

## USING EXPONENTIAL SMOOTHING FOR ADAPTIVE CONTROL OF IRRIGATION SYSTEM

O. Polivoda, A. Rudakova, N. Sarafannikova  
*Kherson National Technical University*

---

<b>Key words:</b>	<b>ABSTRACT</b>
Model Adaptive control Exponential smoothing Irrigation system	The possibility of applying the exponential smoothing method for adaptive control of irrigation system to form a watering mode in water distribution operative control with the dynamics forecast of soil moisture is analyzed.
<b>Article history:</b>	
Received 18.10.2012 Received in revised form 01.11.2012 Accepted 20.11.2012	
<b>Corresponding author:</b>	
O. Polivoda A. Rudakova N. Sarafannikova E-mail: pov81@ukr.net, Rudik5a@rambler.ru, Natyta161079@yandex.ua	

---

## ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНОГО ЗГЛАДЖУВАННЯ ДЛЯ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ІРИГАЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ

О.В. Поливода, Г.В. Рудакова, Н.В. Сарафаннікова  
*Херсонський національний технічний університет*

*Проаналізована можливість застосування методу експоненціального згладжування для адаптивного управління іригаційною системою, з метою формування режимів поливу при оперативному управлінні водорозподілом з урахуванням прогнозу динаміки вологості ґрунту.*

**Ключові слова:** модель, адаптивне управління, експоненціальне згладжування, іригаційна система.

Іригаційні системи широко використовуються для подачі води на сільськогосподарські угіддя в посушливих регіонах. Метою оперативного управління іригаційною системою є підтримка оптимального режиму зволоження ґрунту, що забезпечує максимальну врожайність сільськогосподарських культур. Синтез управління повинен здійснюватися на основі аналізу динаміки вологості ґрунту в умовах невизначеності щодо складу ґрунтів, об'ємів випадкових опадів, способу розподілу зрошувальних вод і водоспоживання вирощуваних культур, що вимагає застосування принципів адаптивного управління.

## АВТОМАТИЗАЦІЯ

Для моделювання динаміки вологості в орному шарі прийнято використовувати рівняння Дарсі, що описує процеси фільтрації води в ґрунті [1]:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ k(w) \frac{\partial \psi(w)}{\partial z} + k(w) \right] - I_w,$$

де  $w$  — об'ємна вологість ґрунту,  $I_w$  — об'єм води, що видаляється з одиниці об'єму ґрунту в одиницю часу (наприклад, гідратація, споживання води рослинами і ін.),  $k(w)$  — функція вологопровідності ґрунту,  $\psi(w)$  — водний потенціал ґрунту,  $z$  — просторова координата, що відповідає глибині орного шару.

Застосування методу кінцевих різниць дозволяє отримати дискретизовану модель динаміки розподілу води в орному шарі, придатну для аналізу вологості ґрунту на будь-якій глибині [2]:

$$\begin{cases} \frac{dw}{dt} = f(w) + b(w)u + q, \\ y = Cw, \end{cases}$$

де  $w = (w_0, w_1, \dots, w_k, \dots, w_N)^T$  — вектор стану (значень вологості ґрунту по глибині);  $f(w)$  і  $b(w)$  — безперервні функції, залежні від елементів вектора стану, що формуються на основі гідрофізичних характеристик ґрунту;  $q = (q_0 -TR(w_1) \dots -TR(w_{N-1}) q_N)^T$  — вектор зовнішніх дій, що включає інтенсивності опадів  $q_0$ , водоспоживання культур по шарах  $TR(w_i)$ ,  $i = \overline{1, N-1}$ , а також стікання води в підорний шар  $q_N$ ;  $C$  — матриця, що формується згідно структури системи вимірювання вологості;  $u$  — вектор управління, сформований з урахуванням типу поливної системи;  $y$  — вектор виходу, що представляє доступні для вимірювання значення вологості ґрунту.

Після лінеаризації рівняння (2) можна представити у вигляді

$$\begin{cases} \hat{w} = A\hat{w} + B\hat{u} + q, \\ y = C\hat{w}, \end{cases}$$

де  $\hat{w} = w - w_s$  і  $\hat{u} = u - u_s$  прирости щодо деякого сталого стану  $w_s = (w_{0s}, \dots, w_{Ns})$  і заданих управління  $u_s$  відповідно;  $A$ ,  $B$  і  $q$  — матриці, що мають постійну структуру, значення яких повинні періодично коректуватися залежно від умов функціонування системи.

При розробці і реалізації систем адаптивного управління застосування моделі виду (2) викликає обчислювальні складнощі пов'язані з аналізом великої кількості розв'язків рівняння Ріккати. Одним з шляхів спрощення рішення задачі оптимального управління є використання лінеаризованої моделі виду (3) і застосування методу експоненціального згладжування [3].

Метою досліджень є аналіз можливості застосування методу експоненціального згладжування для адаптивного управління іригаційною системою, що дозволить здійснювати формування режимів поливу при оперативному управлінні водорозподілом з урахуванням прогнозу динаміки вологості ґрунту.

В іригаційних системах бажаний рух системи  $y(t)$  визначається по заданих графіках оптимальної вологості для конкретних сільгосп культур за весь вегетаційний період. Приклад графіка оптимальної вологості і допустимих діапазонів  $\Delta W_i$  приведений на рис. 1.

Необхідний рух системи можна апроксимувати як рух об'єкту першого порядку, який описується рівнянням

$$\dot{y} + a_1 y = b_0 u,$$

де параметри  $a_1$  і  $b_0$  невідомі, вихід  $y$  і управління  $u$  — вимірювані величини. Для цього весь вегетаційний період розбивається на  $N$  інтервалів, в яких досліджувану траєкторію можна представити функціями виду

$$y_i^*(t) = a_i + b_i \cdot e^{-a_i t}, \quad i = \overline{1, N} \quad (5)$$

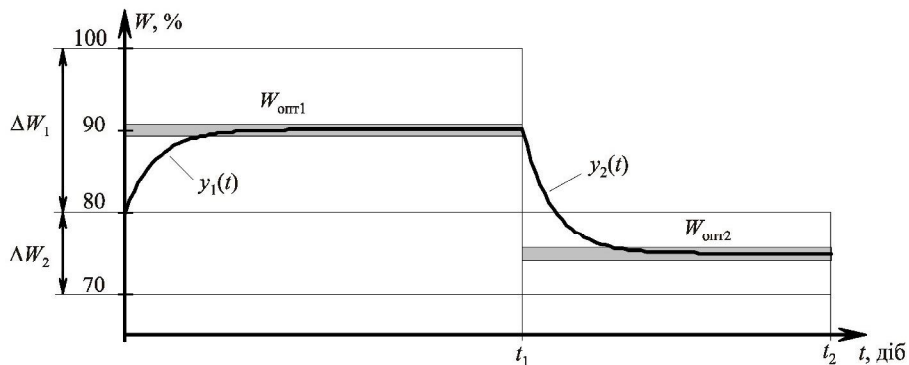


Рис. 1. Типовий графік оптимальної вологості

Функцію оптимальної вологості, що задається, можна записати як

$$y^*(t) = \sum_{i=1}^N y_i^*(t - t_i) \cdot 1(t - t_i), \quad (6)$$

де  $t_i$  — моменти зміни режиму вологості,  $1(t - t_i)$  — одинична ступінчаста функція.

Коефіцієнти  $a_i$ ,  $b_i$  і  $a_i$  визначаються для кожного інтервалу на основі реальних графіків оптимальної вологості. Бажаний рух описуватиметься рівнянням (5), якщо рівняння основного контура за відсутності зовнішнього впливу буде мати вигляд

$$\Delta \dot{y}_i + \alpha_i \Delta y_i = 0, \text{ де } \Delta y_i = y_i(t) - y_i^*(t). \quad (7)$$

З метою забезпечення заданої траєкторії руху алгоритм управління основного контура зазвичай формується у вигляді [3]

$$u = k \Delta y. \quad (8)$$

Підстановка рівняння (7) в рівняння об'єкту (4) дозволяє визначити коефіцієнт підсилення  $k$  як

$$k = -\frac{\alpha - a_1}{b_0}. \quad (9)$$

Оскільки параметри  $a_1$  і  $b_0$  невідомі, можна скористатися їх оцінками  $\hat{a}_1$  і  $\hat{b}_0$ . Тоді алгоритм управління прийме вигляд

$$u = -\frac{\alpha - \hat{a}_1}{\hat{b}_0} \Delta y. \quad (10)$$

Оцінки невідомих параметрів  $a_1$  і  $b_0$  можна визначити за допомогою градієнтного алгоритму ідентифікації на основі ідентифікаційної моделі в лінійній параметричній формі  $\Delta y = W a$ , де  $W = (\Delta \tilde{y} \quad \tilde{u})$  — сигнальна матриця,  $a = (\lambda - a_1 \quad b_0)^T$  — вектор невідомих параметрів [3]. Для цього можна скористатися співвідношеннями:

$$\begin{pmatrix} -\hat{a}_1 \\ \hat{b}_0 \end{pmatrix} = -\gamma \begin{pmatrix} \Delta \tilde{y} \\ \tilde{u} \end{pmatrix} e_n, \text{ або } \hat{a}_1 = \gamma \Delta \tilde{y} e_n, \hat{b}_0 = -\gamma \tilde{u} e_n, \quad (11)$$

де  $\gamma$  — коефіцієнт підсилення;  $\Delta \tilde{y} = \frac{1}{p + \lambda} \Delta y$  і  $\tilde{u} = \frac{1}{p + \lambda} u$  — результат пропускання змінних  $\Delta y$  і  $u$  відповідно через фільтр з передаточною функцією  $1/(p + \lambda)$ ;  $e_n$  — прогнозована похибка, яку можна визначити як

$$e_n = \Delta\tilde{y}\lambda - \Delta\tilde{y}\hat{a}_1 + \tilde{u}\hat{b}_0 - \Delta y. \quad (12)$$

Структурна схема моделі системи управління з експоненціальним згладжуванням згідно рівнянь (7) — (12) приведена на рис. 2.

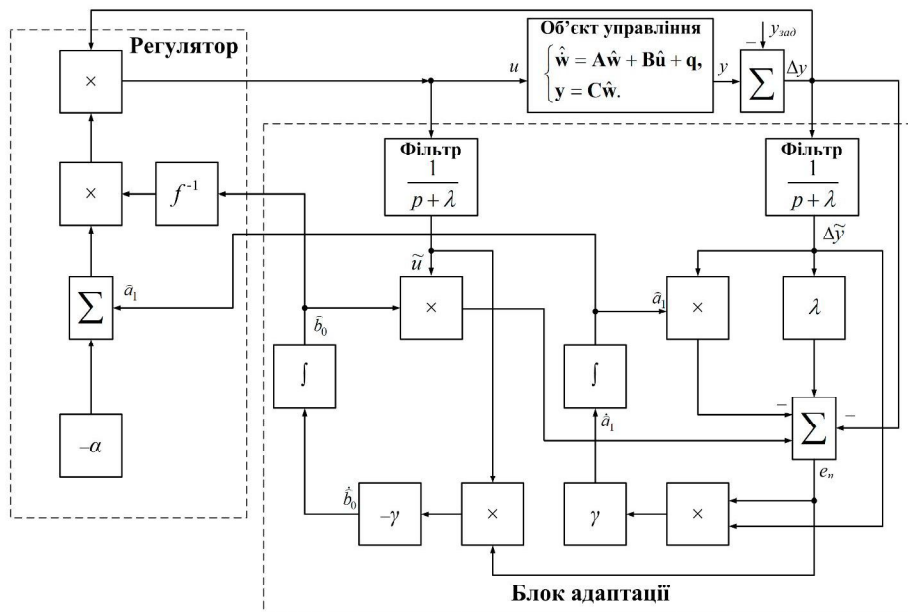


Рис. 2. Структура системи з експоненціальним згладжуванням

Моделювання зміни рівня вологості проводилося для червоно-коричневого суглинного ґрунту при вирощуванні буряків, оптимальна вологість для яких складає: з 1 по 80 день —  $W_{\text{опт1}} = 90 \pm 10 \%$ ; з 80 по 160 день —  $W_{\text{опт2}} = 75 \pm 5 \%$ .

Результати моделювання при  $y_1^*(t) = 90 - 10,154e^{-0,147t}$  і  $y_2^*(t - 80) = 75 + 10,154e^{-0,147(t-80)}$  наведено на рис. 3.

Вихід графіків за межі допустимих діапазонів  $\Delta W_t$  у момент зміни режиму ( $t = 80$  діб) можна усунути шляхом здійснення випереджувального управління, інтервал якого  $\Delta t$  можна визначити за результатами моделювання рівня вологості ґрунту протягом всього вегетаційного періоду. Згідно рис. За  $\Delta t$  складе три доби.

Ефективність управління істотно залежить від підбору значень коефіцієнта підсилення  $\gamma$  і параметра фільтру  $\lambda$ , тому був проведений аналіз збіжності алгоритму ідентифікації і якісних показників перехідних процесів при управлінні з експоненціальним згладжуванням залежно від  $\gamma$  і  $\lambda$ .

Коефіцієнт підсилення  $\gamma$  сильно впливає на характер збіжності алгоритму ідентифікації при визначенні  $\hat{a}_1$  і  $\hat{b}_0$ . Результати моделювання наведені на рис. 4.

Як показують дослідження, на деякому малому інтервалі збільшення коефіцієнта підсилення  $\gamma$  може привести до збільшення швидкості збіжності. Поза вказаним інтервалом подальше збільшення цього коефіцієнта може привести до коливань і повільнішої збіжності (рис. 4. в, г).

Від вибору параметра фільтру  $\lambda$  залежить поведінка системи в установлених і перехідних процесах відпрацьовування заданого впливу. Із збільшенням  $\lambda$  зростає час регулювання, запізнювання і розгону.

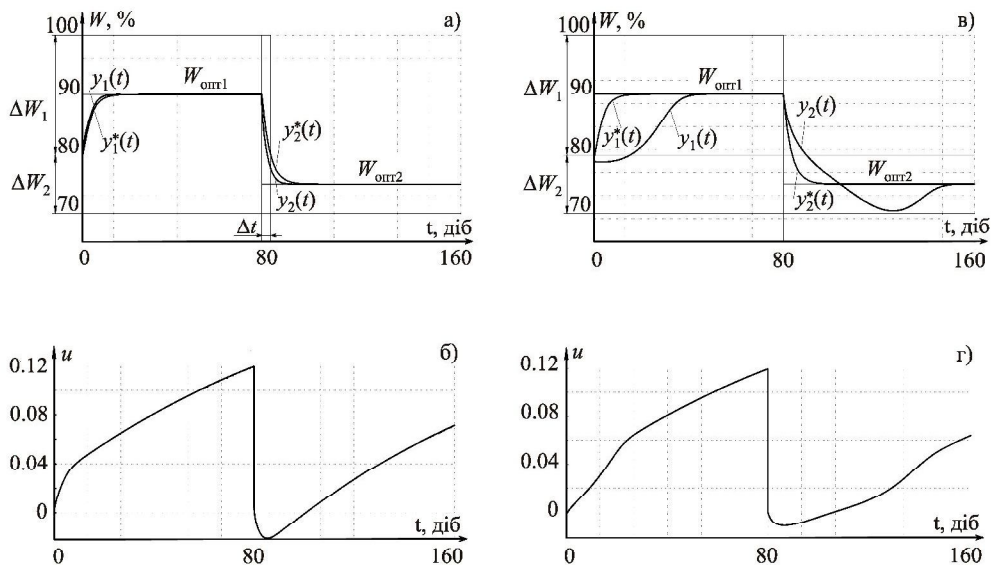


Рис. 3. Результати моделювання рівня вологості і управління з коефіцієнтами настройки:  
 а) — б)  $\lambda = 0,1, \gamma = 10$ ; в) — г)  $\lambda = 1, \gamma = 20$

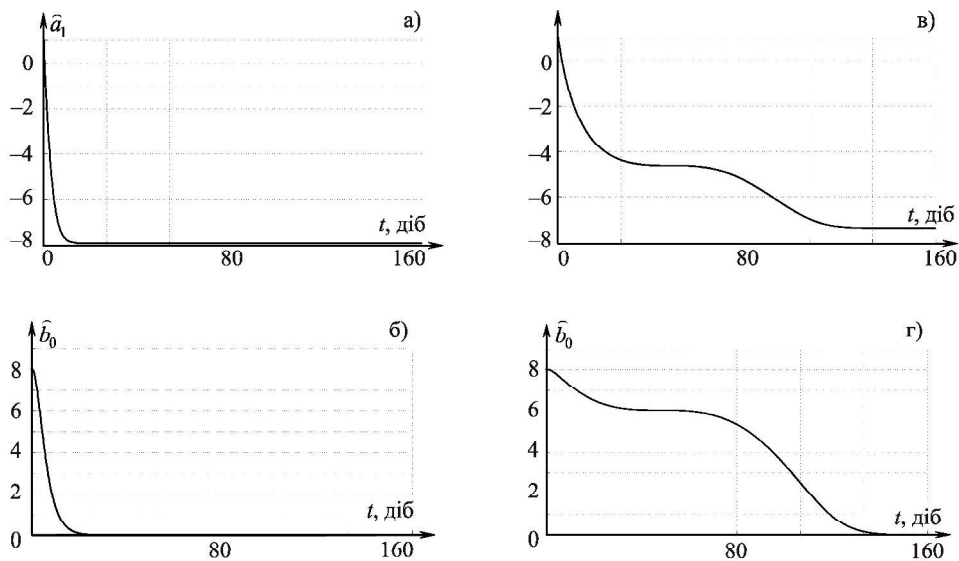


Рис. 4. Результати моделювання оцінок  $\hat{a}_1$  і  $\hat{b}_0$  при коефіцієнтах настройки:  
 а) — б)  $\lambda = 0,1, \gamma = 10$ ; в) — г)  $\lambda = 1, \gamma = 20$

Аналіз результатів моделювання залежності показників якості регулювання від настройок коефіцієнтів  $\lambda$  і  $\gamma$  показав, що оптимальне значення параметра фільтра  $\lambda^* \in [0,1; 0,3]$ , а коефіцієнта підсилення  $\gamma^* \in [10, 15]$ .

### **Висновки**

Методи експоненціального згладжування дозволяють синтезувати управління системою водополіву, траєкторія руху якої зводиться до заданої. Для використання комп'ютеризованих систем управління процесом водорозподілу в іригаційних системах розглянутий метод адаптивного управління з експоненціальним згладжуванням необхідно представити в дискретній формі.

### **Література**

1. *Рыжова И.М.* Математическое моделирование почвенных процессов. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. — 82 с.
2. *Поливода О.В.* Динамическая модель распределения влаги в пахотном слое / О.В. Поливода, Н.И. Рыженко, А.В. Рудакова // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2010.—№3(39). — С. 374 – 380.
3. *Ким Д.П.* Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пособие. — М.:ФИЗМАТЛИТ, 2004. — 464 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО СГЛАЖИВАНИЯ ДЛЯ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИРРИГАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ**

**О.В. Поливода, А.В. Рудакова, Н.В. Сарафанникова**  
*Херсонский национальный технический университет*

*Проанализирована возможность применения метода экспоненциального сглаживания для адаптивного управления ирригационной системой, с целью формирования режимов полива при оперативном управлении водораспределением с учетом прогноза динамики влажности почвы.*

**Ключевые слова:** модель, адаптивное управление, экспоненциальное сглаживание, ирригационная система.