

УДК 504.4.054

Е.В.ЕРЕМЕНКО, д-р техн. наук, О.А.ПРОСКУРНИН, канд. техн. наук  
*УкрНИИЭП, г.Харьков*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СБРОСА В ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ТРАНСФОРМИРУЮЩИХСЯ ВЕЩЕСТВ СО СТОЧНЫМИ ВОДАМИ**

Рассматриваются различные оптимизационные подходы к нормированию сброса в водный объект последовательно трансформирующихся веществ со сточными водами при полном разбавлении. Приводится демонстрационный пример расчета для веществ азотной группы.

Розглядаються різні оптимізаційні підходи до нормування скиду до водного об'єкту речовин, що послідовно трансформуються, зі стічними водами при їх повному 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.

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

Одной из наиболее масштабных экологических проблем экономически развитых стран является загрязнение водных объектов (ВО) сточными водами (СВ), отводимыми от промышленных, сельскохозяйственных и коммунальных предприятий. В Украине с целью недопущения уровня загрязнения ВО выше безопасного для предприятий-водопользователей разрабатываются и утверждаются предельно допустимые сбросы (ПДС) загрязняющих веществ, поступающих в ВО со СВ [1].

Методической базой разработки ПДС является «Инструкция по разработке и утверждению ПДС...» [2], которая предписывает проводить расчет допустимых концентраций веществ исходя из утвержденных расходов СВ, гидрологических и гидрохимических параметров ВО, а также категории водопользования (рыбохозяйственной, коммунально-бытовой или хозяйственно-питьевой). Базовый подход к расчету ПДС, заложенный в "Инструкции..." [2, прилож. 1, п. 1.2.4], основан на равномерном использовании ассимилирующей способности ВО между водопользователями. В этом случае расчет проводится отдельно по каждому загрязняющему веществу с учетом интенсивности процессов самоочищения ВО, а также с учетом присущих данному ВО природных (без антропогенного влияния) фоновых концентраций рассматриваемых веществ. Однако базовый подход не учитывает возможное химическое превращение (трансформацию) в воде ВО одного вещества в другое загрязняющее вещество, в силу чего не может обеспечить неперевышение

предельно допустимой концентрации (ПДК) для веществ – продуктов трансформации.

Однако в «Инструкции...» [2, прилож. 1, п. 1.2.5] также заложен оптимизационный подход к расчету ПДС, который учитывает трансформацию загрязняющих веществ.

Целью данной работы является анализ возможности использования оптимизационного подхода к расчету ПДС.

Оптимизационная задача по расчету ПДС, приведенная в «Инструкции...» ([2], прилож. 1, п. 1.2.5), имеет следующий вид. Критерий оптимальности – минимум суммарных приведенных затрат на достижение ПДС:

$$Z = \sum_{i=1}^m f(y^i) \longrightarrow \min ,$$

где  $f$  – приведенные затраты  $i$ -го водопользователя на достижение ПДС;  $y^i$  – вектор оптимизируемых переменных, определяющих доли расхода сточных вод, проходящих по различным технологическим маршрутам их очистки и использования;  $m$  – число водопользователей.

Ограничения оптимизационной задачи следующие:

$$\begin{cases} C_j^{KC} \leq C_j^{ПДК}, j = 1 \div n; \\ x_j^i \leq C_j^i, j = 1 \div n, i = 1 \div m; \\ x_j^i \geq C_j^{ПДК}, j = 1 \div n, i = 1 \div m, \end{cases}$$

где  $n$  – количество загрязняющих веществ;  $C_j^i, C_j^{KC}$  – фактические концентрации вещества  $j$  в СВ выпуска  $i$ ;  $C_j^{ПДК}$  – ПДК вещества  $j$ .

Расчетная модель качества воды в КС может быть представлена следующей матричной формулой:

$$C^{KC} = \frac{\sum_i^m A^i \cdot X^i + A^\phi \cdot C^\phi}{Q},$$

где  $X^i, C^\phi$  – векторы концентраций веществ соответственно в выпусках СВ и фоновом створе (ФС);  $Q$  – расход воды реки в КС.

При решении задачи могут рассматриваться как действующие очистные сооружения (ОС), так и другие варианты очистки. В обоих случаях задача по сути сводится к оптимальному управлению комплексом

ОС. В случае рассмотрения действующих ОС реализации такого подхода препятствует то обстоятельство, что режим работы ОС диктуется их характеристиками, заложенными на этапе проектирования. Кроме того, 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.

В случае рассмотрения иных вариантов ОС, применение такого подхода оказывается невозможным по той причине, что стоимостные параметры очистки  $f$ , являющиеся одновременно параметрами оптимизационной задачи, не могут быть предварительно рассчитаны проектантами ОС, поскольку не известны выходные концентрации веществ. А выходные концентрации – это результат решения оптимизационной задачи, т.е. получается «замкнутый круг».

Также следует обратить внимание, что если задача решается для водотока с несколькими КС, то створ выше рассматриваемого будет не фоновым, а вышерасположенным КС, и качество воды в нем будет неизвестным. Таким образом, задача в представленном виде применима лишь для одного КС.

В работах [3, 4] предлагался альтернативный вариант оптимизационного подхода к расчету ПДС. В простейшем случае (для одного КС и при полном смешении СВ водой ВО) оптимизационная задача выглядит следующим образом. Функция цели:

$$Z = \sum_{i=1}^m q^i \sum_{j=1}^n \mu_j^i x_j^i \longrightarrow \max ,$$

где  $m$  – количество выпусков;  $x_k^i$  – концентрация  $k$ -го вещества в  $i$ -м выпуске,  $\mu_j^i$  – весовой коэффициент, означающий "значимость" вещества  $j$  для выпуска  $i$ .

Весовые коэффициенты  $\mu_j^i$  могут зависеть от различных факторов: от ПДК вещества  $j$ , от стоимости очистки СВ выпуска  $i$  от вещества  $j$ . Также весовые коэффициенты должны учитывать взаимосвязь процессов очистки от различных веществ с целью получения технологически достижимого результата расчета. Однако в настоящей статье вопрос выбора весовых коэффициентов не рассматривается.

Ограничения оптимизационной задачи для одного КС аналогичны вышеприведенным. При рассмотрении нескольких КС в системе ограничений в первое неравенство добавляется индекс контрольного створа:

$$\begin{cases} C_j^{KC,k} \leq C_j^{ПДК}, j = 1 \div n, k = 1 \div K; \\ x_j^i \leq C_j^i, j = 1 \div n, i = 1 \div m; \\ x_j^i \geq C_j^{ПДК}, j = 1 \div n, i = 1 \div m. \end{cases}$$

Однако, вариант оптимизационной задачи, изложенной в «Инструкции...» [2], автоматически обеспечивает результат расчета, который является технологически достижимым. Это следует из того, что задача, как отмечалась выше, сводится к управлению существующим (либо реально возможным) комплексом ОС. В то время как альтернативный вариант оптимизационной задачи не учитывает зависимость выходных концентраций веществ после очистки. Такой учет может осуществляться за счет весовых коэффициентов, однако это является отдельной задачей, на настоящий момент нерешенной.

Ниже приводится демонстрационный пример расчета для одного КС методом, оптимизирующим допустимую нагрузку на ВО. Рассматривается сброс СВ в русло реки через два взаимодействующих выпуска.

Исходные данные по выпускам приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

Параметр	Выпуск № 1	Выпуск № 2	ФС
Время добегания воды до КС, сут.	1/4	1/3,5	1/3
Расход воды, м <sup>3</sup> /с	0,6	0,4	2
Концентрации веществ, мг/дм <sup>3</sup> :			
азот органический	3	2,5	1
азот аммонийный	8	15	0,2
азот нитритный	3,5	7	0,01
азот нитратный	17	25	7

Весовые коэффициенты приняты пропорциональными стоимости типовой очистки по соответствующему веществу:

$$\mu_1^i = 3, \quad \mu_2^i = 5, \quad \mu_3^i = 2, \quad \mu_4^i = 7, \quad i = 1 \div 2.$$

Справочные коэффициенты трансформации [5] и значения ПДК приведены в табл.2.

Таблица 2 – Последовательно трансформирующиеся соединения азота

Вид соединения азота	Коэффициент трансформации	ПДК, мг/дм <sup>3</sup>
органический	0,23	–
аммонийный	0,09	0,39
нитритный	4,32	0,02
нитратный	0,11	9,03

Для азота органического отсутствует ПДК, однако данное вещество является обязательным для нормирования в случае его наличия в СВ [6]. Поэтому в данной задаче в качестве ПДК взята нижняя граница концентрации после очистки, условно принятая на уровне 1,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Опуская механизм решения задачи симплекс-методом, в табл.3 приводится результат расчета ПДС оптимизационным методом, а также методом согласно [2, прилож. 1, п. 1.2.4] ).

Таблица 3 – Результат расчета ПДС

Вещество	Сточные воды		Кратность превышения ПДК в КС
	Выпуск № 1	Выпуск № 2	
Оптимизационный метод			
Азот аммонийный	0,712	0,390	1
Азот нитритный	0,020	0,846	1
Азот нитратный	9,030	20,788	1
Неоптимизационный метод			
Азот аммонийный	0,80	0,80	1,26
Азот нитритный	0,83	0,83	4,82
Азот нитратный	14,00	14,00	1,02

Сравнивая оба результата, видно, что при расчете оптимизационным методом экологические требования полностью соблюдаются, в то время как расчет неоптимизационным методом приводит к превышению ПДК для всех рассматриваемых веществ, что связано с игнорированием процессов трансформации.

Таким образом, описанный в статье оптимизационный подход к расчету ПДС позволяет определять состав СВ, обеспечивающий максимально допустимую комплексную техногенную нагрузку на ВО с учетом процессов трансформации веществ. Однако при этом не учитывается взаимосвязь выходных концентраций, в силу чего оптимизационный подход к расчету ПДС в существующем виде не может быть применим во всех случаях.

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, приведенной в [5], с последующей идентификацией ее параметров статистическими методами [7].

Основные направления дальнейших исследований в данной области связаны с усовершенствованием методической базы нормирования

водоотведения. В частности, с постановкой оптимизационной задачи для участка бассейна реки, включающего притоки и водозаборы, а также с выработкой механизма учета взаимозависимости выходных концентраций веществ после очистки (с целью получения технологически достижимого результата расчета).

1. Водный Кодекс Украины. – К.: Видавничий Дім “Ін Юре”, 2004. – 138 с.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. Хват В.А., Львов В.Н., Ладьженский В.Н. Справочник по охране водных ресурсов. – К.: Урожай, 1989. – 176 с.

6. 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.

7. 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.

*Получено 13.07.2012*

УДК 628.33

Т.А.ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА**

Приведена экономическая целесообразность технологии доочистки сточных вод от соединений фосфора на основании результатов опытно-промышленных испытаний.

Наведено економічну доцільність технології доочистки стічних вод від сполук фосфору на основі результатів дослідно-промислових випробувань.

The article shows the economic feasibility of post-treatment technology of waste water from phosphorus compounds on the basic of pilot tests.

*Ключевые слова:* биогенные элементы, магнитно-электрическая активация, пилотная установка, контактные осветлители, активированные растворы коагулянтов, экономический эффект.