6000
4.2	Виробництво фанери	1500 – 2000
<b>5. Целюлозно-папірна промисловість</b>		
5.1	Виробництво паперу й картону	7000 – 9000
<b>6. Легка та текстильна промисловість</b>		
6.1	Фабрика ПОШ	800 – 1000
6.2	Бавовняні комбінати	3000 – 5000
6.3	Тонкосукняні фабрики	5000 – 8000
6.4	Шовкові комбінати	5000 – 6000
6.5	Панчішні фабрики	120 – 1500
6.6	Шкіряні заводи	3600 – 4800
6.7	Взуттєві фабрики	1000 – 1200
6.8	Хутряна фабрика з вироблення овчини	2500 – 3000
<b>7. Підприємства з переробки та зберігання зерна</b>		
7.1	Борошномельні заводи	800 – 1000
<b>8. Підприємства хлібопекарної та загальноконсервної промисловості</b>		
8.1	Хлібозаводи та кондитерські фабрики	100 – 300
8.2	Заводи фруктових та овочевих консервів	500 – 800
<b>9. Підприємства молочної промисловості</b>		
9.1	Молокозаводи	800 – 1500
9.2	Масло - та сироробні заводи	50 – 100
<b>10. Підприємства м'ясної промисловості</b>		
10.1	М'ясокомбінати і м'ясопереробні заводи	1000 – 1500
<b>11. Підприємства масложирової промисловості</b>		
11.1	Маслоекстракційні заводи	1300 – 1500
11.2	Маргаринові заводи	500 – 1000
11.3	Медоварні заводи	1000 – 1300
<b>12. Парфюмерно-косметична промисловість</b>		
12.1	Парфюмерно-косметичні фабрики	1000 – 2500

12.2	Комбінати СДР	500 – 1500
<b>13. Підприємства цукрової промисловості</b>		
13.1	Цукрові заводи	5000 – 12000
<b>14. Підприємства виноробної, спиртової, лікєро-горілчаної продукції, безалкогольних напоїв</b>		
14.1	Заводи шампанських вин	500 – 1000
14.2	Пивоварні заводи	1500 – 2000
14.3	Заводи безалкогольних напоїв	3000 – 5000
14.4	Виробництво мінеральних вод	1800 – 3000
<b>15. Літейні, верстатобудівельні та інструментальні заводи</b>		
15.1	Заводи важкого та прецизійного верстатобудування	2000 – 3000
15.2	Інструментальні заводи	1000 – 1500
<b>16. Заводи важкого енергетичного й транспортного машинобудування</b>		
16.1	Тепловозобудівельні заводи	2000 – 3000
<b>17. Автомобільні заводи</b>		
17.1	Заводи легкових автомобілів	1500 – 3000
17.2	Заводи вантажних автомобілів й автобусів	2000 – 3000
<b>18. Підшипникові заводи</b>		
<b>19. Заводи будівельного й дорожнього машинобудування</b>		2000 – 3000
<b>20. Приборобудівельні заводи</b>		800 – 1500
<b>21. Заводи гідрогенераторів й великих енергетичних машин</b>		2000 – 5000
<b>22. Заводи в'язучих і виробів з них</b>		
22.1	Цементні заводи	1500 – 3000
22.2	Заводи з виробництва азбестоцементних труб	2000 – 5000
23.	Заводи ніздрюватих бетонів, виробів з них, цегли	2000 – 3000
24.	Заводи сантехобслуговування	1500 – 2000
25.	Скляні заводи	1000 – 1500
26.	Заводи з/б виробів	1500 – 3000
27.	Підприємства побутового обслуговування	500 – 800
28.	Заводи тракторного та сільгоспмашинобудування	1500 – 3000

## Додаток Ц

### Укрупнені норми водоспоживання та водовідведення промислових підприємств різних галузей промисловості

№ з/п	Галузь промисловості, вид та спосіб виробництва	Одиниця вимірювання, вид продукції, сировини	Система водопостачання	Середньорічні витрати води, м <sup>3</sup>				Середньорічна кількість стічних вод, що випускаються у водойми, м <sup>3</sup>			Безпоровне споживання і витрати води, м <sup>3</sup> Рзаг.
				Зворотної, повторної, послідовної, QЗВ	Свіжої з джерела			Потребуючих очиски від забруднення		Не потребує спец. очистки, Qн/о	
					Технічної, QT	Питої на потреби		Виробничих, QП/О	Побутових, QГ/П		
						виробничі потреби, QПТП	побутові потреби, QГ/П				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>1. Чорна металургія. Металургійні заводи.</b>											
1.1	Комбінати чорної металургії	т сталі з отриманням чавуну	Зворотна із замкнутими циклами	260	26	0,15	0,35	1,3	0,35	1,3	23,3*
*фільтраційні води – 0,25											
<b>1.2. Заводи металевих виробів</b>											
1.2	Цех електродів та дроту	т продукту	Зворотна	160	17,4	0,5	3	10	3	1,2	6,7
<b>1.3. Коксохімічні підприємства</b>											
1.3	Коксохімічний цех	т коксу	Прямоточна та зворотна	296	7,59	0	0,20	0	0,20	0,14	7,45

<b>2. Нафтопереробна та нафтохімічна промисловість</b>											
2.1	Нафтопереробний завод	1т перероб. нафти	Зоротна	14	0,4	0,16	0,018	0,18	0,018	0	-
2.2	Теж з масляними виробами	Теж	Зворотна	26	0,83	0,08	0,021	0,23	0,021	0	0,68
2.3	Виробництво каучуків	1т продукту	Зворотна	1395	78,45	0	2,12	8,7	2,12	39,06	30,69
2.4	Шинні заводи	1т сировини	Зворотна	300	22,5	4	2,8	8,5	2,8	7,6	10,4
<b>3. Виробництво основної хімії</b>											
3.1	Виробництво H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1т кислоти	Зворотна та прямоточна	36,24	2,19	0	0,29	0,29	0,28	0	1,9
3.2	Виробництво суперфосфату	1т		4,95	1,95	0,04	0,19	1,50	0,19	0,11	0,38
3.3	Виробництво карбаміду	1т продукту	Зворотна	1,75	10,5	0	0,8	0,3	0,8	7,54	2,66
<b>4. Виробництво пластмаси та фенол</b>											
4.1	Виробництво поліетилену (високої густини)	1м <sup>3</sup>	Зворотна та прямоточна	549	39,5	1,7	2,2	21	2,2	0	20,2
<b>5 Підприємства хімічних волокон</b>											
5.1	Виробництво віскозного тех шовку	1т волокна	Прямоточна, зворотна	123	940	0	14,5	928	14,5	0	12
5.2	Вир-во волокна «Капрон»	1т волокна	Зворотна, прямоточна	3400	320	60	20	100	20	180	100

<b>6. Лісопильні та деревообробні комбінати, заводи та цеха, меблеві фабрики</b>											
6.1	Вир-во фанери клеєної	1м <sup>3</sup>	Зворотна, прямоточна	3,62	5,24	3,22	1,24	2,34	1,24	4,1	2,02
<b>6. Целюльозно-бумажна промисловість</b>											
7.1	Вир-во тарного картону	1т продукту	Зворотна, прямоточна	245	70	0,1	0,25	26,5	0,25	42	1,5
<b>8. Легка промисловість</b>											
8.1	Фабрики ПОШ	1т милої вовни	Прямоточна		52	2	6	48	6	0	6
8.2	Панчішні фабрики	1000 пар	Прямоточна		256	29,5	82	175	82	77	33,5
8.3	Взуттєві фабрики	1000 пар	Зворотна та прямоточна	2,5	0	7,4	9	4,9	9	0	2,5
<b>9. Підприємства хлібопекарної і харчової промисловості</b>											
9.1	Хлібо-заводи	1т готової продукції	Прямоточна		0	1,87	0,7	1,12	0,7	0	0,75
9.2	Кондит. фабрики	1т готової продукції	Зворотна та прямоточна	22,4	0	6,7	1,3	5,2	1,3	0	1,5
9.3	Флодово-овоч. консервні заводи	1000 банок	Зворотна та прямоточна	33,58	0	11,95	2,28	10,64	2,28	0	1,38

9.4	Молоч. завод продуктивністю, т/доб	1т молока	Прямоточна та зворотна з посл. використанням води								
	До 50			35	0	7,9	0,2	5,3	0,2	1,8	0,8
	50 – 100			40	0	7,3	0,2	5	0,2	1,5	0,8
	100 – 200			45	0	7	0,2	4,9	0,2	1,4	0,7
9.5	Сироробні заводи	1т	Прямоточна і зворотна з посл. використанням води	20	0			3,4	0,3	2,4	0,7
9.6	М'ясопереробні заводи	1т готової продукції	Прямоточна, зворотна	60	2,7	15,7	1	9,5	1	3,1	5,8
9.7	Маргаринові заводи	1т маргарину 100т/доб	Прямоточна, зворотна	52,88	0,1	5,47	1,48	2,81	1,48	2,64	0,12
9.8	Парфум.-косм. фабрики	1млн шт. гот. продукції	Прямоточна та зворотна	230	1150	50	300	617	300	520	63
9.10	Вир-во цукру-піску	1т перероб. буряку (500 цукру/добу)	Зворотна	20,986	1,7	0,05	0,05	0,8	0,05	0	0,95

9.11	Пивоварні заводи	1гл	Зворотна і прямоточна	0,75	0,11	1,16	0,09	1,02	0,09	0	0,25
9.12	Заводи безалког. напоїв	1000 л	Зворотна і прямоточна	167,72	13,66	47,21	3,05	36,58	3,05	0	24,29
<b>10. Машинобудівельна промисловість</b>											
10.1	Заводи верстатобуд.	1т заг. маси	Зворотна і прямоточна	20,6 713	17 40	6 12	3,0 25	7 9	30 25	2 8	14 35
10.2	3-ди вантаж. автомоб. вантажопід. 2,5 – 5, 14 – 15т	1 автомобіль	Зворотна і прямоточна	230 250	383 37	84 39	1,7 16	32,3 48	11,7 16	0 0	14,4 28
10.3	Автобусні заводи	1 автобус	Зворотна і прямоточна	280	65	25,8	24,2	77,8	24,2	0	13
10.4	3-ди автомобільних бензинових двигунів потужністю до  50  75 – 180	1 двигун	Зворотна і  прямоточна	126  27	3  7,2	3,1  4,2	24  3,6	19  4,2	24  3,6	2  3	22  4,2

10.5	З-ди електронно-обчислювальної техніки	1 тис. грн.	Зворотна і прямоточна	14,9	2,97	0,86	2,8	2,5	2,8	0	1,33
10.6	Комбайнові з-ди	1 комбайн	Зворотна та прямоточна	143,1	15,1	0,31	7,73	10,4	7,73	2,16	2,85
<b>11. Заводи будіндустрії</b>											
11.1	Цементні з-ди	1т цементу	Зворотна	14,17	2,35	0	0,21	0	0,21	0	2,35
11.2	Виробництво стінових матеріалів та силікатної цегли	1000 шт. цегли	Зворотна з послідовним використанням води	3,82	0,41	1,07	0,09	0,19	0,09	0,66	0,57**
11.3	Вир-во листового (віконного) скла	1000 м2	Зворотне с послідовним використанням води	76	28,5	3,5	12	3,5	14,5	3	30
<b>12. Підприємства побутового обслуговування</b>											
12.1	Пральні, хімчистки, майстерні фарбування	1т	Зворотна	5,33	0	34,39	1,48	32,72	1,48	0	1,67

## Додаток К

### Загальна характеристика якості стічних вод підприємств різних галузей промисловості

Галузі промисловості	Завислі речовини, мг/л	БПК повн., мг/л	ХПК, мг/л	Нафтопродукти, мг/л	Залізо, мг/л	Азот амонійний, мг/л	Фосфати, мг/л	Хлориди, мг/л	Сульфати, мг/л	Примітка	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<b>1. Чорна металургія</b>											
1.1.	Комбінати з повним технологічним циклом	220 – 822	5 – 30	13 – 90	0 – 92	0 – 92	1 – 40	–	41 – 98	108 – 290	
1.2.	Трубопрокатні заводи	528	5-15	45	10-50	1,25	–	–	120	96	Хром 11 – 17
1.3.	Заводи металевих виробів	400 – 450	5 – 15	45 – 9	10 – 50	300 – 700	7/3	10/4	300	2500	Іони важких металів СПАР 305
1.4.	Коксохімічні заводи	300 – 2000	700 – 1000	800 – 1600	300 – 500	–	100 – 600	–	–	–	Феноли 300 – 400
<b>2. Нафтопереробна і нафтохімічна промисловість</b>											
2.1.	НПЗ з неглибокою схемою переробки	25 – 57	135 – 320	245 – 535	30 – 55	–	6 – 40	–	105 – 340	100 – 260	Феноли 0,2 – 20
2.2.	НПЗ з глибокою схемою переробки	20 – 50	120 – 200	30 – 50	–	25 – 30	–	–	–	–	СПАР 80 – 100
2.3.	Виробництво синтетичного каучуку	85	3880	3420	10						Алюміній 2,5 Ефіророзчин. 22 – 40

2.4.	Шинні заводи	500	100	300	20	-	-	-	-	-	Жири до 5
2.5.	Заводи гумотехнічних виробів	500	100	-		-	-	-	-	-	Жири до 5
<b>3. Хімічна промисловість</b>											
3.1.	Виробництво основної хімії	500 – 6000	-	-	10	-	-	5000 – 7000	-	3000 – 4000	Фтор 700 – 1000 Феноли 5 – 25 Цианіди – 10 – 500
3.2.	Виробництво азотної промисловості	1000 – 15000	-	-	10	12	До 100	10	300	300	Жири сліди Ефіророзчн. 8/5 Фтор 10/10
3.3.	Підприємство хлорної промисловості	150	-	-	10	-	0,1	-	1300	250	Ефіророзчн. до 10 Іони тяж. мет. As 0,05
3.4.	Підприємство лакофарбної промисловості	159	337	836	25	2	-	-	-	-	Ефіророзчн – 245 Толуол, Ксіол – 840
3.5.	Підприємство органічних полуфабрикатів та барвників	500	3500	10000	30	-	-	-	10000	3000	Циклогексанол – 50
3.6.	Підприємства з виробництва пластмас та фенолообмінних смол	180	20	100	2	-	-	-	1000	2000	Толуол до 200

3.7.	Підприємство хімічних волокон	535	220	505	15	-	-	-	-	5400	Цинк 43
<b>4. Деревообробна та лісохімічна промисловість</b>											
4.1	Виробництво ДВП	<u>350</u> 15	<u>3000</u> 15	-	10	-	-	-	-	-	-
4.2.	Виробництво фанери	40	138	148	10	0,22	-	-	-	-	-
<b>5. Целюлозно-паперова промисловість</b>											
5.1.	Виробництво паперу та картону	300-500	40-50	1400 70	10	-	-	-	<u>200</u> 200	<u>1650</u> 220	Ефіророзчин. - 70/10
<b>6. Легка та текстильна промисловість</b>											
6.1.	Фабрика ПОШ	500 - 1400	-	600 - 2600	20	-	-	-	--	-	Жири 1000 - 4300 СПАР 300 - 600
6.2.	Бавовнопаперові комбінати	18	22	-	15	-	-	-	-	-	-
6.3.	Тонкосуконні фабрики	82 - 220	90 - 250	240 - 620	15	-	22 - 30	-	80 - 180	-	СПАР 22 - 75
6.4.	Шовкові комбінати	30	21	169	10	-	16,8	-	-	-	-
6.5.	Панчошні фабрики	32 - 440	200 - 580	430 - 2300	10	-	10 - 20	5 - 12	-	-	СПАР 100 - 130

6.6.	Шкіряні завод	100 – 500	500 – 300		25	-	-	-	-	-	Жири 1-5 СПАР 10-20 Хром 0,5-1
6.7.	Взуттєві фабрик	250 – 900	40 – 75	200 – 800	20	-	-	-	-	-	Хром 2 Латекс 5-30
6.8.	Хутряні фабрики	60	800	-	15	-	-	-	-	-	Жири 2 СПАР 15
<b>7. Підприємства з переробки та зберігання зерна</b>											
7.1.	Борошномельні заводи	150	25	60	1	-	3,	6	10		
<b>8. Підприємства хлібопекарної та загальноконсервної промисловості</b>											
8.1.	Хлібзаводи та кондитерські фабрики	122	440	606	1	-	-	-	71	31	-
8.2.	Заводи фруктових та овочевих консервів	20 – 2700	240 – 7800	-	10	-	100 – 150	0,1 – 0,5	400	-	-
<b>9. Підприємства молочної промисловості</b>											
9.1.	Молокозаводи	350	1200	1400	10	-	60	8	150	-	Жири до 100
9.2.	Масло- та сироробні заводи	600	2400	3000	10	-	90	16	200	-	Жири до 100
<b>10. Підприємства м'ясної промисловості</b>											
10.1.	М'ясокомбінати та м'ясопереробні заводи	135 – 4580	1350 – 1700	160 – 2650	15	-	100-150	-	900 – 1800	-	-

<b>11. Підприємства масложирової промисловості</b>											
11.1.	Маслоекстракційні заводи	до 1154	10 – 6848	22 – 7112	46	-	-	-	127 – 290	91 – 180	Жири 9 – 3118
11.2.	Маргаринові заводи	1415	400 – 4600	-	20	-	1,61	-	60	180	Жири 40 – 1276
11.3.	Миловарні заводи	1500	2400	3000	20	-	8	5	350	500	СПАР 1,5 0,3
<b>12. Парфумернокосметична промисловість</b>											
12.1.	Парфумерно-косметична промисловість	50 – 60	60 – 345	22 – 350	15	-	-	-	100 – 400	-	Феноли 0,007
12.2.	Комбінати СДВ	270 – 800	800 – 2000	350 – 2100	15	-	-	-	670 – 2100	860 – 2700	Феноли 35 – 400 Хром 0,2
<b>13. Підприємство цукрової промисловості</b>											
13.1.	Цукрові заводи	10700	2700	6000	20	-	86	7,3	110	68	Сапонін 8,5/04 H <sub>2</sub> S 7,2/0
<b>14. Підприємства виноробної, спиртової, лікергорілчаної продукції та безалкогольних напоїв</b>											
14.1.	Заводи шампанських вин	52 – 2914	30 – 2729	28 – 2568	15	-	0,08 – 40	-	-	-	-
14.2.	Пивоварені заводи	50 – 2500	200 – 2700	400 – 2700	15	-	-	-	-	--	-

14.3.	Заводи безалкогольних напоїв	72 – 322	208 – 696	161 – 833	10	-	-	-	-	-	-
14.4.	Виробництво мінеральних вод	220 – 668	38,8 – 77	54,4 – 75	10	-	-	-	-	-	-
<b>15. Літейні, станкоінструментальні заводи</b>											
15.1.	Заводи важкого та фрезиційного верстатобудування	166 – 700	40 – 100	110 – 393	25	-	-	-	-	-	Токсич. речовина 0,7
15.2.	Інструментальні заводи	$\frac{50}{3} - \frac{200}{5}$	$\frac{50}{15} - \frac{100}{10}$	-	20	-	-	-	-	-	Ефіророзчн. 1000 – 5000/8020
<b>16. Заводи важкого енергетичного та транспортного машинобудування</b>											
16.1.	Тепловозо-будівельні заводи	166 – 700	40 – 100	до 393	25	-	-	-	-	-	Токсич. речовина 0,7
<b>17. Автомобільні заводи</b>											
17.1.	Завод легких автомобілів	До 20	-	20	20	До 2	-	-	200	400	Ефіророзчн. 20-50
17.2.	Заводи вантажних а/м та автобусів	До 0	-	20	20	До 2	-	-	200	400	Ефіророзчн. 20-50

18	Підшипникові заводи	400	-	-	300	200	-	-	-	-	Ефіророзчин. 50000/2 Ст до 2,5 СМ 10 - 40
19.	Заводи будівельного та дорожнього машинобудування	100 - 200	50 - 60	70 - 85	25	0,5 - 1,2	4,5 - 6	-	-	200 - 260	СПАР 50 - 70/0,1 - 0,2 Іони тяж. мет. 50 - 70/0,1 - 0,2 Ефіророзчин. 20- 50/0,3 - 0,6
20.	Приладобудівельні заводи	300 - 700	-	-	15	-	-	-	500 - 1000	400 - 800	СПАР 10 - 20/1 - 2 Феноли 20 - 30/0,001 Ефіророзчин. 20 - 50/0,3 - 0,6
21.	Заводи тракторного та с/г машинобудування	94 - 640	-	25 - 49	50 - 9550	1 - 5	-	-	80 - 150	100 - 130	СтІ - 18
22.	Заводи гідрогенераторів	8000	20	115	20	10	-	-	-	100	СПАР 20/0,5 Ефіророзчин. 100/1,5 Іони тяж. мет. 100/2,7
<b>23. Заводи в'язучих та виробів з них</b>											
23.1.	Цементні заводи	139,26	-	-	20	-	-	-	-	-	Ефіророзчин. 5,88/1,28

23.2	Заводи з виробництва АЦТ	2500	1	90	20					7000	Ефіророзчин. 12/4 Сг 4/0,1
24.3	Заводи ніздрюватих бетонів	1000	15 – 20	–	20	0,2	–	–	–	–	Ефіророзчин. 20-60/2
25	Заводи сантех-обслуговування	20000	200	400	20	–	5	15	350	350	СПАР до 2 Феноли 5/до 1 Ефіророзчин. 40/10
26.	Скляні заводи	830	–	–	15	–	–	–	–	–	Ефіророзчин. 5/0,5
27.	Заводи з/б виробів	139,26	–	–	25	–	–	–	–	–	Ефіророзчин. 5,88/1,28
28.	Підприємства побутового обслуговування	500	1200	–	10	–	–	–	–	–	СПАР – 500

\*у знаменнику – після локальної очистки

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 154 с.
2. Боровский Б.В., Дробноход Н.И. Оценка запасов подземных вод. – К.: Вища шк., 1989. – 407 с.
3. Бочевер Ф.М., Орадовская А.Е. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнения. – М.: Недра, 1972. – 129 с.
4. Гидрогеологические основы охраны подземных вод. / Отв. ред. В.М. Гольдберг. – М., 1984. Т.1. – 219 с.
5. Дякаревский В.С., Курганов А.М., Нечаев А.П., Алексеев М.И. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. – Л.: Стройиздат, 1980. – 224 с.
6. Йоргенсен С.Е. Управление озерными системами: Пер. с англ. – М.: Агропромиздат, 1985. – 160 с.
7. Караушев А.В. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 175 с.
8. Лапшов Н.Н. Расчеты выпусков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1977. – 87 с.
9. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. – К.: Держкомекобезпеки України, 1998. – 28 с.
10. Пааль Л.Л. Инженерные методы расчета формирования качества воды. 4.1,2. – Таллинн: ТПИ, 1976. – 146 с.
11. Рациональное использование водных ресурсов: Учебн. для вузов / С.В. Яковлев, И.В. Прозоров и др. – М.: Высш. шк., 1991. – 400 с.
12. Родзиллер И.Д. Прогноз качества воды водоемов-приемников сточных вод. – М.: Стройиздат, 1984. – 236 с.
13. Романенко В.Д., Оксюк О.П., Жукинский В.Н., Стольберг Ф.В., Лаврик В.И. Экологическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водные объекты. – К.: Наук. думка, 1990. – 256 с.
14. справочник по водным ресурсам / Под ред. Б.И. Стрельца. – К.: Урожай, 1987. – 304 с.
15. справочник по гидравлике / Под ред. В.А. Большакова. – К.: Вища шк., 1984. – 343 с.
16. справочник по охране водных ресурсов / В.А. Львов, В.Н. Ладыженский и др. – К.: Урожай, 1983. – 176 с.
17. Хендерсон-Селлерс Б. Инженерная лимнология: пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 335 с.
18. Экологическая геология Украины: справ. пособие / Е.Ф. Шнюков, В.М. Шестопапов, Е.А. Яковлев и др. – К.: Наук. думка, 1993. – 407 с.

18. Інструкція про порядок розробки та затвердження граничнодопустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами. – К.:УкрНДІЕП. – 1994. – 79 с.
19. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения (СанПиН № 4630 - 88). – М., 1988.
20. Білявський Г. О., Падун М. М., Фурдуй Р. С. Основи загальної екології. – К.: Либідь, 1995. – 368 с.
21. Білявський Г.О., Фурдуй Р.С. Практикум із загальної екології: Навч. посібник. – К.:Либідь, 1997. – 160 с.
22. Водне господарство в Україні / За ред. А.В. Яцика, В.М. Хорева. – К.: Генеза, 2000. – 29 с.
23. Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. Методика. КНД 211.1.4.010 – 94. – Київ: Основа, 1994. – 37 с.
24. Кораблева А.И., Чесанов Л.Г., Шапарь А.Г. Введение в экологическую токсикологию. – Днепропетровск: Центр эконом. образования. – 2001. – 308 с.
25. Кукурудза С.І., Гурій С.М. Аналіз якості природних вод: Лаб.практ. – Львів, 1990. – 90 с.
26. Кульський Л.А., Левченко Т.М., Петрова М.В. Химия и микробиология воды. – К.: Вища шк., –1987. – 175 с.
27. Клименко В.Г., Фролова Л.І. Екологічна оцінка природних ресурсів: Метод. посібник для студентів. – Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2009. – 64 с.
28. Лабораторний та польовий практикум з екології / За ред. В.П. Замостяна і Я.П. Дідуха. – К.:Фітосоціоцентр, 2000. – 216 с.
29. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. – М.: Химия, 1982. – 448 с.
30. Набиванець Б.Й., Сухан В.В., Калабіна Л.В. Аналітична хімія природного середовища. – К.: Либідь, 1996. – 304 с.
31. Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н. Методы исследования качества воды водоемов. – М.: Медицина, 1990. – 399 с.
32. Перепелиця О.П. Властивості та екологічний вплив хімічних елементів. – К.: Вентурі, 1997. – 191 с.
33. Пономарев В.Д. Аналитическая химия: в 2-х т.: Учебник для фармац. и мед. ин-тов. – М.: Высш.школа, 1982. – 288 с.
34. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. – К.: Ніка – центр, 2001. – 262 с.
35. Яцик А.В. Картографічне зображення екологічної оцінки якості води Волинської області в сучасний період // Наук. праці укр. наук.-досл. гідромет. ін-ту. – Рівне.: НУВ та П, 2004. – С. 116 - 121.
36. Жемеров О.О., Доц В.Г. Оцінка якості поверхневих вод суші: Методичний посібник для студентів-географів вищих навчальних закладів. – Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2011. – 48 с.

37. Сборник «Методики исследовательской деятельности по экологии» (для руководителей объединений эколого-биологической и естественнонаучной направленности) / Сост. О.В. Баянова, С.Л. Максимова – Тюмень, 2013. – 120 с.
38. Природоохоронні технології. Навчальний посібник. Ч. 2: Методи очищення стічних вод / Петрук В.Г., Северин Л.І., Васильківський І.В., Безвозюк І.І. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 254 с.
39. Пименова Е.В. Химические методы анализа в мониторинге водных объектов [Текст] / Е.В. Пименова; М-во с.-х. РФ, ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА. – Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. – 138 с.
40. Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління: Підручник для студентів вищих навч. закладів / А.В. Яцик, Ю.М. Грищенко, Л.А. Волкова, І.А. Пашенюк. – К.: Генеза, 2007. – 360 с.
41. Водне господарство промислових підприємств: навч. посібник / Т.С. Айрапетян; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х: ХНАМГ, 2010. – 280 с.
42. Очистка й знезараження стічних вод. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт студентами напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» / О.С. Ковров, Ю.В. Бучавий. – Д. : Національний гірничий університет, 2013. – 51 с.
43. Методичні вказівки до виконання курсового проекту та проведення практичних занять з курсу «Технологія очищення стічних вод» (для студентів 4 курсу за спец. 7.092601 «Водопостачання та водовідведення» всіх форм навчання) / Укл. Гуцал І.О., Дегтерева Л.І. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 68 с.

**Навчальне видання**

**Степова Олена Валеріївна  
Паращієнко Ірина Миколаївна**

**РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ**

---

Комп'ютерна верстка	О.В. Степова
Редактор	Я.В. Новічкова
Коректор	І.Л. Петренко

---

Поліграфічний центр  
Полтавського національного технічного університету  
імені Юрія Кондратюка  
36601, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного  
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції  
Серія ДК № 3130 від 06.03.2008

---

Віддруковано з оригінал-макета ПЦ ПолтНТУ