

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

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до проведення практичних занять, організації самостійної роботи  
і виконання розрахунково-графічного завдання

з навчальної дисципліни

**«ПРИКЛАДНА ГІДРОЕКОЛОГІЯ»**

*(для студентів 3 курсу першого (бакалаврського) рівня денної і заочної форм  
навчання спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2019**

Методичні рекомендації до проведення практичних занять, організації самостійної роботи і виконання розрахунково-графічного завдання з навчальної дисципліни «Прикладна гідроекологія» (для студентів 3 курсу першого (бакалаврського) рівня денної і заочної форм навчання спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Є. Г. Пономаренко, Т. В. Дмитренко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 32 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 № 1 від 28.08.2018.*

## З М І С Т

Вступ	4
1 Мета та завдання навчальної дисципліни	5
2 Практичні заняття з дисципліни	6
3 Самостійна робота....	27
4 Розрахунково-графічне завдання «Формування якості води під впливом гідрофізичних факторів»	28
Список рекомендованих джерел	30

## **ВСТУП**

Метою проведення практичних робіт є вдосконалення теоретичних знань і придбання практичних умінь студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища з курсу «Прикладна гідроекологія» при проведенні оцінки якості води на основі нормативів екологічної безпеки водокористування, визначенні класу і категорії якості води водних об'єктів на основі нормативів екологічної безпеки водокористування, при розрахунку основного та початкового розбавлення в водострумах.

Щодо кожної теми передбачено проведення встановленого учбовим планом практичних занять і закріплення знань студентів шляхом виконання розрахунково-графічної роботи.

## 1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Мета та завдання** вивчення дисципліни «Прикладна гідроекологія» – опанування методами екологічно безпечного водокористування та водовідведення населених пунктів та підприємств окремих галузей економіки.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

### **знати:**

- категорії водокористування;
- умови екологічно безпечного водокористування;
- закономірності формування якості води у водних об'єктах;

### **уміти:**

- оцінити антропогенний вплив на водний режим річок;
- проводити контроль стану річок в природних умовах та складати відповідний акт;
- давати оцінку якості води у річках та інших водоймах в умовах антропогенного навантаження;
- оцінювати вплив внутрішньоводоймищних процесів на якість води;

### **мати компетентності:**

- знання і критичне розуміння предметної області та професійної діяльності;
- здатність до попередження забруднення водних об'єктів та кризових явищ і процесів;
- здатність обґрунтовувати заходи для захисту водного середовища;
- здатність до пошуку, опрацюванню та узагальненню професійної, науково-технічної інформації.

## 2 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ З ДИСЦИПЛІНИ

### ЗМ 1.1 Екологічно безпечне водокористування

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 1.1

#### Оцінка якості води водних об'єктів на основі нормативів екологічної безпеки водокористування

#### Методика оцінки якості води щодо господарсько-побутової і питної категорій водокористування

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

- не порушуються загальні вимоги (ЗВ) щодо складу і властивостей води для відповідної категорії водокористування;
- для речовин, що належать до 3 і 4 класів небезпеки (КН), дотримуються умови:

$$C \leq (ГДК),$$

де  $C$  – концентрація речовини у водному об'єкті,  $\text{г/м}^3$ ;

– для речовин, що належать до 1 і 2 класів небезпеки з однаковими лімітуючими ознаками шкідливості (ЛОШ), дотримуються 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 умови:

$$C \leq (ГДК);$$

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

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

Примітка 1 Рівність нормативу не вважається його порушенням.

Примітка 2 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.

Примітка 3 Для речовин, які нормуються за ЛОШ, у разі порушення якості води вважається, що норми якості води порушені для всіх речовин, котрі 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 і 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:

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 і 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 гіпогалинних і олігогалинних вод за критеріями забруднення компонентами сольового складу.

4. Класифікація якості  *$\beta$ -мезогалинних* солоноватих 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 більше 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 олігогалинних, а також солонуватих  *$\beta$ -мезогалинних* 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 зіставлення 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 недостовірні дані. Для кожного показника визначаються середні та найнижчі значення. Середні значення зіставляють (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  $I_{\phi}$ ;
- 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:

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

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

Індекси як за окремими блоками, так і загальний індекс, можуть мати мале значення. Таким чином, категорію визначають шляхом округлення індексу. Можливе введення субкатегорії (підкатегорії). Відповідно визначається і клас якості води (табл. 3.5 [1]).

### Приклад завдання

Провести оцінку стану водного об'єкта (за наведеними нижче даними) на основі екологічної класифікації поверхневих вод з використанням «Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями):

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
цаптопродукти	-	1,48 мг/л
феноли летючі	-	0 мг/л
СПАР	-	0 мг/л

### **Контрольні питання до ЗМ 1.1**

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 1.2 Процеси формування якості води

### Тема 1 Перенесення речовин водострумами

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

В основі розрахунку лежать рівняння нерозривності

$$Q = \omega v$$

та рівняння Шезі

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

де  $Q$  – витрата водоструму,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\omega$  – площа живого перетину,  $\text{м}^2$ ;

$v$  – швидкість руху потоку,  $\text{м}/\text{с}$ ;

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

$R$  – гідравлічний радіус,  $\text{м}$ ;

$i$  – ухил дна русла.

#### ***Приклад розрахунку***

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

1. Визначаємо характеристики русла, що не змінюються при зміні витрати. Відповідно до додатка А коефіцієнт шорсткості  $n_{\text{ш}} = 0,04$ . Відповідно до додатка В визначаємо коефіцієнт відкосу:  $m = 1$ .

2. Визначаємо ширину потоку по дну  $b$ :

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

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

3. Визначаємо нахил 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:

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

$$Sh = 30,66 \frac{\sqrt{M}}{c}.$$

7. Розраховуємо нахил дна:

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

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 розраховуємо значення:

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

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

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

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

$$Sh = \frac{1}{n_{ш}}R^y;$$

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

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

Розрахунки за методом підбору доцільно проводити в табличній формі:

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 випливає, що значення глибини знаходиться між 1,75 м ( $\Delta < 0$ ) і 1,8 м ( $\Delta > 0$ ). Оскільки умовами завдання достатньо визначити глибину з точністю 0,05 м, з цих двох значень приймаємо те, що дає меншу похибку  $\Delta$ .

Таким чином, приймаємо, що  $h = 1,75$  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 може бути безпосередньо взяте з таблиці (зі строки, що відповідає  $h = 1,75$  м).

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

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

Потік протікає в руслі трапецеїдальної форми, прокладеному в піщано-гравелістому 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  $45 \text{ м}^3/\text{с}$ .

## **Тема 2 Розбавлення стічних вод у водострумах**

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

1. Визначення параметрів випусків стічних вод.

Початкове розбавлення виникає, якщо виконуються умови:

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

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  $d_0$ . Окрім умов існування початкового розбавлення при визначенні діаметру оголовку необхідно також задовольняти технологічним обмеженням:  $d_0 \geq 0,1 \text{ м}$ , градація діаметру відбувається через кожні  $5 \text{ см}$ ;

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\text{ст}}}{\pi \cdot V_{\text{кр}}}},$$

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

$$V_{\text{кр}} = \max(2; 4V_{\text{ф}}).$$

Розрахункове значення  $d_0$  зменшується до значення кратного 5 см. У випадку, якщо навіть при  $d_0 = 0,1$  м, значення швидкості витoku стічних вод не задовольняє вимогам існування початкового розбавлення, то початкового розбавлення немає, тобто кратність початкового розбавлення  $n_H=1$ .

### **Приклад розрахунку**

Швидкість течії в 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.

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

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{ст}}{\pi \cdot V_{кр}}} = 0,575 \text{ м}.$$

Зменшуємо до значення кратного 5 см, тобто  $d_0 = 0,55$  м.

Перевіряємо виконання умов існування початкового розбавлення:

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

### **Визначення параметрів розсіювальних водовипусків**

Розсіювальні водовипуски мають три конструктивні параметри: діаметр оголовків  $d_0$ ; кількість оголовків  $N$  і відстань між оголовками  $l_1$ .

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

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

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

2. Відстань між оголовками

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



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

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

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

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

#### *Приклад розрахунку*

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

Визначити 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:

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

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

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:

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

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

6. Діаметр оголовків менше 0,1 м, тому збільшуємо його до 0,1 м:

$d_o = 0,1 \text{ м}$ .

7. Внаслідок збільшення діаметру для збереження умов існування початкового розбавлення необхідно зменшити кількість оголовків. Нову кількість оголовків розраховують так:

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

Оскільки збільшення кількості оголовків призведе до зменшення швидкості витoku 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  $0,8 \div 0,9 \text{ В}$ .

$$l = l_1(N-1) = 179,2 \text{ м.}$$

### **Розрахунок кратності початкового розбавлення**

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

Кратність початкового розбавлення визначається за формулою:

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

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'єкту 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,  $0 < f \leq 1$ . У 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  $\Delta V_m = \frac{0,15}{V_{ст} - V_{ф}}$ .

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:

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

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

### Приклад розрахунку

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

Визначити кратність початкового розбавлення:

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

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 складає  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ . 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 нахилу трапецеїдального русла прийняти рівним  $1$ .

Визначити: параметри зосередженого і розсіювального випусків, що забезпечують існування початкового розбавлення; кратність початкового розбавлення для зосередженого випуску; 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 змішення – частина витрати основного потоку, що приєдналася до витрати стічних вод,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$$Q_{зм} = \gamma \cdot Q_{\phi},$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт змішення,

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

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

Коефіцієнт змішення 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 й випуску стічних вод кратність розбавлення. Вона досягається в створі повного змішування. В ньому відбувається вирівнювання концентрацій за живим перетином водоструму.

Величина коефіцієнта змішення визначається за формулою:

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

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

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

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

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:

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

де  $L_{np}$  – відстань по прямій від випуску стічних вод до контрольного створу, м.

Для рівнинних річок  $\varphi = 1,1 \div 1,3$ .

$D$  – коефіцієнт турбулентної дифузії, м<sup>2</sup>/с, що характеризує турбулентні властивості основного потоку:

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

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

$V_\phi$ , – середня за перетином водотоку швидкість потоку, 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 коефіцієнту Шезі розглянута в темі 1.2.1. – Перенос 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  $\phi$  приймаємо рівним 1 (відповідає найгіршим умовам водокористування).

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

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

Розраховуємо коефіцієнт змішення:

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

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 складає 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 трапецеїдального русла прийняти рівним 1.

Визначити кратність основного розбавлення для зосередженого берегового та руслового випусків.

### **Розрахунок величин показників якості води в контрольному створі**

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 в стічній воді і вище випуску стічних вод (у фоновому створі), г/м<sup>3</sup>;

$n$  – загальна кратність розбавлення.

$$n = \min(n_n \cdot n_o, n_{повн}),$$

де  $n_n$  і  $n_o$  – відповідно кратність початкового розбавлення і кратність основного розбавлення, що розраховуються відповідно до методики, викладеної вище;

$n_{повн}$  – 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  $C = C_{ф}$ .

### **Контрольні питання до Тем 2**

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 3 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 Тем 3**

1. Автохтонні джерела надходження біогенів.
2. Алохтонні джерела надходження біогенів.
3. Відмінності процесів природного і антропогенного евтрофування.
4. Екологічні наслідки евтрофування.
5. Оцінка трофічного рівня водних об'єктів.
6. Чому природне евтрофування не спостерігається в річках.
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.

### **3 САМОСТІЙНА РОБОТА**

*Самостійна робота студента* – це важлива частина підготовки майбутнього фахівця, що дозволяє йому навчитися роботі з різноманітними науковими й літературними джерелами, а також умінню обробляти й

аналізувати отриману інформацію.

Для успішного складання диференційованого заліку з дисципліни «Прикладна гідроекологія» студент повинен самостійно проробити змістовні модулі конспекту лекцій з дисципліни, та відповісти на контрольні питання до них.

Перевірку якості засвоєння теоретичного матеріалу й рівня надбаних вмінь студентів денної та заочної форм навчання викладач проводить за результатами виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання (РГЗ) на тему: «Формування якості води під впливом гідрофізичних факторів».

Контроль якості засвоєння матеріалу проводить викладач під час проведення диференційованого заліку.

#### **4 РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНЕ ЗАВДАННЯ «ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ ПІД ВПЛИВОМ ГІДРОФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ»**

Програмою дисципліни передбачено виконання розрахунково-графічне завдання для студентів денної та заочної форм навчання.

Тема розрахунково-графічного завдання: «Формування якості води під впливом гідрофізичних факторів».

Мета роботи: оволодіння і закріплення студентами знань щодо розрахунків гідрологічних характеристик водострумів, перерахунку гідравлічних характеристик потоків на розрахункові витрати водоструму та розрахунків кратності розбавлення стічних вод для різних типів випусків.

Виконання роботи складається з чотирьох етапів.

На першому етапі необхідно визначити розрахункові гідравлічні умови, що відповідають витраті 95 % водної забезпеченості. Методика виконання цього етапу розглядається в цих методичних рекомендаціях.

На другому етапі необхідно визначити кратності початкового та основного розбавлення, що відповідають витраті 95 % водної забезпеченості. Методика виконання цього етапу розглядаються в розділах цих методичних рекомендаціях.

На третьому етапі необхідно виконати розрахунки величин показників якості води в контрольному створі при витраті 95 % водної забезпеченості. Методика виконання цього етапу розглядається в цих методичних рекомендаціях.

На четвертому етапі необхідно проаналізувати дотримання норм екологічно безпечного водокористування для відповідної категорії з зазначенням показників, по яких порушені норми. Методика виконання цього етапу розглядається в розділі 1.1 цих методичних рекомендацій.

Оформлюють роботу на стандартних аркушах формату А4. Титульну сторінку не нумерують. Шрифт – Times New Roman, 14 пт, міжрядковий інтервал – 1,5. Поля – по 2 см. Нумерація сторінок у верхньому правому кутку аркуша.

Позитивна оцінка за РГЗ ставиться у випадку обґрунтованої та повної відповіді та захисту роботи студентом. Захищена робота є допуском до диференційованого заліку студентів денної та заочної форм навчання.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Экология города : учебник / [под общ. ред. Ф. В. Стольберга]. – Киев : Либра, 2000. – 464 с.
2. Родзиллер И. Д. Прогноз качества воды водоемов – приёмников сточных вод / И. Д. Родзиллер. – М. : Стройиздат, 1984. – 263 с.
3. Лапшов Н. Н. Расчеты выпусков сточных вод / Н. Н. Лапшов. – М. : Стройиздат, 1977. – 87 с.
4. Ладиженський В. М. Конспект лекцій з дисципліни «Прикладна гідроекологія» для студентів 2–4 курсів денної і 3–5 курсів заочної форм навчання освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» напряму підготовки 6.040106 – Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування / В. М. Ладиженський, Т. В. Дмитренко, А. В. Іщенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2013. – 153 с.
5. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Прикладна гідроекологія» (для студентів 3 курсу денної форми навчання напряму підготовки 6.040106 – Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Є. Г. Пономаренко, Т. В. Дмитренко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 14 с.

## ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Значення коефіцієнта **n**

<b>Характеристика русла</b>	<b>n</b>
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 ж, при галечно-гравійнім руслі	0,029
Періодичні потоки (великі й малі) при дуже гарному стані поверхні й форми ложа; галечно-гравійні русла в сприятливих умовах, але з помітним вмістом наносів або більшою (чим в 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 напрямку струменів або ж пряме, але з неправильностями в рельєфу дна (відмели, вимоїни, місцями камені)	0,04
Періодичні (зливові й весняні) водотоки, що несуть під час паводка помітну кількість наносів, із великогалечним або покритим 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 заводей; 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 ж, як і в попередньому випадку, але із сильно скривленим, косоструменевою течією, заводями 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 поглибленнями (озерами та ін.)	0,13

## ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Значення коефіцієнта **m**

Тип ґрунту	<b>m</b>
Дрібнозернисті піщані ґрунти	3–3,5
Супіщані ґрунти	2–2,5
Щільна супісь і легкий суглинок	1,5–2
Гравелісті й піщано-гравелісті 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



## *Виробничо-практичне видання*

Методичні рекомендації  
до проведення практичних занять, організації самостійної роботи і виконання  
розрахунково-графічного завдання  
з навчальної дисципліни

### **«ПРИКЛАДНА ГІДРОЕКОЛОГІЯ»**

*(для студентів 3 курсу першого (бакалаврського) рівня денної і заочної форм  
навчання спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища)*

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

Відповідальний за випуск *О. С. Ломакіна*  
*За авторською редакцією*  
Комп'ютерне верстання *Є. Г. Панова*

План 2017, поз. 87М

---

Підп. до друку 18.06.2019 р. Формат 60×84/16  
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 0,8  
Тираж 50 прим. Зам. № .

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