

Є. М. Крижановський¹

А. О. Наюк¹

І. М. Штельмах¹

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ПОБУДОВИ ВОДОГОСПОДАРСЬКОГО БАЛАНСУ ТА ПРАКТИЧНИХ ШЛЯХІВ ЇХ ВИРІШЕННЯ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуті проблеми, які виникають при побудові водогосподарського балансу. Розроблені алгоритми для розрахунку водогосподарського балансу та об'єму стоку водогосподарської ділянки. Для вирішення проблеми відсутності даних запропоновано відновлювати дані за допомогою наявних даних з сусідніх гідропостів. Це дозволить побудувати більш точний водогосподарський баланс. Формалізовано алгоритми для розрахунку водогосподарського балансу, а також об'єму стоку водогосподарської ділянки, який включає можливість розрахунку стоку за даними сусідніх гідропостів, в разі такої необхідності. Проаналізовані різні типи апроксимацій для побудови кривих водозабезпеченості на основі даних гідрологічних спостережень.

Ключові слова: водогосподарський баланс, об'єм стоку, аналіз.

Abstract

The problems that arise when constructing a water management balance are considered. Algorithms for calculating the water management balance and the volume of runoff of a water management area are developed. To solve the problem of the lack of data, it is proposed to restore the data using available data from neighboring hydro stations. This will allow building a more accurate water management balance. Algorithms for calculating the water management balance, as well as the volume of runoff of a water management area, which includes the possibility of calculating the runoff according to data from neighboring hydro stations, if necessary, are formalized. Different types of approximations have been analyzed for constructing water availability curves based on hydrological observation data.

Keywords: Water management balance, runoff volume, analysis.

Вступ

Водні ресурси забезпечують життєдіяльність, але їхнє надмірне використання та забруднення створюють серйозні екологічні проблеми. Особливо гострою ця проблема стає в умовах зростаючого їх дефіциту. З огляду на збільшення дефіциту водних ресурсів, забруднення водойм та зміни клімату, питання раціонального використання води набуває особливої актуальності.

Водокористування пов'язане з певними труднощами, такими як: нерівномірний розподіл ресурсів, зміни клімату та забруднення, що потребують комплексних підходів до управління. З метою забезпечення раціонального використання води, підтримання екологічної рівноваги, мінімізації наслідків екстремальних погодних умов, формування ефективних політик управління водними ресурсами необхідна побудова та прогнозування водогосподарського балансу.

Метою даного дослідження є аналіз проблем та розробка алгоритмів розрахунку водогосподарського балансу та об'єму стоку, який формується на водогосподарській ділянці при відсутності на ній гідропостів із достатньою кількістю даних, що дозволить формалізувати існуючі методи розрахунків.

Актуальність дослідження

Питання раціонального використання водних ресурсів є одним з пріоритетних у світовій практиці. Багато країн та міжнародних організацій розробляють і впроваджують різноманітні інструменти та методи для управління водними ресурсами. В Україні також активно проводяться дослідження в цій галузі, проте існують певні труднощі при впровадженні теоретичних підходів на практиці. Зокрема, актуальним залишається питання автоматизації розрахунку водогосподарського балансу та використання сучасних інформаційних технологій.

Існує досвід різних країн світу та організацій, які приділяють увагу питанням розрахунку водогосподарського балансу, наприклад, Водна рамкова директива ЄС та інші профільні рамкові документи [1], що розглядають питання збалансованого використання водних ресурсів. В Україні були створені “Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної рамкової директиви ЄС” [2].

Проблеми побудови водогосподарського балансу

Існує декілька суттєвих проблем, які виникають при побудові водогосподарського балансу. Автори монографії [5] виділяють проблемні питання, які перераховані нижче.

Виникають труднощі при визначенні таких складових водогосподарського балансу, як: поверхневий приплив, що є основним елементом прибуткової частини балансу, та зменшення стоку річки. Лише невелика кількість водогосподарських ділянок серед всіх районів річкових басейнів України обмежені створами гідрологічних постів. Частина ділянок взагалі не мають діючих постів. Зменшення стоку річки виникає через зв'язність водойми з підземними водами. Відповідно, для побудови водогосподарського балансу необхідно знати частку підземного живлення у величині стоку певної річки. Ця задача вирішується побудовою типового гідрографа і потребує додаткових інженерно-гідрологічних розрахунків.

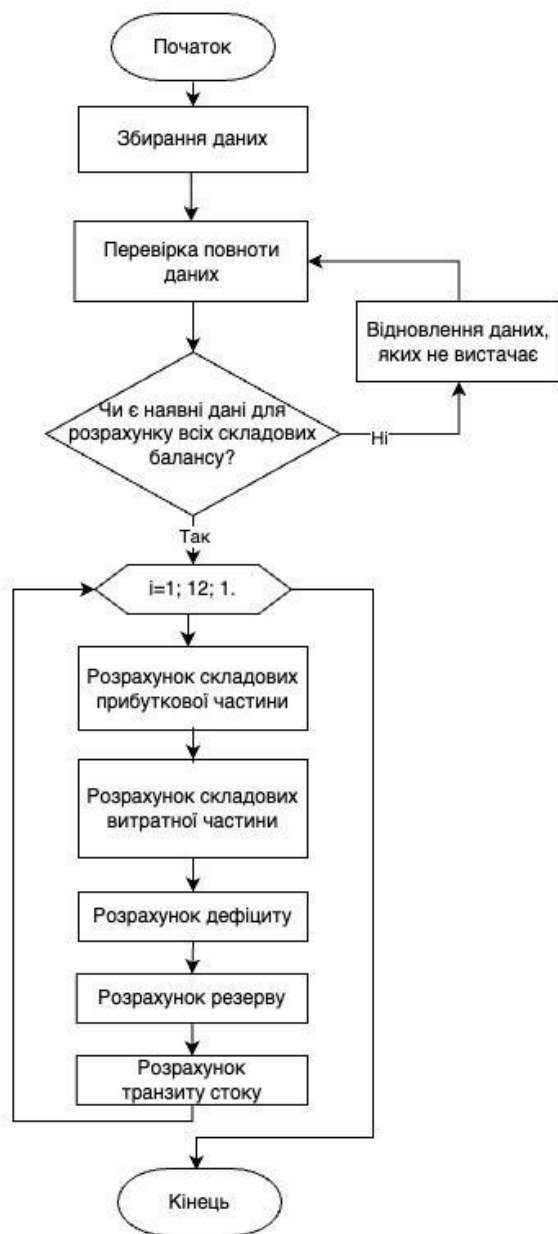
Необхідні додаткові розрахунки для врахування кліматичних змін при складанні перспективних водогосподарських балансів. Врахування впливу цих змін на величини стоку в розрахункових створах є обов'язковим при проведенні інженерно-гідрологічних розрахунків.

Також, однією з головних проблем є відсутність автоматизованих засобів збору даних. База Держводагенства України надає можливість отримати окремі складові водогосподарського балансу, такі як: обсяг водозаборів та скидів води, перекидання стоку за межі водогосподарської ділянки, дотаційний обсяг води, що надходить до водогосподарської з інших ділянок. Але відсутній належний рівень автоматизації цих процесів.

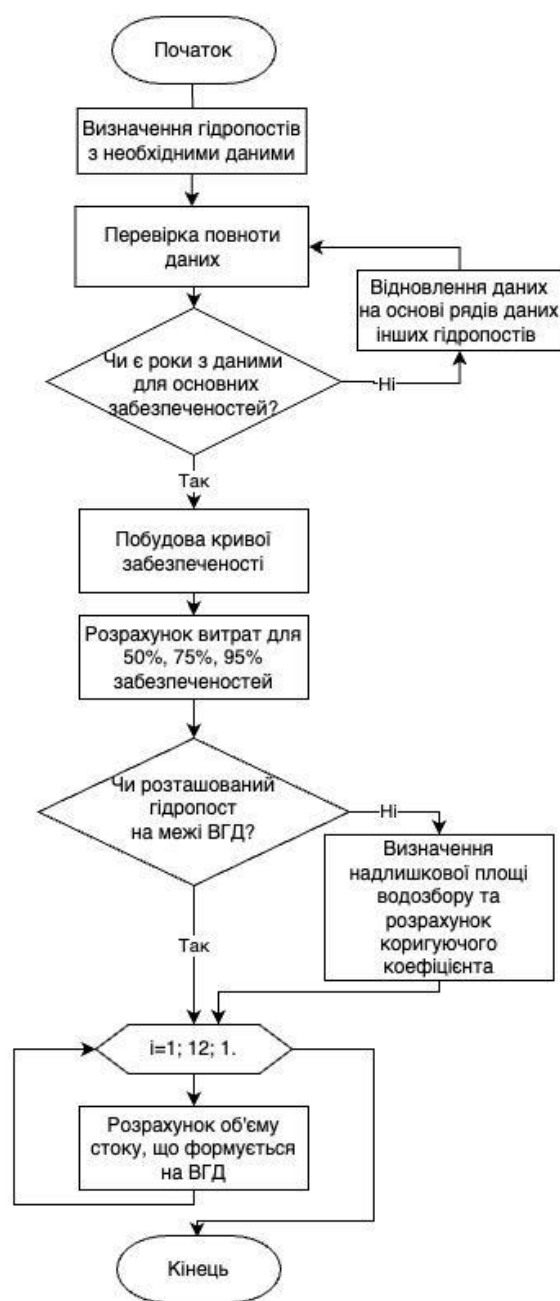
Ще однією проблемою є побудова кривої забезпеченості, оскільки дані гідрологічних спостережень можуть бути достатньо різні та коливатись із різною інтенсивністю і амплітудою. Дослідження авторів монографії [5] по більшості гідропостів України показали, що для апроксимації цих даних достатньо використати поліном 2-го чи 3-го порядку, але не завжди поліноміальна апроксимація може описати криву забезпеченості з необхідною точністю.

Результати дослідження

На основі проаналізованих проблем побудови водогосподарського балансу та для вирішення проблеми недостатньої кількості гідрологічних постів запропоновані алгоритми розрахунку водогосподарського балансу та об'єму стоку, що формується на водогосподарській ділянці. Це дозволить покращити існуючі методи розрахунків. На рисунку 1 зображені блок-схеми обох алгоритмів.



а)



б)

Рис. 1. Блок-схеми алгоритмів: а) для розрахунку водогосподарського балансу; б) для розрахунку об'єму стоку водогосподарської ділянки

Початковим кроком для розрахунку водогосподарського балансу певної водогосподарської ділянки є збір даних за деякий проміжок часу (рис. 1а). Як правило, водогосподарський баланс розраховується за водогосподарський рік. При відсутності якихось даних необхідно виконати відновлення. Наприклад, за інформацією з попередніх років чи за даними з суміжних водогосподарських ділянок. Після цього виконується розрахунок всіх складових водогосподарського балансу за кожен місяць: прибуткова частина, витратна частина, дефіцит та резерв і транзит стоку.

Для розрахунку об'єму стоку, що формується на водогосподарській ділянці, виконується перевірка повноти даних для кожного гідропоста на ділянці (рис. 1б). При відсутності даних для основних забезпеченостей виконується відновлення даних на основі рядів даних інших гідропостів. Після цього будується крива забезпеченості та виконується розрахунок витрат для основних рівнів забезпеченості (50% – середній рік за водністю, 75% – середньо-маловодний, 95% – дуже маловодний). Для гідропостів, які розташовані не на межі водогосподарської ділянки, визначається надлишкова площа водозабору та розраховується коригуючий коефіцієнт. Це необхідно для підвищення точності прогнозування середньомісячних витрат води відносно середньобагаторічного значення. Останнім кроком є розрахунок об'єму стоку за кожен місяць.

З метою визначення найкращого способу апроксимації для кривої забезпеченості було проаналізовано три типи апроксимацій: поліноміальна 3-го та 4-го порядків, логарифмічна та експоненціальна. Були проаналізовані гідрологічні спостереження двох гідропостів “р. Кача (с. Суворове)” та “р. Берда (с. Опипенко)”. Дані витрат по р. Кача достатньо коливаються, а р. Берда – більш плавні.

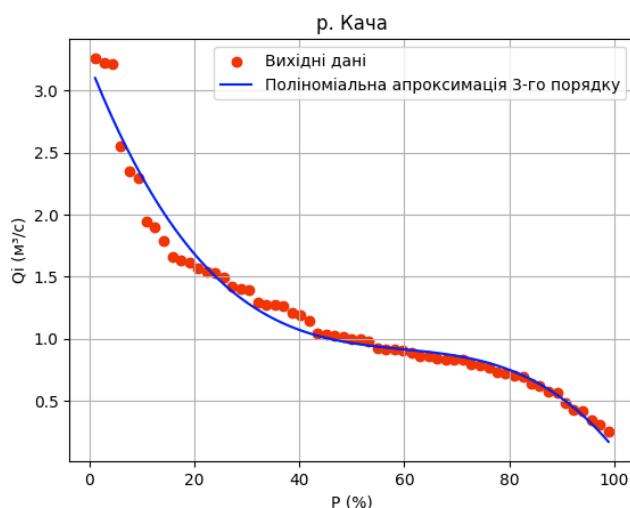


Рис. 2. Графік поліноміальної апроксимації 3-го порядку для кривої забезпеченості р. Кача

Таблиця 1. Середньоквадратична похибка для кожного з типів апроксимацій для кривої забезпеченості р. Кача

Тип апроксимації	Середньоквадратична похибка
Поліноміальна 3-го порядку	0.012890
Логарифмічна	0.013388
Експоненціальна	0.043233

Найменшу середньоквадратичну похибку для даних р. Кача дає поліноміальна апроксимація (рис. 2) у порівнянні з логарифмічною та експоненціальною.

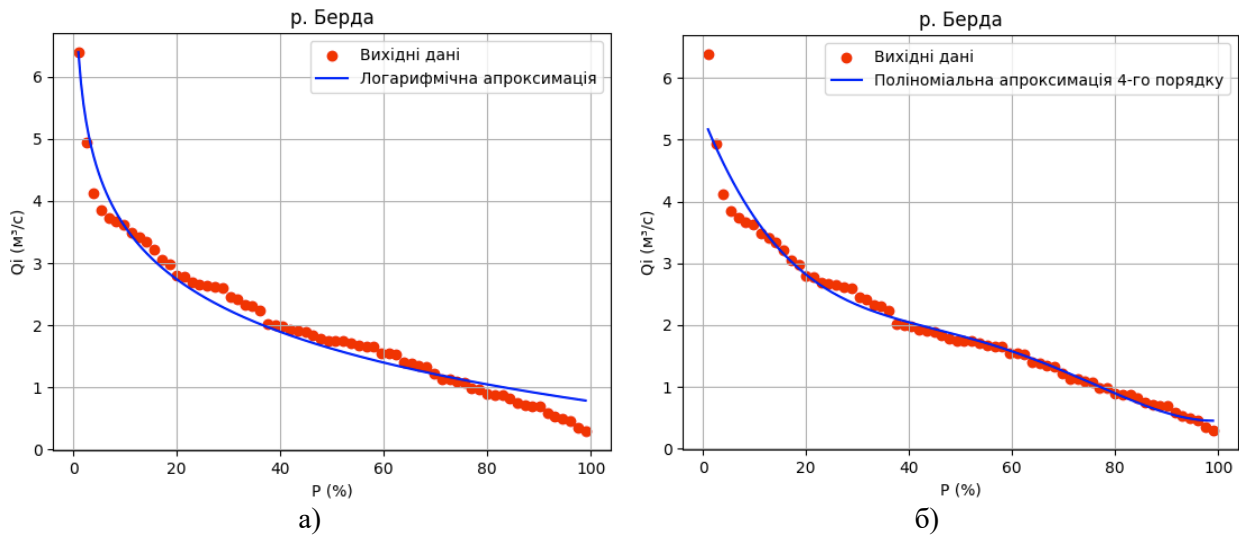


Рис. 3. Графік апроксимацій для кривої забезпеченості р. Берда: а) логарифмічна; б) поліноміальна 4-го порядку

Таблиця 2. Середньоквадратична похибка для кожного з типів апроксимацій для кривої забезпеченості р. Берда

Тип апроксимації	Середньоквадратична похибка
Поліноміальна 3-го порядку	0.053663
Поліноміальна 4-го порядку	0.040085
Логарифмічна	0.045639
Експоненціальна	0.080221

Як видно з результатів розрахунків, логарифмічна апроксимація для кривої забезпеченості р. Берда дає меншу середньоквадратичну похибку у порівнянні з поліноміальною 3-го порядку та експоненціальною апроксимацією. Але якщо збільшити порядок полінома до 4-го, тоді вже поліноміальна апроксимація дає найкращий результат.

Висновки

У роботі були розглянуті проблеми, які виникають при побудові водогосподарського балансу. Розроблені та формалізовані алгоритми для розрахунку водогосподарського балансу та об'єму стоку водогосподарської ділянки. Запропоновано відсутні дані відновлювати за допомогою наявних даних з сусідніх водогосподарських ділянок чи сусідніх гідропостів. Це дозволить вирішити проблему відсутності даних, наприклад, через недостатню кількості гідропостів, і, як результат, побудувати більш точний водогосподарський баланс.

Для задачі апроксимації кривої забезпеченості проаналізовані три типи апроксимацій: поліноміальна 3-го та 4-го порядків, логарифмічна та експоненціальна. Для деяких ситуацій логарифмічна апроксимація дає кращий результат за поліноміальну 3-го порядку, але якщо необхідна висока точність, тоді достатньо збільшити порядок поліному.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. - Київ, 2006. - 240 с. - Режим доступу: <http://dbuwr.com.ua/docs/Waterdirect.pdf>
2. Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу / В. В. Гребінь, В. Б. Мокін, В. А. Сташук, В. К. Хільчевський, М. В. Яцюк, О. В. Чунарьов, Є. М. Крижановський, В. С. Бабчук, О. Є. Ярошевич. — К.: 2013. — 63 с.
3. План управління річковим басейном Південного Бугу / За ред. С. Афанасьєва, А. Петерс, В. Сташука та О. Ярошевича. — К.: Інтерсервіс, 2014. — 188 с.
4. Мокін В.Б. Автоматизація розрахунку водогосподарського балансу ділянок басейнів річок / В.Б., Мокін, Є.М., Крижановський, А.Р., Ящолт, Л.М, Скорина // Водне господарство України. — 2017. — № 3 (129) — С. 25-30.
5. Методи оцінювання та засоби автоматизації розрахунку складових водогосподарського балансу районів річкових басейнів України: монографія / В. Б. Мокін, В. В. Гребінь, Є. М. Крижановський, – ВІННИЦЯ : ВНТУ, 2023. – 159 с.

Свгеній Миколайович Крижановський – канд. техн. наук, доцент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kruzhan@gmail.com;

Наюк Андрій Олексійович – аспірант кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, anaiuk.stu@gmail.com.

Ігор Миколайович Штельмах – канд. техн. наук, асистент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: igor.shtelmakh@vntu.edu.ua.

Kryzhanovsky, Evgeniy M. – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of System Analysis and Information Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kruzhan@gmail.com;

Nayuk Andriy O. – postgraduate student of the System Analysis and Information Technologies, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, anaiuk.stu@gmail.com.

Shtelmah, Igor M. – candidate of technical sciences, assistant professor of the Department of System Analysis and Information Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: igor.shtelmakh@vntu.edu.ua.