

5. Ковальчук, В.А. Очистка стічних вод [Текст] / В.А. Ковальчук // Рівне, 2002. – 622 с.
6. Марчук, Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / Г.И. Марчук – М. : Наука, 1982. – 320 с.
7. Проектування мереж водовідведення стічних вод міста [Текст] / С.М. Епоян, І.В. Корінко, В.Г. Слепцов, Г.М. Смірнова, О.Г. Ісакієва – Х.: Каравела, 2004. – 124 с.
8. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М.З. Згуровский, В.В. Скопецкий, В.К. Хрущ, Н.Н. Беляев – К. : Наук. думка, 1997. – 368 с.
9. Эпоян, С.М. Эффективное осветление воды в устройствах малой производительности [Текст] / С.М. Эпоян, А.С. Карагяур, А.Л. Скорик // Сучасні проблеми охорони довкілля та раціонального використання ресурсів у водному господарстві – К.: – 2012. – С. 19–21.
10. Эпоян, С.М. Безреагентная очистка воды от взвешенных веществ в установках малой производительности [Текст] / С.М. Эпоян, А.С. Карагяур, В.А. Сташук, А.В. Чунарев – Х.: – 2011. – Вып. 65. – С. 312 – 315.
11. Hendricks, David W. Water treatment unit processes: physical and chemical [Text] / David W. Handricks // CRC Press, 2006. – 1266 p.
12. Neutralization of Acidic Wastewater by the Use of Waste Limestone from the Marble Industry. Mechanistic Aspects and Mass Transfer Phenomena of the Acid–Base Reaction at the Liquid–Solid Interface / P. Domenico, P. Mario, B. Giancarlo, P. Calabrese, V. Petruzzelliand – Ind. Eng. Chem. Res. – 2014. – 53(7). – P. 2566–2571.
13. Wastewater Treatment-Physical and Chemical Methods [Text] / W. Walters Richard, L. Tarleton Amy, Grasso Domenic, Ibrahim Al-Ghusain, Yu-Ping Chin, Bryan W. West, Jeffrey A. Sullivan. – Vol. 61, No. 6, 1989: Literature Review Issue (Jun., 1989), P. 789–799.
14. Станция нейтрализации сточных вод. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ecovod.ru/stancia-neytralizacii-stochnykh-vod>

УДК 504.4.054

Проскурнин¹ О. А., Кирпичева² И.В. , Кононенко² А.В. , Третьякова² Н.В.

¹НИУ «Украинский НИИ экологических проблем», Г. Харьков,

²Луганский национальный аграрный университет, г. Харьков

РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЕЩЕСТВА В КОНТРОЛЬНОЙ ТОЧКЕ ВОДНОГО ОБЪЕКТА В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ СБРОСОВ СТОЧНЫХ ВОД

Одной из важнейших экологических проблем экономически развитых стран является загрязнение водных объектов (ВО) сточными водами (СВ), отводимыми от промышленных, коммунальных и сельскохозяйственных предприятий [1]. В соответствии с действующим водным законодательством [2, 3], для предприятий-водопользователей разрабатываются и утверждаются предельно допустимые сбросы (ПДС) загрязняющих веществ (ЗВ), поступающих в ВО со СВ. Методической базой для разработки и утверждения ПДС является «Инструкция по разработке и утверждению ПДС веществ в водные объекты с

возвратными водами» [4]. Согласно данной «Инструкции...», при неполном разбавлении СВ вывод о степени техногенного влияния на ВО делается по максимально загрязненной части потока воды вдоль контрольного створа.

Одна из проблем при расчете ПДС заключается в применении так называемого «принципа суперпозиции» при расчете максимально загрязненной части потока воды. Данный принцип широко используется в различных областях физики (в частности, в электродинамике и акустике) и представляет собой следующую закономерность: результат воздействия на

объект нескольких внешних сил есть векторная сумма воздействия этих сил [5]. Применительно к расчету загрязненности ВО принцип суперпозиции означает независимость влияния различных источников загрязнения на состояние ВО. Т.е. поступление вещества в какую-либо часть потока от каждого из источников рассматрива-

$$C_{\max} = C_{\phi} \left(1 - \sum_i 1/n_i \right) \cdot \exp(-kt_{\phi}) + C_{np} \cdot \left[1 - \exp(-kt_{\phi}) + \sum_i (\exp(-kt_{\phi}) - \exp(-kt_i)) / n_i \right] + \sum_i C_i \cdot \exp(-kt_i) / n_i, \quad (1)$$

где C_{\max} – концентрация вещества в максимально загрязненной части потока; C_{np} – природная (естественная) концентрация вещества в ВО; i – индекс выпуска СВ; C – концентрация вещества в СВ; n – кратность разбавления СВ; t – время перемещения СВ от выпуска до контрольного створа; k – коэффициент неконсервативности вещества, характеризующий интенсивность самоочищения ВО.

В случае одного источника загрязнения справедливость формулы (1) не вызывает сомнения. Это хорошо видно, если рассмотреть окрестность выбранной точки ВО. На рис. 1 визуальное представлено содержание в окрестности выбранной точки как природной воды (имеющей фоновую загрязненность), так и загрязняющего вещества при условном разделении обеих субстанций. (Для наглядности предполагается отсутствие самоочищения водного объекта.)

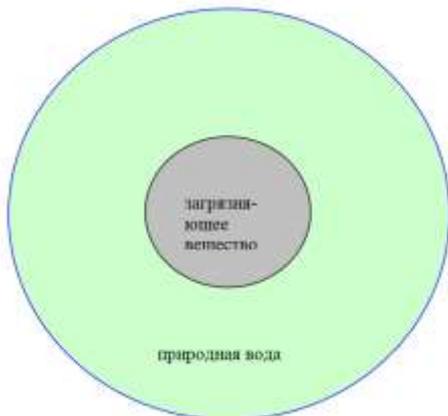


Рис. 1. Окрестность точки водного объекта при условном разделении природной и сточной воды

ется, согласно этому принципу, независимо от наличия иных источников загрязнения. Как следствие, в этом случае имеет место линейная зависимость концентрации вещества в воде ВО от концентраций веществ в СВ. Расчетная формула для каждого ЗВ, в силу принятого допущения, следующая:

Расход воды в рассматриваемой окрестности равен

$$Q = q \cdot n, \quad (2)$$

где q – расход сточной воды; n – кратность разбавления.

Поэтому расход природной воды равен

$$Q_{np} = q \cdot n - q \quad (3)$$

Масса загрязняющего вещества, поступившего со СВ, и масса вещества в природной воде равны соответственно:

$$M_{cm} = q \cdot C_{cm}, \quad M_{np} = Q_{np} \cdot C_{\phi}. \quad (4)$$

Таким образом, балансовое уравнение для расчета концентрации загрязняющего вещества будет следующим:

$$\begin{aligned} C &= \frac{M_{cm} + M_{np}}{q \cdot n} = \\ &= \frac{C_{cm} \cdot q + C_{\phi} \cdot (q \cdot n - q)}{q \cdot n} = \\ &= \frac{C_{cm} \cdot q + C_{\phi} \cdot q \cdot n - C_{\phi} \cdot q}{q \cdot n} = \\ &= C_{\phi} + \frac{C_{cm} - C_{\phi}}{n}. \end{aligned} \quad (5)$$

Однако при большем количестве источников загрязнения формула (1) справедлива лишь в пределе при $n \rightarrow \infty$. Проблематичность использования принципа суперпозиции в качестве универсального подхода наглядно видна при рассмотрении двух однотипных выпусков СВ с одинаковой кратностью разбавления. В этом случае при отсутствии самоочищения и естественного природного фона формула (1) принимает упрощенный вид:

$$C_{\max} = C_{\phi} + 2 \cdot \frac{C - C_{\phi}}{n}, \quad (6)$$

где C – концентрация вещества в СВ.

Как легко видно, при $n < 2$ (что не исключено в случае больших расходов СВ) будет иметь место

$$C_{\max} > \max(C, C_{\phi}). \quad (7)$$

Таким образом, расчетная концентрация вещества в смеси будет превосходить концентрацию в каждом из источников загрязнения (включая фоновое), что является физически нереальным.

Более того, решая неравенство

$$C_{\max} < 0 \quad (8)$$

видно, что при

$$n < 2 \cdot \frac{C_{\phi} - C}{C_{\phi}} \quad (9)$$

расчетная концентрация будет отрицательной.

Это объясняется следующим. Если рассматривать некоторую окрестность контрольной точки объема w , то при высоких кратностях разбавления частицы сточной воды, попадающие в w из различных источников, «не мешают» друг другу. Но если кратность разбавления незначительная и объем сточной воды соизмерим с объемом природной воды, то сточные воды от различных источников будут «вытеснять» друг друга.

Выходом из подобной ситуации может быть усложнение модели, которое предусматривает расширение рассматриваемой окрестности, т.е. увеличение w за счет попадания в окрестность разбавленных сточных вод из других источников [6, 7]. Ниже приводится вывод уточненной формулы для использования принципа суперпозиции при расчете концентрации ЗВ.

Для одного выпуска СВ справедливо следующее:

$$Q = Q_{np} + q \quad (10)$$

Таким образом:

$$q = \frac{Q}{n}. \quad (11)$$

Подставляя (11) в (10), при одном источнике техногенного загрязнения имеем:

$$Q = Q_{np} + \frac{Q}{n}. \quad (12)$$

Отсюда расход воды в окрестности рассматриваемой точки при одном источнике загрязнения равен

$$Q = \frac{Q_{np}}{1 - \frac{1}{n}}. \quad (13)$$

В случае нескольких выпусков СВ окрестность расширяется и общий расход воды в ней становится равным

$$Q = \frac{Q_{np}}{\sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{1}{n_i}\right)} \quad (14)$$

Как следует из (14), расход СВ, поступающих в рассматриваемую окрестность точки от i -го источника, равен

$$\begin{aligned} q_i &= Q_i - Q_{np} = Q_{np} \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{1}{n_i}} - 1 \right) = \\ &= Q_{np} \cdot \left(\frac{n_i}{n_i - 1} - 1 \right) = \\ &= Q_{np} \cdot \frac{n_i - n_i + 1}{n_i - 1} = \frac{Q_{np}}{n_i - 1} \end{aligned} \quad (15)$$

где Q_i – расход воды в окрестности контрольной точки при наличии одного i -го источника загрязнения.

Масса природной воды в расширенной окрестности равна

$$M_{np} = Q_{np} \cdot C_{\phi}. \quad (16)$$

А масса загрязняющего вещества при одном источнике загрязнения равна

$$M_{зг} = Q_{np} \cdot C = \frac{Q_{np} \cdot C}{n - 1}. \quad (17)$$

С учетом (17) формула массы загрязняющего вещества при N источниках будет иметь следующий вид:

$$M_{зг} = Q_{np} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{n_i - 1}. \quad (18)$$

Таким образом, балансовое уравнение концентрации вещества в контрольной точке будет следующим:

$$C_{кт} = \frac{M_{\phi} + M_{зв}}{Q_{np} + \sum_{i=1}^N q_i} = \frac{Q_{np} \cdot C_{\phi} + Q_{np} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{n_i - 1}}{Q_{np} + Q_{np} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{n_i - 1}} = \frac{C_{\phi} + \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{n_i - 1}}{1 + \sum_{i=1}^N \frac{1}{n_i - 1}} \quad (19)$$

На рис. 2 приведены графики концентраций ЗВ в контрольной точке при наличии двух выпусков СВ, рассчитанные двумя способами – по формулам (1) и (19). Кратность разбавления СВ первого выпуска является фиксированной, а для другого варьируется от 1 до 20. Предполагается единая концентрация вещества в СВ на уровне 10 мг/дм³ и отсутствие фонового загрязнения (т.е. $C_{\phi} = 0$).

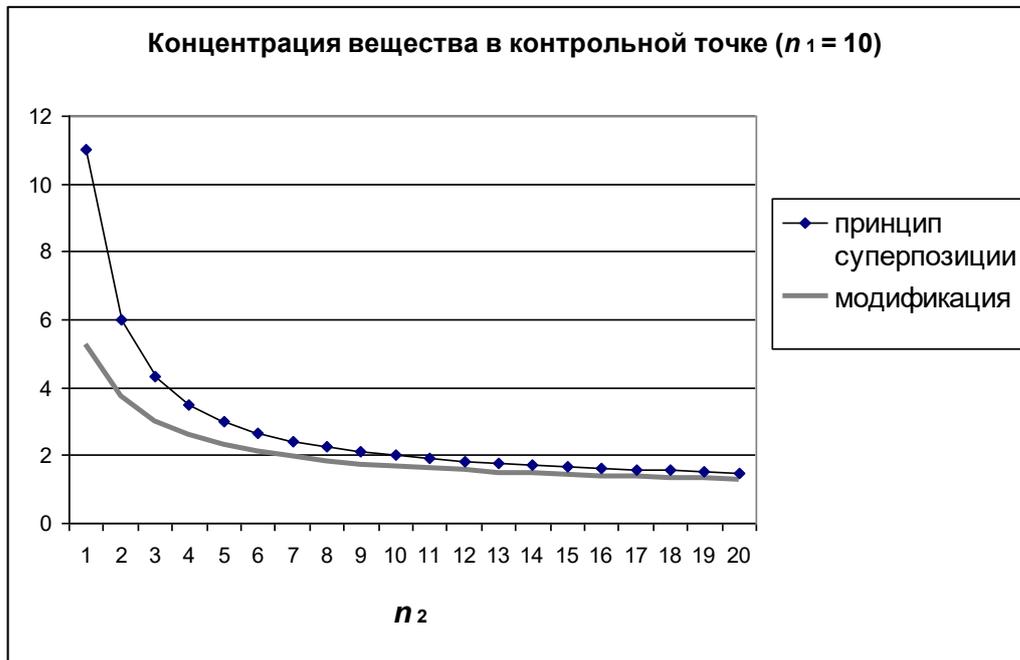


Рис. 2. Результат расчета концентрации вещества в контрольной точке

Как видно из графика, при малых кратностях разбавления СВ концентрация вещества в контрольной точке может превосходить исходную концентрацию (10 мг/дм³). В то время как модифицированный метод не приводит к неправдоподобному результату.

Таким образом, можно сделать следующий вывод. Предложенный в статье метод расчета концентрации вещества в контрольной точке ВО в зоне действия сбросов сточных вод является более адекватным рассматриваемому физическому процессу в сравнении с ныне используемым при расчете ПДС. Направлением дальнейших исследований является включение усовершенствованного метода

в общую задачу определения допустимого состава сточных вод.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гриценко А. В. Сучасний екологічний стан української частини річки Сіверський Донець (експедиційні дослідження) / Гриценко А. В., Васенко О. Г., Колеснік А. В. та ін. – Х. : ВПП «Контраст», 2011. – 340 с.
2. Водный кодекс Украины. К., Видавничий Дім «Ін Юре», 2004. – 138 с.
3. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами. Постанова Кабінету Міністрів України № 465 від 25.03.99.
4. Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично-допустимих скидів (ГДС)

- речовин у водні об'єкти із зворотними водами: Затв. Мінприроди України 15.12.94. – Харків: УкрНЦОВ, 1994. – 79 с.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Квантовая механика (нерелятивистская теория) 4-е изд., испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 768 с.
 6. Проскурнин О.А. Проблемы нормирования водоотведения сточных вод в водотоки в случае неполного разбавления // Экологична безпека: проблеми і шляхи вирішення. Збірник наукових статей VIII Міжнародної конференції. Алушта Крим. Том I, – Харків, ИД Райдер, 2013.– С. 285-286.
 7. Проскурнин О.А. Расчет концентрации загрязняющего вещества в контрольной точке водного объекта при расчете допустимых сбросов сточных вод / О.А. Проскурнин, О.О. Демьянова // Національний університет цивільного захисту України.-Х.: НУЦЗУ, 2015. – С. 187-189.

УДК 628.356

Ковальчук В. А.

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ЗМЕНШЕННЯ ПРИРОСТУ АКТИВНОГО МУЛУ ПРИ ПОПЕРЕДНЬОМУ ВИЛУЧЕННІ ЗАВИСЛИХ РЕЧОВИН ІЗ СТИЧНИХ ВОД

Вступ. Утворення великих об'ємів надлишкового активного мулу, який погано віддає вологу, створює значні проблеми на каналізаційних очисних спорудах.

Згідно ДБН В.2.5-75:2013 [1] приріст активного мулу в аеротенках визначається за концентрацією завислих речовин X_p і БПК_{повн} стічних вод L_{en} , що надходять в аеротенки

$$Pr = 0,8X_p + K_g L_{en}, \quad (1)$$

де K_g – коефіцієнт приросту, який для міських господарсько-побутових стічних вод та близьких до них за складом виробничих стічних вод становить 0,3.

Зрозуміло, що за наявності у складі очисної станції споруд для первинного відстоювання стічних вод приріст мулу буде зменшуватися. Для його визначення у формулу (1) мають підставлятися концентрації завислих речовин і БПК_{повн} вже відстоєних стічних вод. Оскільки при первинному відстоюванні видаляються переважно грубодисперсні домішки стічних вод, які важко окислюються біохімічним шляхом, то слід очікувати, що мають змінитися і відповідні коефіцієнти у рівнянні (1).

Зроблений висновок підтверджується даними, наведеними у [2]. На основі експериментальних даних експлуатації одних і тих само міських очисних споруд встановлено, що коефіцієнт K_g залежить від багатьох чинників, а головним чином, від віку мулу. Встановлена зміна коефіцієнта K_g від 0,2 до 0,48 при зменшенні віку мулу з 10 до 3 діб. Згідно рівняння (1) в активний мул асимілюється 80% завислих речовин, у той час як у [3] вказується, що в активний мул переходить до 60% завислих речовин.

Визначення приросту активного мулу за ATV-131 [4] здійснюється за формулою, яка після нескладних перетворень набуває наступного вигляду

$$Pr = 0,6 \cdot X_p + \left[0,75 - \frac{0,102 \cdot t_{ss} \cdot 1,072^{T-15}}{1 + 0,17 \cdot t_{ss} \cdot 1,072^{T-15}} \right] L_n, \quad \text{мг/дм}^3. \quad (2)$$

Очевидно, що структура формул (1) і (2) подібна. На відміну від формули ДБН, за формулою ATV-131 у мул переходить 60% завислих речовин. Коефіцієнт приросту за БПК₅ при цьому залежить від навантаження на мул t_{ss} і температури мулової суміші в аеротенку Т. При температурі