

УДК 628.1:551.46/49

А.Й. Васильєв

Харківський національний технічний університет сільського господарства  
імені П. Василенка, м. Харків

## ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ВОДОСПОЖИВАННЯ

Метою цієї роботи є розробка методологічних підходів до оптимізації водоспоживання, як необхідної умови раціонального водокористування.

**Ключові слова:** раціональне водокористування, оптимізація водоспоживання.

Сучасні підприємства водопостачання – це складні виробничо-технологічні комплекси, що займаються підготовкою, транспортуванням і розподілом води як для потреб населення (питна вода), так і виробничих потреб (технічна вода).

У ряді досліджень [1;2;3] в основному розглядаються практичні аспекти функціонування систем водопостачання. Відсутність узагальнюючих методологічних положень не дозволяє ефективно формувати моделі цього складного виробничого процесу та приймати раціональні управлінські рішення щодо забезпечення оптимального водокористування.

Сучасний процес водопідготовки представляє собою безперервне виробництво з певною постійною послідовністю технологій обробки води. Однак, це виробництво має ряд відмінних особливостей, що впливають на формування схеми управління водоспоживанням. Для їх успішної реалізації необхідна і еколого-економічна оптимізація.

Метою еколого-економічної оптимізації параметрів системи водоспоживання є мінімальна собівартість води, що постачається споживачу. Шляхи досягнення цієї мети залежать від певних обмежень:

1) *оптимізація здійснюється в рамках сформованого процесу водоспоживання, який не підлягає зміні:* не можуть бути змінені параметри законів розподілу якісних показників функціонування системи водоспоживання, де критерієм ефективності є якість води та оптимізація ведеться шляхом коригування номінальних значень конструкційних параметрів системи водоспоживання за критерієм максимальної ймовірності надходження води споживачеві в межах, обумовлених параметром якості; при цьому досягається лише локальний мінімум еколого-економічної собівартості;

2) *при оптимізації припустимі зміни конкретного технологічного процесу щодо забезпечення споживачів водою і використання*

*інших аналогічних процесів, що дозволяють отримати задану якість води, що відповідає нормативним документам:* оптимізація ведеться шляхом зміни допустимих величин технологічних припущень і коригування номінальних параметрів елементів системи водоспоживання за критерієм мінімальної собівартості води. При цьому можна досягти абсолютного мінімуму еколого-економічної собівартості води.

Розглянемо шляхи досягнення еколого-економічної оптимізації параметрів системи водоспоживання для поставки води, що мають один узагальнюючий якісний параметр, за яким визначається її якість. Найчастіше таким параметром є *собівартість при встановлених параметрах якості води.*

Встановимо, що для відповідного фізико-хімічного складу води  $y$  – це узагальнюючий вартісний показник. Межі поля допуску на нього позначимо через  $a$  і  $b$ . Поле допуску будемо розглядати рівноцінним у всіх точках, а придатної будемо вважати воду  $y$  відповідних межах з параметрами, які потрапили в поле допуску.

Будь який стійкий еколого-економічний процес, який забезпечує функціонування системи водопостачання, що забезпечує водою споживачів, характеризується сукупністю (системою) похибок за якістю води і певними імовірнісними характеристиками їх розподілу.

Розкид якісних показників води обумовлює розкид узагальнюючого вартісного показника води. Нехай  $W(y)$  – функція розподілу щільності ймовірності узагальнюючого вартісного параметра води, отримана з урахуванням споживчих особливостей води, що подається на основі залежності, що пов'язує і вартісні, і фізико-хімічні параметри.

Вірогідність одержання води визначеної якості  $Pr(y)$  визначається:

$$Pr(y) = \int_0^b W(y) dy. \quad (1)$$

Слід одержати  $Pr(y) \rightarrow \max$ . Вирішення цього завдання можливо двома напрямками:

1) не змінюючи системи і величини виробничих похибок, можна знайти номінальні параметри води, що подається, щоб площа кривої розподілу  $W(y)$  в межах поля допуску була максимальною;

2) шляхом коригування еколого-економічного процесу змінити систему або величину відхилень якості з подальшим вибором нових номінальних параметрів води, що подається споживачу.

У першому випадку необхідно визначити номінальні параметри води, необхідної споживачеві.

Враховуючи залежність води, що поступає споживачеві від її фізико-хімічних параметрів, можна записати з (1), що ймовірність отримання води визначеної якості споживачеві  $Pr(y)$  буде:

$$Pr(y) = \int_{\dots} \int_{\dots} W(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1, dx_2, \dots, dx_n \quad (2)$$

У (2)  $B$  – область допустимих параметрів зміни фізико-хімічних величин, при яких вихідний вартісний параметр води перебуватиме в межах поля допуску (визначається допусками фізико-хімічних параметрів води, отриманими при параметричній оптимізації).

Функцію  $Pr(y)$  необхідно дослідити на максимум. Для цього достатньо взяти перші похідні від неї за всіма перемінними, прирівняти їх до нуля і, вирішуючи систему отриманих рівнянь, знайти значення  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , при яких будуть виконуватися умови екстремальності (підінтегральна функція визначається як диференційована).

Враховуючи, що фізико-хімічні параметри води і величини їх відхилень задані кількісно, диференціювання здійснимо за додатковою змінною  $\Delta x_j$ , величину якої і будемо визначати:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial(\Delta x_1)} \int_{\min x_1}^{\max x_1} \dots \int_{\min x_n}^{\max x_n} W(x_1 + \Delta x_1) \dots (x_n + \Delta x_n) dx_n = 0 \\ \frac{\partial}{\partial(\Delta x_n)} \int_{\min x_1}^{\max x_1} \dots \int_{\min x_n}^{\max x_n} W(x_1 + \Delta x_1) \dots (x_n + \Delta x_n) dx_1 \dots dx_n = 0 \end{aligned} \right\} (3)$$

Визначивши нові номінальні значення фізико-хімічних параметрів води ( $x_j + \Delta x_j$ ), необхідно змістити і деформувати криву розподілу щільності ймовірності вартісних параметрів з таким розрахунком, щоб площа її в межах поля допуску була якомога більше. Отже, для конкретної системи і величини похибок існують номінальні параметри систем водоспоживання, при яких імовірність надходження води до споживачів за вартісними параметрами максимальна.

Для кожної системи водокористування і величини відхилення якості фізико-хімічних параметрів значення оптимальних номінальних параметрів фізико-хімічних властивостей води будуть своїми, властивими тільки цій системі

водокористування.

Подальше збільшення ймовірності надходження споживачам води з раціональними параметрами можливо шляхом зміни величин відхилень якості фізико-хімічних показників води. Цього можна досягти або коригуванням обраного технологічного процесу поставки води, або пошуком нового аналогічного процесу. Визначальним критерієм доцільності є собівартість води. Її величина залежить від технологічних допусків фізико-хімічних параметрів води, що поставляється.

Експериментальні дослідження показують, що у функції якості фізико-хімічних параметрів води еколого-економічна собівартість поставки води споживачеві, за умови, що кожен фізико-хімічний параметр води залежить від функціонування даної системи водоспоживання, можна записати в наступному виді:

$$S_m = M \delta_\omega^{-N}, \quad (4)$$

де  $M$  та  $N$  – постійні для даного технологічного процесу водоспоживання та умов його здійснення;  $\delta_\omega$  – середньоквадратичне відхилення розмірів топології даного технологічного процесу.

Еколого-економічна собівартість поставок води при невідновлювальних відбраковках води буде

$$C_m = S_m / \beta, \quad (5)$$

де  $S_m$  – технологічна собівартість;  
 $\beta$  – обсяг доставленої води.

Визначити умови мінімуму еколого-економічної собівартості води для даного споживача як функції якості при великій кількості фізико-хімічних параметрів води достатньо складно. На практиці можливі випадки, коли функцію не вдається записати, а залежність еколого-економічної собівартості від якості води описується за допомогою статистичних моделей. Враховуючи характер функції і той факт, що потрібно визначити умови, при яких технологічна собівартість має абсолютний (нелокальний) мінімум, для знаходження цих умов доцільно використовувати метод випадкового пошуку [4]. Цей метод докладно розглядається в інших спеціальних дослідженнях, у даній роботі ми дамо лише короткий його опис.

Нехай необхідно знайти мінімум функції  $C_m(\sigma)$ , де  $\bar{\sigma} = [\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n]$  – деякий  $n$ -мірний вектор, що визначає значення функції. Введемо опис одиничного випадкового  $n$ -мірного вектора  $\bar{\varepsilon} = [\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n]$ , окремі реалізації якого рівновірно розподілені у всьому  $n$ -вимірному просторі. Компоненти цього вектора задовольняють умові  $-1 \leq \varepsilon_i \leq 1$  при  $i = 1, 2, \dots, n$  і нормовані в квадратичному сенсі до одиниці  $\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = 1$ .

Розрізняють такі основні методи випадкового пошуку: сліпий, простий послідовний і адаптивний

послідовний. При сліпому пошуку на кожному кроці пошуку за  $n$ -мірний вектор змінних приймається вектор  $\sigma_m = k \bar{\varepsilon}_m$ , де  $k$  – масштабний коефіцієнт, що визначається можливими змінами вектора  $\bar{\sigma}$ ;  $m$  – номер кроку пошуку. Компоненти вектору  $\bar{\varepsilon}_m$  при сліпому пошуку можуть брати довільні випадкові значення.

При простому послідовному пошуку випадковий вектор  $\bar{\varepsilon}_m$  формується з урахуванням інформації про поведінку функції  $C(\bar{\sigma})$  на  $(m-1)$ -м кроці [5].

Адаптивний послідовний пошук відрізняється від простого тим, що випадковий вектор  $\bar{\varepsilon}_m$  формується з урахуванням інформації про поведінку функції  $C_m(\bar{\sigma})$  протягом усіх попередніх кроків. Ця інформація використовується для двох перетворень: 1) для зміни імовірнісних характеристик, що визначають напрям випадкового вектора  $\bar{\varepsilon}$  в просторі  $n$  перемінних; 2) для зміни масштабного коефіцієнта  $k$ .

У адаптивних алгоритмах вводиться вектор пам'яті  $P_m$ , який вираховується на кожному кроці пошуку по рекурентним співвідношенням. Зміна масштабного коефіцієнта пов'язується функціонально з деякою характеристикою  $\lambda_m$ , що відбиває ступінь наближення значення функції  $C_m(\bar{\sigma}_{m-1})$  до мінімуму.

У загальному виді:

$$\bar{\sigma}_{m-1} = a_m n_m \quad (6)$$

де  $a_m$  – змінений масштабний коефіцієнт;

$n_m = \varphi(\square, P_m)$  – змінений випадковий вектор в системі водоспоживання.

Для практичних розрахунків в системі водоспоживання зазвичай використовуються залежності  $\lambda_m = (m-1)/d$ ;  $a_m = a_0 / r^m$ , де  $r$  – показник ступеня, що залежить від виду функції  $C(\bar{\sigma})$ ,  $r=1-3$ ;  $(m-1)$  – загальне число кроків пошуку;  $d$  – число вдалих кроків пошуку.

Крім того, в будь-який алгоритм послідовного випадкового пошуку вводяться умови закінчення процесу обчислень (наприклад, задається  $\lambda_m$ ). Аналіз, проведений В.А. Петросовим [2], показав, що задовільна точність визначення мінімуму в системі водоспоживання (порядку 1%) досягається при  $\lambda_m = 5 \div 10$ . Визначивши умови глобального мінімуму функції  $C(\bar{\sigma})$  для заданого інтервалу  $y = y_0 \pm \Delta y$ , отримаємо систему технологічних погрішностей  $\sigma_1 \dots \sigma_n$ , оптимальну для даного технологічного процесу водоспоживання і конкретних фізико-хімічних параметрів води. Порівнюючи декілька технологічних процесів

водоспоживання, можна охарактеризувати їх функції технологічної собівартості водозабезпечення в залежності від необхідної якості води (для технологічних потреб металургійного заводу – одна вартість, для санаторію – інша, для зрошення – третя і т.д.), тобто якість води зумовлює її вартість (криві 1,2,3, рис. 1).

Якщо при технологічній оптимізації системи водоспоживання допустима зміна системи і величини технологічних погрішностей фізико-хімічних властивостей стікуємих складових води (наприклад, при її очищенні), то їх розташування в загальній системі водоспоживання дає можливість розрахувати собівартість  $S_m$  за допомогою аналітичної залежності (4). Це обумовлено групувою технологією водоспоживання в Україні. При розрахунку технологічної собівартості води за критерієм узгодження стікуємих хімічних елементів у фізико-хімічну структуру води максимальну величину  $\beta$  у виразі (5) необхідно визначити з (6). Пошуки умов глобального мінімуму для України в цілому необхідно проводити так само, як і для окремої локальної системи водоспоживання в масштабах міста чи мікрорайону.

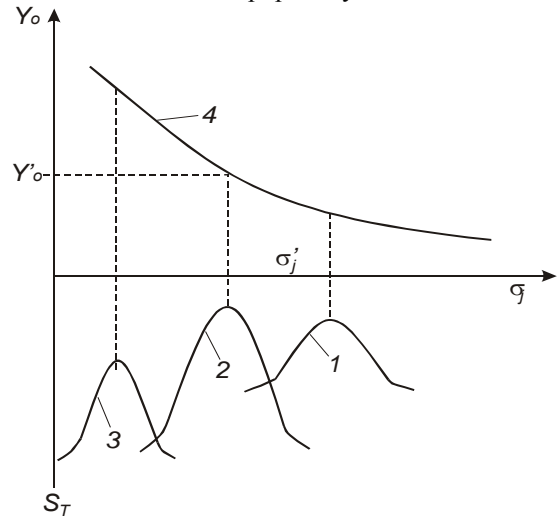


Рис. 1 Взаємозв'язок оптимуму номіналу та технологічної собівартості поставки води споживачеві

Таким чином, отримані аналітичні залежності дають можливість здійснювати оптимізацію виробничих процесів водоспоживання на різних просторово-часових рівнях функціонування систем із заданими параметрами надійності. Подальшими дослідженнями в цьому напрямі є вдосконалення та формування простору, систематизація факторів за їх ваговими показниками та побудова різних видів моделей для вирішення актуальних задач водоспоживання з конкретними заданими параметрами.

## Література

1. Лушкін В.А., Торкатюк В.І., Коржак Б.М. та ін. *Безпека життєдіяльності: Навч. посібник.* – Житомир, 2001. – 672 с.
2. Петросов В.А. *Управление региональными системами водоснабжения.* – Харьков: Основа, 1999. – 320 с.
3. Каленіченко Л.І., Карук Б.П., Тищенко О.І. *Управління водогосподарськими комплексами.* – К.: Київ, 2000. – 330 с.
4. Дорогунцов С.І., Хвесик М.А., Головинський І.Л. *Водні ресурси України (проблеми теорії та методології).* – К.: Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, 2002. – 225 с.
5. Васильев А.И. *Реинжиниринг управления водопользованием.* – К.: «Основа», 2004. – 240 с.
6. Кравец В.Н., Борисов Б.М., Плакида В.Т., Титков А.А. *Схемы и технологии рационального водообеспечения, водоочистки в агропромышленном производстве Украины.* – К.: Из-во ЧП «Предприятие Феникс», 2012. – 526 с.

**Автор:** ВАСИЛЬСВ Анатолій Йосипович  
Харківський національний технічний університет сільськогосподарства ім. П. Василенка, д.е.н., професор.

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВОДОСПОЖИВАНИЯ

В.И. Васильев

Целью этой работы является разработка методологических подходов к оптимизации водопотребления, как необходимого условия рационального водопользования.

Ключевые слова: рациональное водопользование, оптимизация водопотребления.

## ECOLOGICAL AND ECONOMIC OPTIMIZATION OF THE PROCESS VODOSPOZHIVANNYA

V. Vasilyev

The aim of this work is to develop methodological approaches to the optimization of water consumption as a prerequisite for sustainable water use.

Keywords: water management, optimization of water use.

## УДК 629.19

С.С. Душкин<sup>1</sup>, А.Н. Назаренко<sup>2</sup>, В.В. Поплавская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет городского хозяйства имени О.М. Бекетова, Харьков

<sup>2</sup>Запорожская государственная инженерная академия, Запорожье

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОДЫ БАСЕЙНА РЕКИ ДНЕПР

Работа заключается в совершенствовании регулирования качества вод произвольного речного бассейна в соответствии с действующей нормативной базой на основе использования автоматизированной информационной системы (АИС). Работа включала в себя объединение различных направлений регулирования водохозяйственной деятельности в промышленности, ЖКХ и сельском хозяйстве и предложение методологического подхода в оптимальном управлении природными ресурсами за счет полученных эколого-экономических моделей регулирования хозяйствования.

**Ключевые слова:** жесткость воды, аналитика, проба воды, загрязнение, ПДК, солесодержание, норма, трубопровод, закон, мониторинг, электронная база, стоимость услуг.

**Постановка проблемы.** Начиная с 1991 года, законодательными органами Украины был принят ряд нормативных документов, направленных на формирование законодательно-правовой базы водохозяйственной деятельности. Субъекты получили право дифференцировать ставки платы в зависимости от водохозяйственной и экономической ситуации в регионе. Неоднозначность экономических мер воздействия, преобладающих в условиях рыночной экономики, на водопользователей, сложный, пространственно распределенный характер данных водного мониторинга приводят к усложнению процедуры

принятия решений в области регулирования качества вод речных бассейнов. Применение автоматизированных информационных систем, основанных на методах имитационного моделирования, позволяет находить оптимальные решения по использованию водных ресурсов региона.

**Анализ последних достижений.** При выполнении работы использовался аппарат системного анализа и математического моделирования. Теоретические и методологические подходы, использованные в статье, базируются на трудах российских, украинских и зарубежных