

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОШИРЕННЯ ЗАБРУДНЕНЬ В РІЧКАХ ПРИ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Розроблено метод та математичну модель оперативного прогнозування якості води в районах водозаборів при викиді забруднень в умовах виникнення аварійних ситуацій.

Ключові слова: математична модель, фронт забруднень, вода, якість, очищення.

Разработано метод и математическую модель оперативного прогнозирования качества воды в районах водозаборов при выбросах загрязнений в условиях возникновения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: математическая модель, фронт загрязнений, вода, качество, очищение.

It is developed the method and mathematical model of operative forecasting of water quality in the water intakes points pollution in a case of emergency.

Keywords: mathematical model, pollution contact zone, water, quality, treatment.

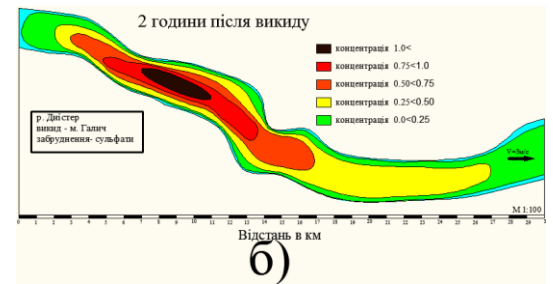
Постановка задачі. Забезпечення водоспоживачів водою потрібної якості в необхідній кількості набуває все більшої актуальності, оскільки у водойми та ріки поступає все більше стічних вод і інших забруднень при техногенних аваріях. Своєчасно з'ясувати, наскільки вміст токсичних речовин наблизиться чи перевищить їхні гранично допустимі концентрації на ділянці водозабору без досконалого прогнозу неможливо [5]. Тому необхідно розробити методiku прогнозування поширення забруднень з метою забезпечення водоспоживачів водою відповідної якості. Відомі кілька підходів до розробки математичної моделі: камерна модель масоперенесення [5]; розв'язування дифузійних задач методом Монте-Карло [3]; математичні моделі диференціального одномірного рівняння турбулентної дифузії з переходом до системи скінченно – різницевих рівнянь [2].

Важливою задачею оперативного прогнозування є розробка поширення фронту забруднення на прикладі річки з урахуванням гідрологічних характеристик водотоку та типу забруднюючої речовини, розрахунок концентрації вниз по течії річки. Інструментарієм прогнозування є методи математичного моделювання поширення забруднень у водотоках.

Метод вирішення задачі оперативного прогнозування поширення забруднень в річках при аварійних ситуаціях. Прогноз наслідків скиду забруднюючих речовин у водні об'єкти являється однією з основних задач при оцінці якості води в районах водозаборів. Для ряду типових ситуацій розроблені та рекомендовані методи [4] обчислення очікуваних концентрацій в контрольних точках або створах. Однак їх використання далеко не завжди можна адаптувати до конкретних природних умов поширення забруднень в річках. Отже, необхідно розробляти моделі, адекватні до фізико-хімічних, біологічних процесів поширення, змішування, осідання в мул, самоочищення забруднюючих речовин. Тобто, необхідне вивчення комплексу цих явищ в конкретній річці, виходячи з моделі, що описує процес в цілому – моделі турбулентної дифузії неконсервативних речовин в річках. Такий підхід дозволяє найбільш ефективно підійти до вдосконалення інженерних методів прогнозування наслідків скиду забруднюючих речовин у місцях водозабору.

Ціль розробки моделі полягає в одержанні прогнозних оцінок динаміки розповсюдження забруднюючих речовин по довжині річки від зосередженого джерела

(точки викиду), наприклад при прориві греблі та попаданні забруднень в річку Дністер. При побудові моделі враховувались такі моменти: закон збереження і переносу речовини; умова нерозривності потоків; закономірності осідання частинок забруднюючої речовини в мул та дифузія цієї речовини з мулу у водний потік; дані про середню швидкість річки на розрахунковій ділянці; початкові умови у вигляді концентрацій забруднень в мулі і водному потоці та гранична концентрація в точці викиду забруднень; значення ГДК забруднюючого інгредієнту; припущення про консервативність забруднюючої речовини. При цьому приймається, що частина забруднень переноситься водою, а частина може затримуватися в донних відкладах (мулі) і поступово знову надходить у водний потік. Роль донних відкладів суттєва, вони часто являються джерелами вторинного забруднення [1]. Для вирішення цієї задачі вибрана модель, що реалізує одномірну схему розповсюдження вздовж ріки забруднюючих речовин.



Найбільш адекватною для опису поширення забруднення у випадку аварійних скидів, варто вважати запропоновану нами модель, що базується на системі диференціальних рівнянь взаємодії водотоку з донними відкладами:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} a(x) \frac{\partial U}{\partial x} - V(x) \frac{\partial U}{\partial x} - \lambda(x)U + \mu(x)S + f(x, t); \\ \frac{\partial S}{\partial t} = \lambda(x)U - \mu(x)S. \end{cases} \quad (1)$$

де: $V(x)$ – швидкість течії річки, м/с; $U(x, t)$ – концентрація забруднюючої речовини у водотоці (в частках від $U_{ГДК}$, об'ємної гранично допустимої концентрації забруднюючих речовин); $S(x, t)$ – концентрація забруднюючої речовини в мулі (в частках від $U_{ГДК}$); $a(x)$ – коефіцієнт молекулярної або турбулентної дифузії; $\lambda(x), \mu(x)$ – параметри обміну між донними відкладами і водним потоком; $f(x, t)$ – функція джерела надходження забруднень в річку. Функція джерела є точковим джерелом викиду забруднюючих речовин такого вигляду:

$$f(x, t) = \begin{cases} f(t), \text{ при } x = 0; \\ 0, \text{ при } x \neq 0. \end{cases} \quad (2)$$

Для розв'язування цієї задачі вся досліджувана акваторія ріки розбивається на множину ділянок (комірок), кількість яких повинна в достатній мірі відображати конфігурацію русла, особливості та швидкості руху води на окремих ділянках. При розрахунку характеристики поширення забруднень було використано метод скінченно – різницевої апроксимації системи рівнянь (4).

Результати розрахунків. Розроблена математична модель та програмний комплекс дозволяє розраховувати сценарії поширення фронту забруднення, зміну її концентрації в часі у різних точках об'єкту моделювання (річка Дністер).

При модельних розрахунках імітується динаміка забруднюючої речовини (сульфатів) у частках $U_{ГДК}$ в результаті залпового викиду забруднень в Галичі (точка викиду). Модельована акваторія ріки складає 170км і сягає водозабору в місті Заліщики.

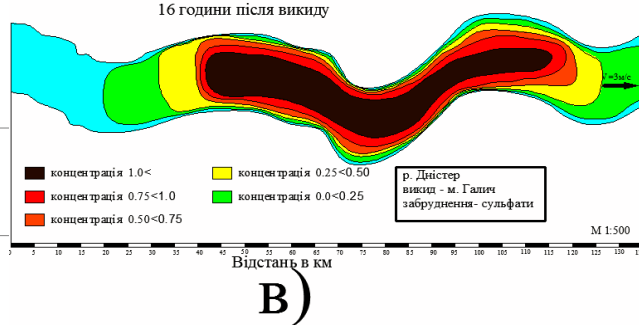
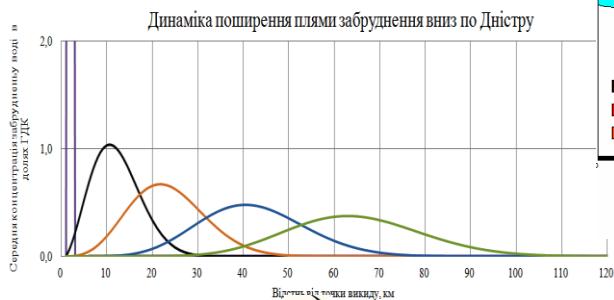
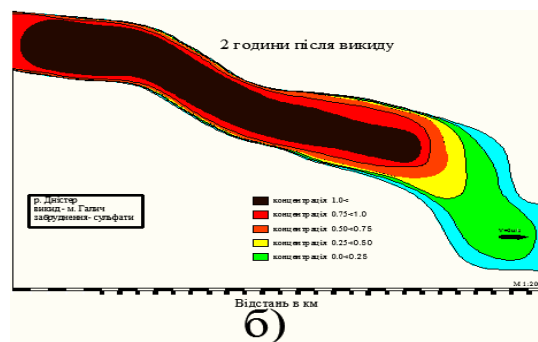
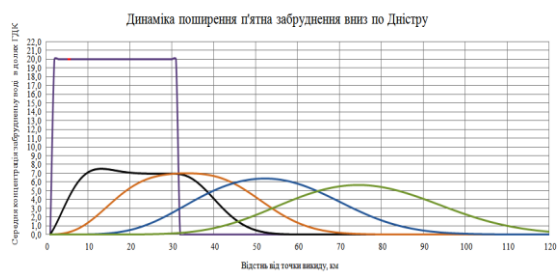


Рис 1. Динаміка поширення плями забруднення по Дністру а) графік залежностей концентрацій в часі залежно від поширення; б), в) просторові моделі відповідно через 2 та 16 годин після викиду.

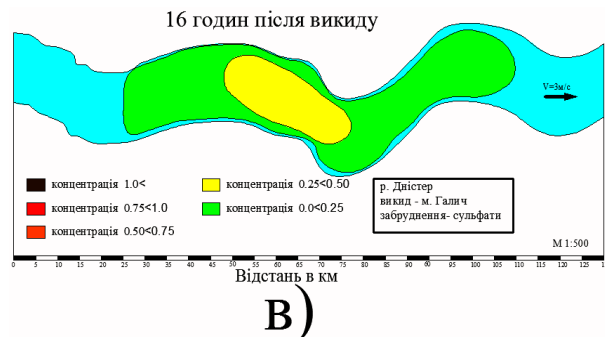
Рис 2. Динаміка поширення плями забруднення по Дністру а) графік залежностей концентрацій в часі залежно від поширення; б), в) просторові моделі відповідно через 2 та 16 годин після викиду.

Сценарні розрахунки дозволяють імітувати аварійні ситуації (залпові викиди та викиди на протязі певного часу) при різних концентраціях в початковій точці та оцінювати з допомогою розробленої моделі інтенсивність, динаміку та структуру забруднення річки в різних гідрологічних ситуаціях.

Моделі формування поля забруднення, як приклади результатів імітаційних експериментів, показані на рисунках 1 та 2.



експериментів, показані на рисунках 1 та 2.



Сценарій 1. Для моделювання поширення забруднень розглянуто сценарій з залповим викидом забруднюючих речовин, рівним 40 одиниць $U_{ГДК}$ при розрахунковій швидкості течії 3 м/с. В результаті імітаційного моделювання пляма забруднення в часі має вигляд (рис. 1).

Поширення плями забруднення у просторі на момент часу $t = 2$ години має вигляд (рис. 2), тобто в результаті розбавлення і часткового осідання в мулі максимальні концентрації становлять $1,03 U_{ГДК}$ і є небезпечними на незначній ділянці річки в точці $\Delta x = 3$ км і в точці $x = 11$ км. В інших точках річки концентрація знаходиться в межах $U \leq U_{ГДК}$.

Сценарій 2. На відміну від сценарію 1 (залповий викид) за сценарієм 2 моделюється процес викиду забруднень протягом однієї години (рис.2).

Висновки. В процесі досліджень запропоновано метод, модель та програмний комплекс, що дозволяє визначати концентрацію забруднюючих речовин в кожній точці досліджуваного об'єкту в будь-який момент часу при різних аварійних ситуаціях. Розглянуто два сценарії поширення фронту забруднення, на основі яких можна оцінювати інтенсивність, динаміку та структуру забруднення річки в різних гідрологічних ситуаціях.

Література

1. Айтсам А.М. Смешение сточных вод и самоочищение водоемов/ А.М.Айтсам, Х.А. Вельнер, А.В. Караушев, В.Т. Каплиный, Л.Л. Пааль // материалы II Всесоюзного симпозиума. – Таллин.-1967, С.97-102.
2. Акішин Б.О. Скінченно-різницевий метод синтезу моделей динаміки забруднюючих речовин у водотоках/ Б.О. Акішин, П.І. Ковальчук // Автоматика, №6. Київ, 1976 – С.14-19.
3. Галкин Л. М. Решение диффузионных задач методом Монте-Карло/ Л.М.Галкін. — М.: Наука, 1975. — 94 с.
4. Игнатов А.В. Информационное моделирование загрязнения водных объектов/А.В. Игнатов, В.В. Кравченко // География и природные ресурсы №1.-Иркутск.-2008.-С.144-150.
5. Сизоненко В.П. Прогнозування впливу підприємств ядерно-паливного циклу на поверхневі водоймища на прикладі скидів шахти «Нова» /В.П. Сизоненко, О.Л. Шевченко, О.Г. Лисюк //Проблеми загальної енергетики.-2010.-№2(22).-С.45-52.

Поступила в редакцію 4 травня 2012 р.