

УДК 658.13: 556

М. Г. Сербов, канд. геогр. наук, доц., Одес. держ.
екологіч. ун-т

ПОШУК ОПТИМАЛЬНОГО РІШЕННЯ РОЗВИТКУ ВОДНОГО БАСЕЙНУ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІКО-ЕКОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ

М.Г. Сербов. Пошук оптимального рішення розвитку водного басейну на основі моделювання економіко-екологічної ситуації. Пропонується схема економічної оцінки та пошуку оптимального управлінського рішення розвитку водного басейну на основі моделювання економіко-екологічної ситуації з врахуванням ймовірнісної оцінки прогнозних альтернатив.

Ключові слова: водний басейн, прогноз, моделювання.

Н.Г. Сербов. Поиск оптимального решения развития водного бассейна на основе моделирования экономико-экологической ситуации. Предложена схема экономической оценки и поиска оптимального управленческого решения развития водного бассейна на основе моделирования экономико-экологической ситуации с учетом вероятностной оценки прогнозных альтернатив.

Ключевые слова: водный бассейн, прогноз, моделирование.

N.G. Serbov. Searching the optimum solution of water pool development on the basis of modeling the economic and ecological situation. A scheme for the economic evaluation and search for the optimum administrative solution of water pool development is proposed on the basis of modeling the economic and environmental situation taking into account the probability estimation of forecast alternatives.

Key words: water pool, forecast, modeling.

Мета дослідження. Метою досліджень є розробка методичних підходів до формування економічних оцінок при пошуку оптимальних рішень розвитку водних басейнів з обліком імовірних оцінок прогнозних альтернатив, що відрізняються від уже наявних підходів з врахуванням імовірних оцінок можливих екологічних ситуацій у водних басейнах і особливостей їхнього розвитку.

Результати досліджень. При пошуку оптимального рішення розвитку водного басейну виходять із порівняння очікуваного результату на підставі прогнозних альтернатив. Тут слід враховувати вплив не керованих факторів на наслідки реалізації прийнятого рішення, а також ступень можливого максимального ризику. Проблема оптимального вибору на стадії прийняття рішення потребує врахування корисності на витрат ресурсів.

Звернення водокористувачів та водоспоживачів до теорії статистичних рішень під час вибору стратегії на основі гідрологічної інформації є необхідною умовою об'єктивної оцінки комплексу природних і економічних факторів водного басейну, які визначають найбільш вигідний спосіб господарювання.

На основі інформації про характеристику стану водного басейну Y приймається господарське рішення L , до того ж кожне k -те рішення l_k безумовно пов'язане з деяким цілком визначеним набором економічних дій. В результаті виконання зазначених дій споживач отримує деяку корисність Θ , яка виражається у вигляді деякого прибутку (вироблення додаткової електроенергії, перевезених вантажів та інше), які мають визначений грошовий еквівалент.

Очевидно, якщо в процесі господарської діяльності приймається рішення l_k , яке збігається із здійсненим значенням визначеної величини y_h , тобто $l_k = y_h$, то корисність такого рішення буде найвищою з $\theta(y_h)$. Якщо рівняння $l_k \neq y_h$ — не виконуються, корисність такого рішення

$\theta(y_h, l_k)$ завжди знижена через невідповідність узятих в розрахунок (прогноз) та реально здійснених, наприклад, гідрологічних явищ. В першому випадку прийняте рішення прийняте називати — ідеальним, в другому — довільним. Отже, в результаті помилки рішення ($l_k - y_h$) виникає зниження корисності. Таке зниження господарського рішення називається втратами і визначається за формулою [1]:

$$R(y_h, l_k) = \theta(y_h) - \theta(y_h, l_k). \quad (1)$$

Ймовірність прийняття ідеального господарського рішення дуже мала і максимум корисності $\theta(y_j)$ в кожному окремому випадку практично недосяжний. В той же час, пошук найбільш оптимального господарського рішення вимагає попередньої оцінки втрат при здійсненні комбінацій “рішення (l_k) — фактичне значення (y_j)”. При цьому c — кількість розглянутих господарських рішень, d — число розривних діапазонів варіації величини Y , причому y_j — середньоінтервальне значення гідрологічної величини.

Реальні функції втрат $R(y, l)$ в аналітичній формі представити надзвичайно важко. Доволі часто можливі умови, коли при одній і тій же різниці $|y - l|$ втрати відрізняються в залежності від значень величини y . Тому в практиці гідролого-економічних розрахунків функції втрат представляються у матричній формі $R = \|R(y_j, l_k)\|$.

Для прикладу приведемо найпростішу із подібних матриць (табл. 1). Розіб'ємо діапазон варіації визначеної величини стану водного басейну Y на d інтервалів та прийемо в розрахунок c господарських рішень. В цьому випадку необхідно виконати cd комбінацій економіко-екологічних розрахунків (в наведеному прикладі $d=4$, $c=4$).

В таблиці 1 “діагональні” значення втрат R_{11} , R_{22} , R_{33} , R_{44} дорівнюють нулю, тому що відповідають комбінаціям, які характеризують співвідношення рішень та реалізованих значень Y (ідеальні рішення). Решта втрат $R(y_j, l_k) > 0$.

Таблиця 1

Загальний аналітичний вигляд матриці витрат $R = \|R(y_j, l_k)\|$ (при $d=4$, $c=4$)

l_k	y_j			
	y_1	y_2	y_3	y_4
l_1	R_{11}	R_{21}	R_{31}	R_{41}
l_2	R_{12}	R_{22}	R_{32}	R_{42}
l_3	R_{13}	R_{23}	R_{33}	R_{43}
l_4	R_{14}	R_{24}	R_{34}	R_{44}

Матричний спосіб вираження функції втрат потребує виконання відносно невеликого обсягу економіко-екологічних розрахунків. Основний недолік матричного підходу полягає в тому, що безперервна функція втрат $R(y, l)$ виражається у дискретній формі. Отже, результат оптимізаційного розрахунку та прийнятого оптимального рішення залежить від кількості розглянутих при складанні матриці комбінацій cd .

Використання платіжної матриця втрат — таблиці економічних втрат, які виникають в результаті невідповідності між узятими в розрахунок і фактичними характеристиками стану водного басейну, дозволяє знайти оптимальне рішення тільки при сумісному розгляді її з матрицями ймовірностей подання величини Y в кожний із інтервалів, на які розбитий діапазон

варіації цієї величини (табл. 1). Якщо мова йде про оптимізаційні розрахунки на основі прогностичної інформації, то ймовірність подання в кожний із інтервалів носить умовний характер тому, що дозволяє оцінити характеристики стану водного басейну лише в межах конкретного випуску прогнозу. В даному випадку пошук оптимального рішення розвитку водного басейну на підставі моделювання економіко-екологічної ситуації не можливий без застосування матриці умовних ймовірностей, тобто врахування ймовірностей реалізації деякого природного (гідрологічного, метеорологічного тощо) явища або процесу з урахуванням різноманітних початкових умов.

Позначимо матрицю умовних ймовірностей як:

$$p = \|p((y_j \pm \Delta y) | y'_i)\| \quad (2)$$

де Δy — половина інтервалу.

Для наближеної оцінки явищ або процесів в ряді випадків достатньо розбити на три інтервали увесь діапазон змінювання прогностичної величини Y , яка може бути отримана за допомогою даного методу прогнозування (більше за норму, близько до норми або менше за норму). При розділенні діапазону величини Y на п'ять інтервалів ($d=5$) та подання прогностичної інформації в діапазоні трьох інтервалів, матриця умовних ймовірностей матиме вигляд, наведений в таблиці 2.

Таблиця 2

Матриця умовних ймовірностей $p = \|p((y_j \pm \Delta y) | y'_i)\|$

y'_i	y_i				
	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
y'_1	p_{11}	p_{12}	p_{13}		
y'_2		p_{22}	p_{23}	p_{24}	
y'_3			p_{33}	p_{34}	p_{35}

Наприклад, при випуску прогнозу гідрологічної величини або явища y'_1 , тобто в умовах попереднього обчислювання підвищення водності, ймовірності реалізації значень y_4 і y_5 не значні і в практичних розрахунках можуть дорівнювати нулю, тоді і $p_{14} \approx 0$, $p_{15} \approx 0$. Незначними також будуть ймовірності здійснення значень гідрологічних величин y_1 і y_3 під час прогнозу середньої водності y'_2 та значень y_1 і y_2 під час прогнозу зниженої водності — y'_3 .

Розрахунок умовних ймовірностей можна виконати графічно із використанням умовної кривої забезпеченості. Однак в більшості випадків використовують одну функцію (закон розподілу) як апроксимацію розподілу похибок прогнозів. Якщо похибки прогнозування описуються нормальним законом розподілу, умовна ймовірність попадання визначеної величини Y в j -й інтервал дорівнює [2]:

$$p((y_j \pm \Delta y) | y'_i) = \frac{\Phi\left(\frac{y_j + \Delta y - y'_i}{S_{y_i}}\right) - \Phi\left(\frac{y_j - \Delta y - y'_i}{S_{y_i}}\right)}{\Phi\left(\frac{y_{\max} - y'_i}{S_{y_i}}\right) - \Phi\left(\frac{y_{\min} - y'_i}{S_{y_i}}\right)} \quad (3)$$

де $\Phi(\dots)$ — позначення інтеграла Гауса; S_{y_i} — середньоквадратична похибка прогнозування в умовах випуску i -го прогнозу; y_{\max} і y_{\min} — максимальне і мінімальне значення характеристик, що прийняті для практичних розрахунків як крайові межі варіації величини Y .

Знаменник виразу (3) показує імовірність попадання в інтервал від y_{\min} до y_{\max} при умовній нормі y'_i .

Перерахунок ймовірностей $P = \Phi\left(\frac{y_j + \Delta y - y'_i}{S_{y_i}}\right) - \Phi\left(\frac{y_j - \Delta y - y'_i}{S_{y_i}}\right)$ необхідний у зв'язку з

тим, що матричний варіант виконання оптимізаційних розрахунків передбачає, як правило, заміну повного розподілу ймовірностей зрізаним розподілом.

В сучасній практиці прийняття оптимального економічного рішення особливе значення набуває вибір критерію (рішення) або стратегії оптимізації господарського рішення, який закладається в основу моделі економіко-екологічних розрахунків.

Стратегія, на відмінну від рішення, — не одноразовий захід, а принцип (алгоритм дії), який споживач використовує при прийнятті господарських рішень на протязі достатньо тривалого процесу господарювання [3]. Стратегія називається чистою, якщо будь-якій заданій ситуації відповідає тільки одна із дій. Змішані або рандомізовані стратегії передбачають прийняття рішень у вигляді стохастичної процедури, яка є випадковим вибором дій із деякої їх сукупності відповідно заданому розподілу ймовірностей.

На сьогодні найбільше розповсюдження в практиці економіко-екологічних розрахунків стану характеристик водного басейну набула Байсова стратегія, яка зводиться до мінімізації середніх статистичних втрат, тобто:

$$\bar{R}(l_0) = \min_{\langle l \rangle} \bar{R}(l). \quad (4)$$

де $\min_{\langle l \rangle} \bar{R}(l)$ — мінімальне значення середньостатистичних втрат, обчислених за умови прийняття усіх можливих господарських рішень; l_0 — оптимальне господарське рішення.

Застосування стратегії (4) передбачає обчислення середніх (ймовірних) втрат при всіх рішеннях l_k . Розрахунок таких втрат аналогічний розрахунку норми гідрологічної величини

$$\bar{y} = \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} y f(y) dy, \quad (5)$$

де $f(y)$ — функція розподілу ймовірностей реалізації різноманітних значень гідрологічної величини Y .

У випадку, коли розподіл характеристики стану водного басейну Y належить до нормального закону, функція $f(y)$ має вигляд

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{(y-\bar{y})^2}{2\sigma_y^2}}, \quad (6)$$

Середні статистичні втрати $\bar{R}(l_k)$ визначаються за схемою аналогічною до (5) із заміною значень y конкретними реалізаціями втрат при рішенні l_k та здійсненні різноманітних змін значень y від y_{\min} до y_{\max} у вигляді

$$\bar{R}(l_k) = \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} R(y, l_k) f(y) dy \quad (7)$$

Величина середніх (ймовірних) втрат $R(l)$ в свою чергу є функцією та змінюється із зміною рішення L . Найменше значення середня втрата $R(l_k)$ набуває при оптимальному рішенні $l_k = l_0$. Рішення називається оптимальним, якщо в умовах більшості можливих результатів воно приводить до найменших (ймовірних) економічних втрат споживача.

При оптимальному рішенні похідна функції $\bar{R}(l)$ дорівнює нулю

$$\left. \frac{d\bar{R}}{dl} \right|_{l=l_0} = 0. \quad (8)$$

Байєсова стратегія, а саме цьому критерію відповідають вирази (7) та (8), широко використовується при виконанні економіко-екологічних розрахунків при оптимізації господарських рішень. Так, графічний спосіб виявлення гідрологічних залежностей, заснований на мінімізації суми відхилень від середньостатистичної лінії зв'язку, в цілому відповідає умовам Байєсової стратегії. Кожне таке відхилення є своєрідною втратою, а саме полягає в похибках результатів прогнозів відносно встановленої закономірності.

Загальна схема оптимізаційного розрахунку на основі прогностичної інформації майбутнього стану водного басейну залишається незмінною і відповідає, в залежності від прийнятого критерію, схемі обчислення (7)...(8). Відмінність полягає лише в тому, що функція розподілу $f(y)$ замінюється умовним розподілом ймовірностей $\varphi(y|y')$. В межах Байєсової стратегії середньостатистичні втрати при рішенні l_k та прогнозі y'_i , складають [1, 2]:

$$\bar{R}(y'_i, l_k) = \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} R(y, l_k) \varphi(y|y'_i) dy. \quad (9)$$

В матричній формі розрахунок середньостатистичних втрат аналогічний за (9) і виконується за схемою

$$\bar{R}(y'_i, l_k) = \sum_{j=1}^{j=d} p((y_j \pm \Delta y) | y'_i) R(y_j, l_k). \quad (10)$$

Оптимальним є рішення $l_k = l_{k_0}$, при якому втрати, обчислені за формулою (10), є найменшими

$$\bar{R}(y'_i, l_{k_0}) = \min_{\langle k \rangle} \bar{R}(y'_i, l_k). \quad (11)$$

Для побудови загальної стратегії господарювання, на основі прогнозів величини Y функції втрат $R(y, l)$ в доповнення до таблиць 1 та 2 моделюється матриця стратегій [2].

Припустимо, оптимізаційні розрахунки показали, що $l_{k_0} = y'_i - 2\Delta y$ (за умови, що діапазони варіації величин Y , Y' , L розбиті на однакові інтервали, тобто $\Delta y = \Delta y' = \Delta l$). Споживачу, діяльність якого описана функцією втрат $R(y, l)$, вигідно призначити режим роботи об'єкту виходячи із значення l_{k_0} , меншого ніж передбачено прогнозом y'_i . Якщо $y'_1 = l_1$, $y'_2 = l_2$, $y'_3 = l_3$, тоді матриця стратегій представляється у вигляді таблиці 3. Значення середніх

втрат \bar{R}_{10} , \bar{R}_{20} і \bar{R}_{30} — найменші в кожному рядку таблиці стратегій. Ці втрати, за умови використання конкретного методу прогнозування і збереження техніко-економічних показників споживача, слід визнати немінучими у середньостатистичному розумінні.

Таблиця 3

Матриця стратегій середніх втрат $\bar{R}(y'_i, l_k)$

y'_i	l_k			
	l_1	l_2	l_3	l_4
y'_1	\bar{R}_{11}	\bar{R}_{10}	\bar{R}_{13}	\bar{R}_{14}
y'_2	\bar{R}_{21}	\bar{R}_{22}	\bar{R}_{20}	\bar{R}_{24}
y'_3	\bar{R}_{31}	\bar{R}_{32}	\bar{R}_{33}	\bar{R}_{30}

Розрахунок середніх (ймовірних) втрат за період оптимального використання прогностичної інформації $\bar{R}(l_0)$ виконується за формулою

$$\bar{R}(l_0) = \sum_i p(y'_i \pm \Delta y) \bar{R}(y'_i, l_{k_0}). \quad (12)$$

де $p(y'_i \pm \Delta y)$ — елементи матриці ймовірностей випуску прогнозу;

l_0 — оптимальне рішення при використанні прогностичної інформації.

Розрахунок зниження середньостатистичних економічних втрат за рахунок оптимального використання прогностичної інформації виконується за формулою

$$\Delta \bar{R}(l_0) = [\bar{R}(l^*) - \bar{R}(l_0)]. \quad (13)$$

Необхідно підкреслити, що визначені в роботі етапи економічних розрахунків по своїй суті — розробка параметрів багато варіативної еколого-економічної моделі пошуку оптимального рішення розвитку водного басейну, як об'єкта природокористування, з врахуванням складових діючого водогосподарського комплексу.

Висновки:

— пошук оптимального управлінського рішення розвитку водного басейну може ефективно здійснюватися на основі моделювання економіко-екологічної ситуації у водному басейні;

— при здійсненні моделювання управлінського рішення необхідно враховувати імовірні оцінки прогнозних альтернатив;

— методика пошуку оптимального рішення розвитку водного басейну ґрунтується на розробці параметрів і наступного дослідження багато варіантної еколого-економічної моделі;

— подальші дослідження доцільно проводити в напрямку розширення можливостей різноманітних економіко-екологічних моделей при визначенні оптимальних напрямків розвитку виробничо-господарської діяльності на території водних басейнів з урахуванням їхніх статистичних характеристик.

Література

1. Сербов М.Г., Шакірманова Ж.Р. „Економіка гідрометеорологічного забезпечення народного господарства України (гідрологічні аспекти)“/ Сербов М.Г., Шакірманова Ж.Р. — Одеса, 2008. — 123 с.
2. Экологический менеджмент / Н.В. Пахомова, А. Эндрес, К. Рихтер. — СПб.: Питер, 2003. — 544с.
3. Эндрес А., Квернер И. Экономика природных ресурсов. / Эндрес А., Квернер И. — Изд—во “Питер”,2004. — 256 с.

References

1. Serbov M.H., Shakirzanova Zh.R. „Ekonomika hidrometeorologichnoho zabezpechennia narodnoho hospodarstva Ukrainy (hidrolohichni aspekty)“ [“Economics of Hydrometeorological Support of the National Economy of Ukraine (hydrological aspects) / Serbov M.H., Shakirzanova Zh.R. — Odesa, 2008. — 123 pp.
2. Ekologicheskii menedzhment [Environmental Management] / N.V. Pakhomova, A. Endres, K. Rihter. — St.-Petersburg, 2003. — 544 pp.
3. Endres A., Kverner I. Ekonomika prirodnykh resursov [Economics of Natural Resources]. / Endres A., Kverner I. — St.-Petersburg, 2004. — 256 pp.

Рецензент д-р екон. наук, проф. Одес. нац. політехн. ун-та Соколовська З.М.

Надійшла до редакції 15 листопада 2011 р.