

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ФОРМУЛИ ЯКОВЛЄВА–РОДЗІЛЛЕРА  
ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНО ДОПУСТИМОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ  
ЗАБРУДНЮЮЧОЇ РЕЧОВИНИ У ВОДНИХ ПОТОКАХ**

*Вдосконалено формулу Яковлєва–Родзіллера для визначення гранично допустимої концентрації забруднюючих речовин у стічних водах, що відведено з очисних споруд перед скидом їх у природні водні джерела.*

**Вступ**

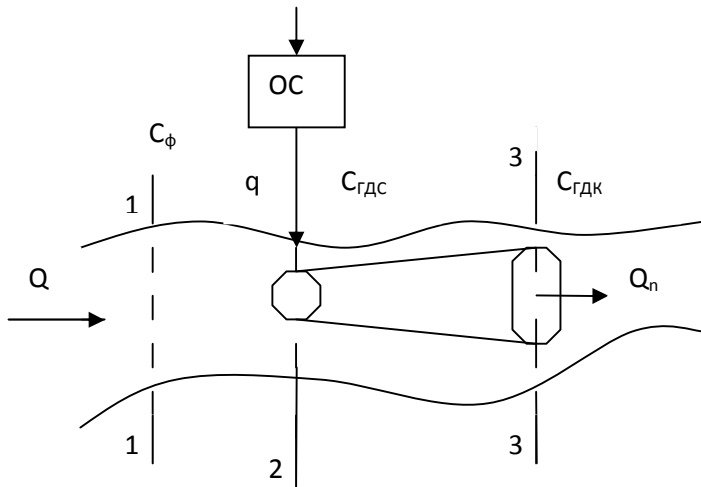
Охорона водного середовища вимагає обов'язкового очищення стічних вод, що утворюються на території житлових масивів і промислових підприємств. Загальний вміст та концентрація забруднюючих речовин в потоках стічних вод, що скидаються, не повинні перевищувати нормативних показників в контрольних створах водойм кожного виду призначення [1].

**Обґрунтування проблеми**

В основу кожного технологічного процесу покладено відповідні фізичні, хімічні, гідродинамічні та інші закономірності, а також математичні моделі й схеми, відхилення від яких призводить до негативних наслідків. Прорахунки у процесах очищення стічних вод та скидах їх у природні джерела обумовлені, насамперед, недостатньо точно складеною Родзіллером–Лаптевим [2] моделлю руху забрудненого потоку води у водотоках та одержаним на її підставі С.В. Яковлевим [4] рівнянням для визначення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин в очищених стічних водах, що відводяться у річки та водойми. Орієнтація очищення стічних вод на результати, що одержані за формулою Яковлєва [5], призводить до нормативних показників вмісту забруднюючих речовин у природних водоймах. Це неприпустимо й вимагає уточнення розрахункової схеми і формули.

**Основна частина**

Схематично процес скиду стічних вод у річки зображено на рисунку 1.



**Рис. 1. Схема скиду стічних вод у водотоки з очисних споруд:**  
 1-1 – фоновий створ; 2-2 – створ скиду стічних вод; 3-3 – контрольний створ;  
 ОС – очисні споруди

Виходячи зі схеми випуску стічних вод (рис. 1), С.В. Яковлевим та іншими [5] було запропоновано балансове рівняння забруднюючих речовин у контрольному створі водотоку:

$$C_{ГДС}q + aQC_{\phi} \leq (aQ + q)C_{ГДК}, \quad (1)$$

де  $Q$  – витрати води у водному об'єкті,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

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

$C_{\phi}$  – фонові концентрації будь-якої забруднюючої речовини у водному об'єкті,  $\text{мг}/\text{л}$ ;

$C_{ГДС}$  – гранично допустима концентрація того ж виду забруднення в стічних водах,  $\text{мг}/\text{л}$ ;

$C_{ГДК}$  – ГДК,  $\text{мг}/\text{л}$ ;

$a$  – коефіцієнт змішування.

Значення  $Q$  визначають за даними гідрологічної служби;  $q$  – за технологічними розрахунками величини водовідведення.

Фонові концентрації  $C_{\phi}$  визначаються за даними натурних замірів в так званому фоновому створі, що знаходиться вище за течією води у водотоці. Цей створ розташовують на такій відстані від місця скиду стічних вод, щоб виключався їх вплив на якість води у водоймищі. Коефіцієнт змішування  $a$  залежить від багатьох чинників: конструкції водозкидних споруд, гідравлічних характеристик створів потоків у водному об'єкті й зливному колекторі, гідрологічних параметрів русла водотоку, відстані до контрольного створу.

При складанні рівняння (1) автори виходили з умов наближення до контрольного створу двох потоків: забрудненого – з очисних споруд – та умовно чистого – річкового. Після відповідних математичних перетворень була одержана формула для розрахунків  $C_{ГДС}$ , що має назву “формула Яковлева–Родзіллера”:

$$C_{ГДС} \leq \frac{aQ}{q}(C_{ГДС} - C_{\Phi}) + C_{ГДК}. \quad (2)$$

Аналізуючи результати розрахунків, одержаних за формулою (2), за умови двох крайніх значень  $C_{\Phi}$ , тобто при  $C_{\Phi} = 0$  та  $C_{\Phi} = C_{ГДК}$ , отримані значення  $C_{ГДС}$ , які свідчать про таке:

- у першому випадку виключається необхідність видалення дослідної забрудненої речовини на очисних спорудах;
- у другому – концентрація забруднюючої речовини, що надходить до водотоку, дорівнює  $C_{ГДК}$ . Тому навіть при багатократному розведенні у контрольному створі фактична концентрація буде перевищувати  $C_{ГДК}$ , що є неприпустимим [3].

Виходячи з викладеного вище матеріалу, існує нагальна потреба у коригуванні даної формули.

Спостереження за рухом забрудненого потоку у річці свідчать, що при випуску концентрованих забруднених потоків у річкову воду, вони одразу змішуються, утворюючи пляму, яка рухається за течією до контрольного створу. Дана пляма може охоплювати частину або весь поперечний переріз потоку. Концентрація забруднюючої речовини у плямі є середньою зваженою величиною  $C_{\text{ср.взв.}}$  та визначається за формулою:

$$C_{\text{ср.взв.}} = \frac{C_{ГДС}q + C_{\Phi}(Q_n - q)}{q(Q_n - q)}, \quad (3)$$

де  $Q_n$  – витрата води у плямі,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Витрата води у плямі знаходиться за загальноприйнятою методикою:

$$Q_n = K \frac{\pi D_n^2}{4} g_p, \quad (4)$$

де  $K$  – коефіцієнт збільшення розмірів плями від місця її утворення до контрольного створу;

$D_n$  – діаметр плями, що визначається за формулою Родзіллера [1], м;

$g_p$  – швидкість води у річці, м/с.

При скиданні забруднюючих стічних вод у водотік в контрольному створі повинні дотримуватися таких умов:

$$\Delta C \leq C_{ГДК} - C_{\Phi}. \quad (5)$$

Величина  $\Delta C$  має дорівнювати  $C_{\text{ср.взв.}}$ . Тому, виходячи з формул (3) та (5), можна вивести наступне рівняння:

$$\frac{C_{\text{ГДС}}q + C_{\text{ф}}Q_n - C_{\text{ф}}q}{Q_n} \leq C_{\text{ГДК}} - C_{\text{ф}}. \quad (6)$$

Розв'язавши рівняння (6) відносно  $C_{\text{ГДС}}$ , отримуємо таку формулу:

$$C_{\text{ГДС}} \leq \frac{Q_n}{q}(C_{\text{ГДК}} - 2C_{\text{ф}}) + C_{\text{ф}}. \quad (7)$$

Результати розрахунків  $C_{\text{ГДС}}$ , що були одержані за формулою (7), принципово відрізняються від результатів, що отримані за формулою (2). Так, при  $C_{\text{ГДК}} \leq 2C_{\text{ф}}$  значення  $C_{\text{ГДС}}$  не повинне перевищувати  $C_{\text{ф}}$ . Це не дозволяє створювати екологічно небезпечну ситуацію на певних ділянках водотоків та вимагає більш ретельного очищення стічних вод.

### Висновки

Аналіз формули (2) для визначення гранично допустимої концентрації забруднюючої речовини в потоці стічних вод, що відводять з очисних споруд перед їх скидом у водні об'єкти, показав доцільність та нагальну необхідність у коригуванні. Виходячи з балансового рівняння забруднюючих речовин, що надходять до контрольного створу, одержана нова формула для визначення  $C_{\text{ГДС}}$ , яка дозволяє отримувати більш екологічно надійні та обґрунтовані результати.

### Література

1. *Апостолюк О.С.* Промислова екологія / *О.С. Апостолюк, С.В. Сторожук.* – К. : Лібра, 2004. – 423 с.
2. *Жуков А.И.* Канализация промышленных предприятий / *А.И. Жуков, И.Д. Монгайт, И.Д. Родзиллер.* – М. : Стройиздат, 1969. – 348 с.
3. *Лапишов Н.И.* Расчет выпуска сточных вод / *Н.И. Лапишов.* – М. : Стройиздат, 1977. – 172 с.
4. *Черкинский С.Н.* Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы / *С.Н. Черкинский.* – М. : Стройиздат, 1977. – 211 с.
5. *Яковлев С.В.* Канализация / *С.В. Яковлев.* – М. : Стройиздат, 1975. – 628 с.