
МЕЛІОРАЦІЯ І РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТІВ

MELIORATION AND SOIL FERTILITY

УДК 631.67

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.23>

ОПТИМІЗАЦІЯ ЗРОШУВАЛЬНИХ НОРМ ПРИ ПЛАТНОМУ ВОДОКОРИСТУВАННІ В СУЧАСНИХ РИНКОВИХ УМОВАХ

Волошин М.М. – к.техн.н., доцент, доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної інженерії та водних технологій,
ДВНЗ «Херсонський державний аграрно-економічний університет»

У статті наведено результати досліджень та аналізу платного водокористування, запропоновано метод і алгоритм оптимізації функції додаткового чистого прибутку від зрошення, що базується на імітаційному моделюванні та графічному аналізі. Запропоновано та наведено функції додаткового чистого прибутку від зрошення, що виражають приріст економічного ефекту внаслідок зрошення. Оптимізація водокористування здійснюється для конкретних років, на основі прогнозування певного типу метеорологічних ситуацій, в умовах яких передбачається вирощування сільськогосподарських культур, собівартості відповідно при зрошенні і на богарі, планової врожайності, тарифу на воду. Запропоновано проводити імітаційне моделювання сценаріїв функції додаткового чистого прибутку при різних параметрах з подальшим наведенням цих сценаріїв на основі графічного представлення інформації. Запропонований метод математичного моделювання складається з двох етапів: імітаційного моделювання сценаріїв, графічного аналізу даних експерименту та прийняття рішень. Наведено алгоритм оптимізації зрошувальних норм та вибір режиму зрошення. Приведена принципова блок-схема прийняття оптимального рішення вибору зрошувальної норми та режиму зрошення. Здійснені розрахунки системної оцінки додаткового чистого прибутку від зрошення (на прикладі кукурудзи на силос) залежно від зрошувальної норми, величини плати за воду, в роки різної водозабезпеченості та відповідні їм режими зрошення. Наведена реалізація економічно ефективних зрошувальних норм на основі відповідних режимів зрошення. Для умов прогнозованого року розраховуються функції додаткового чистого прибутку від зрошення відповідних сільськогосподарських культур. Оптимізація здійснюється графічно шляхом вибору оптимального значення зрошувальної норми на основі візуальної оцінки чистого прибутку, розрахованого за даними, які узгоджуються з сільгоспвиробником. Запропонований метод дозволяє графічно знаходити оптимальні та субоптимальні значення зрошувальної норми, що значно простіше і наглядніше, ніж аналітично.

Ключові слова: оптимізація, зрошувальна норма, платне водокористування, додатковий чистий прибуток, режим зрошення.

Voloshyn M.M. Optimization of irrigation rates under paid water use in modern market conditions

The article presents the results of research and analysis of paid water use, proposes a method and algorithm for optimizing the function of additional net profit from irrigation, based on simulation and graphical analysis. The functions of additional net profit from irrigation are proposed and presented, which express the increase of economic effect due to irrigation. Optimization of water use is carried out for specific years, based on forecasting certain types of meteorological situations, in which the cultivation of crops is envisaged, the cost under irrigation

and on rainfed soil, planned yield, water tariff. It is offered to carry out simulation modeling of scenarios of functions of additional net profit at various parameters with the subsequent indication of these scenarios on the basis of graphic representation of the information. The proposed method of mathematical modeling consists of two stages: simulation of scenarios, graphical analysis of experimental data and decision-making. The algorithm of optimization of irrigation norms and the choice of irrigation mode are given. The basic block – the scheme of acceptance of the optimum decision of a choice of an irrigation norm and an irrigation mode is resulted. Calculations of the systematic assessment of additional net profit from irrigation (for example, corn for silage) depending on the irrigation rate, the amount of payment for water, in years of different water supply and the corresponding irrigation regimes are performed. The implementation of cost-effective irrigation standards on the basis of appropriate irrigation regimes is presented. For the conditions of the forecast year, the functions of additional net profit from irrigation of the respective crops are calculated. Optimization is carried out graphically by selecting the optimal value of the irrigation rate on the basis of a visual assessment of net profit, calculated from data agreed with the farmer. The proposed method allows you to graphically find the optimal and suboptimal values of irrigation rates, which is much simpler and clearer than analytically.

Key words: optimization, irrigation rate, paid water use, additional net profit, irrigation regime.

Постановка проблеми. В нових умовах господарювання важливим напрямом розвитку меліорації є розробка економіко-організаційних основ і нормативів, що обслуговують економічні взаємовідносини в галузі водного господарства і меліорації та опираються на прогресивні технології. Особливо актуальним при вирощуванні сільськогосподарських культур є пропозиції щодо покращення взаємовідносин між водогосподарськими організаціями (управління зрошувальних систем) і водокористувачами (фермери, орендарі, господарства різної форми власності), а саме беззбитковості тих і інших організацій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вибір функції додаткового чистого прибутку від зрошення зумовлено тим, що тільки додатковий чистий прибуток виражає приріст економічного ефекту внаслідок зрошення [1]. Оптимізація водокористування здійснюється для конкретних років, на основі прогнозування певного типу метеорологічних ситуацій, в умовах яких передбачається вирощування культур (в гостро-засушливих чи середньо-засушливих, середніх, середньо-вологих та вологих років).

Постановка завдання. Запропоновано метод оптимізації функції додаткового чистого прибутку від зрошення. Критерій додаткового чистого прибутку від зрошення обчислюється за формулою, яка вдосконалена стосовно умов платного водокористування [2]:

$$F(U, W, \xi) = (C - C_1) f\left(\frac{U + \xi}{W + \xi}\right) Y^{\text{п}} - (C - C_2) f\left(\frac{\xi}{W + \xi}\right) Y^{\text{п}} - \lambda U, \quad U \leq U_{\text{кр}}, \quad (1)$$

де $F(U, W, \xi)$ – додатковий чистий прибуток від зрошення, грн/га; C – закупівельна ціна, грн/т; C_1, C_2 – собівартість відповідно при зрошенні і на богарі (без витрат на подачу води), грн/т; $Y^{\text{п}}$ – плановий (проектний) урожай, т/га; $f\left(\frac{U + \xi}{W + \xi}\right), f\left(\frac{\xi}{W + \xi}\right)$ – функції зниження урожайності від одиниці при недополиві при зрошенні чи на богарі, в долях одиниці; $U, U_{\text{кр}}$ – значення відповідно поточних та критичних (лімітних) зрошувальних норм, м³/га; ξ – опади конкретного року, м³/га; W – значення біологічно оптимальних зрошувальних норм, м³/га; λ – тариф за 1 м³ води, грн/м³.

Нижче розглянемо запропонований нами метод оптимізації водокористування в умовах плати за воду, що базується на оптимізації зрошувальних норм U на основі функції додаткового чистого прибутку (ДЧП) від зрошення (1). Як відомо, метод (від грецького – шлях, дослідження, спосіб пізнання) полягає в формалізації, визначенні та подальшій алгоритмізації способу, прийому або системи прийомів для досягнення поставленої мети, для виконання певної операції.

В такому разі в основу розробки методу поставлена мета – оптимізація варіантів водокористування (зрошувальних норм) для економічно доцільного ведення зрошуваного землеробства з позицій водокористувачів. Кінцева операція – системна оцінка та оптимізація зрошувальних норм на основі критерію ДЧП в умовах різних тарифів за воду λ . Розглянемо і обґрунтуємо систему прийомів, які використовуються в задачі оптимізації функції (1).

Аналіз функції (1) показує, що вона залежить від змінних – зрошувальної норми U (змінюється неперервно) та конкретного року забезпеченості, який характеризується опадами ξ та максимальною (біологічно оптимальною) зрошувальною нормою W , тобто погодними умовами року $\theta = (W, \xi)$, які змінюються стохастично і дискретно, піддаються вимірюванню (опаді ξ) або знаходяться на основі розрахунків з використанням імітаційного моделювання (зрошувальна норма W). Саме стохастичні змінні дозволяють зобразити функцію (1) в вигляді матриці гри з природою.

Крім того, функція (1) залежить від величин, які вважаються параметрами – закупівельна ціна C , собівартості на богарі C_2 та при зрошенні C_1 , тариф на воду λ та проектна урожайність Y^n . При конкретних розрахунках ДЧП параметри набувають тих чи інших конкретних фіксованих значень. Важливим параметром є параметр λ – тариф за воду. Він залежить від витрат, пов'язаних з послугами на подачу води з точки водовиділу, та величини проектної норми. Приймаючи, що параметр λ набуває ряд дискретних значень, з виразу (1) одержуємо деяку дискретну множину кривих, які називаємо сім'єю кривих.

Особливо важливою функцією при дослідженні функціонала (1) є модель відносної урожайності конкретних сільськогосподарських культур в вигляді найбільш загальної квадратичної сплайн-функції [3]:

$$\frac{Y}{Y^{\max}} = \begin{cases} 0, & \text{при } K \leq K_0 \\ b_0 + b_1 \left(\frac{u + \xi}{\omega + \xi} \right) + b_2 \left(\frac{u + \xi}{\omega + \xi} \right)^2, & \text{при } K_0 < K < K_1; \\ a_0 + a_1 \left(\frac{u + \xi}{\omega + \xi} \right) + a_2 \left(\frac{u + \xi}{\omega + \xi} \right)^2, & \text{при } K_1 \leq K < 1; \\ 1, & \text{при } K \geq 1 \end{cases} \quad (2)$$

Зважаючи на те, що функція (2) є неперервною та диференційованою (крім точки K_0), за побудовою, то функція ДЧП (1) також є неперервною всюди та диференційованою (крім точки K_0).

Таким чином, з урахуванням параметра λ , що приймає ряд дискретних значень, та виду сплайн-функції (2), функція додаткового чистого прибутку (1) приймає вигляд:

$$\begin{aligned}
 & -\lambda U, \text{ якщо } f\left(\frac{U+\xi}{W+\xi}\right) = 0; \quad K \leq K_0; \\
 F(U, W, \xi, \lambda) = & \begin{cases} (C-C_1)\left(b_0 + b_1\left(\frac{U+\xi}{W+\xi}\right) + \left(\frac{U+\xi}{W+\xi}\right)^2\right)Y^n - (C-C_2)\left(b_0 + b_1\left(\frac{\xi}{W+\xi}\right) + b_2\left(\frac{\xi}{W+\xi}\right)^2\right)Y^n - \lambda U, \text{ якщо } K_0 < K < K_1; \\ (C-C_1)\left(a_0 + a_1\left(\frac{U+\xi}{W+\xi}\right) + \left(\frac{U+\xi}{W+\xi}\right)^2\right)Y^n - (C-C_2)\left(a_0 + a_1\left(\frac{\xi}{W+\xi}\right) + a_2\left(\frac{\xi}{W+\xi}\right)^2\right)Y^n - \lambda U, \text{ якщо } K_1 \leq K < 1; \\ (C-C_1)Y^n - (C-C_2)\left(a_0 + a_1\left(\frac{\xi}{W+\xi}\right) + a_2\left(\frac{\xi}{W+\xi}\right)^2\right)Y^n - \lambda U, \text{ якщо } K \geq 1 \end{cases} \quad (3)
 \end{aligned}$$

Проте як сплайн-функції (2), так і функція ДЧП (3) є досить складними для аналітичного дослідження на екстремум (в даний час аналітичні дослідження на екстремум функції (3) відсутні), оскільки дані функції складаються з окремих сплайнів, а також містять стохастичну зміну $\theta = (W, \xi)$, що змінюється дискретно. Виходячи з виду функції (2), можна говорити, що функція (3) є лінійною, монотонно спадною до деякого значення U_0 , що відповідає K_0 ; в області $K_0 \leq K < 1$ функція (2) є квадратичною, монотонно зростаючою відносно U , досягає в деякій точці цієї області максимуму; при $K \geq 1$ функція (2) є також лінійною, монотонно спадною. Таким чином, дослідження інтервалів зростання та спадання функції (2) за допомогою похідних, дослідження точок екстремуму (внаслідок недиференційованості функції в точці K_0) не може бути проведене класичними методами.

Запропонований нами підхід до оптимізації базується на тому, що спочатку проводиться імітаційне моделювання сценаріїв функції ДЧП при різних параметрах (платі за воду, погодних умовах), в подальшому пропонується оптимізаційний аналіз цих сценаріїв на основі графічного представлення інформації. Це дозволяє здійснити системний підхід до аналізу оптимальних зрошувальних норм, який полягає не тільки в знаходженні одного значення екстремуму (максимуму) функції ДЧП, а і в одержанні системних оцінок, а саме:

- дослідженні поведінки критерію при фіксованих вхідних параметрах поблизу оптимальної точки, інтервали додатніх та від'ємних значень критерію тощо;

- дослідженні критерію, зокрема його максимального значення, залежно від зміни параметру λ (тарифу за воду) та дискретних значень параметрів (W, ξ) (погодних умов).

Таким чином запропонований метод математичного моделювання складається з двох етапів: імітаційного моделювання сценаріїв, графічного аналізу даних експерименту та прийняття рішень [4].

На першому етапі машинного експерименту нами пропонується такий прийом, як імітаційне моделювання функціоналу (2), з моделюванням функції залежно від змінної U , при цьому:

- фіксується як параметр рік забезпеченості $\theta_j = (W_p, \xi_j)$, тобто погодні умови року;

- вибирається множина параметрів $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ тарифів на воду, для яких необхідно провести розрахунки критерію;

- фіксуються певні економічні параметри (закупівельні ціни, собівартості, проектні врожаї);

- вибирається крок ΔU і для відповідних значень $U \in [U_0, W_j]$ для даного року розраховуються в вузлах сітки значення функції (2) при різних параметрах λ_i .

Імітаційна система залежно від параметра λ розраховує сім'ю кривих додаткового чистого прибутку. Якщо вибрати конкретні параметри культури, відповідну модель врожаю, то для умов прогнозованого року розраховуються функції додаткового чистого прибутку від зрошення відповідних сільськогосподарських культур.

На другому етапі в системі здійснюється такий прийом, як побудова графіків залежностей ДЧП від зрошувальної норми при різній платі за воду та прийняття рішень. Доповнення даних імітації (сценаріїв) сім'ї кривих, залежно від плати за воду, їх графічним аналізом відповідає сучасним тенденціям системного аналізу, зокрема системному моделюванню для максимізації (графічно) чистого прибутку.

На відміну від роботи, де при певних параметрах наносяться на графік лінії рівних значень чистого прибутку, нами запропоновано такий системний аналіз інформації:

- на графік наносяться (рис. 1) криві ДЧП при різних значеннях λ в певний рік водозабезпеченості (погодних умовах (W, ξ)), що дозволяє оцінити оптимальне значення, знайти значення норм, близьких до оптимальних, значення норм, за яких критерій приймає додатні або від'ємні значення;
- виходячи з серії графіків в роки різної водозабезпеченості та фіксуючи певні значення тарифу на воду λ , досліджується тенденція зміни ДЧП як від тарифу за воду, так і від погодних умов (в роки різної водозабезпеченості).

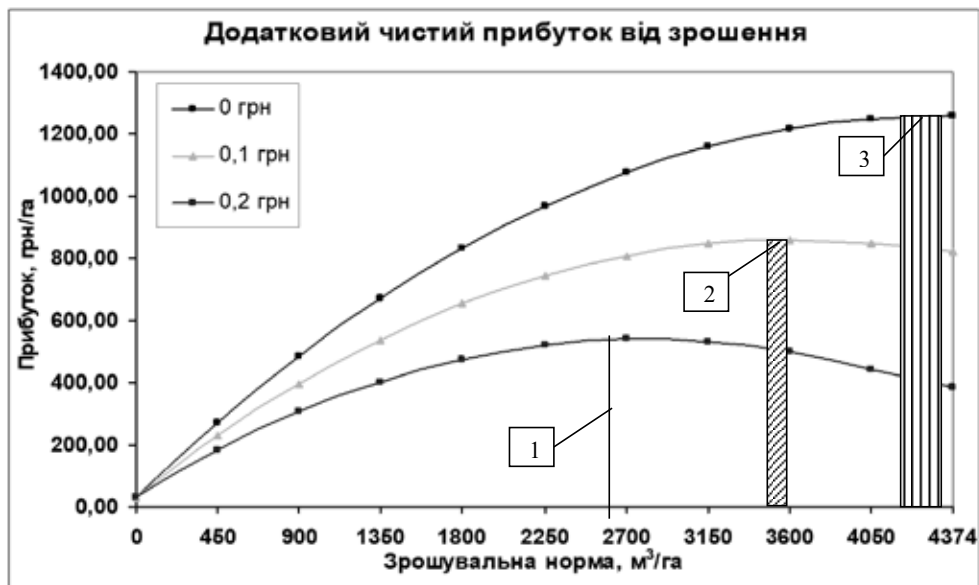


Рис. 1. Залежність додаткового чистого прибутку від зрошення від зрошувальної норми та величини плати за воду:

1 – оптимальне значення зрошувальної норми, що відповідає максимальній точці значення додаткового чистого прибутку від зрошення при тарифі за воду $\lambda = 0,2$ грн.; 2 – субоптимальні значення зрошувальних норм (відрізок), що відповідають значенням додаткового чистого прибутку від зрошення при тарифі за воду $\lambda = 0,1$ грн.; 3 – субоптимальні значення зрошувальних норм (відрізок), що відповідають значенням додаткового чистого прибутку від зрошення при тарифі за воду $\lambda = 0$ грн.

Графічний метод дозволяє визначити оптимальні значення зрошувальних норм, що відповідають максимальному значенню додаткового чистого прибутку від зрошення (рис. 1). В діалоговому режимі водокористувач може вибрати на основі графічного аналізу не тільки оптимальні, але й близькі до них (субоптимальні) рішення. Критерієм прийняття рішень при цьому являється незначне зниження ДЧП при суттєвому зменшенні величини поливної норми. При цьому водокористувач може враховувати також наявні фінансові ресурси, які витрачаються на попередню оплату послуг з подачі води на зрошення. Дефіцит фінансових ресурсів, можливе врахування інших факторів (технічні характеристики насосних станцій, насосних агрегатів, дощувальної техніки та інші фактори, які наводить водоспоживач) дозволяє графічно визначити найбільш доцільні для водокористувача зрошувальні норми, які на рівні річного планування вносяться в договір на платне водокористування.

Графічно визначаються також економічно оптимальні режими зрошення (рис. 1) та на їх основі здійснюється прийняття рішень про відповідні технології, що характеризуються застосуванням певної техніки поливу, методів і моделей оперативного планування поливів [2]. Дійсно, аналіз критерію додаткового чистого прибутку від величини зрошувальної норми показує, що при низьких тарифах на воду економічно вигідним є біологічно оптимальне зрошення, при збільшенні тарифу на воду оптимальне значення зрошувальної норми зменшується, оптимальними стають водозберігаючі режими зрошення (рис. 1).

Виклад основного матеріалу дослідження. Наведемо алгоритм оптимізації зрошувальних норм та вибір режимів зрошення. Прийняття рішень проводиться за такою принциповою блок-схемою (рис. 2):

Блок 1. Формуються вхідні дані для розрахунку додаткового чистого прибутку при вирощуванні певної культури, які входять до бази даних.

Блок 2. База даних складається з показників: тарифу на воду, років забезпеченості, зрошувальних норм, закупівельних цін, собівартостей на богарі та при зрошенні, коефіцієнтів математичних моделей урожайності сільськогосподарських культур, проектних урожайностей, здійснюється вибір культури.

Блок 3. На основі моделі, заданої в аналітичній формі, проводиться розрахунок додаткового чистого прибутку від зрошення в табличній формі та в вигляді графічних залежностей. На графіку будуються залежності додаткового чистого прибутку від величини зрошувальної норми, тарифу на воду як певних фіксованих параметрів.

Блок 4. Проводиться аналіз оптимального та субоптимального значення критерію на основі графічної залежності. Визначається, на основі діалогу з водокористувачем, чи його задовольняє оптимум виробничої функції в єдиній точці, чи існує цілий інтервал субоптимальних зрошувальних норм, на якому слід знаходити близьке до оптимального значення функції додаткового чистого прибутку від зрошення. У разі єдиного значення – перехід на блок 5; у випадку інтервалу значень – перехід на блок 6.

Блок 5. Здійснюється вибір оптимального значення зрошувальної норми для узгодження із споживачем. Перехід до блоку 7.

Блок 6. Здійснюється вибір єдиного субоптимального рішення. Одним із принципів прийняття рішень, який можна запропонувати водоспоживачу, є вибір мінімальної на даному інтервалі зрошувальної норми, за якої досягається максимальне значення додаткового чистого прибутку при зрошенні. Можливі й інші рішення в процесі діалогового режиму. Перехід до блоку 7.

Блок 7. Визначається, чи потрібне уточнення величини зрошувальної норми. Якщо величина зрошувальної норми задовольняє споживача (технічні характеристики насосних станцій, насосних агрегатів, дощувальної техніки, та інші фактори, які наводять водоспоживач), то перехід до блоку 8.

При цьому споживач може змінити початкові дані, тоді розрахунок проводиться ще один раз (перехід на блок 1).

Блок 8. Здійснюється вибір режиму зрошення (уточнення), біологічно – оптимально чи водозберігаючого в залежності від величини зрошувальної норми (рис. 2).

Блок 9. При домовленості між водоспоживачем і водопостачальником, зупин розрахунку.

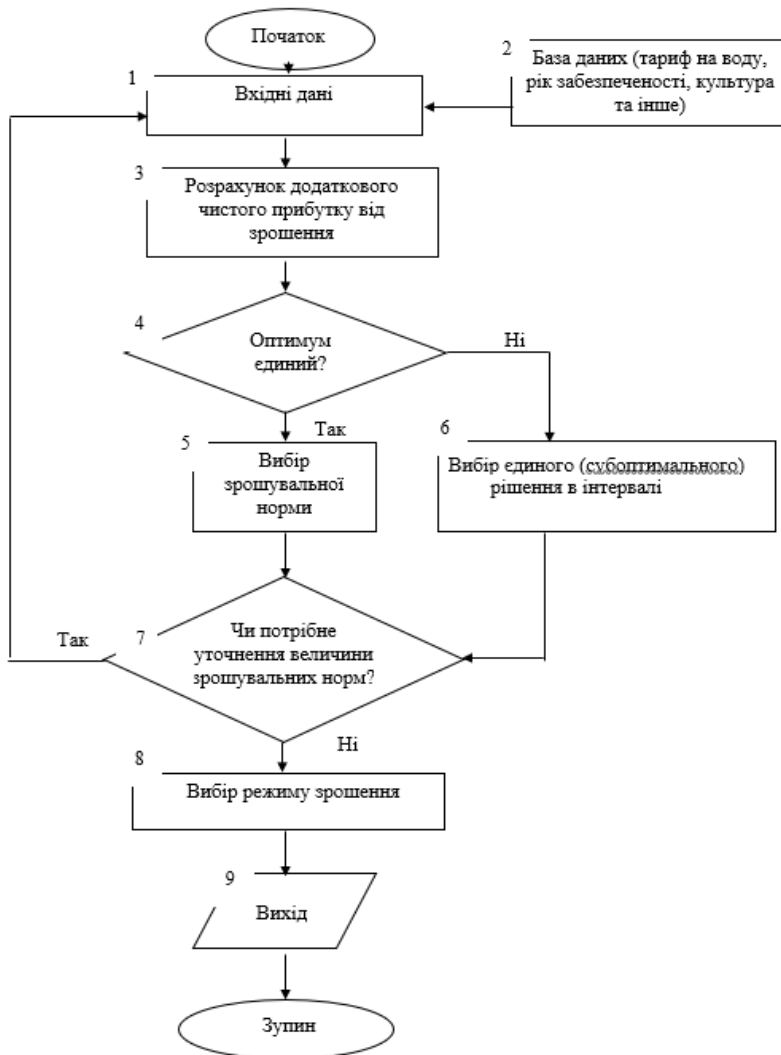
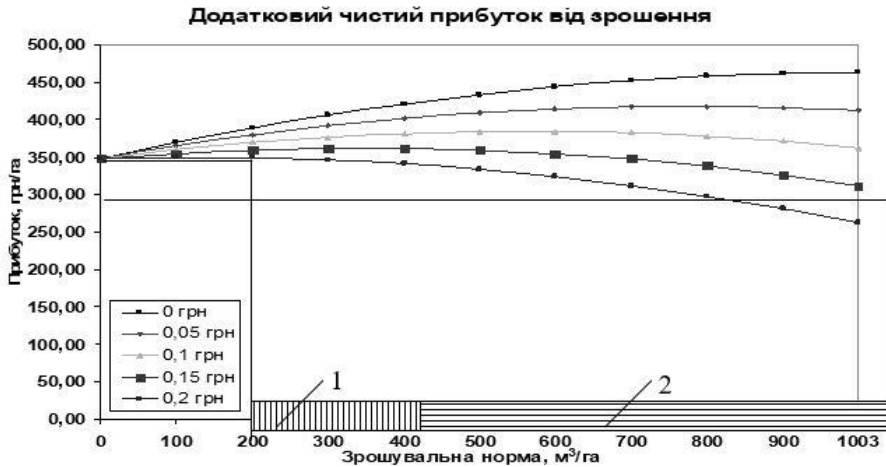
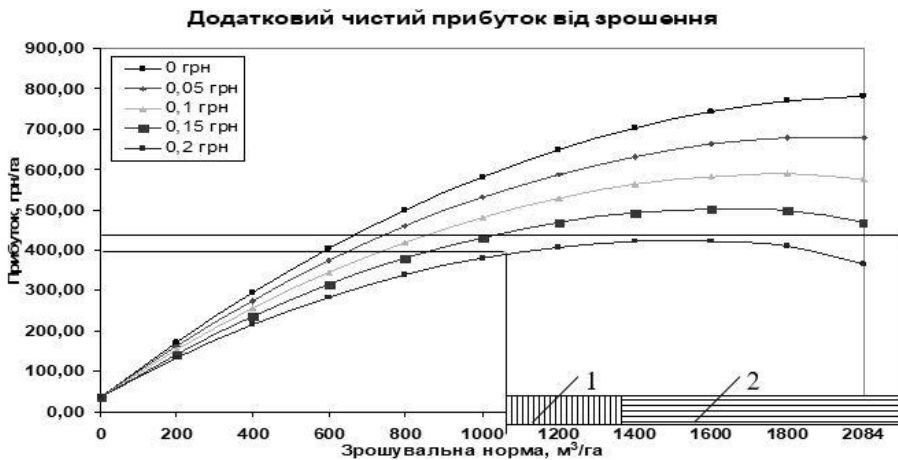


Рис. 2. Принципова блок-схема алгоритму вибору оптимального для водоспоживача рішення (зрошувальної норми та режиму зрошення)

Приклад розрахунку. Для умов прогнозованого року розраховуються функції додаткового чистого прибутку від зрошення відповідних сільськогосподарських культур. Оптимізація здійснюється графічно шляхом вибору оптимального значення зрошувальної норми на основі візуальної оцінки чистого прибутку, розрахованого за даними, які узгоджуються з сільгоспвиробником (рис. 3).



а)



б)

Рис. 3. Системні оцінки додаткового чистого прибутку від зрошення (на прикладі кукурудзи на силос) в залежності від зрошувальної норми, величини плати за воду, в роки різної водозабезпеченості (а – 5%; б – 25%; в – 50%; г – 75%) та відповідні їм режими зрошення (1 – водозберігаючий; 2 – біологічно оптимальний)

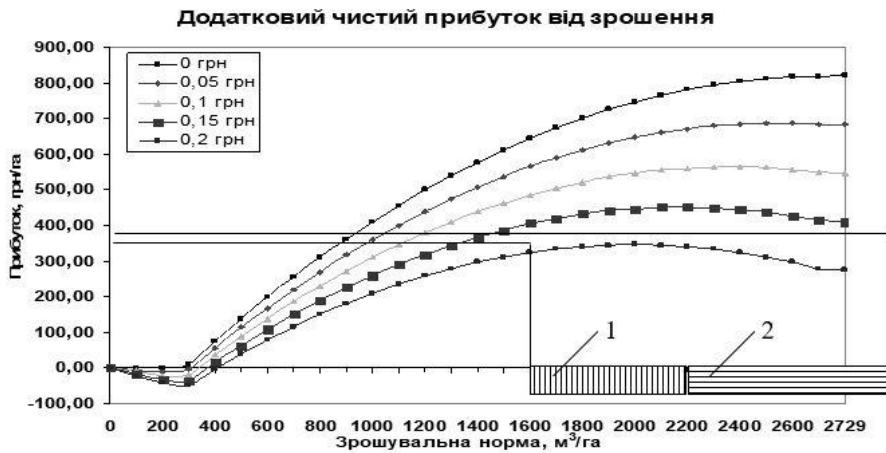
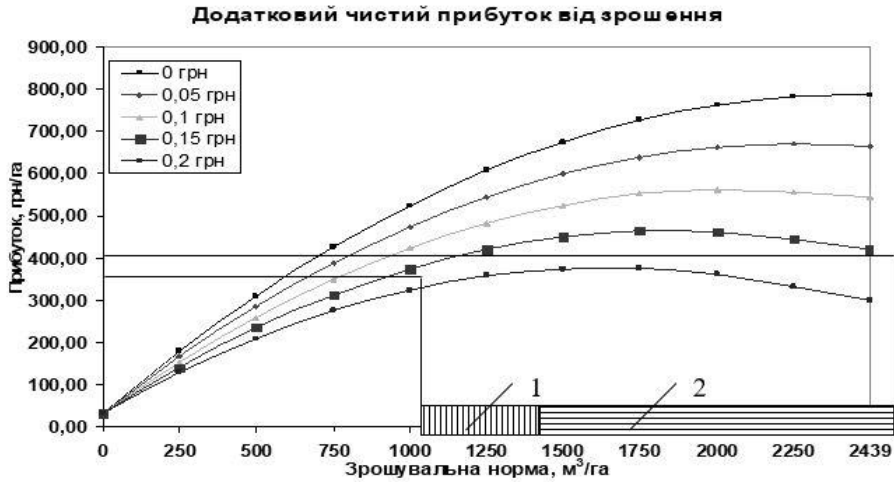


Рис. 3. (Закінчення)

При застосуванні графічного методу [5] фактично (рис. 3) здійснюється поєднання знаходження економічно оптимальної зрошувальної норми (на рівні річного планування) і відповідного їй економічно оптимального режиму зрошення, що реалізується при оперативному плануванні поливів.

Висновки і пропозиції. Таким чином, в порівнянні з аналітичним методом визначення зрошувальних норм, який в нашому разі важко реалізувати, запропонований імітаційно-оптимізаційний метод прийняття рішень має такі переваги:

- дозволяє графічно знаходити оптимальні та субоптимальні значення зрошувальної норми, що значно простіше і наглядніше, ніж аналітично;

- системно відслідковувати (рис. 3) поведінку функції додаткового чистого прибутку від зрошення в залежності від різних тарифів на воду, встановлювати граничні значення тарифів при визначенні економічної доцільності зрошення;
- оцінювати, виходячи з серії графіків (рис. 3) в роки різної водозабезпеченості (при фіксованих значеннях тарифу на воду λ), тенденції зміни оптимального значення та відслідковувати при цьому закономірності поведінки (зниження, збільшення) додаткового чистого прибутку від зрошення для кожної з досліджуваних сільськогосподарських культур.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Методические рекомендации по определению экономической эффективности использования водных ресурсов для целей орошения / Трегобчук В.М., Жминько В.И., Ивашкевич Ю.И., Жуйков Г.Е. К : Минводхоз УССР, 1981. 23 с.
2. Ковальчук П.І., Волошин М.М., Матяш Т.В. Оптимізація водокористування на основі аналізу додаткового чистого прибутку від зрошення. *Водне господарство України*. 2003. Вип. 2. С. 27–29.
3. Ковальчук П.И., Остапчик В.П. Определение моделей урожая в зависимости от динамики водоснабжения растений. *Мелиорация и водное хозяйство*. 1982. Вып. 5. С. 3–5.
4. Словарь по кибернетике: св. 2000 ст. ; под. ред. В.С. Михалевича. [2-е изд.]. Київ : Гл. ред. УСЭ им. М.П. Бажана, 1989. 751 с.
5. Коваленко П.И., Ковальчук П.И., Сапаров К.Б. Оптимизация внутрихозяйственного водопользования. *Мелиорация и водное хозяйство*. 1991. № 7. С. 46–48.

УДК 631.32:577.4:502.7:681.518.54

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.24>

ДИНАМІКА ЯКОСТІ ДРЕНАЖНИХ ВОД В ЕКСПЕРТНІЙ СИСТЕМІ ЕКОЛОГО-АГРОМЕЛІОРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ЗРОШУВАНИХ ЗЕМЕЛЬ (НА ПРИКЛАДІ ІНГУЛЕЦЬКОГО МАСИВУ)

Козленко Є.В. – к.с.-г.н., докторант,

Інститут зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України

Морозов О.В. – д.с.-г.н., професор, професор кафедри гідротехнічного будівництва, водної інженерії та водних технологій,

ДВНЗ «Херсонський державний аграрно-економічний університет»

Морозов В.В. – к.с.-г.н., професор, професор кафедри гідротехнічного будівництва, водної інженерії та водних технологій,

ДВНЗ «Херсонський державний аграрно-економічний університет»

На водорозподільних рівнинах Південного регіону України в умовах слабодренованих і безстічних масивів закритий горизонтальних дренаж є основним меліоративним заходом боротьби з підтопленням і вторинним засоленням зрошуваних та прилеглих до них земель. На Інгулецькому зрошуваному масиві, який є типовим для водорозподільних рівнин за геоморфологічними, інженерно – геологічними, гідрогеологічними, ландшафтними, кліматичними, ґрунтовими, водогосподарськими і сільськогосподарськими умовами, системи закритого горизонтального дренажу були побудовані в період 1960-1985 рр. На