

дартм України) вода р. Карасулак є непридатною для зрошення й вимагає перед поливом насичення кальцієвими солями, ліквідації соди й розбавлення прісною водою.

Література

1. Алёкин О.А. К вопросу о химической классификации природных вод / О.А. Алёкин / - Вопросы гидротехники. Ленинград.: Гидрометиздат, 1946, 240 с.
2. Алмазов А.М. Гидрология устьевой области Дуная / А.М. Алмазов, К. Бондар, Н.Ф. Вагин. и др. / - М.: Гидрометеиздат, 1963. - 382 с.
3. Аринушкина Э.В. Руководство по химическому анализу почв / Э.В. Аринушкина, Изд. 2-ое, переработанное и дополненное. М.: Изд-во МГУ, 1970. - 630 с.
4. Буданов М.Ф. Система и состав контроля за качеством природных и сточных вод при использовании их для орошения / М.Ф. Буданов // Киев. : Урожай, 1970. - 48 с.
5. Гидрологический ежегодник. 1936-1990 гг. Т. 2. Вып. 0.
6. Гоголев И.Н. Орошение на Одессине. Почвенно-экологические и агротехнические аспекты / И.Н. Гоголев, Р.А. Баер., А.Г. Кулибабин и др. / - Одесса. 1992. 436 с.
7. Державний стандарт України. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії. ДСТУ 2730-94. Введений з 1.01.1995 р., 14 с.
8. ДЕРЖАВНІ САНІТАРНІ НОРМИ ТА ПРАВИЛА "Тігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10). - Київ. 2010. 42 с.
9. Лозовіцький П.С. Влияние минерализации поливной воды и срока орошения на засоление черноземов / П.С. Лозовіцький // М.: Почвоведение. 2003, № 5.- С. 611-622.
10. Лозовіцький П.С. Опыт дисперсионного анализа химического состава оросительных вод юга Украины / П.С. Лозовіцький // М.: Почвоведение. 2003, № 12.- С. 1491-1502.
11. Лозовіцький П.С. Влияние химических мелиорантов на изменение состава природных вод / П.С. Лозовіцький, В.А. Билай // М.: Водные ресурсы. 2001, № 4.- С. 494-504.
12. Лозовіцький П.С. Водні та хімічні меліорації ґрунтів / П.С. Лозовіцький // - К. 2010. 276 с
13. Лозовіцький П.С. Моніторинг якості води озера Кутурлуй / П.С. Лозовіцький // Часопис картографії. Вип. 9, 2013.- С. 104-139.
14. Лозовіцький П.С. Моніторинг якості води річки Дунай у м. Кілія / П.С. Лозовіцький // Причорноморський екологічний бюлетень.- 2011, № 4.- С. 158-182
15. Лозовіцький П.С. Оцінювання якості води оз. Ялпуг - м. Болград за сольовим складом і мінералізацією / П.С. Лозовіцький // Часопис картографії. Вип. 10, 2014.- С. 250-281.
16. Можейко А.М. Гипсование солонцеватых каштановых почв УССР, орошаемых минерализованными водами / А.М. Можейко, Т.К. Вороник // Тр. Укр. НИИ почвоведения, т. 3, Харьков, 1958.- С. 111-208.
17. Романенко В.Д. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.Н. Жукинський, О.П. Оксінок та ін.// -К.: СИМВОЛ-Т, 1998.- 28 с.
18. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод / С.І. Сніжко // Київ. "Ніка-Центр". 2001.- 262 с.
19. Унифицированные методы анализа вод: Изд. Химия, М., 1973.- 253 с.
20. Циркуляр № 969 Департамента сельского хозяйства США. Классификация оросительной воды (сокр. пер. с англ.)-1955.
21. dbuvnt@ukrpost.ua Дунайське басейнове управління водних ресурсів. Протоколи засідання Міжвідомчої комісії по встановленню режиму роботи Придунайських водосховищ за 2007-2012 рр.

УДК 504.4.054

МИНИМИЗАЦИЯ ОБЩИХ ЗАТРАТ НА ОЧИСТКУ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ НОРМИРОВАНИИ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Проскурнин О.А.

Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем»
ул. Бакулина, 6, 61166, г. Харьков,
oapriskurnin@mail.ru

Рассмотрена задача нормирования состава сточных вод, поступающих в водный объект. Предложено учитывать кроме эксплуатационных еще и капитальные затраты на строительство и установку очистных сооружений, а также возможность регулирования параметров водоочистки. Наведен пример расчета. *Ключевые слова:* сточные воды, водный объект, загрязняющее вещество, нормативы качества, контрольный створ, допустимый сброс, функция цели.

Мінімізація загальних витрат на очищення стічних вод при нормуванні водовідведення. Проскурнін О.А. Розглянуто задачу нормування складу стічних вод, що надходять у водний об'єкт. Запропоновано враховувати окрім експлуатаційних також капітальні витрати на будівництво та установку очисних споруд, а також приймати до розгляду можливість регулювання параметрів водоочищення. Наведено демонстраційний приклад розрахунку. *Ключові слова:* стічні води, водний об'єкт, забруднююча речовина, нормативи якості, контрольний створ, допустимі концентрації.

Minimization of the general expenses on wastewater treatment at standertization of unset pollutants in with waste water. Proskurnin O. The problem of regulation of substances in wastewater discharging into water bodies is considered. It is offered take into account the capital expense on construction and installation wastewater treatment plants. It is also offered adjust parameters of wastewater treatment. Example of the solution is proposed. *Keywords:* sewages, waterbody, pollutants, standards quality, point of the checking, allowable concentrations.

Введение

С целью предотвращения недопустимо высокого уровня загрязнения бассейнов рек сточными водами для предприятий-водопользователей разрабатываются и утверждаются предельно допустимые сбросы (ПДС) загрязняющих веществ [1]. Это предельная масса вещества, которая разрешена для отвода в водный объект (ВО) в единицу времени. Согласно действующей инструкции [2] расчет ПДС следует проводить по бассейно-

вому принципу, который предполагает одновременное лпределение допустимых концентраций веществ в сточных водах (СВ) для всех выпусков, расположенных на участке бассейна реки.

Бассейновый принцип расчета ПДС полностью соответствует современным системным подходам к управлению водным хозяйством страны должен обеспечивать восстановление природно-экологического равновесия в экосистемах и экобезопасное водопользование. В соответствии с концепцией водной

политики [3] управление бассейном должно осуществляться Бассейновым Советом (законодательный орган) и Водным агентством реки, исполнительным органом являющимся на постоянной основе.

Одной из методических проблем реализации бассейнового принципа расчета ПДС является то, что в качестве расчетных участков следует брать участки бассейна в границах административных областей [2]. В работе [4] были приведены аргументы того, что такой подход нереализуем из-за масштабности участков, и выдвигалась идея деления бассейна реки на относительно небольшие локальные участки.

Вторая методическая проблема связана со способом расчета ПДС на каждом отдельном участке. В Инструкцию заложены два подхода [2] к решению этой задачи:

1) подход, основанный на равномерном использовании ассимилирующей способности ВО между водопользователями;

2) оптимизационный подход.

Отмечено, что первый подход предполагает расчет ПДС отдельно по каждому веществу и потому:

- не учитывает возможное химическое превращение (трансформацию) в воде ВО одного загрязняющего вещества в другое, и по этому не может обеспечить непревышение предельно допустимой концентрации (ПДК) для продуктов трансформации;

- не обеспечивает технологически достижимый результат расчета ПДС, поскольку не учитывается то обстоятельство, что процесс очистки влияет на состав сточной воды одновременно по нескольким показателям, а потому выходные концентрации загрязняющих веществ находятся как минимум в стохастической зависимости.

Таким образом, более перспективным следует считать оптимизационный подход.

Цель статьи – анализ существующего оптимизационного подхода к расчету ПДС и разработка предложений по его совершенствованию.

Изложение основного материала

В основу оптимизационного подхода, содержащегося в Инструкции, заложена идея регулирования потока СВ по различным технологическим маршрутам их очистки. Критерий оптимальности – минимум суммарных затрат на очистку СВ для достижения ПДС:

$$Z = \sum_{i=1}^m f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iR_i}) \rightarrow \min \quad (1)$$

где i – индекс выпуска СВ; f – затраты на водоочистку, грн/с; $\{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iR_i}\}$ – вектор безразмерных оптимизируемых переменных, определяющих доли расхода СВ, проходящих по различным технологическим маршрутам; R_i – количество технологических маршрутов очистки; m – количество выпусков СВ.

Ограничения в оптимизационной задаче сводятся к тому, чтобы не допустить превышения ПДК веществ в контрольном створе (КС) ниже выпуска СВ (расположенного, как правило, не более, чем 500 м от выпуска СВ):

$$Y_{kj} \leq \text{ПДК}_j, j = 1 \div P; \quad (2)$$

где Y – концентрация вещества в КС, мг/дм³; j , P – соответственно индекс и количество загрязняющих веществ; k – индекс КС.

В Инструкции предусмотрено также нормирование качества воды ВО по комплексному показателю, кото-

рый представляет собой сумму приведенных к ПДК концентраций веществ с единым лимитирующим признаком вредности (ЛПВ). Однако в последней редакции Правил охраны поверхностных вод [6] учет ЛПВ не предусмотрен, поэтому в данной работе ком-

$$C_{\text{кк}} = \frac{\sum_{i=1}^m [(C_i - C_e) \cdot \exp(-n_i t_i) + C_e] \cdot q_i + [(C_{\phi} - C_e) \cdot \exp(-n_{\phi} t_{\phi}) + C_e] \cdot q_{\phi}}{\sum_{i=1}^m q_i + q_{\phi}}, \quad (3)$$

где n_i – коэффициент неконсервативного вещества, 1/сут; C_e – природная (без антропогенной составляющей) концентрация вещества, характерная для рассматриваемого ВО; t_i , t_{ϕ} – время перемещения воды до КС соответственно от i -го выпуска СВ и от фоновое створа (ФС), q_i , q_{ϕ} – соответственно расход СВ i -го выпуска и расход воды в ФС.

Экономическая модель затрат на водоочистку для каждого выпуска СВ следующая [2]:

$$f(x_i) = \sum_r^{R_i} x_{ir} u_{ir} q_{ir}, \quad (4)$$

где f – затраты на водоочистку, грн/с; r – индекс маршрута очистки СВ; u_{ir} – удельная стоимость очистки, грн/(с·м³); q_{ir} – расход СВ, проходящих по маршруту r , м³/с.

Состав СВ на выходе из очистных сооружений (ОС) для каждого выпуска определяется по формуле

$$C_i = \sum_{r=1}^{R_i} C_{ir} \cdot x_{ir}, \quad (5)$$

где C_{ir} – концентрация рассматриваемого вещества на выходе маршрута r , мг/дм³.

При решении задачи могут рассматриваться как действующие ОС, так и другие варианты очистки. Однако в обоих случаях задача сводится к

плексный показатель качества рассматриваться не будет.

При отсутствии трансформации веществ в ВО концентрация в КС каждого отдельного вещества определяется по формуле [2]:

регулированию потоком СВ и не предусматривает управление технологическим процессом. Последнее обстоятельство особо существенно в случае рассмотрения альтернативных вариантов очистки, поскольку возникает неясность с выбором параметров для оптимизационной задачи. Однако целесообразно допускать регулирование степени очистки на тех уже эксплуатируемых ОС, где это технологически возможно. Поэтому стоимость очистки должна рассматриваться в зависимости от степени очистки, а оптимизируемыми переменными должны быть выходные концентрации веществ.

Следует также отметить, что постановка оптимизационной задачи в изложенном виде входит в противоречие с принципом сохранения сложившегося качества, поскольку результат расчета по формуле (5) для оптимальных x_{ir} может привести к ситуации, когда расчетная концентрация вещества на выходе из ОС окажется выше фактической на момент расчета ПДС.

Кроме того, при рассмотрении альтернативных вариантов очистки помимо эксплуатационных должны также рассматриваться капитальные затраты на проектирование и строительство ОС. Важным моментом в постановке оптимизационной задачи является то, что капитальные и эксплуатационные затра-

ты – разноразмерные величины. Если первые исчисляются в денежных единицах, то эксплуатационные – в денежных, деленных на единицу времени. Как вариант, с целью приведения обоих расходов к единой размерности предлагается капитальные затраты делить на время эксплуатации сооружений, заложенное в их проекте. Таким образом, общий вид функции цели должен быть следующим:

$$Z = \sum_{i=1}^m \left(\frac{K_i}{T_i} + E_i \right), \quad (6)$$

где K_i , E_i – соответственно капитальные и эксплуатационные затраты на водоочистку; T_i – время эксплуатации оборудования, заложенное в проектной документации.

Ограничения оптимизационной задачи с учетом принципа сохранения сложившегося качества следующие:

$$\begin{cases} Y_{kj} \leq ПДК_j, j = 1 \div P; \\ C_{ij} \leq C_{ij}^{факт}, j = 1 \div P, i = 1 \div m; \\ C_{ij} \geq ПДК_j, j = 1 \div P, i = 1 \div m; \end{cases} \quad (7)$$

где $C_{ij}^{факт}$ – фактические концентрации вещества j в СВ выпуска i на момент расчета ПДС.

Предлагаемый подход можно проиллюстрировать на примере расчета ПДС для одного загрязняющего вещества при наличии химической очистки. Плановые капитальные затраты в этом случае будут включать затраты:

- на оборудование;
- на вспомогательные механизмы;
- на создание и установку оборудования;
- на разработку проекта реорганизации и управление строительством.

Затраты на создание и установку оборудования будут пропорциональны расходу очищаемой воды:

$$K_o = a \cdot q^\alpha, K_c = b \cdot q^\beta, \quad (8)$$

где K_o , K_c – соответственно затраты на оборудование и строительно-монтажные работы; a , b , α , β – параметры модели.

Две другие статьи капитальных затрат – на вспомогательные механизмы и разработку проекта – можно исключить из оптимизационной задачи ввиду малой их зависимости от основных параметров очистки – расхода воды и степени ее очистки.

Основные эксплуатационные затраты будут состоять из затрат на материалы (реагенты и флокулянты), электроэнергию, амортизационные расходы и заработную плату персонала.

Затраты на материалы (реагенты и флокулянты) зависят от требуемой степени очистки воды и будут выражаться формулой

$$E_m = (s_p \cdot N_p + s_f \cdot N_f) \cdot (C_0 - C) \cdot q \quad (9)$$

где s_p , s_f – соответственно стоимость реагента и флокулянта, грн/г; n – соответственно дозы реагента и флокулянта, необходимые для удаления единицы массы вещества.

Амортизационные расходы прямо пропорциональны стоимости оборудования [6]:

$$E_a = h \cdot K_o, \quad (10)$$

где h – параметр модели.

Электрэнергия прежде всего расходуется на подачу воды, поэтому затраты на нее можно принять как прямо пропорциональные расходу воды:

$$E_e = k \cdot q, \quad (11)$$

где k – параметр модели.

Расходы на заработную плату сотрудникам мало зависят от технологического режима работы ОС и потому в оптимизационной задаче их можно не учитывать.

Таким образом, функция цели будет иметь следующий вид:

$$Z = \sum_{i=1}^m \left(\frac{K_{oi} + K_{ci}}{T_i} + E_{ai} + E_{ei} + E_{mi} \right) \quad (12)$$

С учетом (7)-(11):

$$Z(C, q) = \sum_i \left(a_i \cdot q_i^\alpha + b_i \cdot q_i^\beta + c_i \cdot q_i - d_i \cdot C_i \cdot q_i \right), \quad (13)$$

где a , b , c , d – параметры функции цели, получаемые в результате приведения подобных при выведении данной формулы.

В упрощенном варианте степенные функции можно заменить на линейные и рассматривать следующую модель:

$$Z(C, q) = \sum_i (c'_i \cdot q_i - d'_i \cdot C_i \cdot q_i), \quad (14)$$

где c' , d' – параметры функции цели.

Для демонстрации взят пример расчета ПДС для двух близкорасположенных выпусков СВ. В качестве загрязняющего вещества рассматриваются фосфаты. Очистка сточных вод по этому показателю может быть произведена химическим способом с использованием в качестве реагента и флокулянта соответственно сульфат алюминия очи-

щенного $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ и полиакриламида (ПАА) [7]. С целью упрощения задачи альтернативные варианты очистки не рассматриваются. Также пренебрегается самоочищением ВО. ПДК фосфатов [8] составляет 2,15 мг/дм³. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1 Исходные данные для расчета ПДС

Параметр	Выпуск № 1	Выпуск № 2	ФС
Расход воды, м ³ /с	1,2	1,8	3,4
Концентрация фосфатов, мг/дм ³	10	15	2

Значения параметров функции цели условно приняты следующие:

$$c'_1 = 7, c'_2 = 5, d'_1 = 1, d'_2 = 2.$$

Таблица 2 Результат расчета допустимых концентраций фосфатов в СВ (мг/дм³) и общие затраты на водоочистку (у.е./год)

Параметр	Выпуск № 1, C ₁	Выпуск № 2, C ₂	КС, C _{кв}	Расходы на водоочистку, Z
Оптимизационный подход	2,15	2,43	2,15	6,06
Подход, основанный на равномерном использовании ассимилирующей способности ВО между водопользователями [2]	2,32	2,32	2,15	6,26

Функция цели в этом случае имеет вид:

$$Z(C, q) = 7 \cdot q_1 - C_1 \cdot q_1 + 5 \cdot q_2 - 2 \cdot C_2 \cdot q_2 \quad (15)$$

Результат расчета допустимых концентраций предлагаемым оптимизационным методом, а также методом, основанным на равномерном использовании ассимилирующей способности ВО между водопользователями [2]

и табл. 2. (Сравнение результата с оптимизационным методом, заложенным в Инструкции, не представляется возможным, поскольку этот метод не предусматривает регулирование процессом очистки СВ.) Из результатов расчета видно, оптимизационный подход обеспечивает соблюдение экологической безопасности отведения сточных вод при меньших денежных затратах по сравнению с базовым подходом, изложенным в Инструкции.

Выводы

Предлагаемый вариант оптимизационной задачи по расчету ПДС имеет следующие преимущества по сравне-

нию с оптимизационной задачей, изложенной в действующей Инструкции:

- в задачу включаются помимо эксплуатационных еще и капитальные затраты на строительство и установку ОС;
- учитывается возможность регулирования параметрами очистки СВ;
- обеспечивается принцип сохранения сложившегося качества ВО.

Дальнейшие исследования в этом направлении заключаются в детальной постановке оптимизационной задачи по нахождению допустимого состава СВ, прошедших биологическую очистку.

Литература

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. Сташук В.А., Яцик А.В. До питання водної політики в Україні на принципах басейнового управління водними ресурсами: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://tib.znaimo.com.ua/download/docs-9401/25500-9401.doc>.
4. Проскурнин О.А. Разбиение бассейна реки на локальные участки при реализации бассейнового принципа нормирования водоотведения / О.А. Проскурнин, Ю.И. Капанина, О.И. Капанина // Водні ресурси України та меліорація земель: матеріали міжнар. конф., м. Київ, 22 берез. 2013 р — К., 2013. — С. 170—171.
5. Проскурнин О.А. Оптимизационный подход к нормированию в сточных водах последовательно трансформирующихся веществ // Проблемы охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: Зб. наук. пр. УкрНДІЕП – Харків: ВД "Райдер", 2009. – №31 – С. 124–133.
6. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами. Постанова Кабінету Міністрів України N465 від 25.03.99.
7. Мишуков Б.Г., Соловьева Е.А. Удаление азота и фосфора на очистных сооружениях городской канализации // Вода и экология. Проблемы и решения. – 2004. – С. 6-9.
8. Про затвердження Нормативів екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства щодо гранично допустимих концентрацій органічних та мінеральних речовин у морських та прісних водах (біохімічного споживання кисню (БСК-5), хімічного споживання кисню (ХСК), завислих речовин та амонійного азоту). Наказ Мінагрополітики N 471 від 30.07.2012 // http://www.leonorm.com.ua/P/NL_DOC/UA/201201/Nak471.htm

УДК 504.054:504.06:504.75

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ СМІТТЄЗВАЛИЩ НА ПІДЗЕМНІ ВОДИ

Новохацька Н. А., Крета Д. Л.

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України,
Чоколівський бульв., 13, 03186, м. Київ,

E-mail: 6802146@ukr.net ; novokhatska.natalia@gmail.com

Пропонується методологія моделювання та прогнозування забруднення навколо місць видалення відходів. Наведено результати дослідження впливу сміттєзвалищ на підземні води. Використано математичне моделювання міграції забруднення за глибиною потоку. Ключові слова: тверді побутові відходи, місця видалення відходів, моніторинг, моделювання.

Моделирование и прогнозирование влияния свалок на подземные воды. Предлагаются методология моделирования и прогнозирования загрязнения вокруг мест удаления отходов. Представлено исследование влияния свалок на подземные воды. Использовано математическое моделирование миграции загрязнения по глубине потока. *Ключевые слова:* твердые бытовые отходы, места удаления отходов, моделирование

Modelling and forecasting the impact of landfills on groundwater. This article proposes a methodology for modeling and prediction of pollution around waste disposal sites. Presented by the study of the impact of landfills on groundwater. Used mathematical modeling of pollution migration depth of flow. *Keywords:* municipal solid waste, waste places, modeling

Прогресуюче накопичення відходів призводить до появи величезної кількості звалищ і полігонів для їхнього зберігання. В Київській області, наприклад, станом на 01.01.2013р. налічується 30 полігонів для твердих побутових відходів (ТПВ) загальною площею 255,56 га. Ситуація, яка склалася з утворенням, використанням і захороненням відходів, призводить до значних втрат природних ресурсів, виникнення незворотних процесів забруднення навколишнього середовища і завдає реальної загрози здоров'ю населення. Органічна речовина, що міститься в твердих побутових відходах утворює

складний за хімічним складом фільтрат. Проникнення фільтрату в ґрунт і ґрунтові води призводить до забруднення, яке поширюється на значні відстані від полігону ТПВ. До стійких токсикантів відносяться важкі метали, адже вони в природних умовах погано розкладаються. З полігону до підземних вод потрапляють також хлориди, нітрати, сульфати та інші хімічні сполуки. Полігон ТПВ є гігантським реактором, де відбуваються процеси окислення, хімічного і біологічного розкладу органічних речовин та їх детоксикація. Звалище ТПВ, окрім відчуження значних кількостей землі, є джерелом за-