

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ НЕСТАЦІОНАРНОГО ПОШИРЕННЯ ЗАБРУДНЕНЬ В ОЗЕРАХ ТА ВОДОСХОВИЩАХ

У роботі запропоновано вибір оптимальної математичної моделі нестационарного поширення забруднення у непроточних водних об'єктах, заснований на інтерпретації результатів аналізу існуючих моделей поширення забруднюючих речовин. У статті обґрунтовано необхідність урахування природних особливостей водних об'єктів для моделювання поширення забруднення, доведено необхідність вирішення завдання моделювання забруднення озер та водосховищ, що виникає у результаті діяльності промислових підприємств.

Ключові слова: дифузія, забруднююча речовина, зона забруднення моделювання, непроточний водний об'єкт, промислове підприємство, турбулентність

Вступ

В результаті технологічної діяльності об'єктів промисловості негативні перетворення водного середовища досягли глобальних масштабів, що стало причиною порушення природних режимів багатьох водних об'єктів. Причинами таких наслідків є будівництво гідротехнічних споруд таких як водосховища, зрошувальні канали, збільшення площ випаровування за рахунок зрошення, забруднення континентальних вод [1]. Інтенсивність використання водних ресурсів зростає значно швидше, ніж будівництво очисних споруд, тому особливо гостро постала проблема забруднення водойм.

Прогноз наслідків скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти є однією з типових задач оцінки впливу на навколишнє середовище. Для ряду типових ситуацій розроблені та рекомендуються для використання стандартні моделі обчислення очікуваних концентрацій в контрольних точках [2]. Однак умови їх застосовності не завжди виконуються і необхідно обирати моделі, адаптовані до конкретної природної обстановки, рівня інформаційної забезпеченості проблеми та вимог до прогностичних розрахунків.

Для прогнозу стану та кількісної оцінки гідроекологічних систем, їх реакцій на антропогенний вплив на значних територіях, виключно ефективним є метод математичного моделювання. Метод математичного моделювання важливий особливо тоді, коли в результаті отримують не тільки опис і оцінку стану водного середовища, але також його регулювання з урахуванням фактичного та прогнозованого стану, з урахуванням гідрорезерву, що в результаті має служити оптимізації взаємовідносин людського суспільства з водним середовищем [6, 8].

Моделювання процесів забруднення водних об'єктів можливо реалізувати за допомогою

різноманітних математичних моделей розповсюдження забруднюючих речовин, які відрізняються через особливості водних об'єктів, різні фізичні та хімічні властивості забруднюючих речовин. Велика кількість вчених займалися проблемою моделювання процесів забруднення водних об'єктів, серед них Богоболящий В.В., Ковальчук П.І., Сміт Дж., Курбанов К.Р., Палій П.Б., Шмандій В.М. тощо. Роботи наведених авторів, присвячені проблемам екологічного моделювання розповсюдження забруднюючих речовин, проте прослідковується єдиний підхід – всі моделі стосуються лише окремих випадків розсіювання та перемішування забруднювачів у водному середовищі [2, 5, 6].

Для вибору моделі для розрахунку концентрацій забруднювачів у непроточних водних об'єктах були проаналізовані існуючі моделі розповсюдження забруднювачів у водному середовищі, згідно з результатами дослідження наведена класифікація існуючих моделей.

Метою даної роботи є аналіз особливостей процесу поширення забруднення у непроточному водоймищі, огляд існуючих моделей поширення забруднюючих речовин та вибір оптимальної моделі нестационарного поширення забруднення в озерах і водосховищах для прогнозування очікуваних концентрацій забруднювачів.

Основна частина

Екологічні процеси обумовлені параметрами простору та часу, тому розповсюдження забруднюючих речовин у водному об'єкті у зоні техногенного джерела скидів відбувається відповідно до законів матеріального світу у чотирирівимірній системі координат: тривимірній прямокутній системі координат простору x , y , z та часі t [11]. Поширення у просторі та часі, перенесення на деяку відстань від місця випуску

стоків відбуваються залежно від чинників, що впливають на ці процеси в зоні джерела забруднення [6].

Забруднення води може відбуватися кількома шляхами: при скиді стічних вод (зливних стоків), при проходженні води через забруднені (мінералізовані) ділянки землі (грунту), при випадінні забруднюючих речовин із атмосфери [3]. При скидах у водойми стічних вод, що містять забруднюючі речовини, відбувається погіршення якості води. Концентрація забруднюючих речовин не є постійною і залежить від ступеня розбавлення, біологічних і хімічних процесів [4].

Для моделювання поширення забруднюючих речовин у водному середовищі використовуються різноманітні моделі [2]: камерні, імітаційні та оптимізаційні. У камерних моделях розповсюдження забруднення розглянута область ділиться на підобласті – камери, усередині яких досліджувані характеристики вважаються постійними. Для кожної камери враховуються лише середні по ній значення параметрів екосистеми і для кожного резервуара. Зв'язок між камерами імітується введенням балансових співвідношень.

Імітаційні моделі покликані дати відповідь на питання про стан навколишнього середовища при даному конкретному впливі людини. Кінцева мета будь-якої імітаційної моделі – опис і прогнозування реакції у відповідь водного середовища на зовнішні впливи. При цьому сама реакція – результат великого числа процесів, що протікають в середовищі: перенесення речовини і розбавлення стоків, осадження важких домішок, вторинне забруднення, розпад легких домішок, самоочищення водного середовища, термічне забруднення [10].

При моделюванні розповсюдження забруднення необхідно враховувати динаміку поширення забруднень і їх трансформацію по довжині або обсягу водойми (перемішування або розбавлення вод) [7]. Моделі можуть бути одновимірними, двовимірними або тривимірними. Вибір математичної моделі визначається наявністю вихідних даних і завданням розрахунку. Забруднення водних об'єктів та прогноз їх стану значною мірою залежить від джерел забруднення [2]. Моделі базуються на диференціальних рівняннях з приватними похідними. З їх допомогою можуть моделюватися умови формування якості та кількості води (або окремі процеси, що обумовлюють якість води). Моделювання оптимальних умов існування водного об'єкта з урахуванням його навантаження стічними водами або при виробництві водозаборів із збереженням норм якості води проводиться з використанням оптимізаційних моделей [9].

Вибір розрахункової моделі визначається з одного боку практичними вимогами до точності і детальності прогностичної інформації, а з іншого - можливостями інформаційного забезпечення моделі

необхідного для досягнення необхідної точності розрахунків. Зазвичай вимоги до детальності і точності прогнозів завжди перевищують можливості їх отримання. В даному випадку, в якості моделі компромісною складності, яка відповідає запропонованим до результатів моделювання вимогам, можна вибрати модель нестационарного поширення забруднення у непроточних водних об'єктах. Обрана модель дозволяє виконати моделювання для таких водних об'єктів, як озера та водосховища при умовах, коли турбулентність зумовлюється слабкими течіями, що не враховуються з причини їх малості: при цьому відбуваються лише процеси перемішування й розведення забруднень. Для випадку непроточної водойми процес поширення забруднення води може відбуватися в усіх напрямках без винятку на весь об'єм її води або на якусь певну частину її об'єму залежно від чинників. Зона забруднення непроточної водойми на поверхні її води має вигляд півкола при скиданні стоків з берега або кола при скиданні стоків на деякій відстані від берега на дні водойми, на її поверхні чи на якійсь глибині. Розрахунок дифузії для цього випадку виконується за умови використання рівняння турбулентної дифузії в циліндричних координатах [5]:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \left(\frac{g}{\gamma} A - \frac{Q_{ст}}{\phi H_{сеп}} \right) \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{g}{\gamma} A \frac{\partial^2 U}{\partial r^2},$$

де r – координата, яка виражає відстань від джерела забруднення, що лежить у центрі координат; $g = 9,81$ м/с² – прискорення сили ваги; $\gamma = 1$ т/м³ – питома вага води; t – час, с; ϕ – кут сектора, в якому поширюються забруднення, радіани. Якщо, наприклад, точка випуску стічних вод віддалена від берега, то $\phi = 2\pi = 6,28$, а коли поблизу зрізу прямолінійного берега, то $\phi = \pi = 3,14$; $Q_{ст}$ – витрати стічних вод, м³/с; $H_{сеп}$ – середня глибина водоймища за довжиною всього розрахункового радіуса, м; U – концентрація (наприклад г/м³); A – коефіцієнт турбулентного обміну, т*с/м³.

Розрахунок здійснюється методом скінченних різниць, причому розрахункове рівняння записується у вигляді:

$$U_{k+1,n} = (1 - 2b_n)U_{k,n} + (a_n + b_n)U_{k,n+1} + (b_n - a_n)U_{k,n-1},$$

де $a_n = \frac{\beta \Delta t}{2\Delta r^2(2n-1)}$; $b_n = \frac{gA\Delta t n}{\gamma \Delta r^2(2n-1)}$; $\beta = \frac{g}{\gamma} A - \frac{Q_{ст}}{\phi H_{сеп}}$.

Радіус кожного n -го відсіка можна визначити за формулою:

$$r_n = (n-1)\Delta r.$$

Індекси k і $k+1$ т.д. відповідають порядковим номерам розрахункових інтервалів часу Δt , k – це інтервал часу, що розглядається, а $k+1$ – наступний. Значення Δt і Δr добирають у такий спосіб, аби скінченно-різницева схема була стійкою.

Реалізація моделі безпосередньо за даними натурних спостережень дозволяє отримати детальні результати моделювання нестационарного

поширення забруднень в озерах і водосховищах (рис.1).

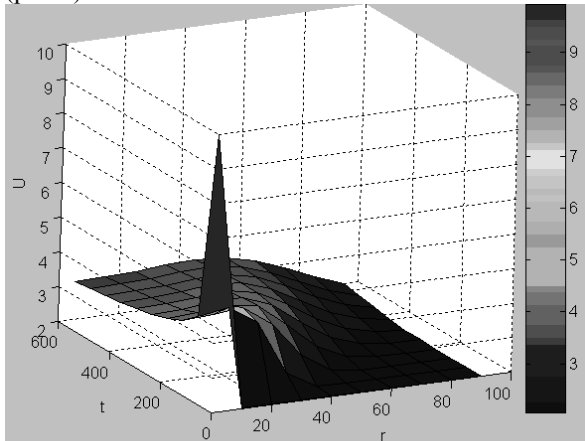


Рис. 1. Поширення рівня забруднення в водоймі від джерела стічних вод.

Висновки

Моделювання нестационарного поширення забруднень в озерах і водосховищах дозволяє на задовільному науковому рівні виконувати дослідження рівня забруднення та оцінку стану середовища. Реалізація моделі нестационарного поширення забруднення у непроточних водних об'єктах дозволяє більш повно та збалансовано використовувати дані, подолати інформаційні дефіцити та отримати досить детальні, порівняно достовірні і практично значущі результати моделювання.

Список літератури

1. Беккер, А.А. Охрана и контроль загрязнения природной среды / А.А. Беккер, Т.Б. Агаев. – Л.: Гидрометеиздат, 2001. – 286 с.
2. Богобояций В.В. Принципы моделирования та прогнозування в екології / В.В. Богобояций, К.Р. Курбанов, П.Б. Палій, В.М. Шмандій. – К.: Центр навчальної літератури, 2004. – 216 с.

3. Васенко О.Г. Концепція екологічного нормування / Васенко О.Г., Верніченко Г. А., Грищенко А. В. та ін. / Мінекобезпеки України. – К., 2000. – 56 с.
4. Клименко М.О. Відновна гідроекологія порушених річкових та озерних систем: Навч. посібн. для студ еколог. спец. вищ. навч. закл.: у 3 т. / М. О. Клименко, Й. В. Гриб., В. В. Сондак; за ред. М. О. Клименко. – Рівне: «Волинські береги», 2009 Т. 2. (Основні терміни, поняття, методики) – 198 с.
5. Ковальчук П.І. Моделювання і прогнозування стану навколишнього середовища / П.І. Ковальчук. – К.: Либідь, 2003. – 207 с.
6. Сміт Дж. Модели в екології / Дж. Сміт. – М.: Мир, 2001. – 251 с.
7. Романенко В.Д. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В. Д. Романенко, В. М. Жукинський, О. П. Оксіюк та ін. – К.: СИМВОЛ – 28 с. – (Затв. наказом Мінекобезпеки України від 31.03.98, № 44).
8. Яковлев С.В. Рациональное использование водных ресурсов / С.В. Яковлев, И.В. Прозоров, Е.Н. Иванов [и др.]. – М.: Высшая школа, 2001. – 401 с.
9. Яцик А. В. Водогосподарська екологія / А. В. Яцик. – К.: Генеза, 2003. – Т. 3, кн. 5. – 494 с.
10. Cude C. Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness. *Journal of American Water Resources Association*. – 2001. – № 37. – P. 125-137
11. Zheng C. A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion, and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems; Documentation and User's Guide / C. Zheng, P. P. Wang. – Washington, 2003. – 220 p.

Надійшла до редколегії 18.03.2013

Рецензент: канд. техн. наук, професор І.Г. Гусарова, Харківський національний технічний університет радіоелектроніки, Харків.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НЕСТАЦИОНАРНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ОЗЕРАХ И ВОДОХРАНИЛИЩАХ

Т.А. Кущинская, В.М. Задачин

В работе предложен выбор оптимальной математической модели нестационарного распространения загрязнения в непроточных водных объектах, основанный на интерпретации результатов анализа существующих моделей распространения загрязняющих веществ. В статье обоснована необходимость учета природных особенностей водных объектов при моделировании распространения загрязнения, показана необходимость решения задачи моделирования загрязнения озер и водохранилищ, возникающая в результате деятельности промышленных предприятий.

Ключевые слова: диффузия, загрязняющее вещество, зона загрязнения моделирования, непроточных водный объект, промышленное предприятие, турбулентность.

MODELLING OF PROCESSES UNSTEADY POLLUTION DISTRIBUTION IN LAKES AND RESERVOIRS

T.O. Kushchinskaya, V.M. Zadachin

In this paper we propose a mathematical model of the choice of optimal transient pollution distribution in the stagnant water bodies, based on the interpretation of the results of analysis of existing models of the spread of pollutants. In this paper we justified the need to incorporate the natural features of water bodies in modeling the spread of contamination, proved the need to address the problem of simulating pollution of lakes and reservoirs, resulting from industrial activities.

Keywords: diffusion, pollutant, pollution zone modeling of stagnant water bodies, industrial enterprise, turbulence.

