

**ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОЛОГІЧНА КІБЕРНЕТИКА**

УДК 681.51

**Є. М. Крижановський**, канд. техн. наук, доц.;**Т. В. Полудненко**, студ.**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОПУСКІВ КАСКАДУ ВОДОСХОВИЩ  
РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ**

*Дістала подальший розвиток технологія автоматизації розрахунку попусків каскаду водосховищ річки Південний Буг шляхом формалізації алгоритму визначення попусків та його програмної реалізації з використанням сучасних ГІС-технологій та технологій баз даних. Продемонстровано функціональність розробленого теоретичного апарату та програмного забезпечення на прикладі розрахунку попусків каскаду водосховищ річки Південний Буг для забезпечення екологічного попуску в районі с. Олександрівка.*

**Постановка задачі**

Рациональне управління каскадом водосховищ дозволяє уникнути проблеми розрахунку попусків водосховищ для регіону басейну р. Південний Буг. Тут враховується велика кількість факторів, які потрібно задовольнити, оскільки маловодність річки несе не менші негативні наслідки, ніж паводок. Низький рівень води (нижчий за екологічний) призводить до руйнування екосистеми річки. Крім того, такий рівень має забезпечувати вимоги водопостачання та промислового водовикористання, задовольняти вимоги гідроенергетиків для отримання максимального видобутку енергії. Оптимальний річковий потік необхідний і для того, щоб забезпечити постачання води для інших водокористувачів, наприклад, для того, щоб розбавити забруднення, які скидаються у поверхневі води регіону. Особливо необхідно забезпечити відповідність довідкової інформації у базі даних системи реальним даним, оскільки зміна ландшафту, клімату та погіршення екологічного стану території значно змінює проектні дані по водосховищах [1].

У світовому досвіді використовуються програмні продукти призначені для моделювання гідрологічних процесів. До них можна віднести: MIKE SHE, MIKE URBAN (MIKE NET, MOUSE), MIKE 11, MIKE 21. Розробник цього програмного забезпечення — DHI Water & Environment (Данія). Їх основне призначення — моделювання гідрологічних процесів, що відбуваються в межах земної фази гідрологічного циклу (поверхневий та ґрунтовий стік), врахування руху поверхневих і ґрунтових вод, поширення забруднень по ньому, зв'язок між поверхневими і ґрунтовими водами [2]. Проте, ці програмні продукти не містять інструментарію для автоматизованого розрахунку попусків каскаду водосховищ. Тому для забезпечення оперативності розрахунку попусків актуальною є задача його автоматизації.

**Розв'язання задачі**

Для розв'язання поставленої задачі були використані «Правила використання водних ресурсів басейну річки Південний Буг», розроблені ВАТ «Укргідропроєкт» у 2009 році. Картографічною та інформаційною основою є геоінформаційна система басейну річки Південний Буг, розроблена у Вінницькому національному технічному університеті на замовлення Держводагенства України (2005—2006 рр.), введена у Басейнове управління водних ресурсів річки Південний Буг (БУВР річки Південний Буг) [3].

Вхідними даними для розрахунків попусків є значення рівнів спрацювання у водосховищах, в яких може здійснюватись такий попуск і дані про які надаються диспетчерові за телефонним запитом. В першу чергу, визначається прогнозне значення витрат у нижньому б'єфі Олександрівського водосховища, яке має задовольняти вимоги щодо мінімального екологічного попуску, тобто рівня, нижче якого можливі негативні наслідки для екосистеми р. Південний Буг, розташованої нижче за течією. У випадку, якщо обсягу води в Олександрівському водосховищі недостатньо для задово-

лення таких вимог без порушення технологічних вимог щодо належного функціонування комплексу споруд Олександрівського гідровузла, додатково визначаються попуски води із вищеразташованого каскаду водосховищ.

Формалізуємо задачу розрахунку попусків каскаду водосховищ у загальному вигляді.

Попуск проводиться у випадку виконання умови:

$$W_{norm} - W_{real} > 0, \quad (1)$$

де  $W_{norm}$  — це санітарні витрати водосховища;

$W_{real}$  — фактичні витрати.

Для розрахунку попуску з конкретних водосховищ слід врахувати:

1)  $dist$  — віддаленість від Олександрівського гідровузла, оскільки першим здійснюється попуск із найменш віддалених від нього водосховищ;

2)  $V$  — об'єм допустимого спрацювання кожного водосховища;

3)  $t$  — час проходження води до Олександрівського гідровузла;

4)  $pr$  — пропускну здатність гідровузлів [4].

Структурна схема каскаду водосховищ річки Південний Буг показана на рис. 1.

Основними критеріями оптимізації для розрахунку попусків каскаду водосховищ є: попуск з найменш віддалених водосховищ та максимально можливий об'єм попуску з кожного водосховища:

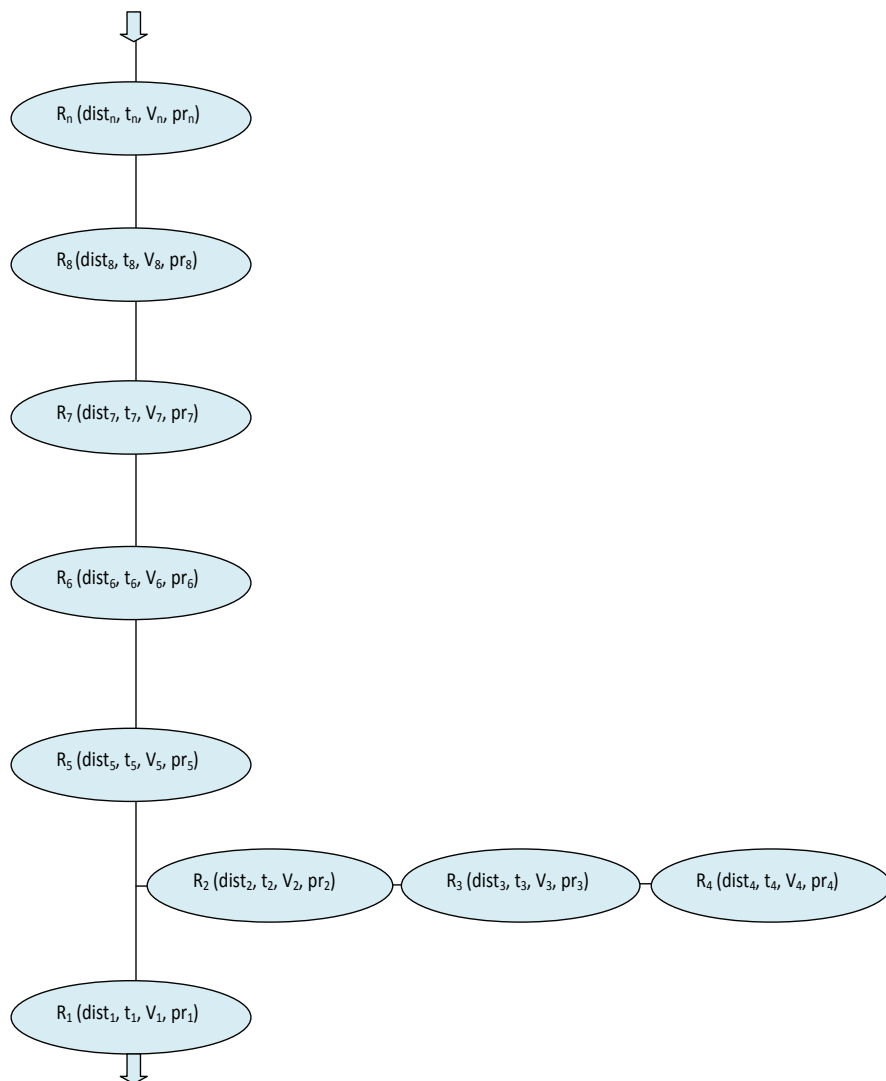


Рис. 1. Структурна схема каскаду водосховищ річки Південний Буг

$$V_n \rightarrow \max. \quad (3)$$

Необхідний загальний попуск розраховується таким чином:

$$\sum_{i=1}^n \Delta V_i = \Delta V, \quad (4)$$

де  $\Delta V_i$  — це допустимий об'єм спрацювання  $i$ -го водосховища

Для розрахунку рівнів попусків водосховищ, що відповідають об'ємам випущеної води використовуються криві перерахунку рівнів та об'ємів води у водосховищах каскаду (рис. 2).

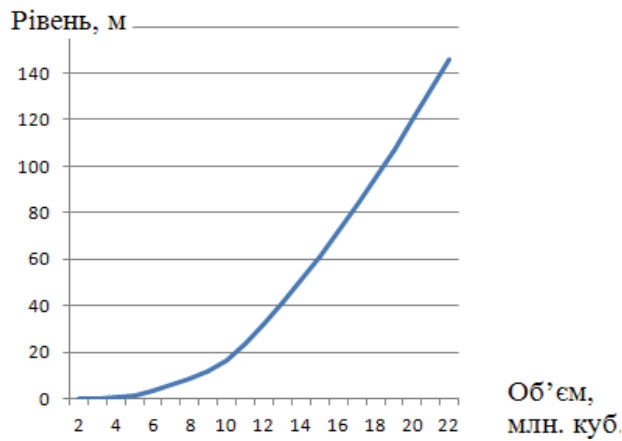


Рис. 2. Крива перерахунку рівнів та об'ємів води Олександрівського водосховища

Формалізована задача розрахунку попусків відноситься до класу задач, які розв'язуються методами динамічного програмування знизу, так званими, рекурсивними методами.

Для автоматизації процесу розрахунку попусків пропонується використовувати комплекс програмних засобів, показаний на рис. 3.

База даних системи містить основні дані з правил експлуатації водосховищ Південно-Бузького каскаду, які необхідні для проведення розрахунків попусків: санітарні витрати у гідропостах водосховищ, допустимий об'єм та рівень спрацювання води тощо. Для забезпечення зберігання та оновлення цих параметрів розроблено інформаційну модель бази даних (рис. 4).

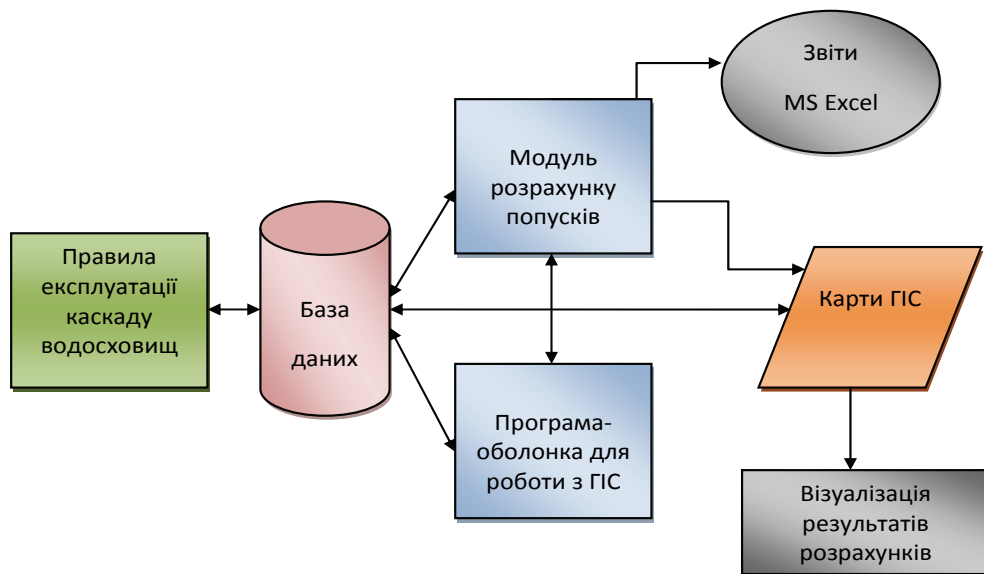


Рис. 3. Структурна схема взаємодії інформаційних складових

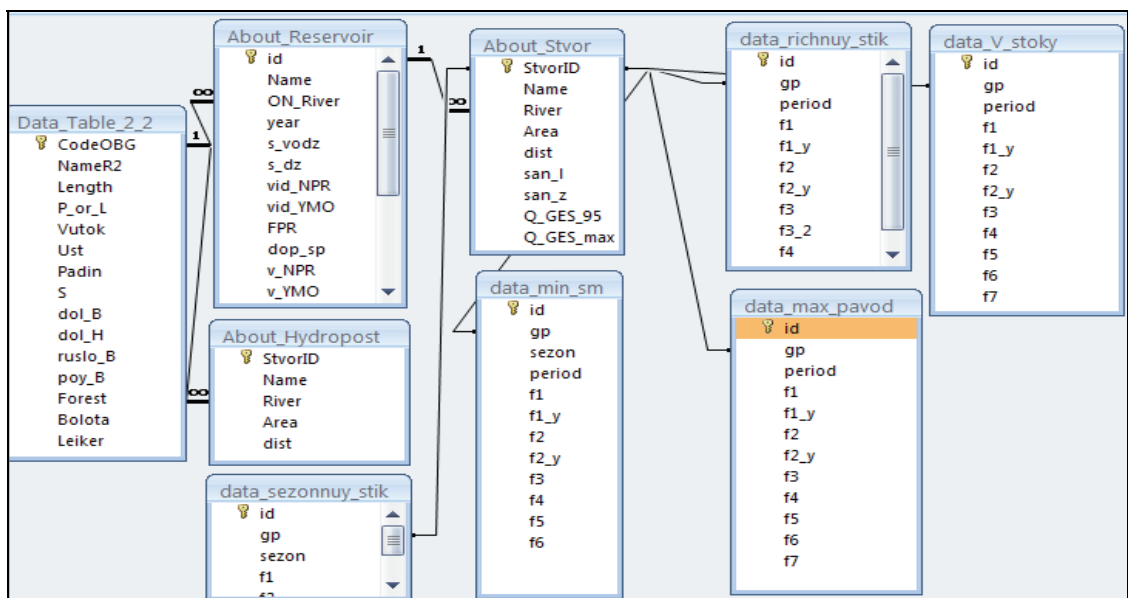


Рис. 4. Інформаційна модель бази даних

Програма-оболонка системи забезпечує одночасну роботу з базою даних системи та електронною картою басейну і містить в своєму складі модуль автоматизованого розрахунку попусків, який забезпечує здійснення розрахунку та виведення результатів у вигляді звіту MS Excel та тематичної карти діаграм. Застосуємо розроблений теоретичний апарат та програмні засоби на практиці.

### Практична реалізація

Створено інструмент автоматизованого розрахунку попусків та інтегровано його у геоінформаційну систему басейну річки Південний Буг (рис. 5). Для здійснення розрахунку задається прогнозоване значення витрат води у водосховищі та період, на який прогнозується це значення витрат. Відмітка «врахувати притоки» означає, що до розрахунку будуть включені водосховища р. Синюха (Новоархангельське, Тернівське, Червонохутірське). Відмітка «максимальний попуск» врахує те, що по каскаду гідровузлів будуть здійснені максимально можливі попуски. В протилежному випадку попуски водосховищ будуть складати половину дозволеного рівня (об'єму). Алгоритм розрахунку враховує принцип пріоритетності попуску із найменш віддалених від Олександрівського водосховищ [1].

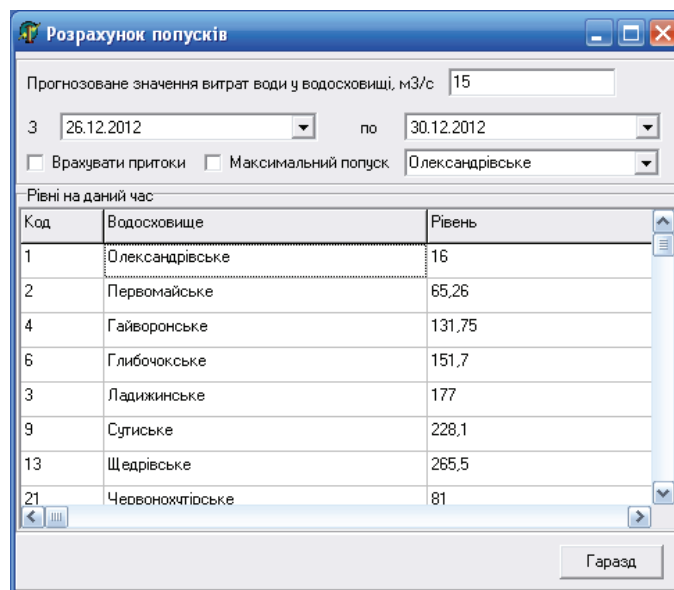


Рис. 5. Інструмент автоматизованого розрахунку попусків

Проблема, головним чином, полягає у наявності достатньої кількості води для Олександрівського водосховища. Санітарні витрати (екологічний попуск) Олександрівського водосховища води становлять  $17 \text{ м}^3/\text{с}$ . Але у маловодні періоди, як виняток, може здійснюватися тимчасове встановлення значення екологічного попуску на рівні  $12 \text{ м}^3/\text{с}$ . Приклад розрахунку попуску за прогнозованого значення витрат води  $15 \text{ м}^3/\text{с}$  та санітарних витратах  $17 \text{ м}^3/\text{с}$  показано на рис. 6.

|   | A                 | B                              | C                     | D            | E               | F |
|---|-------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------|-----------------|---|
| 1 | Назва водосховища | Об'єм спрацювання, млн. куб. м | Рівень спрацювання, м | Дата початку | Дата завершення |   |
| 2 | Олександрівське   | 1,474                          | 0,136                 | 26.12.2012   | 27.12.2012      |   |
| 3 | Первомайське      | 0,254                          | 0,14                  | 23.12.2012   | 24.12.2012      |   |
| 4 | Всього:           | 1,728                          |                       |              |                 |   |

Рис. 6. Розрахунок попуску за прогнозованого значення витрат води  $15 \text{ м}^3/\text{с}$  та санітарних витрат  $17 \text{ м}^3/\text{с}$

Результати розрахунку попуску за прогнозованого значення витрат води  $11 \text{ м}^3/\text{с}$  та санітарних витратах води  $12 \text{ м}^3/\text{с}$  показано на рис. 7, 8.

|   | A                 | B                              | C                     | D            | E               | F |
|---|-------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------|-----------------|---|
| 1 | Назва водосховища | Об'єм спрацювання, млн. куб. м | Рівень спрацювання, м | Дата початку | Дата завершення |   |
| 2 | Олександрівське   | 0,864                          | 0,08                  | 26.12.2012   | 27.12.2012      |   |
| 3 | Всього:           | 0,864                          |                       |              |                 |   |

Рис. 7. Розрахунок попуску за прогнозованого значення витрат води  $11 \text{ м}^3/\text{с}$  та санітарних витрат  $12 \text{ м}^3/\text{с}$

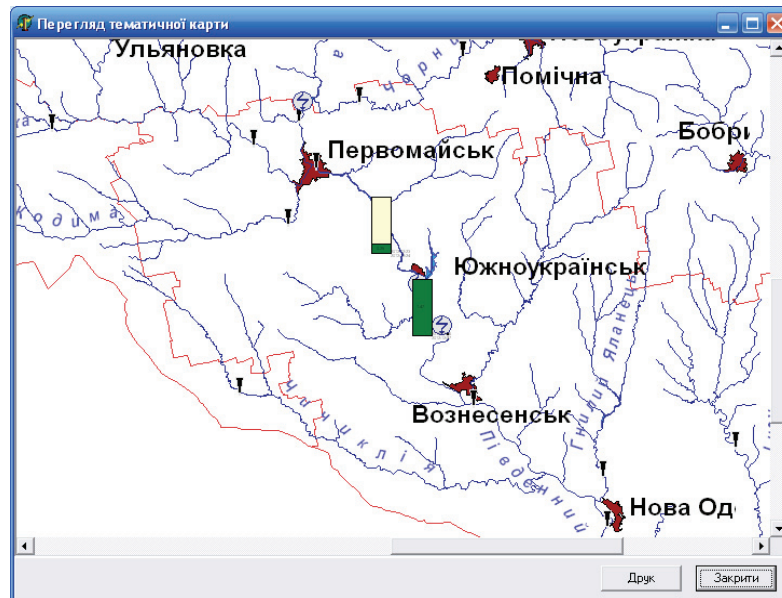


Рис. 8. Результати візуалізації каскадного попуску р. Південний Буг для забезпечення екологічного попуску

Для забезпечення правильності розрахунків необхідно щорічно здійснювати оновлення такої інформації в базі даних системи:

- нормальні підпірні рівні водосховищ;
- рівні узгодженого спрацювання водосховищ;
- повний об'єм;
- об'єм можливого спрацювання;
- санітарні витрати водосховищ.

### Висновки

1. Дістала подальший розвиток технологія автоматизації розрахунку попусків каскаду водосховищ річки Південний Буг шляхом формалізації алгоритму розрахунків попусків та його програмної реалізації.

2. На прикладі розрахунку попусків каскаду водосховищ річки Південний Буг здійснено апробацію розробленого теоретичного апарату та програмного забезпечення.

3. Розроблені засоби автоматизації впроваджені в Басейновому управлінні водними ресурсами р. Південний Буг.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Крижановський Є. М. Інформаційна система для оптимального управління попусками каскаду водосховищ басейну Південний Буг / В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський, В. П. Лепеха // Вплив руйнівних повеней, паводків, небезпечних геологічних процесів на функціонування інженерних мереж та безпеку життєдіяльності : матер. п'ятої наук.-практ. конф., 23—27 лютого 2009 р. — м. Яремче Івано-Франківської обл., НПП «Екологія наука техніка». — 2009. — С. 60—62.
2. Капралов Е. Г. Основы геоинформатики / Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов. — Москва : Академия, 2004. — 480 с.
3. Мокін В. Б. Система підтримки прийняття управлінських рішень керівниками водогосподарських організацій для басейну річки Південний Буг з використанням геоінформаційних технологій / В. Б. Мокін, В. А. Шашук, О. В. Дезірон та ін. ; під ред. В. Б. Мокіна : УНІВЕРСУМ-Вінниця, — 2009. — 244 с.
4. Плешков Я. Ф. Регулирование речного стока / Я. Ф. Плешков. — СПб : Гидрометеиздат, 1975. — 560 с.

Рекомендована кафедрою комп'ютерного еколого-економічного моніторингу та інженерної графіки

Стаття надійшла до редакції 15.02.2013

Рекомендована до друку 4.03.2013

**Крижановський Євгеній Миколайович** — доцент кафедри комп'ютерного еколого-економічного моніторингу та інженерної графіки;

**Полудненко Тетяна Віталіївна** — студентка Інституту екології та екологічної кібернетики.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця