



**Козішкurt С. М., к.т.н., доцент, Турченко В. О., д.т.н., професор**  
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **МЕТОДОЛОГІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ ВОДНИХ РЕЖИМІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР**

**Дефіцит водних ресурсів країни потребує ретельного підходу до використання поливних вод, коригування строків і норм зволоження. У статті проаналізовано традиційні методи визначення величини поливних норм: за найменшою вологоємністю та мінімально допустимим запасом води для рослин. Режим зрошення сільськогосподарських культур слід ув'язувати не з водозабезпеченням рослин та їхнім урожаєм, а з оптимальною вологістю ґрунтоутворення. Тому запропонований новий підхід визначення поливних і зрошувальних норм за шпаруватістю ґрунту. Це дозволить більш ефективно використовувати зрошувальну воду в межах поля та підтримувати на ньому задовільний еколого-меліоративний стан.**

**Ключові слова:** режим зрошення, водоспоживання, зрошувальна норма, поливна норма, шпаруватість ґрунту.

**Зрошуване землеробство** є найбільш водоємною галуззю народного господарства, на яку припадає більше 40% загального водозабору, з яких 66% безобігового споживання води. Значні водозабори на меліоровані території зумовлюють і великі непродуктивні втрати, зменшення яких потребує проведення робіт із технічного удосконалення меліоративних об'єктів, впровадження заходів із економії і раціонального використання прісної води, збереження зрошуваних масивів на належному еколого-меліоративному рівні. Дефіцит водних ресурсів країни потребує ретельного підходу до використання поливних вод, коригування строків і норм зволоження, вибору способу та удосконалення техніки й технології поливу.

Особливе місце у вирішенні наведених проблем займають питання обґрунтування норм водоспоживання сільськогосподарських культур та величини поливних норм.

Спеціалісти зрошуваного землеробства [1; 2; 3; 4] вважають, що зменшення об'ємів води на зрошення земель на 20...30% може і по-

винно бути досягнуто в результаті зниження втрат води у провідній мережі та більш раціонального їхнього використання на поливному полі. Водночас, зменшення втрат води у провідній мережі не потребує особливих наукових розрахунків і зводиться, в основному, до впровадження протифільтраційних інженерних заходів та зміни технології водоподачі на зрошувальні системи.

Що стосується втрат води на поливному полі та її ефективного використання, то це питання надзвичайно важливе та потребує проведення довготривалих і трудомістких досліджень та інженерних рішень, особливо при встановленні раціональних й ресурсозберігаючих режимів зрошення.

На жаль, створити універсальний метод розрахунку водоспоживання як головної складової режиму зрошення, не можливо. Найбільш поширеними на сьогодні є методи А.М. і С.М. Алпат'євих, Д.А. Штойко (Україна); О.М. Костякова, М.М. Іванова, Г.К. Льгова, В.С. Мезенцова, А.Р. Константинова (Росія); А. Дирсе (Литва); В.І. Алєксєєва та М.В. Данильченка (Казахстан); Блейні і Кріддла (США); Тюрка, Буша (Франція); Панмена, Клатта (Германія) та інших. У США, Мексиці, Угорщині використовують дані випаровування з відкритої водної поверхні. Міжнародною комісією з іригації і дренажу (МКІД) рекомендовані методи водного і теплового балансу зрошеного поля при глибокому заляганні рівня ґрунтових вод (РГВ) у вигляді випарників та при близькому заляганні – лізиметрів.

**Традиційно зрошувальну норму** визначають за рівнянням водного балансу:

$$M = E - \mu P - W_{вес} + W_{ос} - W_{зр}, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (1)$$

де  $M$  – зрошувальна норма,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;  $E$  – водоспоживання рослини,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;  $P$  – опади за вегетаційний період,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;  $W_{вес}, W_{ос}$  – відповідно запаси вологи у розрахунковому шарі ґрунту на початку і в кінці вегетаційного періоду,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;  $W_{зр}$  – об'єм підживлення розрахункового шару ґрунту підземними водами,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;  $\mu$  – коефіцієнт використання опадів за вегетаційний період.

Як показала практика зрошеного землеробства, зрошувальні норми сільськогосподарських культур необхідно ув'язувати з умовами природного формування ґрунтів і визначити їхню величину за різницею сум опадів за вегетаційний період для років природного водозабезпечення (ймовірність <15%) та засушливих (ймовірність >85%). При цьому необхідно враховувати продуктивний запас вологи у ґрунті на початок вегетації.



Згідно з цим зрошувальна норма визначається за залежністю

$$M = P_{15\%} - (P_{роз}^i + W_{ноч}), \text{ мм}, \quad (2)$$

де  $M$  – розрахункова зрошувальна норма, мм;  $P_{15\%}$ ,  $P_{i,роз}$  – відповідно опади років природного водозабезпечення (ймовірність <15%) та засушливих із розрахунковою водозабезпеченістю, мм;  $W_{ноч}$  – продуктивний запас вологи в активному шарі ґрунту на початок вегетації культури, мм.

Як приклад, наведемо розрахунок зрошувальної норми озимої пшениці (період вегетації IV-VI місяці) на основі 30-річної бази даних за опадами по метеостанції Бехтери Херсонської області. Для цього побудуємо криву розподілення дощів за даний вегетаційний період та встановлюємо величину зрошувальної норми для озимої пшениці, що рівна 100 мм (рисунок).

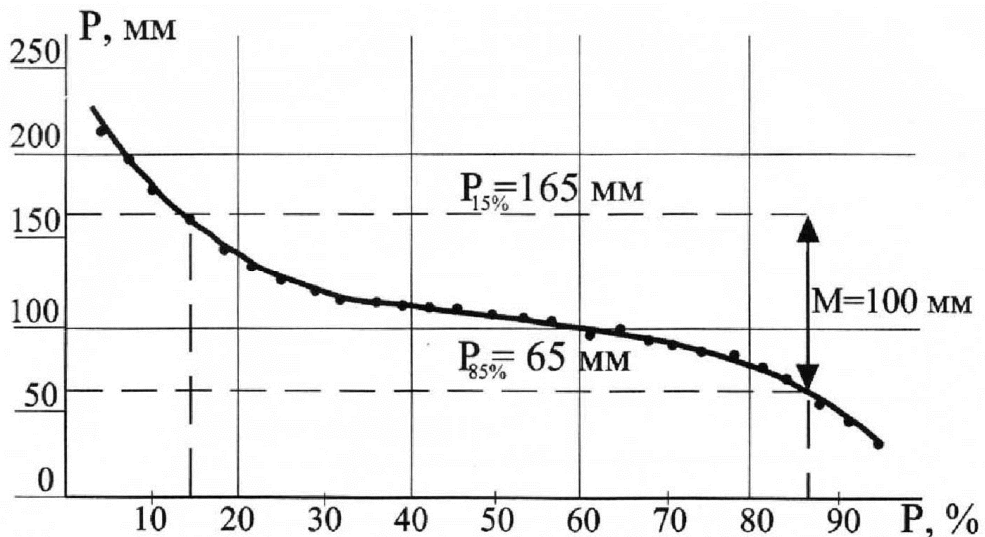


Рисунок. Розрахунок зрошувальної норми озимої пшениці по метеостанції Бехтери

Результати розрахунку зрошувальних норм за запропонованою методикою при граничних значеннях опадів 15% і 85% забезпеченості для основних сільськогосподарських культур за даними деяких метеостанцій наведено в табл. 1.

Використання в розрахунках значень суми опадів ймовірністю менше 15% і більше 85% недоцільно, оскільки значення сум опадів у діапазонах 1...15% та 85...99% мають досить динамічний характер, що призведе до необґрунтованого завищення параметрів як водозабору, так і зрошувальної мережі. Безумовно, в кожному конкретному

випадку слід проводити оптимізаційні техніко-економічні розрахунки.

Наведені в табл. 1 результати визначення величини зрошувальної норми для різних культур і метеостанцій говорять про незначну відмінність зрошувальних норм по території країни. Водночас, із врахуванням продуктивних запасів вологи у ґрунті на початок вегетації рослин її величина зміниться у сторону зменшення залежно від природного зволоження ґрунтів на початок вегетаційного періоду.

Таблиця 1

Зрошувальні норми деяких сільськогосподарських культур, мм\*

| Метеостанція, область | Сільськогосподарська культура, період вегетації |                  |       |                              |                  |       |                  |                  |       |
|-----------------------|---|------------------|-------|------------------------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|
|                       | зернові, IV-VI                                  |                  |       | кукурудза, соя, буряки, V-IX |                  |       | люцерна, IV-X    |                  |       |
|                       | P <sub>15%</sub>                                | P <sub>85%</sub> | M, мм | P <sub>15%</sub>             | P <sub>85%</sub> | M, мм | P <sub>15%</sub> | P <sub>85%</sub> | M, мм |
| Бехтери, Херсонська   | 165   | 65               | 100   | 270                          | 140              | 130   | 340              | 170              | 170   |
| Гайсин, Вінницька     | 210   | 110              | 100   | 370                          | 130              | 140   | 460              | 280              | 180   |
| Озерна, Черкаська     | 200   | 110              | 90    | 340                          | 210              | 130   | 430              | 270              | 160   |
| Лозова, Харківська    | 210   | 110              | 100   | 290                          | 160              | 130   | 400              | 220              | 180   |

\*Зрошувальні норми визначені без врахування продуктивних запасів на початок вегетації культур.

Що стосується визначення величини поливної норми тої чи іншої культури, то найбільш суттєвими факторами є глибина промочування та граничні значення вологості ґрунту, які необхідно підтримувати.

За верхній поріг запасу вологості у ґрунті для більшості сільськогосподарських культур (крім рису) приймається гранично польова вологоємність ( $W_{ГПВ}$ ). При цьому припускається, що насичення ґрунту водою до ГПВ ще не зумовить дефіциту повітря в ньому. За нижній поріг вологості приймають величину  $W_{\min}$  як певну частину ГПВ.

Норма вегетаційного поливу визначається як різниця зазначених запасів вологи за формулою

$$m = W_{ГПВ} - W_{\min}, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (3)$$

де  $m$  – норма вегетаційного поливу,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

Розрахунок величини поливної норми, таким чином, простий, проте, на наш погляд, у цьому методі є щонайменше два недоліки.



По-перше, при його використанні взагалі оминається питання щодо важливого показника для рослин, такого як оптимальна вологість ґрунту. Відкидаючи цей параметр, ми тим самим, не підпорядковуємо розрахунок фізіологічним особливостям сільськогосподарських культур та їхній потенційній врожайності.

По-друге, приймаючи за поріг зволоження ГПВ, ми завжди ризикуємо тим, що його найменше перевищення призведе до гравітаційного стоку води за розрахунковий шар ґрунту. При цьому втрати води за рахунок інерційних сил будуть значно більші за величину переполиву. Як результат – це не тільки втрата зрошувальної води, а й підйом рівня ґрунтових вод.

Для недопущення таких негативних явищ, пропонується методика визначення поливних норм за вологістю ґрунту у відсотках його шпаруватості. При цьому слід взяти до уваги те, що допустима величина вологості не залежить від гранулометричного складу ґрунту та його шпаруватості. Незалежно від того, що у глинистих ґрунтах шпаруватість велика, а в піщаних – низька, оптимальна вологість для них буде однаковою. Причина тут не в абсолютній кількості води, а у відношенні води і повітря у розрахованому шарі ґрунту. Встановлена оптимальна вологість у відсотках шпаруватості ґрунту для сільськогосподарських культур наведена у табл. 2.

Таблиця 2

Оптимальна вологість кореневого шару ґрунту для сільськогосподарських культур (% від шпаруватості)

| Озимі і ярові зернові | Широкорядні культури і трави | Овочі | Сади і виноградники |
|-----------------------|------------------------------|-------|---------------------|
| 60                    | 65                           | 70    | 65                  |

Запаси вологи в кореневмісному шарі ґрунту, що відповідають оптимальній вологості, визначають за формулою

$$W_{opt} = A \cdot H \cdot \beta_{opt}, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (4)$$

де  $W_{opt}$  – запас вологи, що відповідає оптимальній вологості ґрунту,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;  $A$  – шпаруватість розрахункового шару ґрунту, %;  $H$  – потужність кореневмісного шару, м;  $\beta_{opt}$  – оптимальна вологість, % від шпаруватості ґрунту.

Знаючи оптимальні запаси вологи в кореневмісному шарі та допустимі їхні відхилення знаходимо граничні допустимі запаси вологи за такими залежностями:

$$W_{\max} = \left(1 + \frac{\alpha}{100}\right) \cdot W_{opt}, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (5)$$

$$W_{\min} = \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right) \cdot W_{opt}, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (6)$$

де  $W_{\min}$ ,  $W_{\max}$  – допустимі мінімальні і максимальні значення запасів вологи в розрахунковому шарі ґрунту, м<sup>3</sup>/га.

За визначеним  $W_{\min}$ ,  $W_{\max}$  знаходимо максимально можливу поливну норму за формулою

$$m_{\max} = W_{\max} - W_{\min} = 2a \cdot \frac{W_{opt}}{100}, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (7)$$

де  $m_{\max}$  – максимально допустима поливна норма, м<sup>3</sup>/га;  $a$  – допустиме відхилення від оптимального запасу вологи, % ( $a=5\dots 10\% W_{opt}$ ).

Для наведених розрахунків слід відмітити дві обставини. По-перше, мова йде про короточасне збільшення чи зменшення запасу вологи в ґрунті від оптимального. При такому коливанні рослина не страждає від нестачі чи надлишку води або повітря в ґрунті. По-друге, максимальний запас вологи не досягає ГПВ. Отже, при поливах такими нормами вся подана у кореневмісний шар вода буде знаходитись у капілярній доступній для рослин формі.

Водночас, прямого методу визначення шпаруватості ґрунту не існує. Її значення визначають лабораторним методом. Проте шпаруватість мінеральних ґрунтів можна знайти за відомими значеннями щільності ґрунту і щільності скелету

$$A = \left(1 - \frac{\gamma_0}{\gamma_c}\right) \cdot 100, \%, \quad (8)$$

де  $\gamma_0$  – щільність ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $\gamma_c$  – щільність скелету, г/см<sup>3</sup> ( $\gamma_c=2,60\dots 2,70$  г/см<sup>3</sup>, в розрахунках приймається середнє значення 2,65 г/см<sup>3</sup>).

Якщо відома щільність ґрунту, то його шпаруватість визначається за залежністю

$$A = \left(1 - \frac{\gamma_0}{2,65}\right) \cdot 100, \%. \quad (9)$$

Таким чином, запропоновані підходи щодо визначення зрошувальних та поливних норм сільськогосподарських культур дозволяють більш ефективного використовувати зрошувальну воду в межах поля та підтримувати на ньому задовільний еколого-меліоративний



стан.

**Висновки.** Режим зрошення сільськогосподарських культур слід ув'язувати з оптимальною вологістю ґрунтоутворення, а не з водозабезпеченням рослин та їхнім урожаєм.

Зрошувальні норми слід коригувати відповідно природній водозабезпеченості вегетаційного періоду рослин. Сума опадів та зрошувальної норми за цей період не повинні перевищувати значення водозабезпеченості багатоводного року (ймовірність <15%).

Поливні норми варто визначати не за найменшою вологоємністю та мінімально допустимим запасом води для рослин, а за оптимальною вологістю ґрунтоутворення з допустимими граничними відхиленнями 5...10% оптимального значення (за шпаруватістю ґрунту).

**1.** Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України : колективна монографія / за наук. ред. С. А. Балюка, М. І. Ромашенка, В. А. Сташука. К. : Аграрна наука, 2009. 624 с. **2.** Меліорація ґрунтів (систематика, перспективи, інновації) : колективна монографія / Балюк С. А. та ін. Херсон : Грінь Д.С., 2015. 668 с. **3.** Відновлення функціональної здатності зрошувальних систем / Крученюк В. Д. та ін. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 3. С. 49–52. **4.** Жовтоног О. І. Інтегроване управління водними та земельними ресурсами на сільських територіях для забезпечення сталого розвитку зрошення. *Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України*. Київ : Аграрна наука, 2009. С. 536–550. **5.** Козішкурт М. Є., Козішкурт С. М., Голота Л. М. Екологічні вимоги до зрошення ґрунтів та концептуальні підходи до збереження їхньої родючості. *Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво*. Вип. 34. Рівне. 2009. С. 58–65. **6.** Козішкурт С. М. Удосконалення підходів до розрахунку режиму зрошення з метою збереження родючості поливних ґрунтів. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Вип. 4 (68). Рівне. 2014. С. 74–81.

## REFERENCES:

**1.** Naukovi osnovy okhorony ta ratsionalnoho vykorystannia zroshuvanykh zemel Ukrainy : kolektyvna monohrafiia / za nauk. red. S. A. Baliuka, M. I. Romashchenka, V. A. Stashuka. K. : Ahrarna nauka, 2009. 624 s. **2.** Melioratsiia gruntiv (systematyka, perspektyvy, innovatsii) : kolektyvna monohrafiia / Baliuk S. A. ta in. Kherson : Hrin D.S., 2015. 668 s. **3.** Vidnovlennia funktsionalnoi zdatnosti zroshuvalnykh system / Krucheniuk V. D. ta in. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2016. № 3. S. 49–52. **4.** Zhovtonoh O. I. Intehrovane upravlinnia vodnymy ta zemelnymy resursamy na silskykh terytoriiakh dlia zabezpechennia staloho rozvytku zroshennia. *Naukovi osnovy okhorony ta ratsionalnoho vykorystannia zroshuvanykh zemel Ukrainy*. Kyiv : Ahrarna nauka, 2009. S. 536–550. **5.** Kozishkurt M. Ye., Kozishkurt S. M., Holota L. M.

Ekolohichni vymohy do zroshennia gruntiv ta kontseptualni pidkhody do zberezhennia yikhnoi rodiuchosti. *Hidromelioratsiia ta hidrotekhnichne budivnytstvo*. Vyp. 34. Rivne. 2009. S. 58–65. 6. Kozishkurt S. M. Udoskonalennia pidkhodiv do rozrakhunku rezhymu zroshennia z metoiu zberezhennia rodiuchosti polyvnykh gruntiv. *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky : zb. nauk. prats.* Vyp. 4 (68). Rivne. 2014. S. 74–81.

---

**Kozishkurt S. M., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Turcheniuk V. O., Doctor of Engineering, Professor**  
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **METHODOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF AGRICULTURAL CULTURES WATER REGIMES CALCULATION IMPROVEMENT**

**Deficit of water resource in the country requires a careful approach to the use of irrigation water, adjusting the timing and rates of irrigation. Special place in solving these problems takes the issue of substantiation of water consumption norms of crops and irrigation rates. When determining the irrigation rate of any crop, the most significant factors are the wetting depth and the soil moisture limits that must be maintained. Traditionally, irrigation rates are determined by the lowest moisture capacity and the minimum of allowable water supply for plants. The article proved that irrigation norms of crops should be linked to the conditions of natural formation of soils and determined their value by the difference of rainfall during the growing season for very wet (probability <15%) and very dry (probability > 85%) years under the conditions of natural water supply. It is necessary to take into account the productive soil's moisture at the beginning of the growing season. Therefore, irrigation rates should be determined not by the lowest moisture capacity and minimum of allowable water supply for plants, but by the optimal humidity of the soil with permissible marginal deviations of 5... 10% of the optimum value (for soil porosity). Using the proposed method for determining irrigation rates of crops will allow more efficient use of irrigation water within the field and maintain a satisfactory ecological and ameliorative state.**

**Keywords:** irrigation regime, water consumption, irrigation rate, irrigation rate, soil porosity.

---





**Козишкурт С. Н., к.т.н., доцент, Турченко В. А., д.т.н., профессор**  
(Национальный университет водного хозяйства и  
природопользования, г. Ровно)

## **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАСЧЕТА ВОДНОГО РЕЖИМА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

**Дефицит водных ресурсов страны требует тщательного подхода к использованию поливных вод, корректировки сроков и норм увлажнения. Особое место в решении указанных проблем занимают вопросы обоснования норм водопотребления сельскохозяйственных культур и величины поливных норм. При определении величины поливной нормы любой культуры наиболее существенными факторами являются глубина промачивания и предельные значения влажности почвы. Традиционно поливные нормы определяют по наименьшей влагоемкости и минимально допустимому запасу воды для растений. В статье доказано, что оросительные нормы сельскохозяйственных культур необходимо увязывать с условиями естественного формирования почв и определять их величину по разнице сумм осадков за вегетационный период для лет естественной водообеспеченности (вероятностью <15%) и засушливых (вероятностью >85%). При этом необходимо учитывать производительный запас влаги в почве к началу вегетации. Таким образом, поливные нормы следует определять не по наименьшей влагоемкости и минимально допустимому запасу воды для растений, а по оптимальной влажности почвообразования с допустимыми предельными отклонениями 5...10% оптимального значения (по скважности почвы). Предложенный метод по определению оросительных и поливных норм сельскохозяйственных культур позволит более эффективно использовать оросительную воду в пределах поля и поддерживать на нем удовлетворительное эколого-мелиоративное состояние.**

**Ключевые слова:** режим орошения, водопотребления, оросительная норма, поливная норма, скважность почвы.

---