

УДК 519.2:631.67

І. А. Мачуський

викладач,

М. В. Шемякін

кандидат с.-г. наук, доцент,

В. П. Кирилюк

кандидат с.-г. наук, доцент

Уманська сільськогосподарська академія

## МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛИВУ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРА

*Розроблено модель регулювання водного режиму ґрунту конкретного поля в оптимальних для сільськогосподарських культур межах. В моделі враховано біологічні особливості культур, механічний склад ґрунту, погодні умови періоду вегетації, технологічні особливості проведення поливів дощувальною технікою.*

Правобережна частина центрального Лісостепу України відноситься до зони нестійкого зволоження. Тут часто виникають посушливі періоди різної тривалості, що є лімітуючим фактором одержання високих урожаїв сільськогосподарських культур. Тому стає рослинництво даної зони неможливе без додаткового штучного зволоження [1, 2].

Найважливішим елементом технології проведення поливів є режим зрошення, під яким розуміють визначення величини поливної норми, термінів та кількості проведення поливів. При плануванні та керуванні режимом зрошення сільськогосподарських культур необхідно врахувати такі основні фактори: біологічні особливості культур, глибину поширення основної маси кореневої системи рослин, механічний склад ґрунту, глибину залягання ґрунтових вод, погодні умови періоду вегетації (опади, температуру і вологість повітря тощо), технологічні особливості проведення поливів дощувальною технікою [3].

Проте систематичне зрошення може негативно впливати на довкілля. Однією з головних причин такого впливу є подача на поле надлишкової води. Останнє, в свою чергу, зумовлене недосконалістю існуючих підходів до формування режимів зрошення [2, 4].

Виключення вказаних недоліків можливе через розробку оптимізаційних моделей управління поливними режимами сільськогосподарських культур за дотримання таких основних вимог:

- виключення втрат поливної води за межі кореневмісного шару ґрунту через екологічне обґрунтування поливних норм;
- максимальне урахування біологічних особливостей зрошуваних культур;
- урахування водно-фізичних характеристик ґрунтів;
- оптимізація термінів і кількості поливів залежно від погодних умов;
- використання в розрахунках технологічних особливостей дощувальної техніки [5].

Для побудови моделі управління поливним режимом конкретного поля введемо такі позначення:

$k$  – номер дня вегетаційного періоду культури;

$K$  – кількість всіх днів вегетації;

$S$  – зрошувана площа поля;

$\Delta S$  – площа ділянки, яку зволожує дощувальна техніка за зміну;

$i$  – номер ділянки;

$I$  – кількість всіх ділянок;

$\alpha_i$  – щільність ґрунту  $i$ -ої ділянки;

$\beta_{\text{НВ}}$  – найменша вологоємність (НВ) ґрунту, яка враховує його фізичні властивості;

$\beta_{ik}$  – фактична вологість ґрунту  $i$ -ої ділянки в  $k$ -ий день;

$\Delta\beta$  – зменшення вологості ґрунту впродовж одного дня;

$m_{ik}$  – поливна норма  $i$ -ої ділянки в  $k$ -ий день вегетації;

$\mu$  – коефіцієнт, що враховує зниження вологості ґрунту до нижньої оптимальної межі, який для звичайних погодних умов приймає значення від 0.6 до 0.8 залежно від типу ґрунту і виду культур;

$h_k$  – глибина зволоження ґрунту в  $k$ -ий день вегетації;

$h_{min}$  – глибина зволоження ґрунту на початок вегетаційного періоду;

$h_{max}$  – глибина зволоження ґрунту на кінець поливного періоду;

$\delta$  – індикатор початку поливу – булева змінна, яка приймає значення 1, якщо полив проводиться вперше на початку вегетації чи вперше після випадання значних опадів; 0 – в інших випадках;

$\nu$  – коефіцієнт техніки поливу.

Втрати поливної води за межі кореневмісного шару ґрунту в розробленій моделі виключаються чітким визначенням величини поливної норми за допомогою формули:

$$m_{ik} = 100a_k h_k \nu (\beta_{НВ} - \mu \beta_{НВ}).$$

Якщо з урахуванням втрат поливної води на випаровування і знесення вітром поливна норма перевищує  $750 \text{ м}^3/\text{га}$ , то  $m_{ik}$  автоматично приймається рівним  $750 \text{ м}^3/\text{га}$ .

Для урахування біологічних особливостей зрошуваних культур створена модель розраховує їх відношення до вологозабезпечення, яке визначається співвідношенням кількості повітря і води у кореневмісному шарі ґрунту за допомогою коефіцієнта  $\mu$  (табл. 1).

Таблиця 1

Коефіцієнт  $\mu$ , що враховує зниження вологості ґрунту до нижньої оптимальної межі [6, 7]

Культура	Нижня оптимальна межа вологості (частка від НВ) залежно від механічного складу ґрунту		
	Важкий	середній	легкий
Озима та яра пшениця	0,75	0,70	0,65
Кукурудза	0,75	0,70	0,60
Багаторічні трави	0,75	0,70	0,60
Картопля	0,75	0,70	0,65
Помідори, капуста, огірки, баклажани	0,80	0,75	0,70
Зернобобові	0,75	0,70	0,65
Коренеплоди	0,80	0,75	0,70
Ягідники	0,80	0,75	0,70
Плодові сади	0,75	0,70	0,65

Для більш ощадливого використання поливної води комп'ютер враховує зміни глибини кореневмісного шару ґрунту на протязі вегетації сільськогосподарських культур. Це враховується за допомогою прив'язки глибини кореневмісного шару конкретної культури залежно від  $k$ -го дня її вегетаційного періоду. На випадок значних відхилень тривалості фенологічних фаз сільськогос-подарських культур від середньобагаторічних, розрахунки згідно формули (2) уточнюються за літературними даними (табл. 2).

Таблиця 2

Глибина кореневмісного шару за фазами вегетації для основних сільськогосподарських культур [8]

Культура	Фаза вегетації	Шар ґрунту, м
Озима та яра пшениця	Кушіння	0,5 – 0,6
	Трубкування	0,7 – 0,8
	Колосіння	0,9 – 1,0
Люцерна	Вихід з під покриву	0,7 – 0,8
	Відростання після укусів	1,0 – 1,2
Кукурудза	Поява пасинків	0,5 – 0,6
	Викидання волоті	0,7 – 0,8
	Цвітіння	0,7 – 0,9
Цукрові буряки	Утворення розетки	0,3 – 0,4
	Посилений ріст листків	0,5 – 0,6
	Утворення коренеплодів	0,6 – 0,8
Картопля	Бутонізація	0,4 – 0,5
	Цвітіння	0,5 – 0,6
Помідори	Бутонізація	0,3 – 0,4
	Цвітіння	0,4 – 0,5
	Формування плодів	0,6 – 0,7

Оптимізація термінів і кількості поливів в моделі досягається застосуванням найбільш доцільного методу визначення термінів проведення поливів.

Останнім часом найбільш поширеним на виробництві був графо-аналітичний метод С. М. Алпатьяєва із застосуванням біокліматичних коефіцієнтів [9]. Для зрошуваної зони України навіть була створена інформаційно-дорадча система оперативного планування зрошення [10]. Проте з реформуванням колгоспів у селянські спілки, фермерські і приватні господарства оперативні і централізовані керувати великою кількістю респодентів стало проблематичним. До того ж велика кількість поливних земель розташована на значній відстані від великих зрошувальних систем.

Інший шлях оптимізації термінів проведення поливів – спостереження за динамікою вологозапасів кореневмісного шару ґрунту в конкретному господарстві. До найбільш поширених методів визначення вологості ґрунту відносяться: омічний, нейтронний, за фізіологічними показниками рослин, термостатно-ваговий, тензіометричний.

Точність омічного методу залежить від наявності солей у водному розчині ґрунту, кількість яких значно змінюється при внесенні мінеральних добрив. Для застосування нейтронного методу необхідне спеціальне обладнання та дотримання техніки безпеки при роботі з радіоактивними речовинами. Визначення фізіологічних показників рослин також потребує спеціальних приладів, реактивів і навичок роботи з ними. Термостатно-ваговий метод найбільш простий і точний, проте досить трудомісткий. На даний час в усьому світі на зрошуваних землях найбільш поширеним методом визначення термінів поливів є тензіометричний. Він оснований на залежності між кількістю води у ґрунті і величиною сисного тиску ґрунтової вологи, яка враховується за допомогою вакууметрів (табл. 3).

Таблиця 3

Величини сисного тиску, які відповідають передполивній вологості ґрунту для основних сільськогосподарських культур [11]

Культура	Фаза розвитку	Сисний тиск, атм (без знака "мінус")
Пшениця, ячмінь, овес, жито	Сівба – кущіння	0,15 – 0,20
	Вихід в трубку – цвітіння	0,20 – 0,25
	Наливання зерна – молочна стиглість	0,25 – 0,30
	Дозрівання зерна	0,30 – 0,40
Кукурудза	Сівба – кущіння	0,10 – 0,15
	Вихід в трубку – викидання волоті	0,20 – 0,25
	Цвітіння – наливання зерна	0,25 – 0,35
	Молочна стиглість – дозрівання зерна	0,35 – 0,50
Картопля	Садіння – цвітіння	0,15 – 0,20
	Ріст бульб	0,20 – 0,30
Буряки	Сівба – змикання листків	0,10 – 0,20
	Формування і ріст коренеплоду	0,20 – 0,35
Трави	Сівба – кущіння	0,10 – 0,15
	Змикання травостою – косіння	0,20 – 0,30
Помідори	Садіння – цвітіння	0,15 – 0,25
	Цвітіння – зав'язування плодів	0,20 – 0,30
	Ріст плодів	0,25 – 0,35
	Дозрівання плодів	0,30 – 0,40
Огірки	Садіння – цвітіння	0,15 – 0,25
	Цвітіння – зав'язування плодів	0,25 – 0,35
	Ріст плодів – дозрівання плодів	0,35 – 0,45
Капуста	Садіння – утворення головки	0,15 – 0,25
	Формування головки	0,25 – 0,35
Просо	Сівба – кущіння	0,15 – 0,20
	Кущіння – цвітіння	0,20 – 0,30
	Цвітіння – наливання зерна	0,30 – 0,35
	Дозрівання зерна	0,35 – 0,45
Плодові	Цвітіння – зав'язування плодів	0,30 – 0,40
	Ріст плодів	0,40 – 0,50
	Дозрівання плодів	0,50 – 0,60
Суниця	Садіння – цвітіння	0,10 – 0,15
	Зав'язування і ріст плодів	0,15 – 0,20
	Дозрівання плодів	0,20 – 0,30

Виходячи з вище наведеного, для нашої моделі найбільш доцільно використовувати тензіометричний метод визначення вологості ґрунту. З метою переведення показників вакууметра у частки найменшої вологості  $\mu$  в моделі використовуються дані таблиці 4.

Таблиця 4

Величини сисного тиску залежно від рівня передполивної вологості на суглинкових ґрунтах [12]

Механічний склад ґрунту	Величина сисного тиску, яка відповідає різним рівням передполивної вологості, атм (без знака "мінус")			
	НВ	0,8НВ	0,7НВ	0,6НВ
Легкий суглинок	0,08 – 0,12	0,30 – 0,35	0,60 – 0,63	0,80 – 0,85
Середній суглинок	0,13 – 0,18	0,33 – 0,38	0,62 – 0,66	0,82 – 0,87
Важкий суглинок	0,18 – 0,24	0,37 – 0,40	0,65 – 0,70	0,86 – 0,90

Нарешті наведемо саму модель оптимізації зрошення за допомогою комп'ютера. Будемо вважати, що вся зрошувана площа поля  $S$  розбита на  $I$  елементарних ділянок, кожен з яких можна полити наявною в господарстві технікою за один робочий день, тобто  $S = I\Delta S$ . Для визначення норми поливу розглянемо два випадки.

А) Припустимо, що полив проводиться уже не вперше. Так як оптимальним інтервалом доступної вологи для рослин є проміжок ( $\mu\beta_{НВ}$ ;  $\beta_{НВ}$ ) [3], то норма вегетаційного поливу для  $k$ -го дня розвитку культури буде визначатися співвідношенням:

$$m_{ik} = \begin{cases} 0 & \text{при } \beta_{ik} > \mu\beta_{НВ}, \\ 100\alpha_i h_k v (\beta_{НВ} - \beta_{ik}) & \text{при } \beta_{ik} \leq \mu\beta_{НВ}. \end{cases} \quad (1)$$

Якщо фактична вологість ґрунту  $i$ -ої ділянки в  $k$ -ий день  $\beta_{ik}$  знаходиться в заданому інтервалі ( $\mu\beta_{НВ}$ ;  $\beta_{НВ}$ ), то  $m_{ik} = 0$ , тобто, в цей день зрошення рослин проводити недоцільно. При зниженні вологості ґрунту нижче від нижньої межі  $\mu\beta_{НВ}$ , норма поливу  $m_{ik}$  буде визначатися другим рядком формули (1). Коефіцієнт техніки поливу  $v$  ураховує той факт, що в процесі поливу дощуванням частина води випаровується і не попадає в ґрунт. Тому фактична поливна норма збільшена в  $v$  раз, де  $v \in [1.1; 1.25]$ .

Крім того, в співвідношенні (1) розрахунковий шар ґрунту, в якому знаходиться основна маса коренів рослин, з часом зростає. Значення  $h_k$  для різних фаз розвитку культури можна брати з таблиць, а можна розраховувати і за такою формулою:

$$h_k = h_{\min} + \frac{h_{\max} - h_{\min}}{K} k. \quad (2)$$

Б) Нехай полив проводиться вперше на початку вегетації рослин чи вперше після випадання значних опадів. Тоді стратегія зрошення буде визначатися так: полив на перших ділянках необхідно розпочинати дещо раніше, ніж це визначається формулою (1), з таким розрахунком, щоб останню ділянку зволожувати згідно формули (1). Математично це можна вирахувати так:

$$m_{ik} = \begin{cases} 0 & \text{при } \beta_{ik} - (I-i)\Delta\beta > \mu\beta_{НВ}, \\ 100\alpha_i h_k v (\beta_{НВ} - \beta_{ik}) & \text{при } \beta_{ik} - (I-i)\Delta\beta \leq \mu\beta_{НВ}. \end{cases} \quad (3)$$

Нарешті, обидва випадки А) і Б) можна об'єднати однією формулою, якщо ввести індикатор початку поливу  $\delta$ :

$$m_{ik} = \begin{cases} 0 & \text{при } \beta_{ik} - \delta(I-i)\Delta\beta > \mu\beta_{НВ}, \\ 100\alpha_i h_k v (\beta_{НВ} - \beta_{ik}) & \text{при } \beta_{ik} - \delta(I-i)\Delta\beta \leq \mu\beta_{НВ}. \end{cases} \quad (4)$$

Тоді на початковій стадії планування поливів  $\delta = 1$  і формула (4) співпадає зі співвідношенням (3). Після того, як на всіх ділянках буде проведено перше зрошення, індикатор початку поливу прийме нульове значення і формула (4) співпаде з (1).

Отже, встановлена нами залежність (4) гарантує найбільш оптимальні умови забезпечення рослин вологою і, в той же час, вона до мінімуму скорочує непродуктивні втрати води, тобто

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} m_{ik} \rightarrow \min. \quad (5)$$

Усі обчислення в наведеній моделі проводяться за допомогою табличного процесора Excel, який входить до широко розповсюдженого в Україні інтегрованого пакету Microsoft Office. Проектування і розробку інформаційно-програмного забезпечення виконано з дотриманням вимог щодо можливості проведення багатоваріантних режимів поливу з урахуванням природних, технічних, технологічних та біологічних особливостей вирощування культур. При цьому широко використовується принцип постановки “нових задач”, за допомогою якого при внесенні змін в початковій інформації оцінюються різні сценарії зрошення залежно від прогнозованих ситуацій.

### Висновки

1. Основна передумова успішної роботи моделі – висока культура землеробства, тобто неухильне дотримання технологічних вимог вирощування культур для забезпечення запрограмованої врожайності.
2. Запропонована модель (2) – (5) враховує усі найважливіші фактори, які впливають на визначення поливного режиму.
3. В результаті застосування моделі оптимізуються строки проведення поливу, а також мінімізується кількість води, що витрачається на штучне зволоження.
4. Використання розробленої моделі оптимізації зрошення конкретного поля стане надійним інструментом, з допомогою якого розроблятимуться економічно виважені рекомендації щодо проведення поливів і прийматимуться своєчасні рішення по їх виконанню.
5. Швидкість, простота в роботі з комп'ютером створюють комфортні умови для управління режимом зрошення.

### Література:

1. Булигін С. Ю., Семякін В. А., Тімченко О. О., Загородня Л. О. Імовірність прояву посушливих умов на території України // Вісник аграрної науки, 1999, № 6. – С. 64 – 67.
2. Коваленко П. І., Михайлов Ю. О. Меліоративна екологія // Вісник аграрної науки, 1999, № 10.–С.10–13.
3. Писаренко В. А., Горбатенко Е. М., Йокич Д. Р. Режимы орошения сельскохозяйственных культур.–К.: Урожай, 1988.–96 с.
4. Ромащенко М. І., Жовтоног О. І., Філіпенко Л. А. Обгрунтування екологічно безпечних поливних норм // Вісник аграрної науки, 1999, № 1. – С. 53 – 58.
5. Жовтоног О. І. Планування адаптивного екологічно безпечного зрошення // Вісник аграрної науки, 1999, № 12. – С. 62 – 63.
6. Орошаемое земледелие /В. И. Остапов, И. И. Андрусенко, Т. В. Барыльник и др. – К.: Урожай, 1987. – 275 с.
7. Лысогоров С. Д., Ушкаренко В. А. Орошаемое земледелие. – М.: Колос, 1981. - 290 с.
8. Лысогоров С. Д., Ушкаренко В. А. Практикум по орошаемому земледелию. – М.: Агропромиздат, 1985. – 128 с.
9. Алтатъев С. М. Расчет и корректировка режимов орошения сельскохозяйственных культур // Водное хозяйство. – Вып. 1. – К.: Урожай, 1965. - С. 3 – 15.
10. Оспапчик В. П., Костромин В. А. и др. Второе поколение информационно-советующей системы оперативного планирования орошения // Мелиорация и урожай. – 1985, № 2. – С. 27 – 30.
11. Муромцев М. А. Тензиометры как почвенные влагомеры и индикаторы полива растений (методические рекомендации). – М., 1981. – 31 с.
12. Ромащенко М. И., Корюненко В. Н. Оперативное определение сроков и норм капельного полива высокоинтенсивных садов // Капельное орошение садов и виноградников на Украине и в Молдавии / Сб. науч. тр. УкрНИИГиМа. - К., 1987. – С. 59 – 65.