

doi.org/10.29295/2311-7257-2021-104-2-299-304

УДК 504.4.054

Проскурнін¹ О.А., Комариста² Б.М., Бендюг² В.І., Дем'янова³ О.О.

¹НДУ «Український НДІ екологічних проблем»

(вул. Бакуліна, Харків, 661166, Україна; e-mail: oproskurnin@mail.ru)

² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» (пр. Перемоги, 37, Київ 03056, Україна; e-mail: angel2nika@gmail.com; orcid.org/0000-0001-9542-6597)

³ Приватний підприємець

(вул. Кримська, 55А, Херсон, 73013, Україна; e-mail: olga_dem55@mail.ru)

ЕКОЛОГІЧНЕ НОРМУВАННЯ СКИДІВ СТИЧНИХ ВОД З УРАХУВАННЯМ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ ВОДИ ВОДОПРИЙМАЧІВ

Стаття присвячена методології розрахунку допустимих концентрацій забруднюючих речовин, що надходять у водні об'єкти зі стічними водами. Розглянуто випадок використання комплексного показника якості води водного об'єкта, який враховує лімітуючу ознаку шкідливості забруднюючих речовин. Пропонується поставлене завдання вирішувати знаходженням єдиного для всіх розглянутих забруднюючих речовин понижуючого коефіцієнта в діапазоні від 0 до 1. У цьому випадку шуканою допустимою концентрацією речовин в стічній воді буде перемноження фактичної концентрації (за даними натурних вимірів) на знайдений понижуючий коефіцієнт. Розглянуто два підходи до вирішення завдання. Перший підхід передбачає лінійну залежність концентрації речовини від понижуючого коефіцієнта. За умови лінійної залежності для випадку повного розбавлення стічних вод водою водного об'єкта отримана формула для розрахунку шуканого понижуючого коефіцієнта. Другий підхід передбачає залежність ступеня зниження концентрації кожної забруднюючої речовини від відповідної вартості очищення стічних вод. У цьому випадку пропонується використовувати ступеневу залежність концентрації від понижуючого коефіцієнта. Наведено демонстраційний приклад для трьох речовин, що мають токсикологічну лімітуючу ознаку шкідливості: азоту амонійного, нітритів і фосфатів.

Ключові слова: лімітуюча ознака шкідливості, стічні води, забруднююча речовина, водний об'єкт, контрольний створ.

Відведення стічних вод у водні об'єкти (ВО) є одним з найбільш суттєвих джерел антропогенного забруднення поверхневих вод. З метою забезпечення екологічної безпеки водовідведення для підприємств-водокористувачів проводиться екологічне нормування [1], яке полягає у визначенні гранично допустимих скидів (ГДС) забруднюючих речовин, що надходять у ВО зі стічними водами. (Дана проблема відноситься і до інших видів зворотних вод - дренажних та скидних, але з метою використання більш звичної термінології в даній статті задача розглядається на прикладі стічних вод.) Мета встановлення ГДС – недопущення наднормативної забрудненості води ВО в установленому контрольному створі (КС) відповідно до категорії водокористування (рибогосподарської або господарсько-побутової). Згідно сучасним підходам до оцінювання якості природної води, крім гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин [2, 3] необхідно розглядати також комплексні показники, які враховують подібний характер шкідливого впливу різних речовин. У задачах нормування водовідведення за комплексний показник доцільно використовувати показник, що враховує лімітуючу ознаку шкідливості (ЛОШ) забруднюючої речовини (токсикологічну, санітарно-токсикологічну, рибогосподарську, органолептичну та ін.) [4-6]:

$$I_l = \sum_{j=1}^{N_l} \frac{Y_j^l}{ГДК_j^l}, \quad (1)$$

де j, l - індекси відповідно забруднюючої речовини і ЛОШ; Y - розрахункова концентрація речовини в КС; N_l - кількість розглянутих речовин з єдиною ЛОШ.

Згідно [4], допустимий склад стічних вод повинен забезпечувати в КС, розташованому не далі 500 м від випуску (для випусків в морську акваторію - не далі 250 м), наступну умову:

$$I_l \leq 1. \quad (2)$$

Механізм розрахунку допустимих концентрацій з урахуванням ЛОШ в науковій і методичній літературі описаний тільки для розрахунку ГДС оптимізаційним методом [7]. Однак, оптимізаційний метод розрахунку ГДС мало застосовується в силу його недоопрацьованості [8-10]. На практиці при розрахунку ГДС застосовується альтернативний оптимізаційному розрахунок, заснований на рівномірному розподілі асиміляційної спроможності ВО між водокористувачами. Даний розрахунок проводиться окремо за кожної забруднюючої речовини. В результаті визначаються допустимі концентрації речовин в СВ, які не призводять до перевищення ГДК в КС. Однак, якщо в результаті розрахунку умова (2) не дотримується, то у розробника ГДС відсутній однозначний механізм знаходження шуканого допустимого складу СВ.

Метою статті є розробка методу знаходження допустимих концентрацій забруднюючих речовин в СВ, що забезпечують досягнення необхідної якості природної води в зоні впливу скидання за комплексним показником з урахуванням ЛОШ.

З екологічної точки зору механізм розрахунку допустимих концентрацій речовин в стічній воді з урахуванням ЛОШ не суттєвий. Для цього підійшло б будь-яке розв'язання рівняння

$$I_l(\{C_{ГДС,ij}^l\}) = 1, \quad (3)$$

де i – індекс випуску СВ; $\{C_{ГДС,ij}^l\}$ – шукана множина допустимих концентрацій речовин в стічній воді, що мають єдиний (l -й) ЛОШ.

Тому спосіб знаходження допустимих концентрацій, що розробляється, повинен ґрунтуватися на технологічних можливостях очисних споруд та економічної доцільності [11].

Оскільки для кожного ЛОШ поставлена задача вирішується окремо, для спрощення подальшого викладу буде розглядатися тільки одна група речовин з єдиною ЛОШ і індекс l буде опускатися.

Для вирішення поставленого завдання пропонується змінну концентрацію речовини у стічній воді C розглядати як функцію від єдиного для всіх розглянутих забруднюючих речовин деякого понижуючого коефіцієнта $k \in [0;1]$. Функція $C(k)$ повинна включати наступні параметри: F - фактична концентрація речовини за даними натурних вимірів на момент вирішення задачі екологічного нормування, S - мінімально досяжна концентрація, обумовлена характеристиками очисних споруд. Крайові значення функції наступні: $C(0) = S$, $C(1) = F$.

Завдання в цьому випадку буде зводитися до пошуку коефіцієнта $k_{ГДС}$, при якому шуканий допустимий склад СВ (тобто множина $\{C_{ГДС,ij}\} = \{F_{ij} \cdot k_{ГДС}\}$) забезпечить виконання умови (2). Для вирішення поставленого завдання пропонується змінну концентрацію у стічній воді C розглядати як функцію від єдиного для всіх розглянутих забруднюючих речовин понижуючого коефіцієнта $k_{ГДС}$.

Найбільш простий випадок - це лінійна залежність:

$$C(k) = S + a \cdot k \quad (4)$$

де a – параметр моделі.

Параметр a легко знаходиться шляхом підстановки в (4) значення аргумента $k = 1$:

$$a = F - S \quad (5)$$

Остаточно:

$$C(k) = S + (F - S) \cdot k. \quad (6)$$

Якщо має місце повне розбавлення стічної води в водотоці до моменту її переміщення до КС, і відсутня трансформація речовин [12, 13], то концентрація речовини в КС визначається простим балансовим рівнянням:

$$Y_j = \frac{\sum_{i=1}^m q_i \cdot C_{ij} + Q_{\text{фон}} \cdot C_{\text{фон},j}}{Q}, \quad (7)$$

де q , $Q_{\text{фон}}$, Q – відповідно витрата стічної води, річкової води в фоновому створі і в КС; $C_{\text{фон}}$, – концентрація речовини в фоновому створі.

В цьому випадку понижуючий коефіцієнт $k_{ГДС}$ з урахуванням лінійної залежності (6) знаходиться з рівняння:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^m q_i \cdot [S_{ij} + (F_{ij} - S_{ij}) \cdot k_{ГДС}] + Q_{\text{фон}} \cdot C_{\text{фон},j}}{Q \cdot ГДК_j} = 1. \quad (8)$$

Для того, щоб величина зниження концентрації речовини залежала від вартості очищення (тобто чим очищення дорожче, тим зниження менш бажано), як варіант, функцію концентрації речовини в стічній воді можна представити у вигляді ступенної функції:

$$C(k) = S + (F - S) \cdot k^{1/d}, \quad (9)$$

де d – вартість очищення одного кубометра стічної води.

Зручність такої функції демонструє рис. 1.

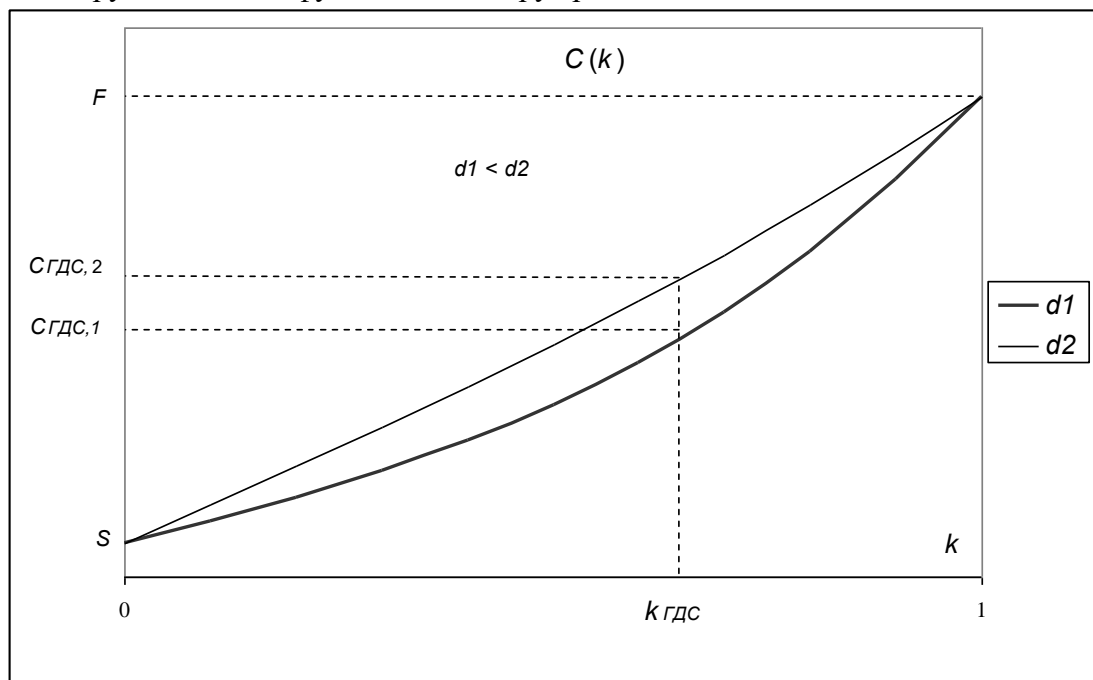


Рис. 1. Залежність концентрації забруднюючої речовини в СВ від понижуючого коефіцієнта k при різній вартості очищення

Як видно з рис. 1, чим вище вартість очищення, тим розрахункова допустима концентрація ближче до початкової фактичної, тобто на меншу величину треба буде знижувати концентрацію, в результаті чого загальна вартість очищення СВ буде менше. У загальному випадку понижуючий коефіцієнт $k_{ГДС}$ при знаходженні допустимих концентрацій речовин в СВ знаходиться з рівняння

$$\sum_{j=1}^N \frac{Y_j(\{C_{ij}(k_{ГДС})\})}{ГДК_j} = 1. \quad (10)$$

Якщо має місце неповне розбавлення СВ водою ВО, або при розрахунку якості води ВО розглядається самоочищення природної води, то вид функцій $Y(C)$ може бути

непростим. Тому розв'язання рівняння (10) може бути знайдено чисельним методом. (Наприклад, методом половинного поділення [14].)

Слід зауважити, що якщо розрахунок ГДС проводиться не за басейновим принципом, то метод розрахунку може бути комбінованим: для показників, по яких не передбачено врахування ЛОШ (хлориди, сульфати, БСК, ХСК), розрахунок можна проводити виходячи з рівномірного розподілу асиміляційної здатності. А при урахуванні ЛОШ - оптимізаційних методом. Однак, при розрахунку ГДС за басейновим принципом з великою кількістю випусків і контрольних створів комбінування методів неможливо.

Нижче наведено демонстраційний приклад розрахунку.

Розглядається один випуск СВ в водотік. Як показники забруднення води розглянуті три речовини, які мають токсикологічний ЛОШ: азот амонійний, нітрити і фосфати. Для спрощення задачі передбачається повне розбавлення СВ в КС, а також незалежне очищення від кожного з розглянутих речовин. Крім того, в силу невеликої відстані від випуску СВ до КС, не розглядаються трансформаційні процеси в природній воді. Витрати СВ і водотоку вище випуску прийняті відповідно 0,007 м³/с і 0,25 м³/с. Вихідні дані по концентраціях забруднюючих речовин наведені в табл. 1

Таблиця 1 – Вихідні данні

| Ін-декс | Речовина | Фактична концентрація в СВ, F мг/дм ³ | Фонова концентрація, $C_{фон}$ мг/дм ³ | ГДК, мг/дм ³ | Мінімально можлива концентрація, S мг/дм ³ | Вартість очищення, d у.е. |
|---------|----------------|--|---|-------------------------|---|-----------------------------|
| 1 | азот амонійний | 9,00 | 0,01 | 1 | 0,05 | 3 |
| 2 | нітрити | 4,30 | 0,01 | 0,08 | 0,0003 | 2 |
| 3 | фосфати | 8,90 | 0,18 | 2,15 | 0,1 | 2 |

З урахуванням прийнятих спрощень, концентрації речовин в КС визначається за рівнянням (7). Підставляючи в рівняння дані табл. 1, отримуємо: $Y_1=0,26$, $Y_1 = 0,13$, $Y_1 = 0,42$.

Таким чином, комплексний показник якості води в КС дорівнює:

$$I = \frac{0,26}{1} + \frac{0,13}{0,08} + \frac{0,42}{2,15} = 2,08, \quad (12)$$

і умова (2) не виконується.

Підставляючи дані табл. 1 в (10) і (11) і розв'язуючі рівняння методом половинного поділення (проміжні результати опускаються), знаходимо значення необхідного понижуючого коефіцієнта: $k_{ГДС} = 0,377$.

Розраховані за допомогою знайденого понижуючого коефіцієнта концентрації речовин в СВ і КС наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Результат розрахунку

| Речовина | Допустима концентрація в СВ, $C_{ГДС}$ мг/дм ³ | Розрахункова концентрація в КС, Y мг/дм ³ |
|----------------|---|--|
| азот амонійний | 6,515 | 0,188 |
| нітрити | 1,596 | 0,661 |
| фосфати | 5,503 | 0,151 |
| | Сума: | 1,000 |

Таким чином, розраховані допустимі концентрації забезпечують дотримання необхідної якості природної води за комплексним показником.

Висновок. Викладений у статті метод знаходження допустимих концентрацій забруднюючих речовин в СВ забезпечує досягнення необхідної якості природної води в зоні впливу скидання за комплексним показником з урахуванням ЛОШ.

Напрямком подальших досліджень в рамках даної теми є розробка методу вирішення аналогічної задачі з урахуванням трансформації забруднюючих речовин.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Водный кодекс Украины. К., Видавничий Дім «Ін Юре», 2004. 138 с.
2. Про затвердження нормативів екологічної безпеки водних об'єктів, що використовується для потреб рибного господарства: наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 30.07.2012р. № 471. Офіційний вісник України. 2021. № 66. С. 39-40.
3. ДСП 173-96. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. URL: https://dnaop.com/html/2375/doc-ДСП_173-96.
4. Васенко О.Г., Рибалова О.В., Артем'єв С.Р. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього середовища. Харків: НУГЗУ, 2015. 419 с.
5. Проскурнин О.А., Комаристая Б.Н., Смирнова С.А. Расчет индекса загрязнения поверхностных вод в рамках оценки экологической составляющей жизненного цикла продукции. ScienceRise. 2015. № 5/2(10). С. 32-36.
6. Яковлев В.В., Дмитренко Т.В., Дядін Д.В., Вергелес Ю.І. Проблема забруднення води Свято-Пантелеймонівського джерела у м. Харків і спосіб її вирішення. Науковий вісник будівництва. 2020. Т. 102. № 4. С. 200-2012.
7. Проскурнин О. А. Оптимизационный подход к ограничению содержания веществ в сточных водах с учетом лимитирующих признаков вредности. Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки. 2010. №32. С. 162-173.
8. Проскурнин О. А. Разбиение бассейна реки на локальные участки с целью осуществления бассейнового принципа расчета допустимых сбросов сточных вод. Коммунальное хозяйство городов. Серия Технические науки и архитектура. 2014. № 112. С. 82-87.
9. Проскурнин О. А. Установление региональных нормативов качества природной воды при реализации бассейнового принципа расчета допустимых сбросов сточных вод. Науковий вісник будівництва. 2014. № 2. С. 136-140.
10. Проскурнин О. А., Кирпичева И. В, Смирнова С. А. Методика установления региональных нормативов качества поверхностных вод при нормировании антропогенной нагрузки. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. № 4 (10). С. 24-30.
11. Проскурнин О. А. Минимизация общих затрат на очистку сточных вод при нормировании

REFERENCES:

1. Vodnyj kodeks Ukrainy. K., Vidavnichij Dim «In YUre», 2004. 138 c.
2. Pro zatverdzhennya normativiv ekologichnoi bezpeki vodnih ob'ektiv, shcho vikoristovuet'sya dlya potreb ribnogo gospodarstva: nakaz Ministerstva agrarnoi politiki ta prodovol'stva Ukraini vid 30.07.2012r. № 471. Oficijnij visnik Ukraini. 2021. № 66. С. 39-40.
3. DSP 173-96. Derzhavni sanitarni pravila planuvannya ta zabudovi naselenih punktiv. URL: https://dnaop.com/html/2375/doc-ДСП_173-96.
4. Vasenko O.G., Ribalova O.V., Artem'ev S.R. Integral'ni ta kompleksni ocinki stanu navkolishn'ogo seredovishcha. Harkiv: NUGZU, 2015. 419 c.
5. Proskurnin O.A., Komaristaya B.N., Smirnova S.A. Raschet indeksa zagryazneniya poverhnostnyh vod v ramkah ocenki ekologicheskoy sostavlyayushchej zhiznennogo cikla produkci. ScienceRise. 2015. № 5/2(10). С. 32-36.
6. YAKovlev V.V., Dmitrenko T.V., Dyadin D.V., Vergeles YU.I. Problema zabrudnennya vodi Svyato-Pantelejmoniv'skogo dzherela u m. Harkiv i sposib ii virishennya. Naukovij visnik budivnictva. 2020. T. 102. № 4. С. 200-2012.
7. Proskurnin O. A. Optimizacionnyj podhod k ogranicheniyu sodержaniya veshchestv v stochnyh vodah s uchetom limitiruyushchih priznakov vrednosti. Problemi ohoroni navkolishn'ogo prirodnogo seredovishcha te ekologichnoi bezpeki. 2010. №32. С. 162-173.
8. Proskurnin O. A. Razbienie bassejna reki na lokal'nye uchastki s cel'yu osushchestvleniya bassejnovogo principa rascheta dopustimyh sbrosov stochnyh vod. Kommunal'noe hozyajstvo gorodov. Seriya Tekhnicheskie nauki i arhitektura. 2014. № 112. С. 82-87.
9. Proskurnin O. A. Ustanovlenie regional'nyh normativov kachestva prirodnoj vody pri realizacii bassejnovogo principa rascheta dopustimyh sbrosov stochnyh vod. Naukovij visnik budivnictva. 2014. № 2. С. 136-140.
10. Proskurnin O. A., Kirpicheva I. V, Smirnova S. A. Metodika ustanovleniya regional'nyh normativov kachestva poverhnostnyh vod pri normirovanii antropogennoj nagruzki. Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tekhnologij. 2016. № 4 (10). С. 24-30.
11. Proskurnin O. A. Minimizaciya obshchih zatrat na ochistku stochnyh vod pri normirovanii

- водоотведения. Экологични науки. 2015. №7. С. 65-71.
12. Проскурнин О. А., Кирпичева И.В., Кононенко А.В., Третьякова Н.В. Расчет концентрации вещества в контрольной точке водного объекта в зоне действия сбросов сточных вод. Науковий вісник будівництва. 2017. № 1. С. 165-169.
13. Proskurnin O., Berezenko K., Kyrpychova I., Honcharenko Y, Jurchenko A. Improvement of the model of transformation of nitrogen-containing substances in a water body for the solution of nature management problem. «EUREKA: Life Sciences». 2017. № 3 (9). P. 50-56
14. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. Москва: Наука, 1986. 544 с.
- vodootvedeniya. Ekologichni nauki. 2015. №7. С. 65-71.
12. Proskurnin O. A., Kirpicheva I.V., Kononenko A.V., Tret'yakova N.V. Raschet koncentracii veshchestva v kontrol'noj tochke vodnogo ob'ekta v zone dejstviya sbrosov stochnyh vod. Naukovij visnik budivnictva. 2017. № 1. С. 165-169.
13. Proskurnin O., Berezenko K., Kyrpychova I., Honcharenko Y, Jurchenko A. Improvement of the model of transformation of nitrogen-containing substances in a water body for the solution of nature management problem. «EUREKA: Life Sciences». 2017. № 3 (9). P. 50-56
14. Bronshtejn I.N., Semendyaev K.A. Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchihsya VTUZov. Moskva: Nauka, 1986. 544 с.

Proskurnin O., Komarysta B., Bendug V., Demjanova O. ECOLOGICAL REGULATION OF WASTE WATER DISCHARGES TAKING INTO ACCOUNT THE COMPLEX INDICATOR OF WATER QUALITY IN RECEIVING WATERS. The article is devoted to the methodology for calculating the permissible concentrations of pollutants entering water bodies with wastewater. The case of using a complex indicator of water quality of a water body, which takes into account the limiting sign of harmfulness of pollutants, is considered. The task is proposed to be solved by finding a reduction factor that is uniform for all considered pollutants in the range from 0 to 1. In this case, the desired permissible concentration of substances in wastewater will be the product of the actual concentration (according to field measurements) by the found reduction factor. Two approaches to solving the problem are considered. The first approach assumes a linear dependence of the concentration of a substance on the reduction factor. Under the condition of a linear dependence for the case of complete dilution of wastewater with water of a water body, a formula is obtained to calculate the desired reduction factor. The second approach assumes the dependence of the degree of reduction in the concentration of each pollutant on the corresponding cost of wastewater treatment. In this case, it is proposed to use the power-law dependence of the concentration on the reduction factor. A demo example is given for three substances with a toxicological limiting sign of harmfulness: ammonium nitrogen, nitrites and phosphates.

Key words: limiting sign of harmfulness of pollutants, waste water, pollutant, water body, control section.