

УДК 631.67; 63:338.43; 631.15

## ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОШАРОВОЇ МОДЕЛІ ВОЛОГОПЕРЕНЕСЕННЯ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПОЛИВАМИ В УМОВАХ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

**Волошин М.М. к.т.н., доцент**

*Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон, Україна*

*Для реалізації концептуальних засад точного землеробства на меліорованих землях, зокрема більш точного розрахунку режимів зрошення з адаптацією їх параметрів до умов конкретного поля, мінімізацією інфільтраційних втрат, запропоновано фізико-математичне моделювання багатошарової моделі вологоперенесення в складі системи управління поливами. Виконано прогнозний розрахунок вологості ґрунту на основі багатошарової моделі вологоперенесення.*

Постановка задачі. Ефективне використання наявного земельного фонду, управління родючістю ґрунтів та охороною довкілля в Україні передбачає перегляд методологічних підходів до організації землеробства у напрямі оптимізації землі – та водокористування, створення та широкого впровадження у практику землеробства автоматизованих інформаційних технологій прийняття рішень, насамперед до реалізації технологій систем точного землеробства [1].

В умовах реалізації точного землеробства на меліорованих землях [1,2] виникає необхідність більш детального врахування водного режиму ґрунтів, що обумовлено їх специфічними властивостями для даного поля (частини поля). Крім того, система управління поливами повинна забезпечити водоощадливе зрошення та мінімізацію інфільтраційних втрат води. Такі вимоги може задовільняти система управління поливами, в складі якої наявна багатошарова (на відміну від існуючих двошарових) модель вологоперенесення.

Багатошарова модель вологоперенесення. Для вирішення задачі використаємо багатошарову модель вологоперенесення в ґрунтах [3], складену із системи різницевих балансових рівнянь [4], що дозволить розраховувати динаміку вологості ґрунту пошарово, а саме:

– за минулий період за даними спостережень та вимірювання опадів, температури, відносної вологості, розрахунків на їх основі сумарного випаровування;

– на прогнозний період, якщо задані прогнозні значення поливів та опадів, розрахункові прогнозні значення сумарного випаровування [5].

Різницеве рівняння для внутрішніх горизонтів ґрунтового профілю має вигляд:

$$\theta_i^{n+1} = \theta_i^n + \frac{\Delta \tau}{\Delta z} \left[ k_{i+\frac{1}{2}}^n(\theta) \left( \frac{\psi_{i+1}^n(\theta) - \psi_i^n(\theta)}{\Delta z} - 1 \right) - k_{i-\frac{1}{2}}^n(\theta) \left( \frac{\psi_i^n(\theta) - \psi_{i-1}^n(\theta)}{\Delta z} - 1 \right) \right] - \alpha (\theta_i^n) E_i^n, \quad i = 2, 3, \dots, N-1; \quad (1)$$

де  $\theta_i^{n+1}, \theta_i^n$  – вологість ґрунту в  $i$ -й комірці відповідно в наступний  $n+1$ -й та попередній  $n$ -й момент часу;

$$q_{i-\frac{1}{2}}^n = k_{i-\frac{1}{2}}^n(\theta) \left( \frac{\psi_i^n(\theta) - \psi_{i-1}^n(\theta)}{\Delta z} - 1 \right) \text{ – потік вологи в комірку (з комірки) в}$$

точці  $z_{i-1/2}$  в момент часу  $n$ ;

$$q_{i+\frac{1}{2}}^{n+1} = k_{i+\frac{1}{2}}^n(\theta) \left( \frac{\psi_{i+1}^n(\theta) - \psi_i^n(\theta)}{\Delta z} - 1 \right) \text{ – потік вологи в комірку (з комірки)}$$

в точці  $z_{i+1/2}$  в момент часу  $n$ ;

$$k_{i+\frac{1}{2}}^n(\theta); k_{i-\frac{1}{2}}^n(\theta) \text{ – значення коефіцієнтів вологопереносу відповідно в}$$

точках  $z_{i-1/2}, z_{i+1/2}$  в момент часу  $n$ ;

$\psi_{i-1}^n(\theta), \psi_i^n(\theta), \psi_{i+1}^n(\theta)$  – потенціали ґрунтової вологи відповідно в  $i+1, i, i-1$ -й комірках в момент часу;

$E_i^n$  – сумарне випаровування в  $i$ -й комірці за час;

$\alpha(\theta_i^n)$  – коефіцієнт редукації сумарного випаровування.

Тут  $\psi_i^n(\theta) = \psi(\theta_i^n)$  – розраховуються за формулою:

$$k_{i+\frac{1}{2}}^n(\theta) = \frac{k_{i+1}^n(\theta) + k_i^n(\theta)}{2}; \quad k_{i-\frac{1}{2}}^n(\theta) = \frac{k_i^n(\theta) + k_{i-1}^n(\theta)}{2}. \quad (2)$$

Для комірки, що прилягає до поверхні ґрунту (в точці  $z = z_1$ ) рівняння балансу вологи має вигляд:

$$\theta_1^{n+1} = \theta_1^n + \frac{\Delta \tau}{\Delta z} \left[ m^n + p^n + k_{\frac{3}{2}}^n(\theta) \left( \frac{\psi_2^n(\theta) - \psi_1^n(\theta)}{\Delta z} - 1 \right) \right] - \alpha(\theta_1^n) E_1^n; \quad (3)$$

де  $m^n, p^n$  - відповідно опади та поливи на інтервалі.

Якщо комірка знаходиться поряд з рівнем ґрунтових вод, тобто  $=_{max, N+1}=0$ , маємо різницеве рівняння:

$$\theta_N^{n+1} = \theta_N^n + \frac{\Delta \tau}{\Delta z} \left[ k_{N+\frac{1}{2}}^n(\theta) \left( \frac{-\psi_N^n(\theta)}{\Delta z} - 1 \right) - k_{N-\frac{1}{2}}^n(\theta) \left( \frac{\psi_N^n(\theta) - \psi_{N-1}^n(\theta)}{\Delta z} - 1 \right) \right] - \alpha(\theta_N^n) E_N^n. \quad (4)$$

Перевагами запропонованої багатошарової моделі динаміки вологості ґрунту для оперативного планування поливів є:

– більша точність розрахунків режимів зрошення на основі врахування потоків вологи в різних шарах ґрунту, адаптації параметрів моделі до конкретних ґрунтових умов поля;

– можливість мінімізації інфільтрації за розрахунковий шар з використанням прогнозних розрахунків строків і норм поливів.

Очевидно, що при застосуванні багатошарової моделі для управління поливами можна використовувати параметри різних режимів зрошення сільськогосподарських культур, зокрема водозберігаючих режимів зрошення. Проте при застосуванні тих чи інших режимів зрошення необхідно додатково обчислювати критерій вологості ґрунту, усереднюючи його по шарах, що в сукупності складають розрахунковий шар ґрунту. Крім того, для розрахунків за балансними різницевами рівняннями їх параметри необхідно адаптувати до

умов конкретного поля або сукупності полів, тобто до гідрофізичних параметрів конкретних ґрунтових особливостей:

- визначити в лабораторії за зразками ґрунту непорушеної структури коефіцієнт вологопереносу  $i$ ;
- визначити водно фізичні константи даного типу ґрунту;
- задати початковий профіль вологості (на початку поливного сезону) визначається експериментально).

Задаються також фактичні або прогнозні поливні норми –  $m$ ; фактичні або прогнозні значення опадів –  $p$ ; глибина розповсюдження коренів -  $h$ ; фактичні або прогнозні значення сумарного випаровування  $E()$ , зокрема інтенсивності випаровування з різних горизонтів ґрунту.

**Адаптація параметрів моделі стосовно конкретних умов.** Адаптація здійснювалась стосовно ґрунтових умов поля люцерни.

При застосуванні тих чи інших режимів зрошення строки і норми поливу визначаються на основі критерію вологості ґрунту. Для цього в багат шаровій моделі розраховується середня вологість ґрунту в розрахунковому шарі:

$$\theta_h^{сер} = \frac{\sum_{i=1}^m \theta_i}{m}; \quad (5)$$

де  $\theta_i$  – вологість ґрунту в  $i$ -му шарі;

$m$  – число горизонтів ґрунту, що складають розрахунковий шар  $h$ .

Реалізація біологічно-оптимальних режимів зрошення забезпечується підтриманням середньої вологості ґрунту в інтервалі.

$$\theta_{кр} \leq \theta_{I,м}^{сер} \leq \theta_{НВ}; \quad (6)$$

У ресурсозберігаючих режимах зрошення параметри змінюються по фазах розвитку [4, 5]. Критерієм, який свідчитиме про те, задовільна чи незадовільна вологість ґрунту (зокрема, для люцерни другого року) буде середня вологість шару ґрунту товщиною 0,7 м:

$$0,75\theta_{НВ} < \theta_{0,7м} \leq \theta_{НВ}; \quad (7)$$

або в % об'єму

$$0.24 < \theta_{0,7м} \leq 0.329, \quad (8)$$

де  $\theta_{0,7м}$  визначається за формулою (5). При цьому в некритичні фази розвитку нижнє значення передполивного порогу вологості ґрунту, залежно від культури та фази розвитку, може знижуватись.

Ґрунти вибраного поля темно-каштанові, солонцюваті, середньо-суглинкові, об'ємна вага  $1370 \text{ кг/м}^3$ , коефіцієнт в'янення  $-19\%$ , найменша вологоємність –  $32.9\%$ , критична вологість –  $24.5\%$  об'єму ґрунту.

Зразки профілю диференційовані та однорідні за всіма параметрами: повна вологоємність, щільність. Звертає на себе увагу закономірний розподіл цих параметрів з глибиною. Структура порового простору також закономірно змінюється по глибині ґрунтового профілю.

**Управління поливами на основі багат шарової моделі.** Задача екологічного обґрунтування поливних норм полягає у вивченні сумарного

потоків вологи за межі розрахункового шару при дії комплексу техногенних і природних факторів. Отже, потрібно визначити такий набір норм  $m_1, m_2, \dots, m_n$ , для якого сумарний потік вологи на інтервалі  $[\tau_0; \tau_1]$  через поверхню  $z$  задовольняє умові:

$$Q(\tau_0, \tau_1, m) = \int_{\tau_0}^{\tau_1} g(\tau) d\tau \leq C; \quad (9)$$

тобто не перевищує заданого рівня  $C$ .

Рівень  $C$ , об'єму води, що витікає за даний розрахунковий шар задає екологічні вимоги технології поливу дощуванням. Як правило, сумарна інфільтрація за метровий шар ґрунту не повинна перевищувати 1-3% величини поливної норми. Комплекс факторів складають: величини поливної норми; інтенсивності сумарного випаровування; розвитку кореневої системи; початкового зволоження профілю (передполивний поріг вологості).

**Висновки.** Запропонована багатошарова модель при управлінні поливами для реалізації концептуальних засад точного землеробства на меліорованих землях що вирішує такі задачі: адаптації параметрів моделі до конкретних умов поля; управління вологістю ґрунту з високою точністю; мінімізації інфільтрації води в нижні горизонти.

#### Список використаних джерел

1. Ромащенко М.І., Драчинська Е.С., Шевченко А.М., Дудинець Ф.Н. Концептуальні засади організації інформаційного забезпечення точного землеробства на меліорованих землях. // Вісник аграрної науки. - 2002.- №4.- С.60-64.
2. Ушкаренко В.О., Міхеєв Є.К. Система точного землеробства як об'єкт управління. // Вісник аграрної науки. - 2002.- №4.- С.11-16.
3. Ковальчук П.І., Ковальчук В.П., Пужай О.М., Яцик М.В. Еколого-технологічне обґрунтування поливних норм на основі математичного моделювання. //Меліорація і водне господарство.-1996.-№83.-С.33-40.
4. Ковальчук П.І., Михальська Т.О., Ковальчук В.П, Оцінка ефективності ресурсозберігаючих режимів зрошення на основі математичного моделювання // Меліорація і водне господарство. - 1998.-№85.-С.29 — 36.
5. Ковальчук П.І., Михальська Т.А., Ковальчук В.П., Писаренко П.В. Еколого - економічне обґрунтування поливних та зрошувальних норм на основі інформаційних технологій. //Меліорація і водне господарство. 1999.-Вип.86.- С.28-35.