

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ФАКУЛЬТЕТ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

**Кафедра охорони праці та навколишнього середовища**

**РОЗРАХУНОК УМОВ СКИДАННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ  
РЕЧОВИН ПРИ ВОДОВІДВЕДЕННІ ДО ВОДОТОКІВ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до практичних занять з дисципліни**

***«ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ»***

**Харків 2021**

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри охорони праці та навколишнього середовища 23 червня 2021 р., протокол № 12.

Методичні вказівки призначено для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 263 «Цивільна безпека», які вивчають дисципліну «Промислова екологія». Рекомендовані для роботи на практичних заняттях та самостійної роботи здобувачів.

Розглянуто характеристики якості води та особливості її нормування залежно від виду водокористування. Наведено методику розрахунку умов скидання забруднюючих речовин при водовідведенні до водотоків. Наведено приклади розрахунків кратності розбавлення; оцінки загальносанітарної ознаки шкідливості за показником біохімічного споживання кисню, органолептичної ознаки шкідливості за показниками запаху і температури, санітарно-токсикологічної ознаки шкідливості за допустимою концентрацією забруднюючої речовини в зворотних водах. Для закріплення теоретичних відомостей надаються варіативні розрахункові завдання.

Укладач

доц. С. О. Кисельова

Рецензент

доц. О. В. Костиркін

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
1 Принципи нормування якості води .....	5
2 Загальні вимоги до складу й властивостей води у поверхневих водних об'єктах .....	9
2.1 Санітарно-токсикологічна ознака шкідливості .....	9
2.2 Органолептична ознака шкідливості .....	10
2.3 Загальносанітарна ознака шкідливості .....	12
2.4 Інші показники складу й властивостей води водних об'єктів .....	13
3 Розрахунок нормативів гранично допустимого скиду забруднюючих речовин при водовідведенні до водотоків...	17
3.1 Розрахунок кратності розбавлення стічної води водою водойми .....	17
3.2 Оцінка санітарно-токсикологічної ознаки шкідливості.....	19
3.3 Оцінка органолептичної ознаки шкідливості води....	20
3.4 Оцінка загальносанітарної ознаки шкідливості.....	21
3.5 Розрахунок допустимої концентрації завислих речовин.....	22
4 Приклад розрахунку нормативів гранично допустимого скиду забруднюючих речовин при водовідведенні до водотоків .....	23
4.1 Порядок розрахунку .....	23
4.2 Розрахунок кратності розбавлення .....	24
4.3 Перевірка стічних вод на санітарно-токсикологічну ознаку шкідливості .....	25
4.4 Перевірка стічних вод на органолептичну ознаку шкідливості.....	26
4.5 Перевірка стічної води на загальносанітарну ознаку шкідливості.....	27
4.6 Перевірка зворотних вод на вміст завислих речовин..	28
Завдання .....	29
Контрольні питання .....	32
Список літератури .....	33

## ВСТУП

Інтеграція України до європейської спільноти передбачає зростання уваги до питання сталого розвитку суспільства, метою якого є досягнення цілей розвитку суспільства при одночасному збереженні природних систем. Тому організація діяльності промислових об'єктів повинна здійснюватися з дотриманням вимог міжнародних і державних стандартів у галузі охорони навколишнього середовища. Важливим аспектом охорони довкілля є, зокрема, охорона поверхневих вод від техногенного забруднення.

У структурі курсу «Промислова екологія» передбачається вивчення теми «Захист води від техногенного забруднення», окремим питанням якої присвячено декілька практичних занять.

У цих методичних вказівках розглядаються принципи нормування якості води та захист поверхневих вод від забруднення зворотними водами промислових підприємств, наводиться методика розрахунку гранично допустимого скид (ГДС) з прикладом та варіативні завдання.

# 1 ПРИНЦИПИ НОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ

Робота промислового підприємства пов'язана зі споживанням води, яка використовується в технологічних або допоміжних процесах або є складовою частиною продукції, що випускається. При цьому утворюються стічні (зворотні) води, які скидаються у поряд розташовані водні об'єкти.

У Водному кодексі України визначаються такі терміни [1]:

- **водний об'єкт** – природний або створений штучно елемент довкілля, у якому зосереджуються води (море, лиман, річка, струмок, озеро, водосховище, ставок, канал, а також водоносний горизонт);

- **забруднення води** – надходження до водних об'єктів забруднюючих речовин;

- **забруднююча речовина** – речовина, яка привноситься у водний об'єкт у результаті господарської діяльності людини.

Як критерій забрудненості води розглядається погіршення її якості внаслідок зміни хімічного складу, органолептичних властивостей і підвищення вмісту шкідливих для людей та рослинних і тваринних організмів речовин, а також підвищення температури води, що несприятливо впливає на умови життєдіяльності водних організмів.

**Якість води** – характеристика складу і властивостей води, яка визначає її придатність для конкретних цілей водокористування [1].

При нормуванні якості води водного об'єкта встановлюється сукупність допустимих значень показників її складу та властивостей, у межах яких забезпечуються безпечні умови водокористування [2].

**Основні види водокористування** (рисунок 1) [1, 3–5]:

- для задоволення потреб населення:
  - питне і побутове водопостачання населення та харчових виробництв;
  - господарсько-побутове – для оздоровчих та рекреаційних потреб населення;
- рибогосподарське.

При нормуванні якості води водного об'єкта допустимі значення показників її складу та властивостей встановлюються для води, що використовується для задоволення питних,

господарсько-побутових і рекреаційних потреб та потреб рибного господарства.



Рисунок 1 – Основні види водокористування водних об'єктів

На ділянках водних об'єктів, які розміщені в межах населених пунктів, незалежно від цілей водокористування нормативи встановлюються як для води, що використовується для задоволення господарсько-побутових потреб [2].

Норми якості води повинні забезпечуватися у створах водних об'єктів на певних відстанях від місць скидання зворотних вод або до місць водокористування (контрольних створах).

**Контрольний створ** – це поперечний переріз водного об'єкта, у якому здійснюється контроль якості води [2, 6]. Контрольний створ розташовують на відстані не менше 500 м від місця скидання зворотних вод та **на 1 км вище** від найближчого за течією пункту водокористування (місця водозабору господарсько-питного водопостачання, місця організованого відпочинку, території населеного пункту), а в непроточній водоймі – у **радіусі 1 км від** пункту водокористування (рисунки 2, 3) [3, 5].



Рисунок 2 – Схема розташування контрольного створу в поверхневій проточній водоймі



Рисунок 3 – Схема розташування контрольного створу в поверхневій непроточній водоймі

Залежно від виду водокористування встановлено *два види нормативів* [2]:

- **санітарно-гігієнічні нормативи** якості води (для потреб населення), які включають науково обґрунтовані величини концентрації забруднюючих речовин і такі її показники (загальнофізичні, біологічні, хімічні, радіаційні), що не виявляють прямого або опосередкованого шкідливого впливу *на життя та здоров'я населення*;

- **рибогосподарські нормативи** якості води передбачають науково обґрунтовані величини концентрації забруднюючих речовин і такі її показники (загальнофізичні, біологічні, хімічні, радіаційні), що не виявляють шкідливого впливу *на збереження та відтворення промислово цінних видів риб*.

Основним нормативним показником якості води є гранично допустима концентрація (ГДК) речовини у воді.

**ГДК** – такий рівень концентрації речовини у воді, вище якого вода вважається непридатною для конкретних цілей водокористування [1].

Також з метою поетапного поліпшення якості води і дотримання санітарно-гігієнічних нормативів у місцях розташування водозаборів, а рибогосподарських – у водних об'єктах комплексного використання, встановлюються нормативи гранично допустимого скиду [2].

**ГДС** – максимально допустима маса речовини, яка відводиться зі стічними водами в одиницю часу, що забезпечує дотримання норм якості води в контрольному створі водного об'єкта. ГДС встановлюється для *кожного місця випуску* стічних вод у водний об'єкт із урахуванням можливості їх розведення водою водойми [1, 2].

Для недопущення нерівномірного (залпового) скидання забруднюючих речовин із зворотними водами нормативи ГДС забруднюючих речовин рекомендується визначати у грамах на годину (г/год) [3].

Нормативи ГДС забруднюючих речовин встановлюються з метою поетапного поліпшення якості води і дотримання санітарно-гігієнічних нормативів у місцях розташування водозаборів, а рибогосподарських – у водних об'єктах комплексного використання.



У багатьох випадках стічні води скидаються у водойми в межах міської забудови. У такому разі територія міста, селища і т. ін. розглядається як перший за течією пункт водокористування. Отже, стічні води слід очищати або розбавляти перед скиданням у водойму чи/та розсіювати одразу після скидання для доведення стану води у водоймі до встановлених нормативів ГДК [5].

## **2 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО СКЛАДУ Й ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДИ У ПОВЕРХНЕВИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТАХ**

Усі речовини за характером негативного впливу на якість води поділяються на групи. Кожна група об'єднує речовини зі схожими проявами негативного впливу на воду, які називають *ознакою шкідливості*. Одна й та сама речовина при різних концентраціях може мати різні ознаки шкідливості.

*Лімітуюча ознака шкідливості* (ЛОШ) – показник, за яким встановлюється гігієнічний норматив шкідливої хімічної речовини у воді. Види *ЛОШ*, встановлені для питної води [4–5, 7]:

- *санітарно-токсикологічна ознака шкідливості* – визначається за мінімальною концентрацією, яка впливає безпосередньо на організм людини,
- *органолептична ознака шкідливості*, яка визначається за органолептичними властивостями води;
- *загальносанітарна ознака шкідливості*, яка визначається процесами самоочищення водойм.

### **2.1 Санітарно-токсикологічна ознака шкідливості**

Загальні вимоги до складу й властивостей води у поверхневих водоймах передбачають, що біля перших за течією (розрахункових чи контрольних) пунктів питного або господарсько-побутового водокористування шкідливі (токсичні) речовини не повинні міститися в концентраціях, які можуть прямо або опосередковано завдати шкоди здоров'ю людини.

Отже, концентрація хімічних речовини у воді не повинна перевищувати ГДК або орієнтовно-допустимий рівень (ОДР).

Скид у водойми стічних вод, що містять речовини, для яких не встановлені ГДК, заборонено [5].

## 2.2 Органолептична ознака шкідливості

Органолептичні показники якості води – це фізичні властивості питної води, що сприймаються органами чуття [1].

**Органолептична ознака шкідливості** – це такі властивості води як запах, смак і присмак, забарвленість, каламутність, температура.

**Запах води.** Це показник, що характеризує властивість води подразнювати рецептори слизових оболонок носа та синусних пазух, зумовлюючи відповідне відчуття [7].

Розрізняють дві групи запахів [5]:

- *запахи природного походження*, які зумовлені присутністю організмів, які живуть і відмирають у воді, впливом складу ґрунтів, з яких сформовані береги та дно водойми;
- *запахи штучного походження* виникають при забрудненні води промисловими, комунально-побутовими, сільськогосподарськими стічними водами.

Запах води вимірюється в балах (таблиця 1).

**Смак і присмак води.** Це показники, що характеризують здатність наявних у воді хімічних речовин після взаємодії зі слиною подразнювати смакові рецептори язика і зумовлювати відповідне відчуття [7, 8]. Залежить від її мінерального складу, температури й розчинених у ній газів. Розрізняють чотири головних смаки: солоний, кислий, солодкий, гіркий. Решту смакових відчуттів називають присмаками (лужний, металевий, хлорний і т. д.).

Характер та інтенсивність смаку й присмаку води також визначають органолептичним способом і оцінюють за 5-бальною шкалою (таблиця 1) [5].

**Нормативні вимоги за органолептичними ознаками.** Інтенсивність запаху, смаку й присмаку води джерела водопостачання не повинна перевищувати 1-2 балів [7, 8]:

– для питного водокористування – безпосередньо або після хлорування;

– для господарсько-побутового водокористування – безпосередньо.

Таблиця 1 – Шкала оцінювання запаху й смаку води

Інтенсивність запаху (смаку), бали	Інтенсивність запаху (смаку)	Характерні прояви запаху (смаку)
0	Відсутній	Не відчувається
2	Слабкий	Відчувається споживачем, якщо звернути на це увагу
3	Помітний	Легко відчувається та викликає негативне ставлення до води
4	Відчутний	Привертає до себе увагу та змушує утриматися від вживання води
5	Дуже сильний	Настільки сильний, що робить воду непридатною для вживання

**Забарвленість води.** Зумовлена вмістом забарвлених органічних сполук. Речовини, які визначають забарвлення води, надходять у неї внаслідок вивітрювання гірських порід, продукційних процесів, які відбуваються у водоймах, а також із підземних стоків, з антропогенних джерел. Високий показник кольоровості знижує органолептичні властивості води, зменшує вміст у ній розчиненого кисню. Кольоровість вимірюють у градусах [5, 7].

**Каламутність.** Показник, що характеризує природну властивість води, зумовлену наявністю у воді завислих речовин органічного і неорганічного походження (глини, мулу, органічних колоїдів, планктону тощо). Вимірюється в нефелометричних одиницях каламутності (1 НОК = 0,58 мг/дм<sup>3</sup> [7].

**Температура води** у водних об'єктах є результатом одночасної дії сонячної радіації, теплообміну з атмосферою, перенесення тепла течіями, перемішування водних мас і надходження підігрітих вод із зовнішніх джерел. Температура впливає практично на всі процеси, від яких залежить склад і властивості води.

Якщо вода водойми має підвищену температуру, то це стає причиною більш частих і тривалих періодів «цвітіння» води, що супроводжується погіршенням умов водокористування,

труднощами очищення на водогонах, необхідністю їх оснащення спеціальними мікроситами, посиленого хлорування і т. ін. Крім того, підвищення температури води зумовлює зменшення в ній вмісту розчиненого кисню (таблиця 2), що може призвести до так званих «заморів» риби, чутливої до цього показника [5].

Таблиця 2 – Розчинність кисню у воді (тиск 760 мм рт. ст.)

Температура, °C	1	5	10	15	20	25	30
Розчинність O <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	14,23	12,80	11,33	10,15	9,17	8,38	7,63

Температура води після спуску стічних вод *не повинна призводити до підвищення* температури води водного об'єкта *більш ніж на 3 °C* порівняно з її природною температурою в літній період [1].

### 2.3 Загальносанітарна ознака шкідливості

Загальносанітарна ознака шкідливості – це показник, який визначається процесами самоочищення водойм.

**Біохімічне споживання кисню (БСК)** – це кількість розчиненого кисню, що споживають організми для аеробного розкладання органічних речовин, які містяться у воді, на свій ріст і розмноження, створення біомаси. БСК вимірюється у міліграмах кисню на кубічний дециметр (мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>). БСК<sub>5</sub> відображає споживання кисню для окиснення легко окиснювальних органічних речовин впродовж 5 діб. Концентрації азоту амонійного в річковій воді вимірюються в міліграмах амонію на кубічний дециметр (мг NH<sub>4</sub>/дм<sup>3</sup>).

БСК характеризує стан забруднення водних об'єктів органічними речовинами та сполуками амонію, вміст яких впливає на збереження необхідного рівня вмісту кисню у річках. Наявність великої кількості органічних речовин призводить до зниження якості річкової води й зменшення біорізноманіття водних видів. Джерелами появи у воді річок органічних речовин є комунальні скиди зворотних вод з очисних споруд або без очищення,

промислові стічні води, стоки із сільськогосподарських угідь та від сільськогосподарських підприємств [9].

**Нормативна величина БСК** при температурі 20 °С становить:

- для питного водокористування – не більше 3 мг О<sub>2</sub> /л;
- для господарсько-побутового – не більше 6 мг О<sub>2</sub> /л.

## **2.4 Інші показники складу й властивостей води водних об'єктів**

Окрім загально-санітарної, органолептичної та санітарно-токсикологічної ознак шкідливості, якість води у водоймах нормується за такими показниками: *вміст завислих речовин, рН, мінеральний склад, мікробіологічні характеристики.*

**2.4.1 Завислі речовини.** Джерелами потрапляння у воду завислих речовин можуть служити процеси ерозії ґрунтів і гірських порід, скаламучення донних відкладень, продукти метаболізму й розкладання гідробіонтів, продукти хімічних реакцій, продукти антропогенного походження. Завислі речовини впливають на глибину проникнення сонячного світла, погіршують умови життєдіяльності гідробіонтів, призводять до замулювання водних об'єктів, викликаючи їх екологічне старіння (евтрофікацію).

Завислі речовини різного ступеня дисперсності містяться в побутових і в багатьох виробничих стічних водах. У побутових стічних водах вміст завислих речовин коливається залежно від виду водокористування. У середньому кількість тих з них, що здатні осідати при відстоюванні, коливається від 35 до 50 г на добу з однієї людини. Завислі речовини в побутових стічних водах найчастіше мають органічне, рослинне й тваринне походження. Вміст таких речовин у виробничих стічних водах коливається у великих межах: від 6–50 мг/л (сірчаноокислотні заводи) до кількох тисяч міліграмів на літр (рудозбагачувальні фабрики) [5].

**Нормативні вимоги.** При спуску стічних вод вміст завислих речовин не повинен збільшуватися більш ніж:

- на 0,25 мг/л у водоймах, які використовуються для питного водокористування;
- на 0,75 мг/л для водойм, які використовуються для господарсько-побутового водокористування.

**2.4.2 Водневий показник рН.** Характеризує властивість води, зумовлену наявністю у ній вільних іонів водню  $H^+$ .

У природних водах концентрація іонів водню  $H^+$  в основному залежить від співвідношення вмісту карбонатної кислоти  $H_2CO_3$  та її іонів. Джерелами гідроген-іонів у воді є гумінові кислоти, наявні в кислих ґрунтах, а особливо, у болотних водах. Також гідроген-іони утворюються при гідролізі солей важких металів.

Від  $pH$  залежить розвиток водних рослин, характер перебігу продукційних процесів та ін.

Стічні води, характерні для багатьох галузей промисловості, містять значні концентрації кислот і лугів. Це стосується як підприємств, що виробляють кислоти й луги, так і тих, що використовують їх у технологічних процесах.

**Нормативний рН** води у водоймі незалежно від виду водокористування не повинен виходити за межі 6,5–8,5 [5, 7].

**2.4.3 Сухий залишок (мінералізація)** – показник, що характеризує кількість розчинених речовин, передусім мінеральних солей, в  $1 \text{ дм}^3$ , визначають за сумарним вмістом семи головних іонів: калію  $K^+$ , натрію  $Na^+$ , кальцію  $Ca^{2+}$ , магнію  $Mg^{2+}$ , хлорид-іона  $Cl^-$ , сульфат-іона  $SO_4^{2-}$ , гідрокарбонат-іона  $HCO_3^-$  випаровуванням води при температурі  $110^\circ C$ . Вода із сухим залишком до  $1000 \text{ мг/дм}^3$  називається *прісною*, понад  $1000 \text{ мг/дм}^3$  – *мінералізованою*.

Основними джерелами підвищення мінералізації є ґрунтові та стічні води. На здоров'я людини та водяних організмів негативно впливають як високі, так і занадто низькі показники мінералізації води.

**Нормативні вимоги.** Сухий залишок у питній воді не повинен перевищувати  $1000 \text{ мг/дм}^3$ , у тому числі хлоридів має бути не більше  $250 \text{ мг/дм}^3$  (у питній воді) або  $350 \text{ мг/дм}^3$  (у господарсько-побутовій), сульфатів – не більше  $500 \text{ мг/дм}^3$ .

**2.4.4 Загальна жорсткість.** Показник, що характеризує властивість води, зумовлену наявністю у ній розчинених солей кальцію та магнію (сульфатів, хлоридів, карбонатів, гідрокарбонатів тощо). Одиниці вимірювання – мілімоль на кубічний метр ( $\text{ммоль/дм}^3$ ).

**Нормативна величина** – не більше  $7 \text{ ммоль/дм}^3$ .

**2.4.5 Мікробіологічні показники** – показники епідемічної безпеки питної води, перевищення яких може призвести до виникнення інфекційних хвороб у людини [7]. Характеризують забрудненість води патогенними мікроорганізмами.

Основним санітарним показником мікробіологічного забруднення питної води залишаються бактерії групи кишкових паличок (БГКП). Індекс БГКП (коліформні бактерії) визначається кількістю колонієутворювальних одиниць (КУО) в об'ємі 1 дм<sup>3</sup> води (КУО/дм<sup>3</sup>).

Для уточнення характеру забруднення води представниками кишкових бактерій визначаються термотолерантні кишкові бактерії (ТКБ). ТКБ визначається як КУО у 100 см<sup>3</sup>.

При дослідженні води джерел водопостачання визначаються лактозопозитивні кишкові бактерії (ЛКБ).

Крім того, визначаються такі показники епідемічної безпеки: загальне мікробне число; санітарно-показові віруси – кишкові бактеріофаги; патогенні бактерії і віруси – сальмонела, шигела, холерні вібріони, ентеро-, адено- та ротавіруси.

Стічні води, у яких виявлено збудників захворювань, після попереднього очищення повинні бути незаражені.

Відсутність у воді збудників захворювань досягається шляхом незараження біологічно очищених побутових стічних вод перед скиданням у водні об'єкти.

Загальні вимоги до складу й властивостей води надано у таблиці 3.

Таблиця 3 – Нормативи якості поверхневих вод [1, 3, 7, 8,10 – 12]

Показники складу й властивостей води у водному об'єкті	Вид водокористування	
	питне	Господарсько-побутове
1	2	3
Запахи, при температурі 20 °С, бал	Не більше 1–2	Не більше 1–2
Смак і присмак, бал	Не більше 1–2	1–2
Кольоровість, градус	Не більше 20	80

Продовження таблиці 3

1	2	3
Температура, °С	Спуск стічних вод не повинен призводити до підвищення температури води водного об'єкта більш ніж на 3 °С порівняно з її природною температурою в літній період	
БСК, мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Менше 3,0	Не більше 6,0
Хімічні речовини	Не повинні міститися в концентраціях, що перевищують ГДК або ОДР	
Завислі речовини	Вміст завислих речовин не повинен збільшуватися більш ніж на	
	0,25 мг/дм <sup>3</sup>	0,75 мг/дм <sup>3</sup>
Водневий показник <i>pH</i>	6,5 – 8,5	
Сухий залишок (загальна мінералізація), мг/дм <sup>3</sup>	1000	1500
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	250	350
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	250 (500)	500
Коліфаги, БУО/дм <sup>3</sup>	Відсутність	Не більше 100
Лактозопозитивні кишкові палички (ЛКП)	Не більше 10000 в 1 дм <sup>3</sup>	Не більше 5000 в 1 дм <sup>3</sup>
Число патогенних кишкових найпростіших та гельмінтів у 50 дм <sup>3</sup> води	Відсутність	
Збудники захворювань – ентеровіруси, аденовіруси та ін.	Відсутність	



### 3 РОЗРАХУНОК НОРМАТИВІВ ГРАНИЧНО ДОПУСТИМОГО СКИДУ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ПРИ ВОДОВІДВЕДЕННІ ДО ВОДОТОКІВ

#### 3.1 Розрахунок кратності розбавлення стічної води водою водойми

На здатність до самоочищення природних водойм, куди скидаються промислові стічні води, впливає низка факторів: об'єм і швидкість водного стоку, форма русла, глибина русла, швидкість течії, температура води, її хімічний склад тощо. Водночас дуже складно прогнозувати оптимальні санітарно-токсикологічні норми, враховуючи окрему чи сукупну дію всіх вищеназваних факторів.

Основним механізмом зменшення концентрації забруднюючої речовини при скиді стічної води у водний об'єкт є розбавлення. Розрахунок кратності розбавлення зворотної води водою водотоку визначимо за методом В. А. Фролова–Й. Д. Родзіллера [3, 5]

*Кратність основного розбавлення* для максимально забрудненого струменя, прилеглого до берега, з якого скидаються зворотні води:

$$n = \frac{\gamma \cdot Q + q}{q}, \quad (1)$$

де  $Q$  – розрахункова мінімальна середньомісячна витрата річки у фоновому створі, розташованому вище за течією від місця випуску зворотних вод, м<sup>3</sup>/с;

$q$  – витрата зворотної (стічної) води, що надходить у річку, м<sup>3</sup>/с;

$\gamma$  – коефіцієнт змішування, що вказує, яка частка води водотоку змішується із зворотними водами.

*Коефіцієнт змішування  $\gamma$*  завжди менший від одиниці, коли кратність розведення визначають для ділянки водойми перед місцем повного перемішування, яке міститься на деякій відстані вниз за течією від зони випуску стічних вод.

Умови спускання стічних вод у водойму оцінюються з урахуванням ступеня їх впливу на довкілля біля найближчого

пункту водокористування, тому кратність розбавлення необхідно визначати саме в цьому місці.

Коефіцієнт змішування стоків із водою водотоку розраховують за формулою

$$\gamma = \frac{1-\beta}{1+\frac{Q}{q}\beta}. \quad (2)$$

У формулі (2) коефіцієнт  $\beta$  визначають як

$$\beta = e^{-\alpha\sqrt[3]{l}}, \quad (3)$$

де  $e$  – основа натурального логарифма,  $e = 2,72$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт, який ураховує гідравлічні фактори змішування;

$l$  – відстань до створу, що розглядається (стрижня), м.

Коефіцієнт  $\alpha$  розраховують за формулою

$$\alpha = \varepsilon \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{q}}, \quad (4)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт, що залежить від місця випуску стічних вод у річку (при випуску біля берега  $\varepsilon = 1$ , при випуску у стрижень  $\varepsilon = 1,5$ );

$\varphi$  – коефіцієнт звивистості русла, розраховують за формулою

$$\varphi = \frac{l_\phi}{l_{np}}, \quad (5)$$

де  $l_\phi$  – відстань до контрольного створу по стрижню русла, м;

$l_{np}$  – відстань між цими двома пунктами по прямій, м;

$D$  – коефіцієнт турбулентної дифузії, м<sup>2</sup>/с.

Коефіцієнт  $D$ , м<sup>2</sup>/с, для рівнинних річок спрощено визначається за формулою

$$D = \frac{v_{сер} \cdot H_{сер}}{200}, \quad (6)$$

де  $v_{сер}$  – середня швидкість течії на ділянці змішування, м/с;

$H_{сер}$  – середня глибина річки на тій самій ділянці, м.

Якщо розрахунковий пункт водокористування розташовано на значній відстані  $l$  за фарватером від місця випуску стоків, де наявні ділянки з різною швидкістю течії та глибиною русла, що створює різні гідравлічні умови змішування, рекомендується цей відрізок річки протягом відстані  $l$  розбити на зони з більш чи менш однаковими гідравлічними умовами, визначивши для кожної з них такі параметри: довжину ( $l_1, l_2, \dots, l_n$ ), середню швидкість течії ( $v_1, v_2, \dots, v_n$ ) та середню глибину ( $H_1, H_2, \dots, H_n$ ). Загальне значення коефіцієнта турбулентної дифузії для всього відрізка рівнинної річки довжиною  $l$  буде дорівнювати сумі коефіцієнтів турбулентної дифузії, що характеризують кожну із зон:

$$D = \frac{l_1 \cdot v_1 \cdot H_1}{l \cdot 200} + \frac{l_2 \cdot v_2 \cdot H_2}{l \cdot 200} + \frac{l_n \cdot v_n \cdot H_n}{l \cdot 200}. \quad (7)$$

Бачимо, що від значення коефіцієнта змішування  $\gamma$  безпосередньо залежить кратність розбавлення стоків  $n$  водою водотоку  $i$ , як наслідок, ступінь зниження концентрації шкідливих речовин.

### 3.2 Оцінка санітарно-токсикологічної ознаки шкідливості

Допустиму концентрацію забруднюючої речовини в стічній воді, що забезпечить нормативну якість води в контрольних створах, розраховують за формулою, мг/л:

$$C_{ГДС}^{речовини} = \frac{\gamma \cdot Q}{q} \cdot (C_{ГДК}^{речовини} - C_p^{речовини}) + C_{ГДК}^{речовини}, \quad (8)$$

де  $C_{ГДК}^{речовини}$  – гранично допустима концентрація речовини, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_p^{речовини}$  – концентрація шкідливої речовини у воді річки, визначена в зоні перед місцем випуску стоків, мг/дм<sup>3</sup>.

Розраховану величину  $C_{ГДС}^{речовини}$  порівнюють з фактичною концентрацією забруднюючої речовини в стічній воді  $C_{факт}^{речовини}$ , яка

скидається у водотік. Фактична концентрація забруднюючої речовини в стічній воді повинна бути меншою від розрахункової концентрації гранично допустимого скиду:  $C_{\text{факт}}^{\text{речовини}} \leq C_{\text{ГДС}}^{\text{речовини}}$ .

Якщо фактична концентрація забруднюючої речовини в стічній воді менша від розрахованого значення  $C_{\text{ГДС}}^{\text{речовини}}$ , то хімічне очищення стічних вод не потрібне. Якщо фактична концентрація шкідливої речовини в стічних водах більша за  $C_{\text{ГДС}}^{\text{речовини}}$ , то потрібно хімічно очищати їх перед спуском у водотік.

### 3.3 Оцінка органолептичної ознаки шкідливості води

#### 3.3.1 Виявлення запаху, смаку й присмаку води

При дослідженні виробничих стічних вод передбачається визначення такого ступеня розбавлення зворотної води, при якому зникають запах і смак.

Якщо відома кратність розведення, яка необхідна для усунення несприятливого впливу стічних вод на органолептичні властивості води, і визначена можлива величина кратності розбавлення  $n$  біля розрахункового пункту водокористування, то можна прийняти рішення щодо необхідності очищення стічних вод.

*Наприклад*, запах зворотної води зникає при розбавленні їх чистою водою у кратності 1:5, а біля розрахункового пункту водокористування очікується розбавлення водою річки 1:10. Зрозуміло, що немає необхідності в усуненні запаху й смаку зворотної води перед скиданням, бо у водоймі достатньо чистої води для розбавлення.

#### 3.3.2 Визначення температури води

Максимальна температура зворотної води, що скидається у водотік, за якої температура річкової води підвищиться не більше допустимої, визначається за формулою, °С:

$$T_{\text{ГДС}} = T_{\text{доп}} \cdot \left( \frac{\gamma \cdot Q}{q} + 1 \right) + T_{\text{max}}, \quad (9)$$

де  $T_{\text{доп}}$  – допустиме за нормами підвищення температури води у водоймі на 3 °С;

$T_{max}$  – максимальна температура води річки влітку в зоні перед місцем випуску стічних вод, °С.

Розраховану допустиму температуру зворотної води  $T_{ГДС}$  порівнюють з фактичною температурою стоків, призначених для випуску у водотік. Фактичне значення температури стічних вод має бути меншим від допустимої температури  $T_{ГДС}$ .

Якщо фактична температура стічної води, що скидається у річку, менша від розрахункової допустимої температури  $T_{ГДС}$ , то охолодження стоків перед скиданням не потрібне. Якщо фактична температура стічної води, що скидається в річку, більша за розрахункову допустиму температуру, то охолодження її перед спуском у водойму обов'язкове.

### 3.4 Оцінка загальносанітарної ознаки шкідливості води

Показник біологічного споживання кисню (БСК) стічних вод, які можуть бути скинуті у водойму без порушення санітарних норм, розраховується за формулою, мг/л:

$$C_{ГДС}^{БСК} = \frac{\gamma \cdot Q}{q \cdot 10^{-K_1 \cdot t}} \cdot (C_{ГДК}^{БСК} - C_p^{БСК} \cdot 10^{-K_1 \cdot t}) + \frac{C_{ГДК}^{БСК}}{10^{-K_1 \cdot t}}, \quad (10)$$

де  $K_1$  – стала, що характеризує швидкість споживання кисню органічними речовинами води при цій температурі. Залежить від температури та від складу органічних речовин, які містяться в стічних водах (таблиця 4);

$t$  – час переміщення зворотних вод від місця випуску до розрахункового створу, доб:

$$t = \frac{l}{86,4 \cdot v_{сеп}}, \quad (11)$$

$C_{ГДК}^{БСК}$  – нормативна величина БСК (для питного водокористування  $C_{ГДК}^{БСК} = 3$  мг/л, для господарсько-побутового  $C_{ГДК}^{БСК} = 6$  мг/л);  
 $C_p^{БСК}$  – БСК річкової води, мг/л.

Таблиця 4 – Залежність сталої  $K_1$  від температури води

Температура, °С	$K_1$	Температура, °С	$K_1$
0	0,04	20	0,1
5	0,05	22	0,11
9	0,06	24	0,12
12	0,07	26	0,13
15	0,08	28	0,14
18	0,09	29	0,15

Розраховану величину  $C_{ГДС}^{БСК}$  порівнюють з фактичним значенням величини БСК у зворотній воді. Водночас має виконуватись умова  $C_{факт}^{БСК} \leq C_{ГДС}^{БСК}$ .

Якщо величина концентрації БСК зворотної води *не перевищує* розраховану величину  $C_{ГДС}^{БСК}$ , зворотна вода, що скидається у водотік, не потребує очищення. Якщо фактична концентрація БСК *більша від* розрахованої величини ГДС, то біологічне очищення стоків перед випуском у водотік обов'язкове.

### 3.5 Розрахунок допустимої концентрації завислих речовин

Допустима концентрація завислих речовин у стічній воді, при якій умови спуску їх у водойму відповідатимуть нормативним вимогам, розраховується за формулою, мг / л:

$$C_{ГДС}^{зр} = C_{доп}^{зр} \cdot \left( \frac{Q \cdot Q}{q} + 1 \right) + C_p^{зр}, \quad (12)$$

де  $C_{доп}^{зр}$  – допустиме нормативне збільшення вмісту завислих речовин у воді водойми після спуску стоків (для питного водокористування  $C_{доп}^{зр} = 0,25$  мг/дм<sup>3</sup>, для господарсько-побутового –  $C_{доп}^{зр} = 0,75$  мг/дм<sup>3</sup>);

$C_p^{зр}$  – концентрація завислих речовин у воді річки, мг/дм<sup>3</sup>.

Якщо розрахована допустима концентрація завислих речовин у стічній воді  $C_{ГДС}^{зр}$  буде меншою від фактичної, то скидання стоків здійснюють лише після їх механічного очищення.

## 4 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ НОРМАТИВІВ ГРАНИЧНО ДОПУСТИМОГО СКИДУ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ПРИ ВОДОВІДВЕДЕННІ ДО ВОДОТОКІВ

**Вихідні дані.** У місті вводиться в експлуатацію промислове підприємство, на якому передбачено такі параметри виробничих стоків: витрата стічних вод  $q_1 = 0,6 \text{ м}^3/\text{с}$ ; біохімічне споживання кисню  $C_{\text{ст}1}^{\text{БСК}} = 68 \text{ мг/дм}^3$ ; зникнення запаху при розбавленні у природній воді 1:20; температура стічних вод  $T_{\text{ст}1} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ; концентрація фенолу в стічних водах  $C_{\text{ст}1}^{\text{фенол}} = 2,8 \text{ мг/дм}^3$ ; концентрація свинцю  $C_{\text{ст}1}^{\text{Pb}} = 0,7 \text{ мг/дм}^3$ ; концентрація завислих речовин  $C_{\text{ст}1}^{\text{ЗР}} = 200 \text{ мг/дм}^3$ .

У місті функціонує міська каналізація, з якої скидаються побутові стічні води з такими показниками: витрата  $q_2 = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ ; біохімічне споживання кисню  $C_{\text{ст}2}^{\text{БСК}} = 200 \text{ мг/дм}^3$ ; вміст завислих речовин  $C_{\text{ст}2}^{\text{ЗР}} = 250 \text{ мг/дм}^3$ .

Стічні води планується скидати у річку. Склад річкової води: біохімічне споживання кисню  $C_{\text{р}}^{\text{БСК}} = 2,5 \text{ мг/дм}^3$ , вміст завислих речовин  $C_{\text{р}}^{\text{ЗР}} = 9 \text{ мг/дм}^3$ ; вміст свинцю  $C_{\text{р}}^{\text{Pb}} = 0,01 \text{ мг/дм}^3$ ; фенол відсутній; температура води влітку  $T_{\text{max}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Нижче за течією річки розташоване село. Для його жителів річка є джерелом централізованого питного водопостачання. Місце випуску стічних вод розташоване на відстані  $l = 15 \text{ км}$  від села.

Витрата річкової води біля пункту водозабору  $Q^{\text{В}} = 30 \text{ м}^3/\text{с}$ . Середня швидкість течії річки  $v_1 = 0,6 \text{ м/с}$ , глибина русла  $H_1 = 1,1 \text{ м}$ . Звивистість русла на ділянці до пункту водокористування  $\varphi = 1,0$ . Скидання зворотної води відбуватиметься з берега.

### 4.1 Порядок розрахунку

1 Розрахувати коефіцієнт змішування стічної води з водою річки  $\gamma$  за формулою (2).

2 Розрахувати кратність розбавлення  $n$  за формулою (1).

3 Перевірити стічну воду на санітарно-токсикологічну ознаку шкідливості – допустиму концентрацію забруднюючих речовин у стічній воді.  $C_{ГДС}^{речовини}$  розрахувати за формулою (8).

4 Перевірити стічну воду на органолептичні ознаки шкідливості – запах і температуру. Допустиму температуру розрахувати за формулою (9).

5 Перевірити стічну воду на загальносанітарну ознаку шкідливості – біологічне споживання кисню  $C_{ГДС}^{БСК}$  за формулою (10).

6 Перевірити стічну воду на вміст завислих речовин  $C_{ГДС}^{зр}$  за формулою (12).

7 Зробити висновки щодо необхідності очищення стічних вод від забруднень перед випуском у річку.

## 4.2 Розрахунок кратності розбавлення

Обчислюємо коефіцієнт турбулентної дифузії за формулою (6):

$$D = \frac{V \cdot H}{200} = \frac{0,6 \cdot 1}{200} = 0,0033 \text{ м}^2 / \text{с}.$$

Коефіцієнт  $\alpha$  розраховуємо за формулою (4):

$$\alpha = \varepsilon \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{D_1}{q_1 + q_2}} = 1 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,0033}{0,6 + 0,1}} = 0,168.$$

Під знаком кореня у знаменнику враховують сумарну величину витрат виробничих і побутових стічних вод, оскільки в річку надходять стічні води як від промислового підприємства, так і стоки міської каналізації.

Для визначення коефіцієнта  $\beta$  для формули (3) знаходимо показник степеня основи натурального логарифма  $e$ :

$$\begin{aligned} \text{Показник степені числа } e &= -\alpha \sqrt[3]{l - 1000} = \\ &= -0,168 \sqrt[3]{15000 - 1000} = -4,05. \end{aligned}$$



Під коренем подано значення відстані пункту водокористування  $l = 15$  км, зменшене на 1 км відповідно до нормативних вимог.

Звідси за формулою (3)

$$\beta = e^{-4,05} = 0,017.$$

Розраховуємо коефіцієнт змішування стічних вод з водою річки за формулою (2):

$$\gamma = \frac{1-\beta}{1+\left(\frac{Q}{q_1+q_2}\right)\cdot\beta} = \frac{1-0,017}{1+\left(\frac{30}{0,6+0,1}\right)\cdot 0,017} = 0,57.$$

Отже, стічні води розбавляться водою річки біля пункту водозабору на 57 %.

Кратність розбавлення стоків водою річки біля пункту водокористування визначаємо за формулою (1):

$$n = \frac{\gamma \cdot Q + q_1 + q_2}{q_1 + q_2} = \frac{0,57 \cdot 30 + 0,6 + 0,1}{0,6 + 0,1} = 25,4 \approx 25 \text{ разів.}$$

Отже, у контрольному створі біля пункту водозабору села відбудеться 25-кратне розведення стоків водою річки.

### **4.3 Перевірка стічних вод на санітарно-токсикологічну ознаку шкідливості**

За умовами завдання виробничі зворотні води містять такі шкідливі речовини, як фенол і свинець. Їх допустиму концентрацію у зворотних водах визначаємо за формулою (8), причому у знаменнику враховуємо тільки витрату виробничих зворотних вод, оскільки комунальні зворотні води не містять ані фенолу, ані свинцю.

Гранично допустима концентрація фенолу в природній воді незалежно від виду водокористування становить  $C_{ГДК}^{\Phi} = 0,001$  мг/дм<sup>3</sup>. Гранично допустима концентрація свинцю у воді –  $C_{ГДК}^{Pb} = 0,03$  мг/дм<sup>3</sup>.

**4.3.1** Розраховуємо допустиму концентрацію фенолу у виробничих зворотних водах:

$$C_{ГДС}^{\phi} = \frac{\gamma \cdot Q}{q_1} \cdot (C_{ГДК}^{\phi} - C_p^{\phi}) + C_{ГДК}^{\phi} = \frac{0,57 \cdot 30}{0,6} \cdot (0,001 - 0) + 0,001 = 0,03 \text{ мг/дм}^3.$$

Для дотримання нормативних вимог до якості води річки в пункті водокористування повинна виконуватися нерівність,  $C_{ст1}^{\phi} \leq C_{ГДС}^{\phi}$ . Фактична концентрація фенолу у зворотній воді становить 2,8 мг/дм<sup>3</sup>, що набагато перевищує розрахункову допустиму концентрацію 0,03 мг/дм<sup>3</sup>. Встановлено необхідність очищення виробничих зворотних вод від фенолу перед скиданням у річку до досягнення концентрації  $C_{ГДС}^{\phi} = 0,03 \text{ мг/дм}^3$ .

**4.3.2** Розраховуємо допустиму у зворотній воді концентрацію свинцю:

$$C_{ГДС}^{Pb} = \frac{\gamma \cdot Q}{q_1} \cdot (C_{ГДК}^{Pb} - C_p^{Pb}) + C_{ГДК}^{Pb} = \frac{0,57}{0,6} \cdot (0,03 - 0,01) + 0,03 = 0,6 \text{ мг/дм}^3.$$

Для дотримання нормативних вимог до якості води річки в пункті водокористування повинна виконуватися нерівність  $C_{ст1}^{Pb} \leq C_{ГДС}^{Pb}$ . Фактична концентрація свинцю у зворотній воді становить 0,7 мг/дм<sup>3</sup>, що більше від розрахункової допустимої концентрації 0,6 мг/дм<sup>3</sup>. Встановлено необхідність очищення виробничих зворотних вод від свинцю перед скиданням у річку до досягнення концентрації  $C_{ГДС}^{Pb} = 0,6 \text{ мг/дм}^3$ .

## **4.4** Перевірка стічних вод на органолептичну ознаку шкідливості

### **4.4.1** Перевірка на запах

За умовами завдання запах стічних вод зникає при розбавленні чистою водою 1:10. Розрахунок показав, що в зоні пункту водокористування очікується 25-кратне розбавлення

стоків водою річки. Тому додаткове очищення стічних вод від запаху непотрібно.

#### 4.4.2 Перевірка на температуру

Відповідно до санітарних норм температура природної води річки після скиду не повинна збільшитись більше ніж на 3 °С.

За формулою (9) розраховуємо допустиму температуру стічних вод, з якою вони можуть скидатися у водотік без погіршення якості річкової води. Причому у знаменнику враховуємо тільки витрату виробничих стічних вод, оскільки температура комунальних стічних вод не підвищена.

Допустима температура стічних вод, з якою вони можуть скидатися у водотік без погіршення якості річкової води, °С:

$$T_{ГДС} = T_{доп} \cdot \left( \frac{\gamma \cdot Q}{q_1} + 1 \right) + T_{max} = 3 \cdot \left( \frac{0,57 \cdot 30}{0,6} + 1 \right) + 15 = 103,5 \text{ °С.}$$

Для дотримання вимог до якості води у пункті водокористування повинна виконуватися нерівність  $T_{ст}^{факт} \leq T_{ГДС}$ . Розрахунок показав, що ця умова виконується, оскільки фактична температура виробничих зворотних вод  $T_{ст1} = 40 \text{ °С}$ , а допустима для цього пункту водокористування  $T_{ГДС} = 103,5 \text{ °С}$ . Тому зворотні води підприємства можуть скидатися в річку без охолодження.

#### 4.5 Перевірка стічної води на загальносанітарну ознаку шкідливості

Відомо, що в річку скидається суміш виробничих і побутових вод, тому спочатку визначимо фактичне значення величини БСК для суміші.

Розраховуємо фактичну величину БСК суміші стічних вод, мг/дм<sup>3</sup>:

$$C_{ст.факт}^{БСК} = \frac{q_1 \cdot C_{ст1}^{БСК} + q_2 \cdot C_{ст2}^{БСК}}{q_1 + q_2} = \frac{0,6 \cdot 68 + 0,1 \cdot 200}{0,6 + 0,1} = 87 \text{ мг/дм}^3.$$

За даними таблиці 4 знаходимо, що при  $T_{max} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$  коефіцієнт  $K_1 = 0,08$ .

Час переміщення стічних вод до пункту водокористування розраховуємо за формулою (11):

$$t = \frac{l}{86,4 \cdot v_{\text{сер}}} = \frac{15-1}{86,4 \cdot 0,6} = 0,27 \text{ доб.}$$

Для розрахунків обираємо нормативне гранично допустиме  $C_{\text{гр.доп.}}^{\text{БСК}} = 3 \text{ мг/дм}^3$ , оскільки за умовами завдання річка належить до пунктів питного водокористування.

За формулою (10) розраховуємо допустиму величину БСК суміші стічних вод, скидання яких не порушують санітарних норм,  $\text{мг/дм}^3$ :

$$\begin{aligned} C_{\text{ГДС}}^{\text{БСК}} &= \frac{\gamma \cdot Q}{q \cdot 10^{-K_1 \cdot t}} \cdot (C_{\text{ГДК}}^{\text{БСК}} - C_{\text{р}}^{\text{БСК}} \cdot 10^{-K_1 \cdot t}) + \frac{C_{\text{ГДК}}^{\text{БСК}}}{10^{-K_1 \cdot t}} = \\ &= \frac{0,57 \cdot 30}{(0,6 + 0,1) \cdot 10^{-0,08 \cdot 0,27}} \cdot (3 - 2,5 \cdot 10^{-0,08 \cdot 0,27}) + \frac{3}{10^{-0,08 \cdot 0,27}} = \\ &= 19,23 \text{ мг/дм}^3. \end{aligned}$$

Нормативні вимоги до якості води річки у пункті водокористування після скидання суміші стічних вод будуть задовольнятися, якщо виконується умова  $C_{\text{ст.факт}}^{\text{БСК}} \leq C_{\text{ГДС}}^{\text{БСК}}$ .

При розрахунках загальносанітарної ознаки шкідливості за показником БСК встановлено, що БСК суміші стічних вод не повинне перевищувати  $19,23 \text{ мг/дм}^3$ . Фактично скидається суміш стічних вод, у яких концентрація органічних речовин за показником БСК становить  $87 \text{ мг/дм}^3$ . Тому стічні води потребують біологічного очищення від органічних речовин до досягнення допустимої величини БСК,  $C_{\text{ГДС}}^{\text{БСК}} = 19,23 \text{ мг/дм}^3$ .

#### 4.6 Перевірка зворотних вод на вміст завислих речовин

Розраховуємо фактичну концентрацію завислих речовин у суміші виробничих і комунальних зворотних вод:

$$C_{\text{ст факт}}^{\text{ЗР}} = \frac{q_1 \cdot C_{\text{ст1}}^{\text{ЗР}} + q_2 \cdot C_{\text{ст2}}^{\text{ЗР}}}{q_1 + q_2} = \frac{0,6 \cdot 200 + 0,1 \cdot 250}{0,6 + 0,1} = 207 \text{ мг/дм}^3.$$

Визначаємо допустиму концентрацію завислих речовин у річковій воді  $C_{\text{доп}}^{\text{ЗР}} = 0,25 \text{ мг/дм}^3$ , оскільки за умовами завдання вода річки в селі використовується для питного водокористування.

За формулою (12) розраховуємо допустиму концентрацію завислих речовин у зворотних водах, після скидання яких якість річкової води буде відповідати нормам:

$$C_{\text{ГДС}}^{\text{ЗР}} = C_{\text{доп}}^{\text{ЗР}} \cdot \left( \frac{\gamma \cdot Q}{q_1 + q_2} + 1 \right) + C_{\text{р}}^{\text{ЗР}} = 0,25 \cdot \left( \frac{0,57 \cdot 30}{0,6 + 0,1} + 1 \right) + 9 = 15,36 \text{ мг/дм}^3.$$

За результатами розрахунку фактична концентрація завислих речовин у суміші зворотних вод  $C_{\text{ст факт}}^{\text{ЗР}} = 207 \text{ мг/дм}^3$  значно перевищує розрахункову допустиму  $C_{\text{ГДС}}^{\text{ЗР}} = 15,36 \text{ мг/дм}^3$ . Встановлено, що зворотні води потребують механічного очищення від завислих речовин до досягнення допустимої концентрації  $C_{\text{ГДС}}^{\text{ЗР}} = 15,36 \text{ мг/дм}^3$ .

## Завдання

**Завдання 1.** Визначити кратність розбавлення зворотних вод водою водотоку. Зробити висновки.

**Завдання 2.** Виконати:

а) оцінку якості річкової води після скидання зворотних вод за загальносанітарною ознакою шкідливості. Розрахувати фактичне БСК суміші зворотних вод та величину БСК, при яких вони можуть скидатися в річку без порушення нормативних вимог. Зробити висновок;

б) оцінку якості річкової води після скидання зворотних вод за органолептичною ознакою шкідливості. Оцінити якість води на запах. Розрахувати допустиму температуру виробничих стічних вод, з якою вони можуть скидатися в річку без порушення нормативних вимог. Зробити висновок.

### Завдання 3. Виконати:

а) оцінку якості річкової води після скидання зворотних вод за санітарно-токсикологічною ознакою шкідливості. Розрахувати допустиму концентрацію шкідливих речовин у виробничих зворотних водах, яка дозволить скидати їх у річку без перевищення ГДК біля пункту водокористування. Зробити висновок;

б) оцінку якості річкової води після скидання зворотних вод за вмістом завислих речовин. Розрахувати фактичну концентрацію завислих речовин у суміші зворотних вод. Розрахувати допустиму концентрацію завислих речовин у зворотних водах, при якій вони можуть скидатися в річку без порушення нормативних вимог. Зробити висновок.

**Вихідні дані.** У місті вводиться в експлуатацію промислове підприємство, на якому передбачено такі параметри виробничих стічних вод: витрата вод  $q_1$ , м<sup>3</sup>/с; біохімічне споживання кисню  $C_{ст1}^{БСК}$  мг/дм<sup>3</sup>; зникнення запаху при розбавленні у природній воді 1:15; температура  $T_{ст1}$ , °С; концентрація фенолу  $C_{ст1}^{фенол}$ , мг/дм<sup>3</sup>; концентрація свинцю  $C_{ст1}^{Pb}$ , мг/дм<sup>3</sup>; концентрація завислих речовин  $C_{ст1}^{зр}$ , мг/дм<sup>3</sup>.

У місті функціонує міська каналізація, з якої скидаються побутові стічні води з такими показниками: витрата  $q_2$ , м<sup>3</sup>/с; біохімічне споживання кисню  $C_{ст2}^{БСК}$ , мг/дм<sup>3</sup>; вміст завислих речовин  $C_{ст2}^{зр}$ , мг/дм<sup>3</sup>.

Стічні води планується скидати у річку. Склад річкової води: біохімічне споживання кисню  $C_p^{БСК}$ , мг/дм<sup>3</sup>, вміст завислих речовин  $C_p^{зр}$ , г/дм<sup>3</sup>; вміст свинцю  $C_p^{Pb}$ , мг/дм<sup>3</sup>; фенол відсутній; температура води влітку, °С.

Нижче за течією річки розташоване село, жителі якого користуються річковою водою. Місце випуску стічних вод розташоване на відстані  $l$ , км, від села.

Витрата річкової води біля пункту водозабору  $Q$ , м<sup>3</sup>/с. Середня швидкість течії річки  $v_{сер}$ , м/с, глибина русла  $H$ , м. Звивистість русла на ділянці до пункту водокористування  $\varphi$ . Скидання зворотної води відбуватиметься з берега.

Варіанти вихідних даних наведено в таблиці 5.

Таблиця 5 – Варіанти вихідних даних

Показник	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вид водокористування	Питне	Господарсько-побутове	Питне	Господарсько-побутове	Питне	Господарсько-побутове	Питне	Господарсько-побутове	Питне	Господарсько-побутове
$q_1, \text{м}^3/\text{с}$	0,6	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,6	0,7
$C_{\text{ст1}}^{\text{зр}}, \text{мг}/\text{дм}^3$	150	170	190	210	230	250	130	140	150	160
$C_{\text{ст1}}^{\text{БСК}}, \text{мг}/\text{дм}^3$	50	55	65	70	75	80	85	80	75	70
$C_{\text{ст1}}^{\Phi}, \text{мг}/\text{дм}^3$	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9
$C_{\text{ст1}}^{\text{Pb}}, \text{мг}/\text{дм}^3$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
$T_{\text{ст1}}, ^\circ\text{C}$	51	49	47	45	52	60	65	70	55	48
$q_2, \text{м}^3/\text{с}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
$C_{\text{ст2}}^{\text{зр}}, \text{мг}/\text{дм}^3$	250	230	225	270	280	285	175	220	222	255
$C_{\text{ст2}}^{\text{БСК}}, \text{мг}/\text{дм}^3$	205	210	215	220	225	230	235	240	245	205
$C_{\text{р}}^{\text{зр}}, \text{мг}/\text{дм}^3$	5,5	5,4	5,7	5,6	5,8	5,9	6,0	6,2	6,3	6,4
$C_{\text{р}}^{\text{БСК}}, \text{мг}/\text{дм}^3$	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
$C_{\text{р}}^{\text{Pb}}, \text{мг}/\text{дм}^3$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
$T_{\text{max}}$	12	15	18	18	12	12	15	18	18	
$L, \text{км}$	10,0	11,0	12,0	12,5	13,0	13,3	13,8	14,0	10,5	11,5
$Q$	20	21	22	23	24	30	26	27	28	32
$v, \text{м}/\text{с}$	0,2	0,3	0,4	0,45	0,5	0,6	0,55	0,25	0,35	0,45
$H, \text{м}$	1,3	1,2	1,0	1,3	1,2	1,1	1,3	1,2	1,0	1,3
$\varphi$	1,1	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,2	1,1	1,2	1,0

## Контрольні питання

- 1 Що таке якість води?
- 2 Які існують види водокористування?
- 3 Гранично допустима концентрація речовини у воді водного об'єкта.
- 4 Як нормується якість води у поверхневих водотоках і непроточних водоймах.
- 5 Лімітуюча ознака шкідливості. Назвіть види лімітуючих ознаки шкідливості, що характеризують якість води.
- 6 Гранично допустимий скид у природні водойми.
- 7 Визначте та поясніть поняття біохімічного споживання кисню.
- 8 Назвіть нормативну величину БСК для питного й господарсько-побутового водокористування.
- 9 Назвіть нормативні величини інтенсивності запаху, смаку й присмаку води у поверхневому водному об'єкті.
- 10 Яке підвищення температури води допустиме для водного об'єкта після скидання стічних вод?
- 11 Назвіть допустиму величину підвищення вмісту завислих речовин у водному об'єкті після скидання стічних вод.
- 12 Яка нормативна величина рН води у водних об'єктах?
- 13 Назвіть нормативну величину мінералізації води у поверхневих водних об'єктах.
- 14 Як розрахувати кратність розбавлення стічної води водою водотоку?
- 15 Які параметри враховують при визначенні коефіцієнта змішування  $\gamma$ ?
- 16 Як розрахувати допустиме значення БСК стічних вод?
- 17 Як розрахувати допустиму температуру стічних вод?
- 18 Як розрахувати допустиму концентрацію забруднюючої речовини у стічній воді, яка дозволить їх скидання у поверхневий водний об'єкт з дотриманням вимог ГДК?
- 19 Як розрахувати допустимий вміст завислих речовин у стічних водах  $C_{ст}^{зр}$  ?



## Список літератури

1 Водний Кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>.

2 Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами: Постанова КМУ № 465 від 25.03.1999. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/465-99-%D0%BF#Text>

3 Методичні рекомендації з розроблення нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти із зворотними водами: наказ Міндовкілля України № 173 від 5.03.2021. URL: <https://mepr.gov.ua/documents/3331.html>

4 Сторожук В. М., Батлук В. А., Назарук М. М. Промислова екологія: підручник. Львів: Українська академія друкарства, 2005. 547 с.

5 Борисовська О. О., Лисицька С. М., Деменко О. В. Екологічна безпека: метод. рекомендації до виконання розрахункової практичної роботи студентами напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2012. 35 с. URL: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/492/M8322.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

6 Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення: Закон України. *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 2002. № 16. ст. 112. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14#Text>.

7 ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: наказ МОЗ України від 12.05.2010 N 400). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>.

8 ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості: видання офіційне. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 30 с. URL: [http://iccwc.org.ua/docs/dstu\\_7525\\_2014.pdf](http://iccwc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf).

9 С-7. Біохімічне споживання кисню (БСК) та концентрація азоту амонійного в річковій воді / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів. URL: <https://mepr.gov.ua/content/s7->

biohimichne-spozhyvannya-kisnyu-bsk-ta-koncentraciya-azotu-amonijnogo-v-richkovi-vodi.html.

10 ДСП 173-96. Державні санітарні правила планування і забудови населених пунктів: Наказ МОЗУ № 173 від 19.06.96. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text>.

11 ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. Введ. 2009–01–01. Київ: Держспоживстандарт, 2009. 42 с.

12 Клименко М. О., Вознюк Н. М., Вербецька К. Ю. Порівняльний аналіз нормативів якості поверхневих вод. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів та природокористування*. Київ, 2012. Вип. 1(30). URL: [http://nd.nubip.edu.ua/2012\\_1/12kmo.pdf](http://nd.nubip.edu.ua/2012_1/12kmo.pdf).

РОЗРАХУНОК УМОВ СКИДАННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН  
ПРИ ВОДОВІДВЕДЕННІ ДО ВОДОТОКІВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до практичних занять з дисципліни  
*«ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ»*

Відповідальний за випуск Кисельова С. О.

Редактор Еткало О. О.

---

Підписано до друку 29.06.21 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк. арк. 1,25. Тираж 5. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет  
залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.