

ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОЛОГІЧНА КІБЕРНЕТИКА

УДК 681.51+519.6+556.013

В. Б. Мокін, д-р. техн. наук, проф.; В. Ю. Булига, студ.

НОВИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ У РОЗГАЛУЖЕНИХ РІЧКОВИХ СИСТЕМАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Проведено огляд математичних моделей якості поверхневих вод. Запропоновано новий підхід до моделювання якості води у річкових системах з використанням засобів паралельних обчислень.

Вихідні передумови та постановка задачі

На сьогоднішній день надзвичайно актуальною є проблема чистої води, що відповідає різноманітним вимогам водокористування. Актуальним є дослідження нових шляхів поліпшення стану природних вод для полегшення та уточнення розрахунків концентрації забруднювальних речовин у розгалужених річкових системах.

На цей час в Україні та за кордоном вже розроблено багато математичних моделей, які описують динаміку якості річкових вод. Зазвичай під час моделювання показників якості води проводять вимірювання у трьох точках:

- вище місця скиду забруднювальних речовин, як правило на 500 метрів;
- в місці безпосереднього скиду;
- нижче за течією, як правило на 500 метрів.

Основна проблема моделювання якості поверхневих вод — це неточність вхідних даних.

В деякій мірі це спричинено недостатньо великою кількістю постів вимірювання забруднювальних речовин у річці (рис. 1) [4].

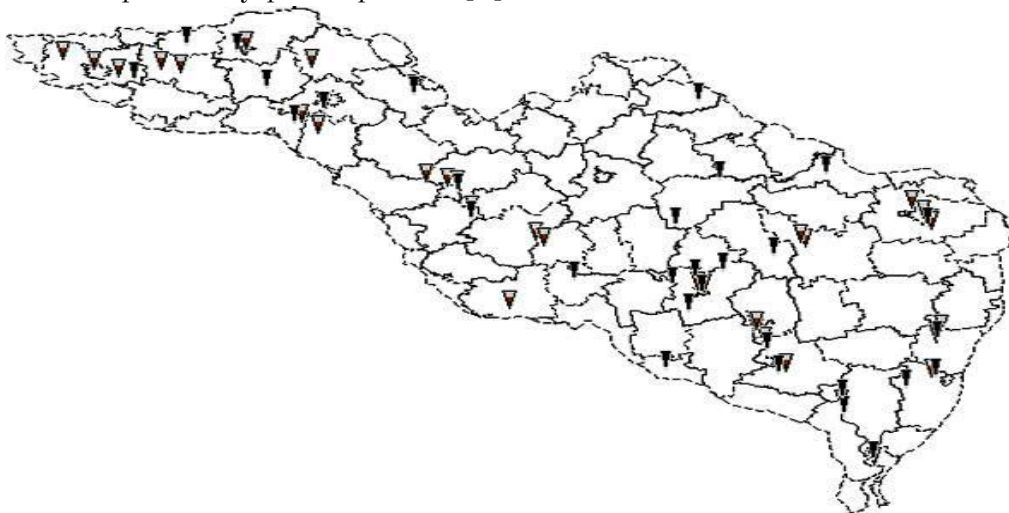


Рис. 1. Векторна карта «Пости моніторингу», виведена спільно з картою «Границі» для басейну річки Південний Буг

Крім того потрібно застосовувати такі моделі та методи моделювання, які дозволяють не тільки проводити розрахунок параметрів вод на виході річок, а і перевіряти та уточнювати параметри на вході річок, дані про скиди та приток вод у річку. А це для розгалужених річок вимагає, у свою чергу, потужних обчислювальних засобів або систем з паралельними обчисленнями (комп'ютерних кластерів).

Таким чином, необхідно розробити методику моделювання стану поверхневих вод у

розгалужених річкових системах за умов невизначеності окремих параметрів про якість або кількість природних або зворотних вод.

Новий підхід до розв'язання задачі

В реальних умовах для визначення точних показників якості води в конкретній річці потрібно розглядати річкову систему загалом, тобто разом з її притоками, які, в свою чергу, містять власні джерела забруднення.

Розглянемо приклад розгалуженої річкової системи, яка містить головну річку з джерелами скиду забруднювальних речовин та дві притоки, що мають власні джерела скиду (рис. 2).

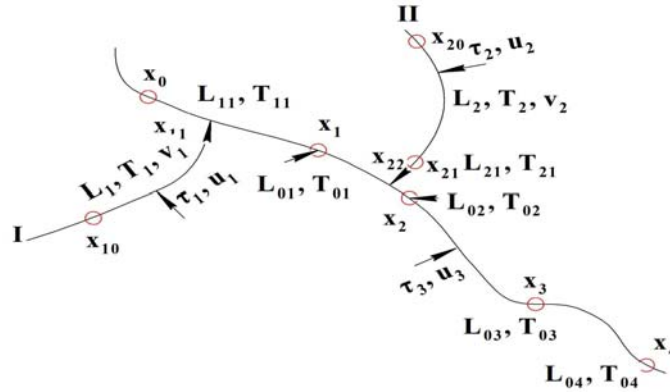


Рис. 2. Приклад розгалуженої річкової системи з притоками та джерелами скиду забруднювальних речовин: x_0, x_1, x_2, x_3, x_4 — точки вимірювання концентрації забруднювальних речовин в річці; $L_{01}, L_{02}, L_{03}, L_{04}$ — довжини відповідних ділянок річки в точках вимірювання концентрації забруднювальних речовин; I та II — притоки в головну річку, які мають свої власні скиди стічних вод; L_1 та L_2 — довжини I та II притоки, відповідно; аналогічно T_1 та T_2 — інтервали часу добігання води до головної річки; v_1 та v_2 — швидкості течії; u_1 та u_2 — концентрації забруднювальних речовин скиду стічних вод; τ_1 та τ_2 — інтервали часу до входу стічних вод; x_{10}, x_{20}, x_{21} — точки вимірювання концентрації забруднювальних речовин у притоках; T_3 — інтервал часу добігання води зі скиду стічних вод до річки; u_3 — концентрація забруднювальних речовин скиду стічних вод у річку

Для цієї задачі застосуємо таку математичну модель [2]:

$$\begin{aligned} x_0 \cdot e^{-kT_1} + U_1 \cdot e^{-k(T_1-\tau_1)} &= x_1; \\ x_0 \cdot e^{-kT_1} + U_1 \cdot e^{-k(T_1-\tau_1)} + U_2 \cdot e^{-k(T_2-\tau_2)} &= x_2, \end{aligned} \tag{1}$$

де U_i — концентрація забруднювальних речовин (ЗР) в i -й точці скиду; x_0 — концентрація ЗР в початковій точці вимірювання; x_1, x_2 — концентрації ЗР в точках вимірювання; T_i — інтервал часу добігання води до i -ї контрольної точки вимірювання концентрації забруднювальних речовин; τ — час добігання води від i -го місця скиду стічних вод; k — коефіцієнт інтенсивності процесів самоочищення.

Приклад результату розрахунку для розгалуженої річкової системи за рис. 2, згідно з моделлю (1) подано на рис. 3.

Проте, у випадку із розрахунком для всієї річкової системи з власними притоками математична модель (1) ускладнюється і тому, відповідно, значно ускладнюється її реалізація.

Для прискорення виконання розрахунків за заданою математичною моделлю пропонується застосувати паралельні обчислення за допомогою кластерів. Кластер — це декілька незалежних обчислювальних машин, що використовуються спільно і працюють як одна система для розв'язання тих чи інших задач, наприклад, для підвищення продуктивності, забезпечення надійності, спрощення адміністрування, тощо, [3].

Обчислювальний кластер, як і будь-яка система паралельних обчислень, є ефективним, коли обчислювальна задача, яку необхідно розв'язати, принципово не може бути розв'язана за допомогою комп'ютерів широкого вжитку (наприклад, персональних комп'ютерів) або

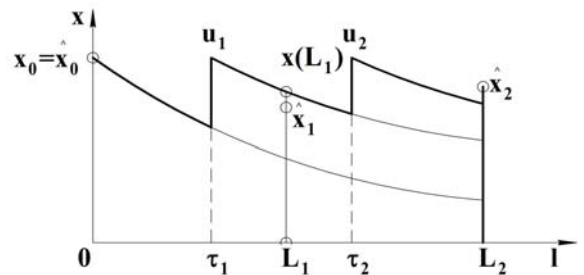


Рис. 3. Схема ділянки річки із двома входами — скидами стічних вод

розв'язання задачі за допомогою поширених систем вимагає тривалого часу.

Основна ідея підходу полягає в тому, що якість води у річці змінюється внаслідок, головним чином, впливу вод її приток та скидів стічних і зворотних вод. А якість води на виході приток, у свою чергу, змінюється внаслідок впливу вод приток цієї притоки та скидів стічних і зворотних вод у неї ж. Отже, пропонується моделювати якість вод спочатку у притоках річки, а потім — у головній річці. Далі результат моделювання слід порівнювати з експериментальними даними. Якщо дані не збігаються, то — проводити розрахунки спочатку якості води у головній річці, а потім — у її притоках. Таким чином, можна паралельно обчислювати на різних комп'ютерах моделі для різних приток однієї річки. І окремо, на іншому комп'ютері — моделювати якість води у головній річці. Все це дозволяє значно пришвидшити усі розрахунки та розв'язувати дуже складні задачі моделювання та прогнозування якості вод у розгалуженій річкової системі за умов невизначеності або розмитості багатьох вхідних даних, програвати різні сценарії зміни стану вод та їх реакцію на різні природні та антропогенні впливи, що сприятиме виробленню науково обґрунтованих оптимальних управлінських рішень.

Для реалізації проведено випробування даного підходу на комп'ютерному кластері Вінницького національного технічного університету (10 машин по 2 Гб оперативної пам'яті з Celeron Dual-Core 1,6 ГГц і жорсткими дисками по 250 Гб, маршрутизатор зі швидкістю портів 1 Гбіт) для тестового прикладу річкової системи. Випробування продемонстрували високу швидкість розрахунків та перспективу цього підходу.

На основі результатів проведеного моделювання можна навести такі рекомендації щодо підвищення точності моделювання якості води в розгалуженій річкової системі:

На точність моделювання якості вод у річці впливає, перш за все, точність вхідних даних. Тобто, чим точнішими будуть вхідні параметри моделі, тим точніше вона буде відображати реальний стан якості води.

Також на точність моделювання має вплив частота та регулярність вимірювань даних екологічного моніторингу вод. На сьогоднішній день такі вимірювання проводяться рідко, а дані моніторингу подаються усередненими за великий проміжок часу, а такі дані не можуть показати реальний стан якості вод.

Крім того важливо, щоб вимірювання даних щодо стану якості вод проводились якомога ближче до створів моніторингу кількості вод і місць впадання природних вод (приток).

Головним фактором збільшення точності моделювання є збирання максимально точних даних про скиди забруднювальних речовин у річкові системи.

Висновки

Таким чином, запропоновано новий підхід до моделювання якості води у розгалужених річкових системах, який відрізняється від існуючих можливістю паралелізації та прискорення розрахунків з використанням обчислювального кластера. Працездатність підходу підтверджена тестовими випробуваннями.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2007 році [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.menr.gov.ua/cgi-bin/go?node=NAC0NPS>.
2. Мокін В. Б. Математичні моделі та програми для оцінювання якості річкових вод : моног. / В. Б. Мокін, Б. І. Мокін. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. — 152 с.
3. Стибнев Ю. Кластеры, практическое руководство по параллельным вычислениям [Електронний ресурс] / Ю. Стибнев. — Режим доступу : <http://cluster.linux-ekb.info/>.
4. Система прийняття управлінських рішень керівниками водогосподарських організацій для басейну річки Південний Буг з використанням геоінформаційних технологій : метод. посіб. / В. Б. Мокін, Б. І. Мокін та ін.; під ред. В. Б. Мокіна. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. — 244 с.

Рекомендована кафедрою моделювання та моніторингу складних систем

Стаття надійшла до редакції 22.12.10
Рекомендована до друку 12.01.11

Мокін Віталій Борисович — завідувач кафедри моделювання та моніторингу складних систем;
Булига Вікторія Юрїївна — студентка Інституту магістратури, аспірантури та докторантури.
Вінницький національний технічний університет, Вінниця