Водни проблеми
т. 28, 1996
БАН, София

МНОГОКРИТЕРИАЛЕН ПОДХОД ПРИ РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА ВОДНИТЕ РЕСУРСИ

Красимира Николова, Николай Киров

Абстракт

Съставен е нелинеен многокритериален модел за разпределение на водните ресурси и са проведени числени експерименти за реален водностопански обект чрез програма за персонален компютър IBM PC. Използуван е методът за оценка на компромисните решения чрез заместваща функция.

1. Увод.

Характерна черта на съвременното водно стопанство е многоцелевото използуване на водните ресурси и включването на многобройни критерии: икономически, социални, екологически, политически, обществени, които често проявяват противоречиви изисквания към водата по време, място и качество и оттук засягат интересите на групи хора или на отделни индивиди, могат да бъдат несъпоставими или зададени с качествени характеристики. Това прави управлението на водностопанските системи труден за разрешаване проблем поради ограничеността на водните ресурси и взимането на решение в условията на непрекъснато изменящи се отток и водопотребление и под натиска на засегнатите страни.

Многокритериалният подход дава възможност за намиране на разумно компромисно решение между многобройните цели, като се определи множество от алтернативни решения, извърши се анализ и оценка за последствията на всяко едно от тях и се избере по взаимно съгласие най-предпочитаният вариант.

В настоящата статия е описан нелинеен многокритериален модел за разпределение на водните ресурси между водопотребителите и водоползувателите на реална водностопанска система (ВС) като е използуван методът за оценка на компромисните решения чрез заместваща функция SWTM (Surrogate Worthe Trade-off Method) [4]. Този метод дава възможност да се пресметнат компромисните решения между всеки две цели (критерии), към които лицето взимащо решение (ЛВР) изявява своите предпочитания чрез бални оценки и по този начин създава заместваща функция на ценността. Последната служи за избор на "оптималното"решение от областта на компромисите.

2. Описание на реалната схема.

За обект на многокритериалните изследвания е избрана Старозагорската напоителна система, чиято схема е показана на фиг.1 [3]. Тя включва язовир "Г.Димитров който осигурява вода за основните водопотребители и водоползуватели на системата: напояването, енергетиката, промишленото водоснабдяване и оводняване речното легло на р.Тунджа след стената. Напояваните площи от Казанлъшкото и Старозагорското поле възлизат на 415217 дка и са главният консуматор на на вода, която се подава чрез каналите $M_{\text{л}}, M_{\text{Д}}, P-17, M_1$ и M_2. Промишленото водопотребление на азотно-торовия завод е постоянно в размер на $Q_{man} = 44.6 \times 10^6$ м^3/год. Водоползуването за енергийни нужди се осъществява от подязовирната ВЕЦ "Г.Димитров"и от ВЕЦ "Ст.Загора". Помпена станция "Ръжена"подава вода в силовия канал от руслото на р.Тунджа при наличието на достатъчно отток след стената на язовира. Своеобразен водопотребител е оводняването на речното легло след стената с цел запазване на екологичното равновесие.

3. Входна информация.

Решението на многокритериалната задача се извършва при наличието на входна информация, подготвена в съответствие с изискванията на модела, включваща данни за оттока, водопотреблението и експлоатационните параметри на ВС, както и при някои възприети предпоставки и опростявания. За изчислителен интервал е избран вегетационният период. Съставена е изчислителна схема (фиг.2) на реалната ВС, като е извършено агрегиране на входната информация в напояването чрез обединяване на напоителните площи към каналите $M_{\text{л}}$ и $M_{\text{Д}}$ в Казанлъшкото поле ($IR1$) и към каналите M_1 и M_2 в Старозагорското поле ($IR3$). По този начин напоителното водопотребление се локализира само в три клона $IR1, IR2, IR3$ и се задава чрез нелинейни функции на загубите от непроизведена продукция поради дефицит на вода [1]. При апроксимацията на тези функции, от направените експерименти с експоненциална и логаритмична функции, полиноми от различна степен и елипса, най-добро приближение показват елипсата и полиномът от четвърта степен (фиг.3 и 4). Полиномиалнната апроксимация е по метода на най-малките квадрати, а елипсата се получава от условията за допиране до координатните оси в точките с максимална и минимална стойност на загубите. От получените графики се вижда, че елипсата описва добре загубите в напояването $IR1, IR2$ и $IR3$ в екстремните участъци, като плавно тангира към координатните оси (фиг.6 и 8), но дава отклонения в отделни участъци на изходната крива (фиг.3). За разлика от нея полиномът от четвърта степен дава добро общо съвпадение с изходните данни (фиг.4), с изключение на точките близки до максималните и минимални стойности: остро се приближава към оста Y и не обхваща екстремните стойности на загубите (фиг.7). След тангирането си към оста X нараства, създавайки леко изопачена картина, че с увеличаване на подадената вода от даден момент (т.А на фиг.5) загубите растат. Използването на полином от по-висока степен дава разбира се по-добро приближение, но създава затруднения при решаването на задачата. Математическите изрази на апроксимиращите функции f_1, f_2 и f_3 в случай на полином са дадени в (4).

ВЕЦ "Г.Димитров"($HP1$) не участвува в разпределението, защото през нея преминава цялата изтакана водна маса с изключение на тази, която се отделя за осигуряване на санитарния минимум Q_{min}. Електропроизводството на ВЕЦ "Ст.Загора"($HP2$) е в пряка зависимост от напояване $IR3$, тъй като преработва водата подадена за напояване плюс задължителната водна маса за АТЗ и в задачата се задава като линейна функция на преработената водна маса при кпд 0.87, напор const $= 138$ м и часова използуваемост през вегетационни период $h = 2100$ часа. Това е четвъртата функция $f_4 = 322.2(140.32-x-y)$, която формира вектора на целевата функция.

Поддържането на санитарно водно количество в руслото на реката в створ $1-1$ с цел оводняване се задава като ограничение $Q_{min} = \text{const}$ в задачата. Това налага в сухи години при ниски стойности на допълнителния приток $I1, I2, I3$, (фиг.2) за осигуряване на санитарния минимум да се отделя допълнително вода от изтаканата от водохранилището.

4. Математическо описание на модела.

Математическата формулировка на задачата е следната: при предварително зададен обем за изтакане от водохранилище "Г.Димитров"през вегетационния период, да се извърши разпределението му в пространството между водопотребителите и водоползувателите съгласно изчислителната схема на фиг.2. Това означава така да се раздели водата, че да се получи максимум електропроизводство от двете централи, минимални загуби в напояването от дефицит на вода, като се осигурява задължително вода за промишленото водоснабдяване и за поддържане на минимално водно количество в руслото на р.Тунджа под язовира в створ $1-1$ (фиг.2).

Математически задачата се формулира по следния начин:

$$\begin{array}{l} IR1 = f_1(x_1) \quad \rightarrow \quad \min \\ IR2 = f_2(x_2) \quad \rightarrow \quad \min \\ IR3 = f_3(x_3) \quad \rightarrow \quad \min \\ EHP2 = f_4(x_4) \quad \rightarrow \quad \max \end{array} \tag{1}$$

при следните ограничения:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + Q_{man} + Q_{min} = R \tag{2}$$

$$\begin{array}{l} 0 \leq x_1 \leq W_{IR1}^{max} \\ 0 \leq x_2 \leq W_{IR2}^{max} \\ 0 \leq x_3 \leq W_{IR3}^{max} \\ 4.5h \leq x_4 \leq 20h \\ Q_{man} = \text{const} \\ Q_{min} = \text{const}. \end{array} \tag{3}$$

С x_1, x_2 и x_3 са означени подадените водни маси за трите напоявани масива $IR1, IR2$ и $IR3$, x_4 е преработената от $HP2$ вода. R е изтаканата от водохранилището водна маса, $W_{IR1}^{max}, W_{IR2}^{max}$ и W_{IR3}^{max} са максималните водопотребления за съответните напоявания.

Отчитайки спецификата на изчислителната схема броят на променливите може да се редуцира от четири на две. Тогава за един от решените варианти и полиномиална апроксимация на функциите за напояването, задачата добива следния вид:

$$
\begin{array}{ll}
f_1(x_1) = & 0.235x_1^4 - 17.96x_1^3 + 572.8x_1^2 - 9947.1x_1 + 79638 \quad \to \quad \min \\
f_2(x_2) = & 0.218x_2^4 - 17.61x_2^3 + 544.9x_2^2 - 8069.5x_1 + 51373 \quad \to \quad \min \\
f_3(x_1, x_2) = & 0.00252r^4 - 0.888r^3 + 120.8r^2 - 7932.6r + 224010 \quad \to \quad \min \\
f_4(x_1, x_2) = & 322.2(140.32 - x_1 - x_2) \quad \to \quad \max
\end{array}
\tag{4}
$$

$$
\begin{array}{l}
0 \le x_1 \le W_{IR1}^{max} \\
0 \le x_2 \le W_{IR2}^{max} \\
118.02 - W_{IR3}^{max} \le x_1 + x_2 \le 118.02 \\
140.32 - 20h \le x_1 + x_2 \le 140.32 - 4.5h
\end{array}
\tag{5}
$$

където $r = 118.02 - x_1 - x_2$.

4. Експерименти.

С така съставения математически модел (4) – (5) са извършени експерименти с реални данни за 1952 година, която спада към сухите години. Входната информация за модела включва: изтаканата от водохранилището водна маса $R = 185.22 \times 10^6$ м^3; данни за страничната приточност $I_1 + I_2 + I_3 = 18.34 \times 10^6$ м^3; зададени са три нива на ограничение за $Q_{min} = 2.5, 2.8$ и 4.0 м$^3/s$; функциите на загубите f_1, f_2 и f_3 са апроксимирани с полином и елипса.

Получените компромисни функции са илюстрирани на фиг. 9 – 12. От значение е видът на апроксимиращата функция — полиномът дава по-ниски стойности на загубите понеже реже в горния екстремен участък на изходните точки максималните стойности. С увеличаването на санитарното водно количество електропроизводството намалява (фиг.13), поради отнемането на повече вода. Очевидно екологичните изисквания са съществен потребител на вода и при оптимизационните анализи те заемат равностойно място с икономическите критерии.

На фиг.14 е показана разменната компромисна функция $\lambda_{21}(f_1(x_1))$ която е същевременно и функция на нивата $f_2 = \varepsilon_2$ и $Q_{min} = \varepsilon_3^0$.

Процедурата за избор на "най-доброто"компромисно решение се състои в следното. От авторите, в ролята на ЛВР, са зададени оценки на получените компромиси, които представляват стойности на функциите на ценността W_{31} и W_{32}. Резултатът от приложението на нелинейна множествена регресия за апроксимиране на зависимостите е:

$$W_{31}(f_1, f_2) = 8.051 - 6.198f_1 + 0.513f_1^2 - 1.89f_2 + 0.346f_1f_2 \quad \text{и}$$

$$W_{32}(f_1, f_2) = 10.31 - 2.32f_1 + 0.189f_1^2 - 13.84f_2 + 3.76f_2^2$$

със $\sigma_{31} = 1.43$ и $\sigma_{32} = 1.04$. От решението на системата $W_{31} = 0$ и $W_{32} = 0$ се получават стойностите $f_1^* = 12746.5$ и $f_2^* = 6785.4$, които принадлежат към ивицата на безразличието. С тези стойности за f_1 и f_2 се решава отново задача (4) – (5). Така се получава: $x^* = (13.82, 12.29)$, $f_3^* = 6143.71$, $\lambda_{31} = 0.21$, $\lambda_{32} = 0.38$.

Проведените изследвания са една добра илюстрация на приложението на метода за оценка на компромисните решения чрез заместваща функция. В случая той дава възможност да се получат много алтернативи за разпределение на водните ресурси при различни изисквания към количеството и качеството на водата. Изборът на решение е труден, но не невъзможен процес и понякога налага неколкократно обръщение към съставената програма за IBM PC [2]. Получаването на компромисните решения става директно и бързо, а освен това може да се решава и обратната задача: при желани стойности на компромиса да се намерят стойностите на променливите и на целевите функции.

Литература

[1] Абрашкова Г., Приложение на метода на динамическото програмиране за оптимално разпределение на хидродефицитите при напояването. "Техническа мисъл 1990, кн.5.

[2] Николова К., Н.Киров. Метод за оценка на компромисните решения чрез заместваща функция. "Водни проблеми под печат.

[3] Николова Н.и др. Анализ и изводи от експерименталните изследвания за определяне обема на водохранилища при многогодишно регулиране на оттока по метода Монте Карло. Научен отчет, 1982, Архив на ИВП-БАН.

[4] Haimes J., W.Hall, Freedman. Multiobjective Optimization in Water Resources Systems. The SWTM. Elsevier, Amsterdam, Oxford, 1975.