

УДК 504.4.054

О.А.ПРОСКУРНИН, канд. техн. наук

УкрНИИЭП, г.Харьков

НОРМИРОВАНИЕ СБРОСА В ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ТРАНСФОРМИРУЮЩИХСЯ ВЕЩЕСТВ СО СТОЧНЫМИ ВОДАМИ ДЛЯ СЛУЧАЯ НЕПОЛНОГО РАЗБАВЛЕНИЯ

Рассматривается оптимизационный подход к нормированию сброса в водный объект последовательно трансформирующихся веществ со сточными водами при их неполном разбавлении. Приводится демонстрационный пример расчета для веществ азотной группы.

Розглядається оптимізаційний підхід до нормування скиду до водного об'єкту речовин, що послідовно трансформуються, зі стічними водами при їх неповному розбавленні. Наведено демонстраційний приклад розрахунку для речовин азотної групи.

Normalization of consecutively transforming substance in stream with waste water to a waterbody is considered as an optimization problem. A demonstration example of nitrogen components and iron.

Ключевые слова: нормирование, сточные воды, загрязняющее вещество, трансформация, оптимизация.

Согласно существующему водному законодательству [1], для предприятий-водопользователей разрабатываются и утверждаются предельно допустимые сбросы (ПДС) загрязняющих веществ, поступающих в водные объекты (ВО) со сточными водами (СВ). Методической базой для разработки ПДС является "Инструкция по разработке и утверждению ПДС..." [2], в которой заложены два возможных подхода к решению данной задачи:

- базовый подход, основанный на равномерном использовании ассимилирующей способности ВО ([2], прилож. 1, п. 1.2.4);
- оптимизационный подход ([2], прилож. 1, п. 1.2.5).

При этом ни один из подходов в общем случае не решает задачу расчета ПДС для веществ, трансформирующихся в воде ВО в другие вещества, которые также являются загрязняющими и для которых установлены величины предельно допустимых концентраций (ПДК) [3]. Проблема обусловлена тем, что базовый подход рассматривает каждое вещество в отдельности и учитывает только процессы самоочищения ВО. А оптимизационный подход имеет узкую область применения ввиду жесткой привязанности результата решения к фактическому состоянию систем очистки на предприятиях-водопользователях. Это означает, что если очистные сооружения предприятия неоправданно малоэффективны, то отсутствует алгоритмический механизм назначения более жестких требований к составу СВ и тем самым принуждения предприятия к усовершенствованию систем очистки.

Ранее автором предлагались различные варианты оптимизационного подхода к расчету ПДС (в частности, в работах [4, 5]). Однако, до настоящего времени рассматривались только случаи полного разбавления СВ водой ВО, что делает невозможным применение такого подхода для крупных и средних рек.

Целью данной работы является постановка оптимизационной задачи по расчету ПДС последовательно трансформирующихся веществ в ВО для случая неполного разбавления.

Задача рассматривается для водотока рыбохозяйственной категории водопользования с одним контрольным створом (КС) на примере минеральных веществ азотной группы (табл.1).

Таблица 1 – Последовательно трансформирующиеся вещества

| Загрязняющее вещество | Индекс k | ПДК, мг/дм ³ |
|-----------------------|------------|-------------------------|
| Азот аммонийный | 1 | 0,39 |
| Азот нитритный | 2 | 0,02 |
| Азот нитратный | 3 | 9,03 |

При отсутствии естественного природного фонового содержания веществ в ВО процесс трансформации описывается матричной формулой [6]

$$C(t) = A(t) \cdot C_0, \quad (1)$$

где C_0 , $C(t)$ – векторы концентраций веществ соответственно в начальный момент и в момент времени t ; $A(t)$ – матрица трансформации.

Поскольку реакция протекает в одном направлении и вещества проиндексированы в последовательности, соответствующей их химическому превращению, то матрица трансформации $A(t)$ является треугольной. Ненулевые элементы матрицы в этом случае определяются по формулам [6]:

$$a_{kk} = \exp(-n_k \cdot t);$$

$$a_{2,1} = f(2, 2, 3);$$

$$a_{3,2} = f(3, 3, 4);$$

$$a_{3,1} = n_1 / (n_2 - n_1) \cdot (f(3, 2, 4) - a_{3,2}),$$

где n_k ($k = 1 \div 3$) – коэффициенты трансформации;

$$f(j, i, p) = n_j / (n_p - n_i) \cdot [\exp(-n_i \cdot t) - \exp(-n_p \cdot t)].$$

Согласно [2], при неполном разбавлении СВ вывод о степени техногенного влияния на ВО делается по максимально загрязненной части потока, в качестве которой рассматривается часть речной воды в прибрежной зоне. Однако при наличии нескольких выпусков СВ, расположенных на разных берегах, а также при значительном фоновом загряз-

нении водотока максимальное загрязнение может находиться и в средней части. Более того, в общем случае максимальное загрязнение воды по каждому показателю находится в различных частях поперечного сечения водотока. По этой причине в данной работе приняты следующие упрощения:

- рассматривается «плоская» задача, т.е. игнорируется неравномерность глубины водотока;
- полагается, что загрязняющее вещество распространяется равномерно в поперечном потоке направлении в границах, определяемых кратностью разбавления.

В этом случае КС разбивается на равномерно загрязненные участки (РЗУ), границы которых удалены от правого берега на расстояния

$$l = \begin{cases} \frac{q^i n^i}{hv} & \text{для правобережных выпусков,} \\ B - \frac{q^i n^i}{hv} & \text{для левобережных выпусков,} \end{cases}$$

где i – индекс выпуска СВ (здесь и далее верхние индексы означают привязку к источнику загрязнения; нижние индексы – означают привязку к веществам); q^i – расход СВ; n^i – кратность разбавления СВ; B – ширина реки; h – средняя глубина реки.

Поскольку подлежат определению концентрации, соответствующие максимально допустимому техногенному загрязнению ВО, в качестве функции цели принимается суммарная масса сбрасываемых веществ:

$$Z = \sum_{i=1}^m q^i \sum_{k=1}^3 \mu_k^i x_k^i \rightarrow \max, \quad (2)$$

где m – количество выпусков; k – индекс вещества; x_k^i – искомая концентрация вещества; μ_k^i – весовой коэффициент, характеризующий "значимость" вещества k для выпуска i .

Не нарушая общности, полагается, что фактические концентрации загрязняющих веществ в СВ превосходят ПДК. Тогда ограничения определяются следующими требованиями "Инструкции..." [2]:

- непревышение ПДК веществ в КС;
- ограничение искомых допустимых концентраций снизу величиной ПДК и сверху фактической концентрацией в СВ.

Формально система ограничений имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\sum_{i=1}^m d_z^i q^i \sum_{j=1}^k a_{kj}^i x_j^i + d_z^\phi q^\phi \sum_{j=1}^k a_{kj}^\phi C_j^\phi}{Q_z} \leq C_{ПДК,k}, \quad k=1 \div 3, \quad z=1 \div Z; \\ x_k^i \leq C_k^i, \quad k=1 \div 3, \quad i=1 \div m; \\ x_k^i \geq C_{ПДК,k}, \quad k=1 \div 3, \quad i=1 \div m; \end{array} \right. \quad (3)$$

где C_k^i – фактическая концентрация; $C_{ПДК,k}$ – ПДК вещества; C_k^ϕ – концентрация вещества в фоновом створе (выше выпусков); z – индекс РЗУ; Z – количество РЗУ; Q_z – расход воды на РЗУ; d_z^i – доля СВ выпуска i , попадающая в РЗУ z .

Поскольку функция цели (2) и ограничения (3) линейны относительно искомых концентраций, то данная оптимизационная задача является задачей линейного программирования и может быть решена симплекс-методом [7].

Ниже приводится демонстрационный пример применения оптимизационного подхода для нахождения допустимых концентраций веществ в СВ. Рассматривается сброс СВ в русло реки через два взаимодействующих выпуска, расположенных на расстоянии 230 м друг от друга; КС расположен в 1,4 км от нижнего выпуска. (Большое расстояние до КС выбрано с целью большей наглядности результатов трансформации.) Исходные данные по выпускам приведены в табл.2.

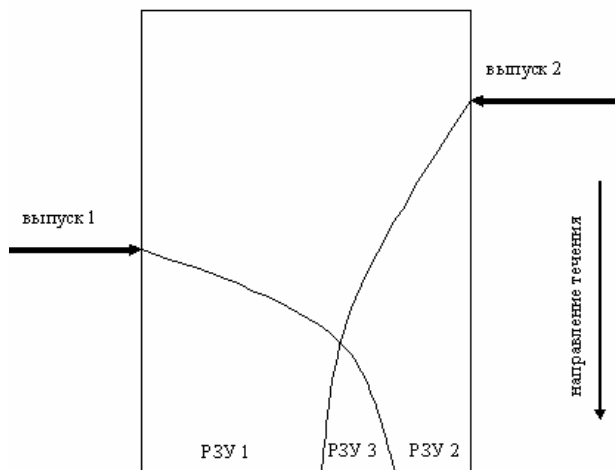
Таблица 2 – Исходные данные для расчета ПДС

| Параметр | Фоновый створ | Выпуск № 1 | Выпуск № 2 |
|---------------------------------|---------------|------------|------------|
| Время добегания воды до КС, сут | 1/3 | 1/4 | 1/3,5 |
| Расход воды, м³/с | 5 | 3 | 2 |
| Кратность разбавления СВ | – | 7/3 | 5/2 |
| Концентрации веществ, мг/дм³: | | | |
| азот аммонийный | 0,003 | 8 | 15 |
| азот нитритный | 0,002 | 3,5 | 7 |
| азот нитратный | 0,5 | 17 | 25 |

Следуя принятым допущениям относительно разбиения КС на участки, в данной задаче рассматриваются три РЗУ (рисунок).

Для природной речной воды коэффициенты трансформации взяты по справочным данным [6] (на уровне верхней границы приведенного диапазона): азот аммонийный – 0,21; азот нитритный – 4,32; азот нит-

ратный – 0,17. Для смеси речных и сточных вод коэффициенты трансформации взяты с учетом поправочных множителей, обусловленных отсутствием микрофлоры в сточных водах и, таким образом, снижением интенсивности процессов трансформации. В данном примере полагается, что коэффициенты трансформации пропорциональны доли природной воды в общей смеси, а характер смешения не существенно отличается от линейного. В этом случае поправочные множители для пересчета коэффициентов трансформации равны 0,29 (выпуск № 1) и 0,30 (выпуск № 2).



Участки равномерного загрязнения вдоль КС

Весовые коэффициенты приняты равными единице:

$$\mu_k^i = 1, \quad i = 1 \div 2, \quad k = 1 \div 3.$$

Опуская описание механизма решения данной задачи симплекс-методом, в табл.3, 4 приведено оптимальное решение, а также результат решения задачи неоптимизационным методом согласно [2, прилож. 1, п. 1.2.4].

Таблица 3 – Результат расчета допустимых концентраций (мг/дм³) в СВ

| Вещество | Оптимизационный метод | | Неоптимизационный метод | |
|-----------------|-----------------------|------------|-------------------------|------------|
| | выпуск № 1 | выпуск № 2 | выпуск № 1 | выпуск № 2 |
| Азот аммонийный | 0,60 | 0,39 | 0,57 | 0,57 |
| Азот нитритный | 0,03 | 0,02 | 0,10 | 0,10 |
| Азот нитратный | 17,0 | 25,0 | 13,65 | 13,65 |

Таблица 4 – Расчетные концентрации веществ в КС (мг/дм³)

| Вещество | Оптимизационный метод | | | Неоптимизационный метод | | |
|-----------------|-----------------------|------|--------|-------------------------|------|-------------|
| | КС | ПДК | КС/ПДК | КС | ПДК | КС/ПДК |
| РЗУ 1 | | | | | | |
| Азот аммонийный | 0,239 | 0,39 | 0,61 | 0,233 | 0,39 | 0,60 |
| Азот нитритный | 0,016 | 0,02 | 0,80 | 0,022 | 0,02 | 1,10 |
| Азот нитратный | 0,026 | 9,03 | 0,003 | 0,013 | 9,03 | 0,001 |
| РЗУ 2 | | | | | | |
| Азот аммонийный | 0,154 | 0,39 | 0,39 | 0,216 | 0,39 | 0,55 |
| Азот нитритный | 0,005 | 0,02 | 0,25 | 0,019 | 0,02 | 0,95 |
| Азот нитратный | 0,008 | 9,03 | 0,001 | 0,012 | 9,03 | 0,001 |
| РЗУ 3 | | | | | | |
| Азот аммонийный | 0,390 | 0,39 | 1,00 | 0,447 | 0,39 | 1,15 |
| Азот нитритный | 0,02 | 0,02 | 1,00 | 0,041 | 0,02 | 2,05 |
| Азот нитратный | 0,03 | 9,03 | 0,003 | 0,023 | 9,03 | 0,003 |

Сравнивая оба результата, видно, что при расчете оптимизационным методом экологические требования соблюдаются на всех РЗУ, в то время как расчет согласно «Инструкции...» [2] приводит к превышению ПДК азота нитритного на 1-м РЗУ и к превышению ПДК азота аммонийного и азота нитритного на 3-м РЗУ, что связано с игнорированием процессов трансформации веществ.

Таким образом, описанный в статье оптимизационный подход к расчету ПДС позволяет определять состав СВ, обеспечивающий максимально допустимую комплексную техногенную нагрузку на ВО. При этом учитываются процессы трансформации веществ, а также неравномерность загрязнения воды в поперечном сечении водотока.

Следует заметить, что справочные данные по коэффициентам трансформации азотных веществ носят приближенный характер и практическая реализация оптимизационного подхода требует в качестве отдельной задачи определение этих коэффициентов исходя из реальных свойств ВО. Одним из способов решения такой задачи является использование статистических методов. При этом возможно как непосредственное применение регрессионного анализа, так и линеаризация модели (1) с последующей идентификацией ее параметров статистическими методами [8].

Основные направления дальнейших исследований в данной области связаны с постановкой оптимизационной задачи для участка бассейна реки, а также изучение особенностей работы системы очистки СВ с целью получения технологически достижимого результата расчета ПДС.

1. Водный кодекс Украины. – К., Вид. дім “Ін Юре”, 2004. – 138 с.
2. Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично-допустимих скидів (ГДС) річовин у водні об'єкти із зворотними водами: Затв. Мінприроди України 15.12.94. – Харків: УкрНЦІОВ, 1994. – 79 с.
3. О порядке разработки и утверждения нормативов предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ и перечень загрязняющих веществ, сброс которых нормируется: Постановление КМУ № 1100 от 11 сентября 1996 г. // Собрание постановлений правительства Украины. – 1997. – №. 17 – С. 490.
4. Проскурнин О.А. Нормирование поступления взаимно трансформирующихся веществ в водный объект со сточными водами // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ. – 2008. – № 46. – С.189-195.
5. Проскурнин О.А. Оптимизационный подход к ограничению содержания веществ, нормируемых по лимитирующим признакам вредности, в сточных водах // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: Зб. наук. пр. УкрНДІЕП. – Харків: ВД “Райдер”, 2010. – № 32 – С.162-173.
6. Хват В.А., Львов В.Н., Ладзыженский В.Н. Справочник по охране водных ресурсов. – К.: Урожай, 1989. – 176 с.
7. Пападимитриу Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация: Алгоритмы и сложность. – М.: Мир, 1985. – 512 с.
8. Василенко С. Л. Статистические модели последовательной трансформации веществ в водотоках с непрерывными источниками вдоль потока // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: Зб. наук. пр. УкрНДІЕП. – Харків: ВД “Райдер”, 2004. – С.54- 66.

Отримано 22.12.2011

УДК 628.543

В.А.КОВАЛЬЧУК, д-р техн. наук

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОЗ ТА ТИПУ РЕАГЕНТІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИДАЛЕННЯ АМОНІЙНОГО АЗОТУ ІЗ СТИЧНИХ ВОД

На основі аналізу теоретичної моделі утворення важкорозчинного ортофосфату магнію-амонію $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ досліджений вплив доз та типу реагентів на ефективність видалення амонійного азоту із стічних вод.

На основе анализа теоретической модели образования труднорастворимого ортофосфата магния-аммония $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ исследовано влияние доз и типа реагентов на эффективность удаления аммонийного азота из сточных вод.

Based on the analysis of the theoretical model of sparingly soluble magnesium-ammonium phosphate $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ formation investigated the influence of dose and type of reagents on efficiency removal of ammonia nitrogen from wastewater.

Ключові слова: стічні води, амонійний азот, ортофосфат магнію-амонію, дози реагентів.

Як слідує із рівняння для добутку розчинності важкорозчинного