

- (колективна монографія). – Херсон: Айлант, 2004. – С. 125-157.
3. Гусев М.Г. Агробіологічне обґрунтування та розробка технологічних прийомів підвищення продуктивності однорічних агроценозів при конвеєрному виробництві кормів в умовах зрошення Степу України. – Дис... д-ра с.-г. наук. – Херсон, 2005. – С. 42-45.
  4. Бойчук М., Харчук І., Бутрин Г., Вовк Г., Збіглей С. Насінництво сортів озимого ріпаку // Пропозиція. – 2001. – № 4. – С. 50.
  5. Ковальчук Г.М. Ріпак озимий – цінна олійна і кормова культура. – К.: Урожай, 1987. – 112 с.
  6. Утеуш Ю.А. Рапс и сурепица в кормопроизводстве. – К.: Наукова думка, 1979. – 228 с.
  7. Жовтоног О.І. Кириєнко О.І., Шостак І.К. Алгоритм планування зрошення з використанням геоінформаційних технологій для системи точного землеробства // Меліорація і водне господарство. – 2004. – Вип. 91. – С. 33-41.

УДК 631.675:338.244

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНО ОПТИМАЛЬНИХ НОРМ ЗРОШЕННЯ

**В.І. ПЕТРОЧЕНКО** – кандидат технічних наук  
Інститут водних проблем і меліорації НААН

**Постановка проблеми.** Зрошення є основним засобом підвищення урожайності культур в посушливих районах Півдня України. В попередній радянський період ефективність землеробства оцінювалась переважно урожайністю культур, а зрошувальна вода постачалась сільгоспвиробникам безкоштовно, що в багатьох випадках сприяло необґрунтованому збільшенню зрошувальних норм. Занадто високі норми зрошення ускладнюють процес виконання агротехнічних заходів, підвищують їх вартість, спричиняють підтоплення і засолення сільгоспугідь та прилеглих територій. В сучасних умовах переходу до вільних ринкових відносин пріоритетного значення набуває оцінювання результатів господарської діяльності на зрошуваних землях за економічними критеріями та показниками. У виробників сільгосппродукції виникає потреба економного використання ресурсів, одним з яких є зрошувальна вода. Виникає потреба в визначенні економічно оптимальних норм зрошення, при яких досягається максимальний прибуток від вирощування продукції в умовах фіксованої ціни на неї, ціни на зрошувальну воду та ціни на виконання агротехнічних заходів.

**Стан дослідження.** Оптимізація норм зрошення є актуальною задачею землеробства, яка в попередні роки вирішувалась на стадії проектування систем зрошення і на стадії їх практичного використання.

На стадії проектування зрошувальних систем задача техніко-економічного обґрунтування норм зрошення мала науково-детерміноване рішення, яке полягало в складанні функціональних залежностей проектних норм зрошення від природних, біологічних, технічних та економічних параметрів з наступною їх оптимізацією [1,10,12].

На стадії експлуатації зрошувальних систем наукова задача оптимізації норм зрошення є більш складною через необхідність врахування більшої кількості чинників, тому вона вирішувалась переважно на основі розробки моделей прийняття рішень в умовах невизначеності. При оптимізації процесів в умовах невизначеності для деяких параметрів призначають імовірнісні значення, а потім складають неструктуровані або слабо структуровані (недостатньо детерміновані) задачі оптимізації, у тому числі і задачі багатокритеріальної оптимізації [4–7,11]. До основних недоліків методів оптимізації норм зрошення в умовах невизначеності є недостатня достовірність кінцевих результатів, а також складність і невисока ефективність їх практичного використання.

Розроблено також низку методичних підходів, методів та варіантів інформативно-дорадчих систем оперативного планування зрошенням та оптимізації норм зрошення на основі моделей, які враховують залежність врожаю та прибутку від вологозабезпеченості [2,3,9]. В результаті використання цих методів здійснюють оперативне планування зрошенням, але при цьому в процесі оптимізації норм зрошення не враховуються варіанти та вартість інших агротехнічних заходів. Це вважається основним недоліком відомих методичних підходів [2,3,9], оскільки прибуток від вирощування культури тільки тоді можна вважати оптимальним, якщо він буде розрахований для технологічно цілісного процесу зрошуваного землеробства. При цьому роль сільгоспвиробника при оптимізації параметрів зрошуваного землеробства повинна бути активною, оскільки тільки він, враховуючи кон'юнктуру ринку та цінові пропозиції, повинен з комплексу можливих альтернатив обирати потрібні сорти культури, заходи агротехніки, засоби механізації, режими водоподачі, техніку поливу тощо.

**Мета досліджень** – розробити на науково-детермінованій основі зручну та придатну для практичного використання в умовах окремого сільськогосподарського підприємства методику визначення економічно оптимальних норм зрошення з урахуванням повного комплексу природних, біологічних, технічних та економічних чинників і параметрів процесу вирощування сільськогосподарських культур.

**Науковий підхід, що закладається в основу нової методики.**

Запропоновано основні параметри зрошуваного землеробства поділити на дві групи – природно-біологічні, які не залежать від кон'юнктури ринку і є практично незмінними у часі, та агротехнічні параметри, які мають економічну (вартісну) оцінку, залежну від щорічних коливань ринкових цін. Спочатку на першому дослідницькому етапі для групи земельних ділянок певного природно-сільськогосподарського району з однаковими агроґрунтовими та природно-кліматичними параметрами за результатами польових досліджень встановлюється функціональні залежності урожайності кожної культури, яка входить в схему рекомендованих сівозмін, від сумарної норми природного та штучного зрошення (водоподачі). Потім ці залежності на протязі багатьох наступних років використовують при визначенні оптимальної норми зрошення в умовах кон'юнктури ринку. При визначенні оптимальною норми зрошення у певному поточному році складають цільову функцію, в яку разом з

попередньо встановленою функцією урожайності культури вводять параметри, залежні від коливань цін на її продукцію, енергоносії, товарну (зрошувальну) воду, виконання агротехнічних робіт тощо.

**Результати теоретичних досліджень з оптимізації норм зрошення.** Для визначення раціональної стратегії господарської діяльності на зрошуваних землях ставиться задача оптимізації норми зрошення у загальному вигляді за таких вихідних умов. В межах окремого господарства розглядається певна земельна ділянка  $S$ , яка знаходиться в визначеній природно-сільськогосподарській зоні та характеризується певним фізико-механічним і агрохімічним складом ґрунту. На ділянці  $S$  у розрахунковому році вирощують  $K$  видів культур в системі сівозмін, яка не може бути порушена. Економічні показники, які утворюють доходну і витратну частини землеробства, визначають на основі фіксованих для розрахункового періоду цін на продукти рослинництва, добрива, енергоносії, товарну зрошувальну воду, послуги тощо. Оптимальна норма зрошення визначається комплексним техніко-економічним аналізом показників, які впливають на ефективність зрошуваного землеробства.

За критерій оптимізації приймаємо максимум прибутку  $\Pi_S$  від вирощування культур  $k \in K$  на зрошуваній ділянці  $S$ , який визначається різницею між сумою доходних  $D_k$  і сумою витратних  $B_k$  показників зрошуваного землеробства:

$$\Pi_S = \sum_{k=1}^K D_k - \sum_{k=1}^K B_k \rightarrow \max \quad (1)$$

Цільову функцію (1) запишемо у розгорнутому вигляді:

$$\Pi_S = \sum_{k=1}^K (U_k^S - \sum b_k^\theta) \cdot Y_k \cdot F_k - \sum_{k=1}^K (B_k^{c/2} + B_k^{TB} + B_k^{3P}) \rightarrow \max \quad (2)$$

де  $k$  – індекс культури;  
 $K$  – кількість культур на земельній ділянці;  
 $U_k^S$  – ціна реалізації готової продукції від вирощування  $k$ -ї культури, грн./ц;

$\sum b_k^\theta$  – сумарна вартість добрив, необхідних для поповнення корисних макро- і мікроелементів, які втрачає ґрунт при вирощуванні одного центнеру продукції  $k$ -ї культури, грн./ц;

$Y_k$  – урожайність  $k$ -ї культури, ц/га;

$F_k$  – площа земельної ділянки, зайнята під  $k$ -у культуру, га;

$B_k^{c/2}$  – загальні витрати на виконання агротехнічних робіт при вирощуванні  $k$ -ї культури на площі  $F_k$ , грн.;

$B_k^{TB}$  – загальні витрати на придбання від водогосподарської організації товарної води для зрошення площі  $F_k$ , грн.;

$B_k^{3P}$  – загальні витрати на експлуатацію зрошувального устаткування та виконання зрошувальних робіт на площі  $F_k$ , грн.

Оскільки розподіл культур на загальній площі ділянки  $S$  не може бути предметом оптимізації, – він здійснюється згідно рекомендованої схеми сівозмін, то функцію (2) можна вважати адитивною. У такому разі її можна представити множиною  $K$  окремих цільових функцій такого виду:

$$\Pi_k^S = (U_k^S - \sum b_k^\theta) \cdot Y_k \cdot F_k (B_k^{c/2} + B_k^{TB} + B_k^{3P}) \rightarrow \max \quad (3)$$

Таким чином, загальна задача оптимізації норм зрошення на загальній ділянці  $S$ , на якій вирощують  $K$  культур, зводиться до множини  $K$  незалежних між собою задач оптимізації норми зрошення для окремих  $k$ -х культур на площі  $F_k$ .

Для оптимізації норми зрошення за допомогою функції (3) спочатку поділимо параметри функції на такі, що не залежать від норми зрошення  $m$  ( $U_k^S$ ,  $\sum b_k^\theta$ ,  $F_k$ ), і такі, що залежать від норми зрошення ( $B_k^{c/2}$ ,  $B_k^{TB}$ ,  $B_k^{3P}$ ,  $Y_k$ ). Потім параметри, які залежать від норми зрошення  $m$ , представимо функціями аргументу  $m$ . При цьому деякі параметри спочатку представимо функціями проміжного аргументу  $Y_k$ , а вже потім функцією аргументу  $m$ :

$$B_k^{c/2} = b_k^{c/2} \cdot F_k; \quad (4)$$

$$b_k^{c/2} = b_k^{nm} + b_k^{op} + b_k^{in}; \quad (5)$$

$$B_k^{TB} = U_s^{TB} \cdot \lambda \cdot m \cdot F_k; \quad (6)$$

$$B_k^{3P} = A_1^{3P} \cdot F_k + b_k^{3P} \frac{m}{\lambda} F_k, \quad (7)$$

де  $b_k^{c/2}$  – загальні питомі витрати на виконання агротехнічних робіт (крім зрошення) при вирощуванні  $k$ -ї культури, грн./га;

$b_k^{nm}$  – вартість посівного матеріалу при вирощуванні  $k$ -ї культури на 1га площі, грн./га;

$b_k^{op}$  – питома вартість виконання оранки та сівби для  $k$ -ї культури, грн./га;

$b_k^{in}$  – питома вартість виконання інших видів с/г робіт для  $k$ -ї культури, грн./га;

$U_s^{TB}$  – ціна постачання водогосподарською організацією зрошувальної води, грн./м<sup>3</sup>;

$m$  – норма зрошення, нетто, м<sup>3</sup>/га;  $\lambda$  – коефіцієнт, який враховує втрати води в процесі поливу ( $\lambda \leq 1$ );

$A_1^{3P}$  – питома вартість річних амортизаційних відрахувань на відновлення стаціонарних та пересувних основних фондів внутрішньогосподарської зрошувальної системи, грн./га;

$b_k^{3P}$  – вартість виконання зрошувальних робіт, грн./м<sup>3</sup>.

Оскільки значна частина витрат в складі  $b_k^{c/2}$  залежать від зрошення і є пропорційними урожайності, витрати  $b_k^{c/2}$  доцільно розраховувати спрощеним шляхом, представивши їх лінійною функцією урожайності:

$$b_k^{c/2} = R_k^{c/2} \cdot Y_k = \frac{[b_k^{c/2}]^\Phi}{[Y_k]^\Phi} \cdot Y_k, \quad (8)$$

де  $R_k^{c/2}$  – коефіцієнт регресії;  
 $[b_k^{c/2}]^\Phi$  і  $[Y_k]^\Phi$  – фіксовані значення витрат  $b_k^{c/2}$  і урожайності  $Y_k$  за попередній період (рік).

Таким чином, усі параметри, що входять в цільову функцію (3), крім  $Y_k$  і  $F_k$ , є вартісними, а, отже, залежними від кон'юнктури ринку і можуть бути встановлені на початку зрошувального періоду. Урожайність  $Y_k$  є природно-біологічним параметром, залежним від норми зрошення, яку доцільно апроксимувати ступенневою функцією такого виду:

$$Y_k = \Phi(g+m) = \alpha(g+m)^\beta = \alpha Q^\beta, \quad (9)$$

де  $g$  – норма природного зрошення (опадів), м<sup>3</sup>/га;

$Q$  – водоподача (сумарна норма природного та штучного зрошення), м<sup>3</sup>/га;

$\alpha$  і  $\beta$  – параметри, які визначаються за результатами польових досліджень з використанням методу найменших квадратів.

Для застосування методу найменших квадратів, необхідно задачу визначення невідомих параме-

трів  $\alpha$  і  $\beta$  степеневі функції (9) звести до задачі знаходження параметрів лінійної функції. Значення функції  $Y_k$  і аргументу  $Q$  додатні, тому спочатку прологарифмуємо функцію  $Y_k$  (9):

$$\ln Y_k = \beta \ln Q + \ln \alpha. \quad (10)$$

Потім введемо нову перемінну  $\eta = \ln Q$ , тоді  $\ln Y_k$  буде функцією від  $\eta$ . Позначимо  $C = \ln Y_k$ ,  $D = \ln \alpha$ . Рівняння (10) прийме вигляд:

$$C(\eta) = \beta \eta + D. \quad (11)$$

Складаємо функцію неув'язки  $\Phi(\beta, D)$  як суму квадратів відхилень  $\delta_i$ :

$$\Phi(\beta, D) = \sum_{i=1}^h \delta_i^2 = \sum_{i=1}^h [C_i - (\beta \eta_i + D)]^2. \quad (12)$$

Застосовуємо необхідну умову екстремуму:

$$\frac{\partial \Phi(\beta, D)}{\partial \beta} = 0; \quad \frac{\partial \Phi(\beta, D)}{\partial D} = 0, \quad (13)$$

або

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi(\beta, D)}{\partial \beta} = \frac{\partial \sum_{i=1}^h \delta_i^2}{\partial \beta} = \frac{\partial \sum_{i=1}^h [C_i - (\beta \eta_i + D)]^2}{\partial \beta} = 0; \\ \frac{\partial \Phi(\beta, D)}{\partial D} = \frac{\partial \sum_{i=1}^h \delta_i^2}{\partial D} = \frac{\partial \sum_{i=1}^h [C_i - (\beta \eta_i + D)]^2}{\partial D} = 0. \end{cases} \quad (14)$$

Рішенням системи рівнянь (14) буде:

$$\beta = \frac{h \sum_{i=1}^h \eta_i \tilde{N}_i - \sum_{i=1}^h \eta_i \sum_{i=1}^h \tilde{N}_i}{h \sum_{i=1}^h \eta_i^2 - \left( \sum_{i=1}^h \eta_i \right)^2}; \quad (15)$$

$$D = \frac{1}{h} \left( \sum_{i=1}^h \tilde{N}_i - \beta \sum_{i=1}^h \eta_i \right).$$

Повертаючись до початкових позначень параметрів функції урожайності, рішення (15) системи (14) запишемо у такому вигляді:

$$\beta = \frac{h \sum_{i=1}^h \ln Q_i \ln(Y_k^{exc})_i - \sum_{i=1}^h \ln Q_i \sum_{i=1}^h \ln(Y_k^{exc})_i}{h \sum_{i=1}^h (\ln Q_i)^2 - \left( \sum_{i=1}^h \ln Q_i \right)^2}; \quad (16)$$

$$\alpha = \exp D = \exp \left[ \frac{1}{h} \left( \sum_{i=1}^h \ln(Y_k^{exc})_i - \beta \sum_{i=1}^h \ln Q_i \right) \right]$$

Таким чином, маючи на дослідній ділянці  $h$  експериментальних значень аргументу  $(Q_k)_i$  і функції  $(Y_k^{exc})_i$  від цього аргументу, можна для умов вирощування на цій земельній ділянці певної  $k$ -ї культури спочатку визначити параметри  $\alpha$  і  $\beta$ , а потім визначити за допомогою функції (9) урожайність  $Y_k$  цієї культури при довільних значеннях  $Q$ .

На рис. 1 показано графіки функціональної залежності (9) для трьох різних умовно взятих сільськогосподарських культур. Вважається, що для кожної  $k$ -ї культури графік функції (9) є опуклим до верху.

При 100-відсотковому рівні забезпеченості водоподачі ( $P^{100\%}$ ) будемо мати максимальну (потенційну) урожайність  $Y_k^{max}$ , яка забезпечується біологічно оптимальною нормою зрошення  $m_k^{EO}$ . Припускається, що при нульовому рівні забезпеченості  $P^{0\%}$  водоподачі ( $Q_k = g + m = 0$ ) в умовах посушливої зони будемо мати  $Y_k = 0$ . На проміжних рівнях забезпеченості водоподачі потрібно експериментальним шляхом дані водоподачі  $(Q_k^{exc})_i$  та урожайності  $(Y_k^{exc})_i$ , де  $i$  – індекс вимірювання функціонально залежних значень урожайності  $(Y_k^{exc})_i$  від водоподачі  $(Q_k^{exc})_i$ ,  $i = (1, h)$ .

З урахуванням залежностей (4–9) функцію (3) можна записати так:

$$\begin{aligned} \Pi_k^s = & \left( \Pi_k^s - \sum b_k^{\delta} - R_k^{c/2} \right) \alpha (g + m)^{\beta} - \\ & - \left( \Pi_s^{TB} + b_k^{3P} \right) \frac{m}{\lambda} - \\ & - \left( A_1^{3P} + b_k^{NM} + b_k^{OP} \right) \rightarrow \max \end{aligned} \quad (17)$$

Економічно оптимальна норма зрошення  $m_{kg}^{EO}$   $k$ -ї культури у поточному році при певній фіксованій нормі природного зрошення  $g$  визначиться за умовою екстремуму функції (17):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_k^s}{\partial m} = & \left( \Pi_k^s - \sum b_k^{\delta} - R_k^{c/2} \right) \cdot \beta \cdot \alpha (g + m_{kg}^{EO})^{\beta-1} - \\ & - \frac{\left( \Pi_s^{TB} + b_k^{3P} \right)}{\lambda} = 0 \end{aligned} \quad (18)$$

звідки:

$$m_{kg}^{EO} = \left( \frac{\Pi_s^{TB} + b_k^{3P}}{\beta \cdot \alpha \cdot \lambda \left( \Pi_k^s - \sum b_k^{\delta} - R_k^{c/2} \right)} \right)^{\frac{1}{\beta-1}} - g. \quad (19)$$

Урожайність  $k$ -ї культури при нормі природного зрошення  $g$  і економічно оптимальній нормі зрошення  $m_{kg}^{EO}$  або при економічно оптимальній водоподачі  $(Q_k^{EO})^{\beta}$  складає:

$$Y_{kg}^{EO} = \alpha (g + m_{kg}^{EO})^{\beta} = \alpha (Q_k^{EO})^{\beta}. \quad (20)$$

Максимальний прибуток від вирощування  $k$ -ї культури на одному га земельної ділянки  $S$  при забезпеченні економічно оптимальної норми зрошення  $m_{kg}^{EO}$  складає:

$$\begin{aligned} \left[ \Pi_k^s \right]^{\max} = & \left( \Pi_k^s - \sum b_k^{\delta} - R_k^{c/2} \right) \cdot Y_{kg}^{EO} - \\ & - \left( \Pi_s^{TB} + b_k^{3P} \right) \cdot \frac{m_{kg}^{EO}}{\lambda} - \\ & - \left( A_1^{3P} + b_k^{NM} + b_k^{OP} \right) \end{aligned} \quad (21)$$

Розрахований за формулою (21) максимальний прибуток від вирощування  $k$ -ї культури на певній земельній ділянці або ділянках певного посушливого природно-сільськогосподарського району забезпечується не тільки загальною величиною економічно оптимальної норми зрошення  $m_{kg}^{EO}$ , а й оптимальним розподілом норми зрошення  $m_{kg}^{EO}$  по окремим фазам вегетаційного періоду. Виникає потреба в розробці методичних заasad (алгоритму) покровокого визначення для  $k$ -ї культури економічно оптимальної норми зрошення  $m_{kg}^{EO}$ , оптимально розподіленої на протязі вегетаційного  $T_k^e$  і зрошувального  $T_k^{3P}$  періодів.

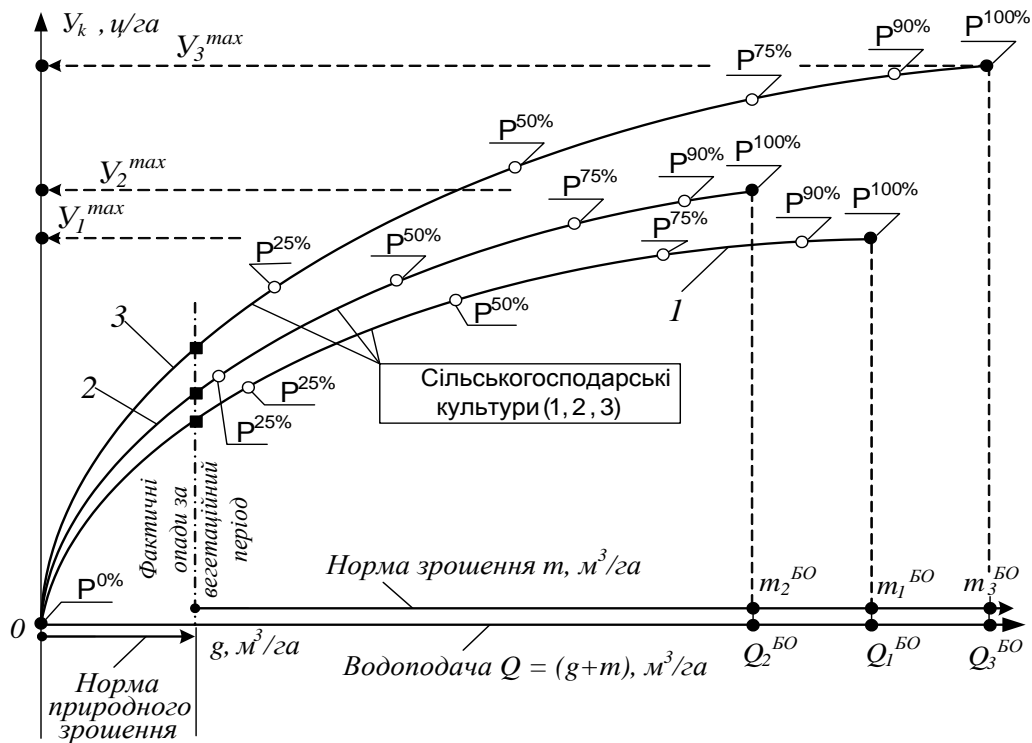


Рисунок 1. Залежність урожайності  $Y_k$  культур від водоподачі  $Q$

Алгоритм визначення оптимально розподіленої протягом зрошувального періоду величини економічно оптимальної норми зрошення та оптимального прибутку при вирощуванні  $k$ -ї культури.

На першому дослідницькому етапі (кроки 1.1–1.6) для кожної  $k$ -ї культури з рекомендованої для земельної ділянки схеми сівозмін визначають величину економічно оптимальної норми зрошення  $m_{kg}^{BO}$  за умовою її оптимального розподілу на протязі зрошувального періоду  $T_k^{zp}$ .

**Крок 1.1.** Враховуючи особливості розвитку  $k$ -ї культури, природні умови та технологію виконання зрошувальних робіт, загальний зрошувальний період  $T_k^{zp}$  ділять на нульову (передпосівну) фазу та  $N$  робочих фаз (рис.2). Робочі фази відповідають періодам між поливами, їх призначають з урахуванням вологості ґрунтів, опадів та технології поливу.

**Крок 1.2.** В залежності від фізіологічних потреб культури, для кожної  $n$ -ї фази з використанням наявної бази наукових знань та шляхом виконання польових досліджень визначають вологість ґрунту  $W_n^{BO}$ , при якій забезпечується біологічно оптимальний режим розвитку  $k$ -ї культури. Згідно [8], для багатьох культур в умовах посушливої зони вологість  $W_n^{BO}$  складає 40–60% від повної вологості ґрунту  $W^{TB}$ .

**Крок 1.3.** Біологічно оптимальну фазову вологість ґрунту  $W_n^{BO}$  забезпечують штучним регулюванням фазової водоподачі  $Q_n^{BO}$ . Вимірюючи вологість ґрунту по фазам зрошення, визначають ряд  $R(Q_n^{BO})_k$  розподілення біологічно оптимальних фазових водоподач  $Q_n^{BO}$ :

$$R(Q_n^{BO})_k = \{Q_0^{BO}, Q_1^{BO}, \dots, Q_n^{BO}, \dots, Q_N^{BO}\}. \quad (22)$$

При цьому члени ряду (22) визначають за такими залежностями:

$$Q_k^{BO} = \sum_{n=0}^N Q_n^{BO}; \quad (23)$$

$$Q_n^{BO} = g_n + m_n^{BO}; \quad (24)$$

$$Q_n^{BO} = q_n^{BO} \cdot \Delta t_n, \quad (25)$$

де  $Q_k^{BO}$  – біологічно оптимальна водоподача для розвитку  $k$ -ї культури,  $m^3/га$ ;

$\Delta t_n$  – період (тривалість)  $n$ -ї фази зрошення, дїб;  $g_n$  – норма природного зрошення на  $n$ -й фазі,  $m^3/га$ ;

$m_n^{BO}$  – норма біологічно оптимального штучного зрошення на  $n$ -й фазі,  $m^3/га$ ;

$q_n^{BO}$  – сумарний біологічно оптимальний гідромодуль штучного і природного зрошення при умові його рівномірного розподілення на періоді  $\Delta t_n$ ,  $m^3/доба \cdot га$ .

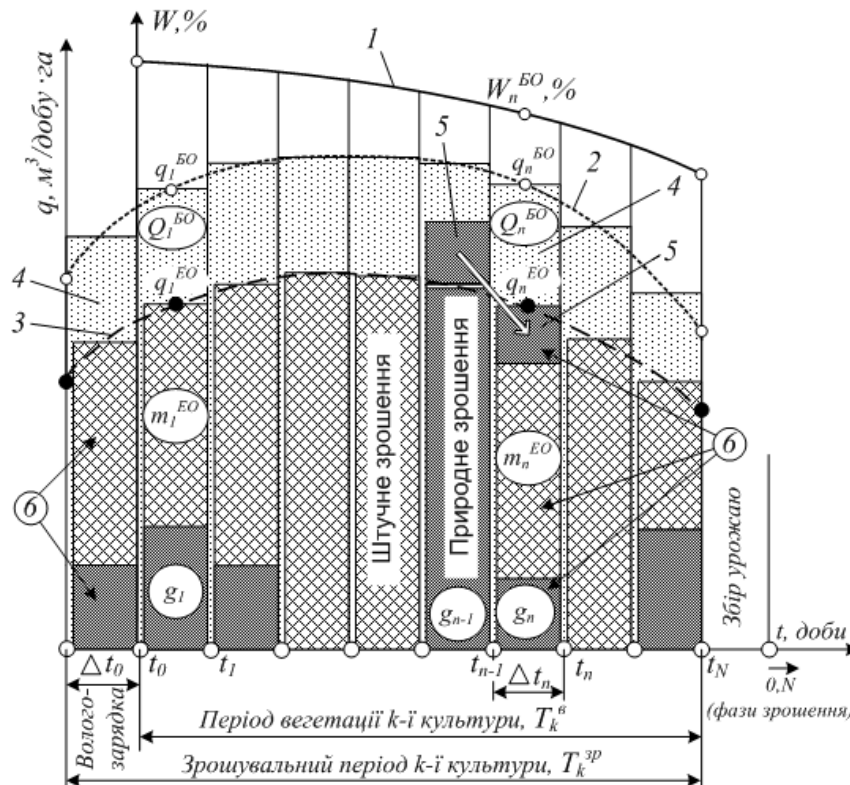
**Крок 1.4.** Для кожного  $i$ -го експерименту призначають певний рівень забезпеченості водоподачі  $(P_Q)_i$  та проводять на протязі вегетаційного періоду експериментальне зрошення, штучно забезпечуючи при цьому загальну водоподачу  $(Q_k)_i$  і загальну норму зрошення  $(m_k)_i$  та кожну фазову водоподачу  $(Q_n)_i$  і фазову норму зрошення  $(m_n)_i$  за таких умов:

$$(Q_k)_i = (g_k)_i + (m_k)_i = \sum_{n=0}^N (Q_n)_i =$$

$$= \sum_{n=0}^N [(g_n)_i + (m_n)_i] \quad ; \quad (26)$$

$$\frac{(Q_k)_i}{Q_k^{BO}} 100\% = \frac{(Q_0)_i}{Q_0^{BO}} 100\% = \dots =$$

$$= \frac{(Q_n)_i}{Q_n^{BO}} 100\% = \dots = \frac{(Q_N)_i}{Q_N^{BO}} 100\% = (P_Q)_i \quad , \quad (27)$$



**Рисунок 2. Схема розподілу загальної економічно оптимальної норми штучного зрошення  $m_{kg}^{EO}$  k-ї культури по окремих фазам зрошення:**

1 – графік вологості ґрунту, при якій забезпечується біологічно оптимальний режим розвитку k-ї культури; 2 – графік розподілу біологічно оптимальної водоподачі  $Q_k^{BO}$  по фазам зрошення (або вегетації) k-ї культури; 3 – графік розподілу економічно оптимальної водоподачі  $Q_k^{EO}$  по фазам зрошення; 4 – біологічно оптимальна водоподача на n-й фазі; 5 – перевищення (випадок) на (n-1)-й фазі норми природного зрошення  $g_{n-1}$  над економічно оптимальною водоподачею  $Q_{n-1}^{EO}$ ; 6 – сумарна економічно оптимальна фазова водоподача

**Крок 1.5.** В кінці вегетаційного періоду для кожного i-го експерименту величини вимірювань норми природного ( $g_k$ ) і штучного ( $m_k$ ) зрошення та урожайності ( $Y_k^{екс}$ ) k-ї культури вносять в таблицю.

№	$(g_k)_i$	$(m_k)_i$	$\ln(Q_k)_i$	$\Sigma \ln(Q_k)_i$	$\Sigma [\ln(Q_k)_i]$	$(Y_k^{екс})_i$	$\ln(Y_k^{екс})_i$	$\Sigma \ln(Q_k)_i \cdot \ln(Y_k^{екс})_i$	$\Sigma \ln(Q_k)_i \cdot \Sigma \ln(Y_k^{екс})_i$
1									
...									
i									
...									
h									

Після проведення аналогічних експериментальних досліджень урожайності k-ї культури в кількості  $h \geq 5$  при інших значеннях аргументу  $(Q_k) = (g_k) + (m_k)_i$ , їх результати вносять в таблицю. Якщо виконувати для кожної земельної ділянки по одному експерименту в рік, дотримуючись ще при цьому рекомендованої схеми сівозмін, то знадобиться занадто багато років для отримання необхідної кількості експериментальних значень урожайності k-ї культури. Тому доцільно проводити експерименти з дослідження урожайності k-ї культури паралельно на багатьох дрібних експериментальних ділянках, утворених шляхом ділення на частини земельної ділянки S в межах певного природно-сільськогосподарського району. Від цього чистота експерименту не тільки збережеться, а й підвищиться, оскільки при виконанні в один і той же рік одночасно багатьох експериментів, будемо мати для цих експериментів однакові показники температури повітря та кількості сонячних днів.

**Крок 1.6.** Отримавши для кожної k-ї культури таблицю експериментальних даних, здійснюють розрахунки параметрів  $\alpha$  і  $\beta$  функції урожайності цієї культури за формулою (16). Функції (9) для різних культур з рекомендованої схеми сівозмін будуть відрізнятися значеннями параметрів  $\alpha$  і  $\beta$ . Функції (9) використовують на наступних етапах, які передбачають виконання процедурних кроків 2.1–2.4.

**Крок 2.1.** На основі аналізу аграрного ринку поточного періоду, визначають множину фізичних і вартісних параметрів  $\{\zeta_k^S, \Sigma b_k^d, b_k^{c/g}, F_k, \zeta_s^{TB}\}$ , а потім за формулами (4–8) розраховують інші, необхідні для подальших розрахунків техніко-економічні параметри.

**Крок 2.2.** За формулами (19)–(21) розраховують економічно оптимальну норму зрошення  $m_{kg}^{EO}$  і водоподачу  $Q_k^{EO}$  планову економічно оптимальну урожайність  $Y_{kg}^{EO}$ , максимальний прибуток  $[\Pi_k^{s,max}]$ .

**Крок 2.3.** Оптимальну водоподачу  $Q_k^{EO}$  розподіляють по фазам зрошення (рис. 2) згідно залежно

стей (28) і (29), та встановлюють ряд (30) фазових водоподач  $Q_n^{EO}$ , необхідних для забезпечення економічно оптимального режиму зрошення на зрошувальному періоді  $T_k^{zp}$ .

$$Q_k^{EO} = \sum_{n=0}^N Q_n^{EO}; \quad (28)$$

$$\frac{Q_k^{EO}}{Q_k^{BO}} 100\% = \frac{Q_n^{EO}}{Q_k^{BO}} 100\% = (P_Q)_k^{EO}; \quad (29)$$

$$R(Q_n^{EO})_k = \{Q_0^{EO}, Q_1^{EO}, \dots, Q_n^{EO}, \dots, Q_N^{EO}\}. \quad (30)$$

Крок 2.4. При проведенні зрошувальних робіт в період вегетації культури на кожній фазі зрошення вимірюють опади та встановлюють норму природного фазового зрошення  $g_n$ , яку враховують при визначенні економічно оптимальної норми штучного фазового зрошення  $m_n^{EO}$ :

$$m_n^{EO} = Q_n^{EO} - g_n. \quad (31)$$

Якщо на попередній ( $n-1$ )-й фазі норма природного фазового зрошення  $g_{n-1}$  перевищила розрахункову економічно оптимальну водоподачу  $Q_{n-1}^{EO}$  ( $g_{n-1} > Q_{n-1}^{EO}$ ), то на наступній  $n$ -й фазі це перевищення повинно бути враховане (рис.2) у розрахунку  $m_n^{EO}$ :

$$m_n^{EO} = Q_n^{EO} - g_n - (g_{n-1} - Q_{n-1}^{EO}). \quad (32)$$

**Висновки.** Теоретичними дослідженнями комплексу основних агротехнічних та економічних параметрів зрошувального землеробства доведена можливість визначення на науково-детермінованій основі економічно оптимальних норм зрошення та доцільність їх практичного застосування в умовах кон'юнктури аграрного ринку для досягнення максимального прибутку від вирощування культур на зрошуваних землях.

Згідно наведеної методики, сільгоспвиробнику спочатку необхідно для земельної ділянки певного природно-сільськогосподарського району встановити дослідним шляхом для кожної сільськогосподарської культури з рекомендованої схеми сівозмін емпіричну залежність урожайності культури від норми зрошення при умові дотримання рекомендованого режиму виконання агротехнічних заходів та запропонованого режиму розподілу загальної норми зрошення по окремим фазам зрошувального періоду, а потім на початку кожного зрошувального періоду виконувати

розрахунки з визначення економічно оптимальних норм зрошення, при яких забезпечується максимальний прибуток зрошувального землеробства в умовах коливань поточних ринкових цін аграрного виробництва.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Арент К.П., Гончаренко П.А. Экономическое обоснование расчетной обеспеченности оросительных норм // Гидротехника и мелиорация. – 1982. – № 8. – С. 68-71.
2. Жовтоног О.І. Експертно-імітаційний метод оптимізації внутрішньогосподарського водорозподілу // Меліорація і водне господарство. – 1998. – Вип. 85 – С. 21-28.
3. Жовтоног О.І., Поліщук В.В. Особливості розрахунку динаміки вологості ґрунту в умовах неоптимального зволоження // Меліорація і водне господарство. – 2003. Вип. 89 – С. 9-18.
4. Ковальчук П.І., Лазер П.Н., Пендак Н.В., Зябров І.А. Математичне модулювання врожайності сільськогосподарських культур при взаємодії комплексу факторів // Меліорація і водне господарство. – 2007. – Вип. 95 – С. 24-34.
5. Ковальчук П.І., Михальська Т.О. Системне модулювання для оцінки ефективності ресурсозберігаючих технологій управління поливами // Меліорація і водне господарство. – 1994. – Вип. 81- С. 30-35.
6. Ковальчук П.І., Чистоклетова В.О. Оптимізація водокористування на основі визначення розрахункової забезпеченості зрошувальних норм // Меліорація і водне господарство. – 1994. – Вип. 81- С. 39-42.
7. Ковальчук П.І. Системные модели оптимизации расчетной обеспеченности оросительных норм // Мелиорация и водное хозяйство. – 1992. – Вып. 76. – С. 14-16.
8. Костяков А.Н. Основы мелиораций. – 6 изд. – М., 1960. – 664 с.
9. Остапчик В.П., Костромин В.А., Коваль А.М. и др. Информационно-советующая система управления орошением. – К.: Урожай, 1989. – 248 с.
10. Рекс Л.М. Техничко-экономическое обоснование оросительных норм и параметров гидромелиоративных систем // Гидротехника и мелиорация. 1974. – №2. – С. 42-49.
11. Трухаев Р.И. Модели принятия решений в условиях неопределенности. – М.: Наука. – 1981. 257 с.
12. Харченко О.В. Техніко-економічне обґрунтування зрошення в умовах різного природного зволоження // Меліорація і водне господарство. – 1994. – Вип. 81- С. 36-39.