

УДК 004.942+504.3.054

М. М. ГЕРЦЮК;

В. В. ЖЕБКА, канд. техн. наук,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## АНАЛІЗ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ РІЧОК НЕБЕЗПЕЧНИМИ РЕЧОВИНАМИ

*Розглянуто проблему забруднення річок, основні джерела забруднення та особливості поширення забруднення у разі надзвичайної ситуації. Проаналізовано та визначено особливості програмних продуктів Qual2K, MONERIS, Aquatox. На основі проведеного аналізу наведених програмних продуктів та низки інших встановлено їх спільну загальну проблему — обмеження швидкого опрацювання під час уведення значних масивів змінних даних, зокрема характеристик локації і русла водойм, динаміки прогнозування поширення забруднення, що потребує залучення додаткових служб, часу та коштів для отримання необхідної інформації. Встановлено, що вирішенням цього питання може бути web-додаток RESit. Основною метою цього додатку є вимірювання концентрації в даній точці у разі надзвичайної ситуації. Визначено, що web-додаток RESit може використовуватися службами надзвичайних ситуацій та іншими екологічними службами для забезпечення організаційних заходів, спрямованих на ліквідацію наслідків забруднення води у водоймах, спричинених викидами техногенного та природного характеру.*

**Ключові слова:** забруднення річок; програмне забезпечення; web Qual2K; MONERIS; Aquatox; web-додаток RESit.

### Вступ

Проблема забруднення води річок хімічними речовинами, що потрапляють у водойми з численних промислових та сільськогосподарських підприємств або інших техногенних джерел внаслідок надзвичайних ситуацій, є одним із найактуальніших питань сьогодення, оскільки створюється загроза для здоров'я населення і екології навколишнього середовища.

У надзвичайних ситуаціях дуже важливо передбачити динаміку поширення забруднювача та час, через який його концентрація досягне піку в конкретній точці.

Для обчислення подібних обставин розроблено низку програмних продуктів, а саме: Qual2K, MONERIS, Aquatox.

У даній статті наведено порівняльний аналіз значених моделей із web-додатком RESit, що прогнозує забруднення за умов надзвичайних ситуацій.

### Qual2K

Qual2K є одновимірною модельованою структурою для імітування якості води у річках і водотоках.

Модель Qual2K має такі особливості:

1. Одновимірне відношення: канал добре «перемішаний» по вертикалі й упоперек.
2. Розгалуження: система може містити основну течію річки з розгалуженими притоками.
3. Стабільна гідравліка: моделюється нерівномірний стійкий потік.
4. Добовий баланс тепла: баланс тепла і температура моделюються як функція метеорології на добову шкалу часу.
5. Кінетика якості води за добу: всі змінні якості води моделюються на добову шкалу часу.
6. Внески тепла і маси: моделюються точкові і неточкові навантаження та відбори витрат води.

Усі операції інтерфейсу запрограмовано в Microsoft Office макромовою Visual Basic for Applications. Для прискорення швидкості виконання розрахунки впроваджено в Fortran 90.

З погляду проведення обчислення Qual2K є Excel-файлом, що запускає макрос та відшукує результат, застосовуючи формули та значення, занесені в конкретні комірки Excel-листа.

Результатом є також окремий Excel-лист, який може будувати графіки за даними вимірювань [1].

Обчислення характеристик виконуються розрахунком потоку води на відрізок притоку і витoku води.

Модель сприймає річку як набір відрізків добре «перемішаного» по вертикалі і горизонталі русла з постійними характеристиками, зокрема шириною, похилом, висотою дна та ін., як із притоками, так і без них, а також наявність водоспадів [2].

Програма здатна визначати якість води, враховуючи значну кількість показників: метеорологічні чинники, розгалуження русла, стаціонарну гідравліку, точкові і неточкові навантаження, витрати та кінетику якості води за часовою шкалою, наявність донних водоростей.

Стосовно хімічних аспектів модель досліджує масообмін таких біогенних сполук, як розчинений кисень, органічний азот, аміачний азот, органічний фосфор, неорганічний фосфор, загальний, органічний та неорганічний вуглець, рН, може модулювати виділення вуглецевого БПК, аноксію, взаємодію осад-вода, вимирання світла, патогени.

Для кожного з цих компонентів наводяться диференціальні рівняння, які враховують кінетику нагромадження і розкладання цих сполук у природному середовищі річки [1].

## MONERIS

**MONERIS** — це напівемпірична концептуальна модель для розрахунку викидів органічних речовин через різні точкові та дифузні шляхи до басейнів річок, утримання їх у потоці, що дає змогу кількісно оцінювати навантаження на масштаб водозбору. Модель використовує мову VBA.

Цю модель було розроблено, аби задовольнити такі цілі:

- ідентифікацію джерела викидів поживних речовин на регіональній основі;
- аналіз міграції та утримання поживних речовин у річкових системах;
- забезпечення структури для вивчення альтернатив управління.

Основою розрахунку є масообмін азоту і фосфору у воді, що є головними маркерами органічних сполук.

Модель бере до уваги природний фон азоту і фосфору, вигоди з комунальних очисних споруд, промислові скиди, застосування добрив, атмосферне осадження азоту на орних землях та інших територіях, надходження речовин із підземних вод, ерозію через дренажні труби, викиди з міських територій.

Шляхи і підходи стосовно джерел є необхідною умовою для вжиття заходів щодо зменшення неточкових викидів та викидів у точці-джерелі, які обчислюються окремо для різних видів землекористування.

Для розрахунку в системі застосовується найменші аналітичні одиниці моделювання, що охоплюють гідрологічні водозбори на основі топографії розміром не менш як 50 км<sup>2</sup>, за мінімального розміру просторової роздільної здатності не менш як 1 км<sup>2</sup>.

MONERIS є інструментом для вирішення наукових і політичних аспектів управління річковими басейнами для підтримання належної якості вод, уможливаючи диференціювання викидів органічних забруднювачів у річкові системи за регіонами, що можна унаочнити на картах, створених ГІС [3].

## Aquatox

**Aquatox** — це екосистемна модель, яка прогнозує розподіл різних типів забруднювачів води не тільки у водоймах, а й наслідки їхнього впливу на елементи водної екосистеми, зокрема риби, безхребетні, водяні рослини.

Aquatox можна застосовувати для оцінювання розподілу вмісту кількох забруднювачів, із визначенням найбільш вагомого впливу певного забруднювання на біологічне порушення з подальшим прогнозуванням оцінки потенційних реакцій, ризиків, часу, необхідного для зменшення навантаження на відновлення водної екосистеми.

За своїм принципом Aquatox імітує міграцію хімічних речовин із однієї частини екосистеми

до іншої. Це здійснюється за допомогою методу, відомого як процес або механістична модель, що ґрунтується на паралельному обчисленні кожного з найбільш вагомих хімічних або біологічних процесів для кожного періоду моделювання.

Даний метод може прогнозувати прямий і непрямий вплив хімічних речовин на водну флору і фауну із встановленням причинно-наслідкових зв'язків між якістю води, біологічною реакцією та використанням водних ресурсів, оцінювання потенційних реакцій екосистем на зміну клімату, визначення впливу на зміни землекористування.

За результат модель бере обчислення таких екологічних прогнозів, як кругообіг органічних речовин, динаміку зміни вмісту кисню, викиди фосфору з анаеробних відкладень, осадження кальцію та видалення фосфору в лужних умовах, розкладання органічних токсинів у воді, вплив цих речовин на біоту, біоконцентрацію і біоаккумуляцію, відкладення, хімічні перетворення.

Модель може бути використано для вирішення широкого кола питань, пов'язаних із хімічним і фізичним середовищем біологічної спільноти [4].

Проаналізувавши описані моделі, доходимо висновку, що вони здатні функціонувати тільки з певними групами сполук і враховувати масообмін речовин деяких класів. Також ці моделі потребують інформації про гідрологічний опис каналу, з яким вони можуть працювати. Для визначення такої інформації необхідно створити спеціальні бази даних на основі вимірювань конкретних річок відповідно до даних характеристик.

Ці програми мають певну сферу застосування, тому специфіка даних програмного забезпечення унеможливує їх швидке використання в надзвичайних ситуаціях. З огляду на ці факти важливим завданням є питання зі створення моделі та прототипу програми, що дозволить оперативно прогнозувати розподіл високотоксичних речовин у надзвичайних ситуаціях.

**Проблематика.** Окрім усіх зазначених моделей існують інші моделі, що прогнозують наслідки забруднення водойм і можуть бути використані як для стандартних спостережень, так і для моделювання надзвичайних ситуацій. Але всіх об'єднує проблема обмеження швидкого опрацювання в разі введення значних масивів змінних даних, зокрема характеристики локації та русла водойм, динаміки прогнозування поширення забруднення, що вимагає залучення додаткових служб, часу і коштів для отримання необхідної інформації.

## Web-додаток RESit

Вирішенням цього питання може бути web-додаток RESit. Головною метою цього додатку є вимірювання концентрації в даній точці у випадках надзвичайної ситуації, наприклад викиду речовин у русло річки. За основу математичного принципу

додатку береться дисперсійне рівняння Фіка, виведене Тейлором [5], та математичне сподівання:

$$\frac{dC}{dt} + u \frac{dC}{dx} = K_x \frac{d^2C}{dx^2}.$$

Для більш детального обчислення використовуються гідрологічні формули, які Харві І. Джобсон описав у своїй праці «Прогнозування часу подорожей і поздовжньої дисперсії в річках і струмках» [6], де, ґрунтуючись на введених константних і ситуаційних даних, розраховують пікову концентрацію забруднювача в конкретній точці моніторингу та динаміку зміни концентрації в часі. Це дає можливість не тільки оцінити, а й спрогнозувати наслідки забруднення води під час скидання забруднювальних речовин у водойму.

Система складається з таких модулів: автентифікатор, процесинг мап, математичне ядро, ковзне вікно вхідних даних, показник результатів і підімкнення бази даних.

За дизайном web-додаток має вигляд мапи з нанесеними точками моніторингу (рис. 1).



Рис 1. Вигляд web-додатку

Результати обчислень можна подати у вигляді графіка, де вісь  $X$  — це час, а вісь  $Y$  — концентрація забруднювача, та у вигляді таблиці з результативними характеристиками точок (рис. 2).

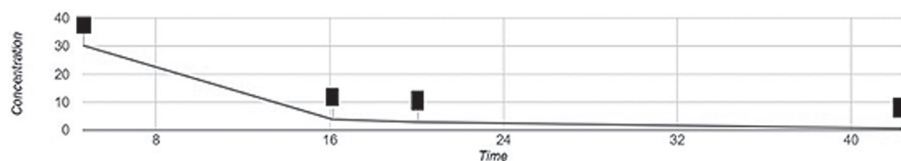


Рис 2. Графік із результатами

Модель є точковою та сприймає водойму як русло, поділене на окремі точки моніторингу, що мають описані для конкретної точки константні параметри, які можна зберегти у базі даних із подальшим перевикористанням. Модель конкретної точки являє собою географічні координати і гідрологічні характеристики, такі як площа водозбору, вища за течією, відстань від попередньої точки та середні показники витрати води.

До константних параметрів належать середні дані витрати води, площа водозбору та дистанція від точки моніторингу до певної обраної точки.

Змінними параметрами, що потребують уведення, є поточні витрати води в точках моніторингу і кількість скинутого забруднювача без урахування його хімічної структури та джерела надходження.

При цьому позначається точка, біля якої стався розлив забруднювача, та точка, до якої потрібно в обчислення ввести всі точки за маршрутом русла, а константні дані братимуться з бази даних, чого цілком достатньо для оцінювання рівня забруднення водойм у конкретній точці.

### Висновок

Описано математичні алгоритми, загальні принципи побудови та архітектури, географічний і фізичний аспекти розробленої моделі web-додатку. Архітектура web-додатку є розширюваною і гнучкою завдяки поділу системи на окремі модулі, що мають свою власну роль і власну логіку. Існують

також зовнішні бібліотеки, які спрощують код і роблять його більш читабельним, а отже, підтримуваним. Ці характеристики та зазначені принципи дають можливість урахувати специфічну логіку,

що використовується в системі моделі. Точність та гідрологічні формули, закладені в основу моделі, забезпечуються конкретними даними, на які слід зважати під час калібрування web-додатку.

Математичне подання web-додатку демонструє математичну залежність моделі від результатів обчислення. З огляду на це можна констатувати відповідність моделі web-додатку завданням програмування.

Таким чином, web-додаток RESit може бути застосований службами надзвичайних ситуацій та іншими екологічними службами для забезпечення організаційних заходів, спрямованих на ліквідацію наслідків забруднення води у водоймах, спричинених викидами техногенного та природного характеру.

#### Список використаної літератури

1. Chapra S., Pelletier G., Tao H. *QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality* // Documentation. 2012.

2. Загорчєвний М. В. Загальні принципи моделювання річкових систем з використанням про-

грами «Qual2k» (на прикладі верхньої і середньої течії р. Дністер) // *Техногенна екологічна безпека та цивільний захист*. 2011. Вип. 3.

3. *The model system MONERIS. User's Manual* / H. Behrendt, M. Venohr, U. Hirt [et al.]. 2007. 99 p.

4. *AQUATOX. Linking water quality and aquatic life* // *Technical Documentation [Electronic resource]*. URL:

<https://www.epa.gov/ceam/aquatox>

5. Harvey E. Jobson. *Prediction of Traveltime and Longitudinal Dispersion in Rivers and Streams*. 69 p.

**Рецензент:** доктор техн. наук, професор В. В. Онищенко, Державний університет телекомунікацій, Київ.

Н. М. Герцюк, В. В. Жебка

#### АНАЛИЗ ПРОГРАМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕК ОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Рассмотрена проблема загрязнения рек, основные источники загрязнения и особенности распространения загрязнения в случае чрезвычайной ситуации. Проанализированы и определены особенности программных продуктов Qual2K, MONERIS, Aquatox. На основе проведенного анализа приведенных программных продуктов и ряда других установлена их совместная общая проблема — ограничение быстрой обработки при введении значительных массивов переменных данных, таких как характеристики локации и русла водоемов, динамика прогнозирования распространения загрязнения, требующая привлечения дополнительных служб, времени и средств для получения необходимой информации. Установлено, что решением этого вопроса может быть web-приложение RESit. Основной целью этого приложения является измерение концентрации в данной точке в случаях чрезвычайной ситуации. Определено, что web-приложение RESit может использоваться службами чрезвычайных ситуаций и другими экологическими службами для обеспечения организационных мероприятий, направленных на ликвидацию последствий загрязнения воды в водоемах, вызванных выбросами техногенного и природного характера.

**Ключевые слова:** загрязнение рек; программное обеспечение; web Qual2K; MONERIS; Aquatox; web-приложение RESit.

М. М. Hertsjuk, V. V. Zhebka

#### ANALYSIS OF SOFTWARE FOR FORECASTING POLLUTION OF RIVERS BY DANGEROUS SUBSTANCES

The article analyzes the problem of river pollution, the main sources of pollution and the peculiarities of pollution distribution in an emergency. The peculiarities of Qual2K, MONERIS, Aquatox software products are analyzed and determined. Based on the analysis of the aforementioned software products and several others, their common common problem is identified — limitation of rapid processing with the introduction of large arrays of variable data, such as location characteristics and reservoirs, dynamics of forecasting the spread of pollution, which requires the involvement of additional services, time and money to obtain necessary information. It is determined that the solution to this issue is the RESit web application. The main purpose of this appendix is to measure concentration at a given point in cases of emergency, such as the discharge of substances into a river bed. The basis of the mathematical principle of the application is the Fick variance equation derived by Taylor and mathematical expectation. It is established that the hydrological formulas introduced by Harvey I. Jobson are used to calculate the peak concentration of the pollutant at a specific monitoring point and the dynamics of changes in concentration over time based on the entered constant and situational data. This makes it possible not only to evaluate, but also to predict the effects of water pollution on the discharge of pollutants into the reservoir. The model is a point and perceives the reservoir as a bed divided into separate monitoring points, with constant parameters described for a specific point, which can be stored in the database and reused. The method of work of web-application is described. Comparative analysis of Qual2K, MONERIS, Aquatox software products with the RESit web application, which predicts pollution in emergencies, is presented. It is determined that the RESit web application can be used by emergency services and other environmental services to provide organizational measures aimed at eliminating the effects of water pollution in reservoirs caused by man-made and natural emissions.

**Keywords:** river pollution; software; Qual2K web; MONERIS; Aquatox; RESit web application.