

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до проведення практичних занять та організації самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

**«ДЖЕРЕЛА ТА ПРОЦЕСИ ЗАБРУДНЕННЯ ГІДРОСФЕРИ»**

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм  
навчання зі спеціальності 101 – Екологія)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2024**

Методичні рекомендації до проведення практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Джерела та процеси забруднення гідросфери» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 101 – Екологія) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Є. Г. Пономаренко, Т. В. Дмитренко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 38 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. Є. Г. Пономаренко,  
канд. техн. наук, доц. Т. В. Дмитренко

Рецензент

**Ю. Л. Коваленко**, кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної екології міст Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою інженерної екології міст, протокол № 2 від 28 серпня 2023 р.*

## З М І С Т

ВСТУП.....	4
1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ.....	5
2 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ З ДИСЦИПЛІНИ.....	5
3 САМОСТІЙНА РОБОТА.....	33
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	34
ДОДАТКИ.....	36

## ВСТУП

Дисципліна «Джерела та процеси забруднення гідросфери» складається із трьох змістових модулів (далі – ЗМ):

Змістовий модуль 1 Загальні питання водокористування та водовідведення. Питне водопостачання.

Змістовий модуль 2 Джерела впливу на поверхневі водні об'єкти.

Змістовий модуль 3 Моделі якості поверхневих вод.

Метою проведення практичних робіт із дисципліни є вдосконалення теоретичних знань і набуття практичних умінь здобувачів вищої освіти зі спеціальності 101 – Екологія при проведенні оцінки якості води на підставі нормативів екологічної безпеки водокористування, визначення класу і категорії якості води водних об'єктів за нормативами екологічної безпеки водокористування при розрахунку основного та початкового розбавлення в водострумах.

Щодо кожної теми передбачено проведення практичних занять і закріплення знань студентів шляхом виконання практичних завдань.

Самостійна робота передбачає вивчення конспекту лекцій із дисципліни та додаткової літератури, а також виконання розрахункових завдань за темами курсу.

## 1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Метою** вивчення навчальної дисципліни «Джерела та процеси забруднення гідросфери» є набуття студентами теоретичних знань та практичних навичок щодо оцінювання якості поверхневих вод, умов та процесів формування якості води і методів її прогнозування.

Програмні результати навчання:

- дослідження можливих джерел забруднення поверхневих вод;
- усвідомлення процесів трансформації забруднень водного середовища та їх наслідків для біоти і здоров'я людини, а також оцінювання наслідків впливу антропогенної діяльності на стан водних об'єктів.

## 2 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ З ДИСЦИПЛІНИ

### **ЗМ 1 Загальні питання водокористування та водовідведення. Питне водопостачання**

Тема 1. Показчики якості води.

**Зміст практичних занять:** розгляд показників якості води та їх роль у формуванні якості води.

Тема 2. Оцінка якості води для видів водокористування, що нормуються.

**Зміст практичних занять:** проведення оцінки якості води для господарсько-побутової, питної та рибогосподарської категорій водокористування на основі нормативів екологічної безпеки водокористування.

Тема 3. Питне водопостачання.

**Зміст практичних занять:** розгляд стану питного водопостачання населених пунктів України.

**Теоретичний матеріал до ЗМ 1**  
**ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ**  
**НОРМАТИВІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВОДОКОРИСТУВАННЯ**

**Методика оцінки якості води щодо господарсько-побутової та питної**  
**категорій водокористування**

Водні об'єкти можна вважати придатними для господарсько-побутової (г-п) і питної (п) категорій водокористування, якщо одночасно дотримані такі умови:

- не порушуються загальні вимоги (ЗВ) щодо складу і властивостей води для відповідної категорії водокористування;
- для речовин, що належать до III і IV класів небезпеки (КН), дотримуються такі умови:

$$C \leq (ГДК),$$

де С – концентрація речовини у водному об'єкті, г/м<sup>3</sup>;

- для речовин, що належать до I і II класів небезпеки з однаковими лімітуючими ознаками шкідливості (ЛОШ), дотримуються такі умови:

$$\sum \frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1.$$

**Методика оцінки якості води щодо рибогосподарської категорії**  
**водокористування**

Вода водних об'єктів вважається придатною для рибогосподарської (р-г) категорії водокористування, якщо одночасно дотримані такі умови:

- не порушуються загальні вимоги до складу і властивостей води для відповідної р-г категорії водокористування;
- для речовин, єдиних у своїй ЛОШ, дотримуються такі умови:

$$C \leq (ГДК);$$

– для речовин, що належать до однакової ЛОШ, дотримуються такі умови:

$$\sum \frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1.$$

*Примітки:*

– рівність нормативу не вважається його порушенням;  
– якщо порушені норми якості води хоча б за одним показником, вода вважається непридатною для відповідної категорії водокористування. Проте на практиці прийнято називати ті речовини, показники або ЛОШ, за якими відбувається порушення якості води.

– для речовин, які нормуються за ЛОШ, у разі порушення якості води вважається, що норми якості води порушені для всіх речовин, які входять до цієї ЛОШ.

**Послідовність проведення оцінки якості води**

Для оцінки якості води водного об'єкта необхідно:

- мати натурні дані, що характеризують значення показників якості води у водному об'єкті;
- визначити, для якої категорії водокористування проводиться оцінка;
- для кожного показника або речовини, за якою проводиться оцінка, на підставі нормативних документів визначають ЗВ або ГДК, ЛОШ, КН (для господарсько-побутової та питної категорій);
- провести оцінку якості води щодо відповідної категорії водокористування на основі наведеної методики.

### Приклад завдання.

Провести оцінку якості води водного об'єкта (за наведеними нижче даними) на основі нормативів екологічної безпеки водокористування (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку

Показник	Значення
Мінералізація	152,0 мг/л
Хлориди	6,9 мг/л
Сульфати	27,5 мг/л
Завислі речовини	25,0 мг/л
pH	7,85
Азот нітритний	0,028 мг N/л
Азот нітратний	0,03 мг N/л
Розчинений кисень	8,76 мг O <sub>2</sub> /л
ХСК	25,3 мг O/л
БСК <sub>5</sub>	2,32 мг O <sub>2</sub> /л
Мідь	3 мкг/л
Залізо загальне	0,01 мг/л
СПАР	0 мг/л

## ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСУ І КАТЕГОРІЇ ЯКОСТІ ВОДИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ ЕКОЛОГІЧНИХ НОРМАТИВІВ

Екологічні нормативи якості води встановлюють для оцінки стану водних об'єктів на основі екологічної класифікації поверхневих вод.

Система екологічної класифікації якості поверхневих вод включає три класифікаційні групи:

- 1 – група класифікацій за критерієм сольового складу;
- 2 – класифікація за трофо-сапробіологічною (еколого-санітарною) ознакою;
- 3 – група класифікацій за критеріями вмісту специфічних речовин токсичної та радіаційної дії й за рівнем токсичності.

Група класифікацій за *критерієм сольового складу* включає 4 спеціалізовані класифікації:

1. Класифікація за критерієм мінералізації.



2. Класифікація за критерієм іонного складу.

3. Класифікація якості прісних гіпогалінних і олігогалінних вод за критеріями забруднення компонентами сольового складу.

4. Класифікація якості  $\beta$ -мезогалінних солонуватих вод за критеріями забруднення компонентами сольового складу.

Класифікація за *еколого-санітарними критеріями* включає 5 груп показників:

- фізичні показники;
- гідрохімічні показники;
- гідробіологічні показники;
- бактеріологічні показники;
- індекси сапробності.

Для трофо-сапробіологічної оцінки необхідно мати понад 10 показників.

Група класифікацій за *критеріями вмісту специфічних речовин токсичної та радіаційної дії* включає 3 класифікації:

1. Класифікація за вмістом специфічних речовин токсичної дії.

2. Класифікація прісних гіпо- і олігогалінних, а також солонуватих  $\beta$ -мезогалінних вод за рівнем токсичності.

3. Класифікація за вмістом специфічних речовин радіаційної дії.

Кожна система класифікацій має дворівневу структуру: залежно від значень показників води якість води характеризується класом, а кожен клас ділиться на категорії.

Екологічна оцінка якості води може бути двох видів:

- орієнтовна;
- фундаментальна.

Орієнтовна оцінка виконується на основі разових вимірювань показників якості води. При орієнтовній оцінці якість води визначається окремо для кожного показника. Оцінка проводиться шляхом порівняння значення показника з відповідним критерієм якості води кожної системи екологічної класифікації (блоку).

При фундаментальній оцінці використовують спостереження за показниками якості води. Бажано провести статистичну обробку, відкинувши невірогідні дані. Для кожного показника визначаються середні та найнижчі значення. Середні значення порівнюють (окремо для кожного показника) з відповідним критерієм якості води в кожній системі екологічної класифікації. Для кожного блоку розраховується індекс забруднення як середня величина по блоку. Таким чином, для кожного блоку буде 2 індекси:

- за середніми показниками всього блоку  $I_f$ ;
- за нижчими – встановлюють найгірше значення зі всіх показників щодо даного блоку  $I_n$ .

Отримане значення індексу визначає категорію якості води. Таким чином, за кожним блоком ми визначаємо категорію якості води.

Індекс якості води визначаємо за формулою:

$$I = \frac{I_I + I_{II} + I_{III}}{3} .$$

Значення індексу  $I$  порівнюється з відповідною категорією якості води.

Індекси, як за окремими блоками, так і загальний, можуть мати дробове значення. Таким чином, категорію визначають шляхом округлення індексу. Можливе введення субкатегорії (підкатегорії). Відповідно визначається і клас якості води.

*Приклад завдання.*

Провести оцінку стану водного об'єкта (за даними, наведеними у табл. 2.2) на основі екологічної класифікації поверхневих вод.

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для розрахунку

Показник	Значення
Мінералізація	152,0 мг/л
Хлориди	6,9 мг/л
Сульфати	27,5 мг/л
Завислі речовини	25,0 мг/л
Прозорість	24 см
pH	7,85
Азот амонійний	0,19 мг N/л
Азот нітритний	0,028 мг N/л
Азот нітратний	0,03 мг N/л
Розчинений кисень	8,76 мг O <sub>2</sub> /л
ХСК	25,3 мг O/л
БСК <sub>5</sub>	2,32 мг O <sub>2</sub> /л
Мідь	3 мкг/л
Цинк	23 мкг/л
Залізо загальне	0,01 мг/л
Марганець	0 мкг/л
Нафтопродукти	1,48 мг/л
Феноли летючі	0 мг/л
СПАР	0 мг/л

### ***Контрольні питання до ЗМ 1***

1. Що розуміють під гранично допустимою концентрацією речовини у воді водних об'єктів?
2. Що таке лімітуюча ознака шкідливості? Які лімітуючі ознаки шкідливості ви знаєте?
3. Що таке клас небезпеки речовини?
4. Які види водокористування та вимоги до його здійснення ви знаєте?
5. Як поділяються показники якості води?
6. Як проводиться оцінка якості води для господарсько-побутової і питної категорій водокористування?
7. Поясніть поняття «питне водопостачання»? Якими документами регламентується якість питної води?
8. Які вимоги ставляться до джерел питного водопостачання?
9. Чим відрізняються централізоване та децентралізоване питне водопостачання?

## ЗМ 2 Джерела впливу на поверхневі водні об'єкти.

### Внутрішньоводоймищні процеси формування якості поверхневих вод

Тема 4. Класифікація джерел впливу на поверхневі водні об'єкти.

*Зміст практичних занять:* розгляд основних джерел впливу на поверхневі водні об'єкти, їх характеристика. Класифікація джерел впливу на водні об'єкти: за походженням, локалізацією, терміном впливу. Характеристика випусків стічних вод промислових підприємств та міських стічних вод. Розглядаються процеси формування якості поверхневих вод: гідравлічні процеси формування якості води, самоочищення водних об'єктів, евтрофування водних об'єктів.

Тема 5. Перенос речовин водострумами. Розведення стічних вод у водострумах.

*Зміст практичних занять:* розгляд закономірностей переносу речовин водострумами. Турбулентне змішування. Розведення стічних вод. Кратність основного, початкового та загального розведення.

*Мета практичного заняття* – опанування методологією визначення гідравлічних характеристик рівномірних потоків у водострумах відповідно до розрахункових (заданих) умов водокористування.

Розрахунок базується на рівнянні нерозривності:

$$Q = \omega v,$$

та рівняння Шезі:

$$v = Sh\sqrt{Ri},$$

де  $Q$  – витрата водоструму, м<sup>3</sup>/с;

$\omega$  – площа живого перетину, м<sup>2</sup>;

$v$  – швидкість руху потоку, м/с;

Sh – коефіцієнт Шезі, м<sup>1/2</sup>/с;

R – гідравлічний радіус, м;

i – ухил дна русла.

### ***Приклад виконання розрахунку***

Потік протікає в руслі трапецієподібної форми, прокладеному у важкій щільній глині. Русло порівняно чисте. Глибина потоку  $h = 2,65$  м. Витрата води в потоці  $Q_{\phi} = 22$  м<sup>3</sup>/с, середня по живому перетину швидкість потоку  $v = 0,35$  м/с. Визначити глибину потоку (з точністю до 5 см) і швидкість потоку при витраті  $Q_{95\%} = 11$  м<sup>3</sup>/с.

Хід роботи:

1. Визначаємо характеристики русла, що не змінюються при зміні витрати.

Відповідно до додатка А, коефіцієнт шорсткості  $n_{ш} = 0,04$ . Відповідно до додатка Б, визначаємо коефіцієнт укосу  $m = 1$ .

2. Визначаємо ширину потоку по дну  $b$ :

$$Q = \omega v \Rightarrow \omega = \frac{Q}{v} = 62,9 \text{ м.}$$

Для трапецієподібного русла  $\omega = (b + mh)h \Rightarrow b = \frac{\omega}{h} - mh = 21,07$  м.

3. Визначаємо ухил дна:

$$v = Sh\sqrt{Ri} \Rightarrow i = \frac{v^2}{Sh^2R}.$$

4. Визначаємо змочений периметр:

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2} = 28,6 \text{ м.}$$

5. Визначаємо гідравлічний радіус:

$$R = \frac{\omega}{\chi} = 2,2 \text{ м.}$$

6. Визначаємо коефіцієнт Шезі. Оскільки глибина потоку не перевищує 5 м, використовуємо формулу Павловського:

$$\text{Sh} = \frac{1}{n_{\text{ш}}} R^y; y = 2,5\sqrt{n_{\text{ш}}} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n_{\text{ш}}} - 0,1) = 0,259;$$
$$\text{Sh} = 30,66 \frac{\sqrt{M}}{c}.$$

7. Розраховуємо ухил дна:

$$i = \frac{v^2}{\text{Sh}^2 R} = 0,00006.$$

8. Розраховуємо модуль витрати, що відповідає новій витраті  $Q_{95\%}$ :

$$K_0 = \frac{Q_{95\%}}{\sqrt{i}} = 1429,4 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

9. Методом підбору визначаємо глибину потоку, що відповідає витраті. Для цього задаємося деяким значення глибини  $h$  і для цього значення послідовно проводимо такі розрахунки:

$$\omega = (b + mh)h;$$

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2};$$

$$R = \frac{\omega}{\chi};$$

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

$$Sh = \frac{1}{n_{ш}} R^y;$$

$$K = \omega Sh \sqrt{R};$$

$$\Delta = \frac{K - K_0}{K_0}.$$

Розрахунки за методом підбору доцільно проводити в табличній формі (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Розрахунки за методом підбору

h	$\omega$	$\chi$	y	R	Sh	K	$\Delta$
1,3	29,08	24,75	0,289	1,18	26,2	826	-0,42
1,6	36,27	25,6	0,281	1,4	27,6	1190	-0,17
1,8	41,17	26,16	0,276	1,6	28,3	1463	0,02
1,7	38,71	25,88	0,278	1,5	28,0	1324	-0,07
1,75	39,93	26,02	0,277	1,5	28,2	1393	-0,03

З таблиці 2.3 випливає, що значення глибини міститься між 1,75 м ( $\Delta < 0$ ) і 1,8 м ( $\Delta > 0$ ). Оскільки за умовами завдання достатньо визначити глибину з точністю 0,05 м, із цих двох значень приймаємо те, що дає меншу похибку  $\Delta$ . Таким чином, приймаємо  $h = 1,75$  м.

Визначаємо швидкість потоку, що відповідає  $Q_{95\%}$ :

$$v = \frac{Q_{95\%}}{\omega} = 0,27 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Зазначимо, що значення  $\omega = 39,93$  м можна взяти з таблиці 2.3 (з рядка, що відповідає  $h = 1,75$  м).

Задача підбору глибини також може бути розв'язана за допомогою програмних засобів *Excel* (підбір параметра) або *MathCAD* (розв'язок рівняння з однією невідомою).

### ***Завдання для самостійної роботи***

Потік протікає в руслі трапецеїподібної форми, прокладеному в піщано-гравійному ґрунті. Русло значно засмічене, звивисте й частково заросле. Витрата води в потоці дорівнює  $130 \text{ м}^3/\text{с}$ , середня глибина потоку дорівнює  $3,3 \text{ м}$ , середня по живому перетину швидкість потоку дорівнює  $0,25 \text{ м/с}$ . Визначити глибину й швидкість потоку при витраті  $45 \text{ м}^3/\text{с}$ .

### **Розбавлення стічних вод у водострумах**

*Мета практичних занять:* опанування методикою розрахунку показників якості води на заданій відстані від скидів стічних вод.

Хід роботи:

1. Визначення параметрів випусків стічних вод.

Початкове розбавлення виникає, якщо виконуються такі умови:

$$V_{\text{ст}} > 2 \text{ м/с і } V_{\text{ст}} \geq 4V_{\text{ф}},$$

де  $V_{\text{ст}}$  – швидкість витікання стічних вод з оголовку випуску, м/с;

$V_{\text{ф}}$  – середня по перетину швидкість течії водоструму, м/с.

2. Визначення параметрів зосереджених водовипусків.

Єдиним конструктивним параметром зосередженого водовипуску є діаметр оголовку  $d_o$ . Окрім умов існування початкового розбавлення, при визначенні діаметра оголовку необхідно також задовольняти технологічні обмеження:  $d_o \geq 0,1 \text{ м}$ , градація діаметра відбувається через кожні  $5 \text{ см}$ :

$$d_o = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\text{ст}}}{\pi \cdot V_{\text{кр}}}},$$



де  $Q_{ст}$  – витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/с;

$$V_{кр} = \max(2; 4V_{\phi}).$$

Розрахункове значення  $d_o$  зменшується до значення кратного 5 см. У випадку (навіть якщо  $d_o = 0,1$  м), коли значення швидкості витoku стічних вод не задовольняє вимоги існування початкового розбавлення і початкового розбавлення не відбувається, кратність початкового розбавлення  $n_H = 1$ .

### ***Приклад розрахунку***

Швидкість течії у водострумі  $V_{\phi} = 0,25$  м/с. Мінімальна витрата стічних вод  $Q_{ст} = 0,9$  м<sup>3</sup>/с. Визначити діаметр оголовку зосередженого випуску при якому існує початкове розбавлення.

$$V_{кр} = \max(2; 4V_{\phi}) = 2 \text{ м/с.}$$

$$d_o = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{ст}}{\pi \cdot V_{кр}}} = 0,575 \text{ м.}$$

Зменшуємо до значення кратного 5 см, тобто  $d_o = 0,55$  м.

Перевіряємо виконання умов існування початкового розбавлення:

$$V_{ст} = \frac{4Q_{ст}}{\pi d_o^2} = 2,04 \text{ м/с} > V_{кр}.$$

### **Визначення параметрів розсіювальних водовипусків**

Розсіювальні водовипуски мають три конструктивні параметри: діаметр оголовків  $d_o$ ; кількість оголовків  $N$  і відстань між оголовками  $l_1$ .

Хід роботи:

1. Довжина труби-розсіювача  $l = l_1/(N-1)$  повинна міститися в діапазоні 0,8–0,9 ширини потоку зверху.

$$l = 0,8 \div 0,9 B,$$

де  $B$  – ширина потоку в найменш маловодний період, м.

2. Відстань між оголовками

$$l_1 = h + 0,5.$$

3.  $N = \frac{l}{l_1} + 1$ . Величина має бути цілим значенням.

$$4. d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{ст}}{\pi \cdot V_{кр} \cdot N}}.$$

За конструктивними міркуваннями мають виконуватися умови:  $d_0 \geq 0,1$  м, градація діаметра відбувається через кожні 5 см, тобто  $d_0 = 0,10; 0,15; 0,20; 0,25$  м і т. д. Відстань між оголовками повинна мати градацію 0,1 м.

Таким чином, отриманий діаметр має бути наближений до величини, що закінчується на 0 або 5. Проте необхідно стежити, щоб швидкість витoku стічних вод завжди задовольняла зазначені вище вимоги. У разі необхідності збільшення діаметра  $d_0$  до необхідної величини швидкість витoku  $V_{ст}$  можна утримати на необхідному рівні, зменшуючи кількість оголовків  $N$  і, відповідно, збільшуючи відстань між ними.

### **Приклад розрахунку**

$$Q_{ф} = 130 \text{ м}^3/\text{с}; h = 2,4 \text{ м}; V_{ф} = 0,25 \text{ м}/\text{с}; m = 1,5; n = 0,04; Q_{ст} = 0,9 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Визначимо параметри розсіювального випуску:

1. Визначаємо ширину потоку зверху:

$$\omega = \frac{Q_{\phi}}{V_{\phi}}; \omega = (b + mh)h; B = b + 2mh.$$

Звідси

$$\omega = (B - mh)h; \Rightarrow B = \frac{\omega}{h} + mh;$$

$$B = \frac{Q_{\phi}}{V_{\phi}h} + mh = 220,3 \text{ м.}$$

2. Визначаємо мінімальну та максимальну довжину труби-розсіювача:

$$l_{\min} = 0,8B = 176,2 \text{ м.}$$

$$l_{\max} = 0,9B = 198,2 \text{ м.}$$

3. Визначаємо відстань між оголовками:

$$l_1 = h + 0,5 = 2,9 \text{ м.}$$

4. Визначаємо мінімальну кількість оголовків:

$$N_{\min} = \frac{l_{\min}}{l_1} + 1 = 61,76.$$

Оскільки кількість оголовків має бути цілою величиною і отримане розрахункове значення є мінімальною величиною, збільшуємо N до 62:  $N = 62$ .

5. Визначаємо діаметр оголовків:

$$d_o = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\text{ст}}}{\pi \cdot V_{\text{кр}} \cdot N}} = 0,096 \text{ м,}$$

де  $V_{кр} = \max(2; 4V_{\phi}) = 2 \text{ м/с}$ .

6. Діаметр оголовків менше ніж 0,1 м, тому збільшуємо його до 0,1 м:  
 $d_o = 0,1 \text{ м}$ .

7. Внаслідок збільшення діаметра для збереження умов існування початкового розбавлення необхідно зменшити кількість оголовків. Нова кількість оголовків розраховується так:

$$N = \frac{4Q_{ст}}{\pi d_o^2 V_{тр}} = 57,3.$$

Оскільки збільшення кількості оголовків призведе до зменшення швидкості витоку стічних вод, ми *зменшуємо* кількість оголовків до найближчої цілої величини:  $N = 57$ .

Перевіряємо умови існування початкового розбавлення:

$$V_{ст} = \frac{4Q_{ст}}{\pi d_o^2 N} = 2,01 \text{ м/с} > V_{кр}.$$

8. Розраховуємо нову мінімальну відстань між оголовками:

$$l_{1\min} = \frac{l_{\min}}{N-1} = 3,15 \text{ м}.$$

Виходячи з того що градація довжини дорівнює 0,1 м, а розрахована величина є мінімальною, збільшуємо розрахункове значення до 3,2 м:  $l_1 = 3,2 \text{ м}$ .

Перевіряємо, чи довжина труби-розсіювача лежить в межах 0,8–0,9 В:

$$l = l_1(N-1) = 179,2 \text{ м}.$$

## Розрахунок кратності початкового розбавлення

Після того як визначені параметри водовипуску (розсіювального або зосередженого), визначають кратність початкового розбавлення.

Кратність початкового розбавлення визначається за формулою:

$$n_H = \frac{0,248}{1 - m_V} \cdot \bar{d}^2 \cdot \left[ \sqrt{m_V^2 + 8,1 \cdot \frac{1 - m_V}{\bar{d}^2}} - m_V \right] \cdot f,$$

де  $m_V$  – співвідношення швидкісних натисків;

$\bar{d}$  – відносний діаметр струменя стічних вод на межі зони початкового розбавлення;

$f$  – коефіцієнт стиснення струменя.

$$m_V = \frac{\rho_\phi \cdot V_\phi}{\rho_{ст} \cdot V_{ст}},$$

де  $\rho_\phi$  і  $\rho_{ст}$  – відповідно, щільність води водного об'єкта і стічних вод; у більшості випадків  $\rho_\phi = \rho_{ст}$ , тому

$$m_V = \frac{V_\phi}{V_{ст}}.$$

Оскільки  $V_{ст} > 4V_\phi$ , то  $m < 0,25$ .

$$f = \begin{cases} 1,825 \cdot \frac{h}{d} - 0,781 \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^2 - 0,0038 & \text{при } d < h \\ 1 & \text{при } d \geq h \end{cases},$$

де  $d$  – абсолютний діаметр струменя стічних вод на межі зони початкового розбавлення, м,  $0 < f \leq 1$ . В разі якщо розрахункова величина  $f$  перевищує одиницю,  $f = 1$ .

Визначення абсолютного і відносного діаметрів струменів стічних вод залежить від типу випуску.

Для зосередженого випуску спочатку визначається відносний діаметр за формулою

$$\bar{d} = \sqrt{\frac{7,465}{\Delta V_m \cdot [\Delta V_m \cdot (1 - m_v) + 1,92 \cdot m_v]}}$$

де  $\Delta V_m = \frac{0,15}{V_{ст} - V_{\phi}}$ .

Абсолютний діаметр струменя  $d$  розраховується за формулою

$$d = d_o \cdot \bar{d}.$$

Для розсіювального водовипуску абсолютний діаметр струменю на межі зони початкового розбавлення приймається рівним відстані між оголовками:

$$d = l_1.$$

Тоді відносний діаметр струменя визначається за формулою

$$\bar{d} = \frac{d}{d_o} = \frac{l_1}{d_o}.$$

В разі якщо початкове розбавлення відсутнє або його розрахункова величина виявляється меншою за одиницю,  $n_H = 1$ .

### Приклад розрахунку

$Q_{\phi} = 130 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $h = 2,4 \text{ м}$ ;  $V_{\phi} = 0,25 \text{ м}/\text{с}$ ;  $m = 1,5$ ;  $n = 0,04$ ;  $Q_{\text{ст}} = 0,9 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  
випуск зосереджений;  $d_0 = 0,75 \text{ м}$ .

Визначити кратність початкового розбавлення:

$$V_{\text{ст}} = \frac{4Q_{\text{ст}}}{\pi d_0^2} = 2,04 \text{ м}/\text{с}.$$

Умови існування початкового розбавлення виконуються:

$$m_v = \frac{V_{\phi}}{V_{\text{ст}}} = 0,123.$$

$$\Delta V_m = \frac{0,15}{V_{\text{ст}} - V_{\phi}} = 0,084.$$

$$\bar{d} = \sqrt{\frac{7,465}{\Delta V_m \cdot [\Delta V_m \cdot (1 - m_v) + 1,92 \cdot m_v]}} = 16,94.$$

$$d = d_0 \cdot \bar{d} = 12,71 \text{ м}.$$

Оскільки  $d > h$ ,

$$f = 1,825 \cdot \frac{h}{d} - 0,781 \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^2 - 0,0038 = 0,313.$$

$$n_H = \frac{0,248}{1 - m_v} \cdot \bar{d}^2 \cdot \left[ \sqrt{m_v^2 + 8,1 \cdot \frac{1 - m_v}{\bar{d}^2}} - m_v \right] \cdot f = 1,95.$$

### **Завдання для самостійного виконання**

Скид стічних вод здійснюється до водоструму. Витрата стічних вод становить  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ . Витрата водоструму дорівнює  $30 \text{ м}^3/\text{с}$ , а відповідні цій витраті глибина та швидкість потоку дорівнюють, відповідно,  $2 \text{ м}$  і  $0,2 \text{ м/с}$ . Коефіцієнт шорсткості русла дорівнює  $0,04$ . Коефіцієнт ухилу трапецієподібного русла приймається рівним  $1$ .

Визначити: а) параметри зосередженого і розсіювального випусків, що забезпечують існування початкового розбавлення; б) кратність початкового розбавлення для зосередженого випуску; в) кратність початкового розбавлення для розсіювального випуску.

### **Розрахунок кратності основного розбавлення за методом Фролова**

Кратність основного розбавлення визначається за формулою

$$n_o = \frac{Q_{ст} + Q_{зм}}{Q_{ст}},$$

де  $Q_{ст}$  – витрата стічних вод,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$Q_{зм}$  – витрата змішання – частина витрати основного потоку, що приєдналася до витрати стічних вод,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

$$Q_{зм} = \gamma \cdot Q_{\phi},$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт змішання,

$Q_{\phi}$  – витрата основного потоку,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

$$n_o = \frac{Q_{ст} + \gamma \cdot Q_{\phi}}{Q_{ст}}.$$



Коефіцієнт змішання може змінюватися в діапазоні від 0 до 1.

Відсутності розбавлення ( $\gamma = 0$ ) відповідає кратність розбавлення  $n_o = 1$ .

Відповідно, при  $\gamma = 1$  отримуємо максимальну для цього водотоку і випуску стічних вод кратність розбавлення. Вона досягається в створі повного змішування. У ньому відбувається вирівнювання концентрацій за живим перетином водоструму.

Величина коефіцієнта змішання визначається за формулою

$$\gamma = \frac{1 - \beta}{1 + \frac{Q_{\phi}}{Q_{\text{ст}}} \cdot \beta},$$

$$\beta = e^{-\alpha \cdot \sqrt[3]{L}},$$

де  $L$  – відстань від місця випуску до розрахункового створу, м.

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{Q_{\text{ст}}}},$$

де  $\xi$  – коефіцієнт, що характеризує тип випуску стічних вод:  $\xi=1$  для берегових випусків;  $\xi=1,5$  для руслових випусків (випусків в стрижень).

Розсіювальний випуск розглядається як русловий;

$\varphi$  – коефіцієнт звивистості русла річки:

$$\varphi = \frac{L}{L_{\text{np}}},$$

де  $L_{np}$  – відстань по прямій від випуску стічних вод до контрольного створу, м (для рівнинних річок  $\varphi = 1,1-1,3$ ).

$D$  – коефіцієнт турбулентної дифузії,  $\text{м}^2/\text{с}$ , що характеризує турбулентні властивості основного потоку:

$$D = \frac{g \cdot V_{\phi} \cdot h}{37 \cdot n_{ш} \cdot Sh^2},$$

де  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення сили тяжіння;

$V_{\phi}$ , – середня за перетином водотоку швидкість потоку,  $\text{м/с}$ ;

$h$  – середня за перетином водотоку глибина, м;

$n_{ш}$  – коефіцієнт шорсткості русла водотоку;

$Sh$  – коефіцієнт Шезі,  $\text{м}^{1/2}/\text{с}$ .

Методика розрахунку коефіцієнта Шезі розглянута в темі «Перенесення речовин водострумами».

### ***Приклад розрахунку***

$Q_{\phi} = 130 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $h = 2,4 \text{ м}$ ;  $V_{\phi} = 0,25 \text{ м/с}$ ;  $m = 1,5$ ;  $n = 0,04$ ;  $Q_{ст} = 0,9 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  
випуск зосереджений береговий.

Визначити кратність основного розбавлення в контрольному створі на відстані 700 м від випуску стічних вод.

$$\omega = \frac{Q_{\phi}}{V_{\phi}} = 520 \text{ м};$$

Визначаємо ширину потоку по дну:

$$b = \frac{\omega}{h} - mh = 213,1 \text{ м};$$

Визначаємо змочений периметр:

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2} = 221,8 \text{ м.}$$

Визначаємо гідравлічний радіус:

$$R = \frac{\Omega}{\chi} = 2,3 \text{ м.}$$

Визначаємо коефіцієнт Шезі (оскільки глибина потоку не перевищує 5 м, використовуємо формулу Павловського):

$$Sh = \frac{1}{n_{ш}} R^y; y = 2,5\sqrt{n_{ш}} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n_{ш}} - 0,1) = 0,256;$$

$$Sh = 30,94 \frac{\sqrt{M}}{c}.$$

Розраховуємо коефіцієнт турбулентної дифузії:

$$D = \frac{g \cdot V_n \cdot h}{37 \cdot n_{ш} \cdot Sh^2} = 0,004 \text{ м}^2 / \text{с};$$

$\xi = 1$ , оскільки випуск береговий; при відсутності натурних даних  $\varphi$  приймаємо рівним 1 (відповідає найгіршим умовам водокористування).

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{Q_{ст}}} = 0,164 \frac{1}{\sqrt[3]{M}};$$

$$\beta = e^{-\alpha \cdot \sqrt[3]{L}} = 0,233;$$

Розраховуємо коефіцієнт змішання:

$$\gamma = \frac{1 - \beta}{1 + \frac{Q_{\phi}}{Q_{ст}} \cdot \beta} = 0,022 .$$

Кратність основного розбавлення

$$n_o = \frac{Q_{ст} + \gamma \cdot Q_{\phi}}{Q_{ст}} = 4.18 .$$

### **Завдання для самостійного виконання**

Скид стічних вод здійснюється до водоструму. Витрата стічних вод становить 1 м<sup>3</sup>/с. Витрата водоструму дорівнює 30 м<sup>3</sup>/с, а відповідні цій витраті глибина та швидкість потоку дорівнюють, відповідно, 2 м і 0,2 м/с. Коефіцієнт шорсткості русла дорівнює 0,04. Коефіцієнт ухилу трапецієподібного русла приймаємо рівним 1.

Визначити кратність основного розбавлення для зосередженого берегового та руслового випусків.

### ***Контрольні питання до теми:***

1. З чого складається кратність повного розбавлення?
2. Які початкові дані необхідні для розрахунку кратності розбавлення?
3. Від чого залежить значення коефіцієнта шорсткості  $n_{ш}$ ?
4. Що таке створ повного перемішування?
5. Виконання яких умов необхідне для визначення існування кратності початкового розбавлення?

Тема 6. Гідрохімічні та гідробіологічні процеси формування якості води.

**Зміст практичних занять:** порівняльний аналіз фізичних, хімічних та біологічних процесів самоочищення водних об'єктів, факторів евтрофування водних об'єктів.

**Контрольні питання до теми:**

1. Автохтонні джерела надходження біогенів.
2. Алохтонні джерела надходження біогенів.
3. Що таке евтрофування водних об'єктів?
4. Відмінності процесів природного та антропогенного евтрофування.
5. Екологічні наслідки евтрофування.
6. Оцінка трофічного рівня водних об'єктів.
7. Як позначиться на розвитку процесів евтрофування ізоляція дна водойми (наприклад, покриття поліетиленовою плівкою)?
8. Чому надходження у природні води фосфорних добрив буде сприяти розвитку процесів евтрофування, а калійних – ні?

**ЗМ 3 Моделі якості поверхневих вод**

Тема 7. Прогнозування якості води водних об'єктів в умовах надходження домішок на основі математичного моделювання.

**Зміст практичних занять:** принципи математичного моделювання процесів формування якості води з урахуванням наявних і планованих зовнішніх впливів на водний об'єкт. Класифікація моделей якості води. Використання моделей для прогнозування якості води.

Тема 8. Моделювання процесів евтрофування.

**Зміст практичних занять:** принципи моделювання процесів евтрофування водних об'єктів. Прогноз і оцінювання трофічного рівня на основі математичних моделей.

## Прогнозування величин показників якості води в контрольному створі на основі моделі Фролова – Родзіллера

1. Якщо  $C_{ст} > C_{ф}$ , максимальна величина показника в контрольному створі визначається за формулою Фролова – Родзіллера:

$$C = C_{ф} + \frac{C_{ст} - C_{ф}}{n},$$

де  $C_{ст}$  і  $C_{ф}$  – величина показника якості води, відповідно, у стічній воді і вище випуску стічних вод (у фоновому створі), г/м<sup>3</sup>;

$n$  – загальна кратність розбавлення.

$$n = \min(n_{н} \cdot n_{о}, n_{повн}),$$

де  $n_{н}$  і  $n_{о}$  – відповідно, кратність початкового розбавлення і кратність основного розбавлення, що розраховуються відповідно до методики, викладеної в цих методичних рекомендаціях;

$n_{повн}$  – повна кратність розбавлення, що відповідає повному змішуванню стічних вод з водою водоструму, тобто є максимально досяжною.

$$n_{повн} = 1 + \frac{Q_{ф}}{Q_{ст}},$$

де  $Q_{ф}$  і  $Q_{ст}$  – відповідно, витрати водоструму і стічних вод м<sup>3</sup>/с.

2. Якщо  $C_{ст} \leq C_{ф}$ , то  $C = C_{ф}$ .

### *Приклад розрахунку*

Витрата водоструму становить 5 м<sup>3</sup>/с. Витрата стічних вод – 0,55 м<sup>3</sup>/с. Розраховані за наведеними вище методиками кратності основного і

початкового розведення становлять, відповідно,  $n_o = 6,16$  і  $n_n = 3,55$ . Перелік показників та їх величин, відповідно, у стічній воді  $C_{ст}$  і фоновому створі  $C_{ф}$  наведені в таблиці 2.4. Визначити дотримання норм якості води для рибогосподарської першої категорії екологічно безпечного водокористування.

Таблиця 2.4 – Вихідні дані для розрахунку

Показник	$C_{ст}$	$C_{ф}$
ХСК	90	20
Стирол	0,15	0,2

*Розв'язання:*

1. Визначаємо загальну кратність розведення:

$$n = n_o n_n = 21,89.$$

2. Визначаємо кратність повного змішування:

$$n_{полн} = 1 + \frac{Q_{ф}}{Q_{ст}} = 1 + \frac{5}{0,55} = 10,09.$$

3. Оскільки кратність розведення не може перевищувати повну кратність, для подальших розрахунків приймаємо  $n = 10,09$ .

4. Розраховуємо величини показників якості води в контрольному створі. Для ХСК  $C_{ст} > C_{ф}$ , тому розрахунок проводимо за формулою Фролова – Родзіллера:

$$C = C_{ф} + \frac{C_{ст} - C_{ф}}{n},$$

$$C = 20 + \frac{90 - 20}{10,09} = 26,94 \text{ г/м}^3.$$

Для стиролу  $C_{ст} < C_{ф}$ , тому для нього приймаємо  $C = C_{ф} = 0,15 \text{ г/м}^3$ .

Результати розрахунків наведемо у вигляді таблиці (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Результати розрахунків

Показник	Сст	Сф	С
ХСК	90	20	26,94
Стирол	0,15	0,2	0,2

***Контрольні питання до теми:***

1. Чи впливають механізми самоочищення на величину показника якості води – хлориди? Відповідь поясніть.
2. Поясніть термін «самоочищення водного об'єкта».
3. Поясніть, у чому полягає значення атмосферної реаерації для процесів формування якості води.
4. Чому збільшення вмісту завислих часток, особливо органічного походження, свідчить про розвиток процесів евтрофування?
5. Якому із двох рівнів трофності (оліготрофному чи евтрофному) відповідає характеристика «біорізноманіття фітопланктону високе» і чому?
6. Чому природне евтрофування не спостерігається в річках?
7. Чому надходження у воду фосфорних добрив буде сприяти розвитку процесів евтрофування, а калійних – ні?
8. Поясніть, що таке «трофічний рівень водного об'єкта».
9. Назвіть екологічні зони водойми й поясніть їхні відмінності.
10. Назвіть основну причину розвитку антропогенного евтрофування.



### 3 САМОСТІЙНА РОБОТА

*Самостійна робота* – це важлива частина підготовки майбутнього фахівця, що дозволяє йому навчитися працювати з нормативною та довідковою літературою, різноманітними джерелами, а також умінню обробляти й аналізувати отриману інформацію.

Для успішного складання екзамену з дисципліни «Джерела та процеси забруднення гідросфери» студент повинен самостійно пропрацювати змістові модулі конспекту лекцій з дисципліни та додаткову літературу, виконати розрахункові завдання за темами курсу та відповісти на контрольні питання до них.

Перевірку якості засвоєння теоретичного матеріалу й рівня набутих вмінь студентів денної та заочної форм навчання викладач проводить за результатами виконання практичних завдань.

Контроль якості засвоєння матеріалу викладач проводить під час проведення екзамену.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 9 грудня 2022 р. № 1134-р. // Офіц. вісн. України. – 2022. – № 99. – Ст. 6244.
2. Ломницька Я. Ф. Склад та хімічний контроль об'єктів довкілля : навч. посіб. / Я. Ф. Ломницька, В. О. Василечко, С. І. Чихрій. – 2-ге вид. – Львів : Новий Світ-2000, 2019. – 589 с.
3. Гідроекологія : підручник / М. О. Клименко, Ю. В. Пилипенко, Ю. Р. Гроховська та ін. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. – 380 с.
4. Multi-tracing of recharge seasonality and contamination in groundwater: a tool for urban water resource management / Y. Vystavna, S. Schmidt, D. Diadin, P. Rossi, Y. Vergeles, M. Erostate, I. Yermakovych, V. Yakovlev, K. Knoller, I. Vadillo // Water Research. – 2019. – Vol. 161. – P. 413–422.
5. Capacity of urban springs to support emergency water needs, a Secondary City case study: Kharkiv, Ukraine / D. Davis, D. Diadin, A. Shores, O. Khandogina, M. Laituri // Urban Water Journal. – 2020. – Vol. 17:4. – P. 368–376.
6. Проблема забруднення води Свято-Пантелеймонівського джерела у м. Харків і спосіб її вирішення / В. В. Яковлев, Т. В. Дмитренко, Д. В. Дядін, Ю. І. Вергелес // Науковий вісник будівництва. – Вип. 4 (102). – 2020. – С. 200–212.
7. Водний Кодекс України [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>, вільний (дата звернення: 09.03.2024). – Назва з екрана.
8. Про затвердження Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/465-99-%D0%BF#Text>, вільний (дата звернення: 09.03.2024). – Назва з екрана.
9. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [Електрон.

ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>, вільний (дата звернення: 10.03.2024). – Назва з екрана.

10. Про затвердження Порядку ведення державного обліку водокористування [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0382-15#Text>, вільний (дата звернення: 10.03.2024). – Назва з екрана.

## ДОДАТОК А

### Значення коефіцієнта шорсткості $n_{ш}$

Характеристика русла	$n_{ш}$
Природні русла, у тому числі ріки гірського походження, але з невеликими уклонами в сприятливих умовах: чисте, пряме, незасмічене земляне русло (глина, пісок, дрібний гравій) з вільною течією	0,025
Те саме, при галечно-гравійному руслі	0,029
Періодичні потоки (великі й малі) при дуже гарному стані поверхні й формі ложа; галечно-гравійні русла в сприятливих умовах, але з помітним вмістом наносів або більшою, ніж у попередньому випадку, галькою русла	0,033
Земляні русла періодичних водотоків (сухих балок) у сприятливих умовах, правильні, добре розроблені галечникові русла гірських рік у нижній течії; порівняно чисті русла постійних рівнинних водотоків у звичайних умовах, русло звивисте, з деякими неправильностями в напрямі струменів або пряме, але з неправильностями в рельєфі дна (відмілини, вимоїни, місцями камені)	0,04
Періодичні (зливові й весняні) водотоки, що несуть під час паводка помітну кількість наносів, із великогалечним або вкритим рослинністю (травою та ін.) ложем; русла великих і середніх рік, значно засмічені, звивисті й частково зарослі, кам'янисті, з неспокійною течією; заплави великих і середніх рік, порівняно розроблені, нормально порослі рослинністю (травою, чагарником)	0,05
Русла періодичних водотоків, сильно засмічені й звивисті; заплави рік, нерівні, погано розроблені, що сильно заросли (вимоїни, чагарники, дерева, з наявністю заводів; порожисті ділянки рівнинних рік; галечно-валунні русла гірського типу (у середній течії) з неправильною поверхнею водного дзеркала	0,067
Періодичні водотоки й валунні русла гірського типу з бурхливою пінистою течією, з поритою поверхнею водного дзеркала (із бризами води); русла й заплави рівнинних рік, значно зарослі, зі слабкою течією, з великими глибокими вимоїнами	0,08
Заплави такі самі, як і в попередньому випадку, але із сильно скривленими косоструменевою течією, заводами та ін.; русла гірсьководопадного типу із великовалунним і звивистим ложем, з яскраво вираженими перепадами; пінистість настільки сильна, що вода, втративши прозорість, має білий колір, а шум потоку домінує над усіма іншими звуками	0,1
Ріки болотного типу (зарості, купини, стояча вода в багатьох місцях і т. п.; заплави місцеві з дуже великими мертвими просторами, з місцевими заглибленнями (озерами та ін.)	0,13

## ДОДАТОК Б

### Значення коефіцієнта укосу $m$

Тип ґрунту	$m$
Дрібнозернисті піщані ґрунти	3–3,5
Супіщані ґрунти	2–2,5
Щільна супісь і легкий суглинок	1,5–2
Гравелисті й піщано-гравелисті ґрунти	1,5
Важкі суглинки, щільні леси й звичайні глини	1–1,5
Важкі щільні глини	1
Різні скельні породи залежно від ступеня вивітреності	0,5–0,1

*Електронне навчальне видання*

Методичні рекомендації  
до проведення практичних занять та організації самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

**«ДЖЕРЕЛА ТА ПРОЦЕСИ ЗАБРУДНЕННЯ ГІДРОСФЕРИ»**

*(для здобувачів першого (бакалаврського рівня вищої освіти) всіх форм  
навчання зі спеціальності 101 – Екологія)*

Укладачі: **ПОНОМАРЕНКО** Євген Георгійович,  
**ДМИТРЕНКО** Тетяна Володимирівна

Відповідальний за випуск *К. М. Задорожний*  
Редактор *О. А. Норик*  
Комп'ютерне верстання *Т. В. Дмитренко*

План 2022, поз. 39М

---

Підп. до друку 22.04.2024. Формат 60 × 84/16.  
Ум. друк. арк. 2,2.

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: office@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017.