

Л. І. Леві

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна

## ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАТРАТ І ВИТРАТ ВОДИ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕНІСТЮ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Метою керування водним режимом ґрунту є отримання планового врожаю сільськогосподарських культур. Сучасні методи розрахунку зрошувальних систем та управління ними вимагають використання кількісних зв'язків між водним режимом ґрунту та врожайністю культур. Існують підходи по зв'язуванню врожайності із сумарним випаровуванням, коефіцієнтом вологозабезпеченості, опадами, кількістю днів, в які рослини відчують водний стрес. Найдосконалішими є динамічні моделі формування врожаю, в яких враховуються всі основні чинники життєдіяльності рослин. Вони інваріантні, але для їх практичного застосування необхідно визначати велику кількість недостатньо вивчених на даний час чинників зовнішнього середовища та фізіології рослин, що змінюються у часі за видами та сортами рослин. За фізіологічними властивостями розрізняють два типи культур. До першого типу належать культури, що мають яскраво виражені критичні періоди, наприклад, зернові, для яких недостатнє водопостачання під час цвітіння має необоротний згубний вплив на обсяг врожаю; до другого - культури, наприклад, трави, які можуть переносити підсушування ґрунту протягом невеликого періоду і після цього цілком відновлювати врожай за оптимального водоспоживання. В таких моделях кожна попередня фаза розвитку рослин впливає на зростання і розвиток у наступній фазі. В роботі застосовано інтелектуальні методи підтримки прийняття рішень в умовах багатокритеріальності в задачах оптимального керування вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур. Даний підхід дозволяє економити водні та енергетичні ресурси при керуванні вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур без втрат врожайності.

**Ключові слова:** інтелектуальні методи підтримки прийняття рішень, оптимальне керування вологозабезпеченістю, багатокритеріальність, нео-фаззі модель об'єкта керування, принцип головного критерію, схема максимуму.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Метою керування водним режимом ґрунту є отримання планового врожаю сільськогосподарських культур. Сучасні методи розрахунку зрошувальних систем та управління ними вимагають використання кількісних зв'язків між водним режимом ґрунту та врожайністю культур. Існують підходи по зв'язуванню врожайності із сумарним випаровуванням, коефіцієнтом вологозабезпеченості, опадами, кількістю днів, в які рослини відчують водний стрес. Найдосконалішими є динамічні моделі формування врожаю, в яких враховуються всі основні чинники життєдіяльності рослин. Вони інваріантні, але для їх практичного застосування необхідно визначати велику кількість недостатньо вивчених на даний час чинників зовнішнього середовища та фізіології рослин, що змінюються у часі за видами та сортами рослин [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для практичних цілей для кількісної оцінки врожаю в [2] запропонована наступна нелінійна модель у вигляді добутку двох функцій:

$$y = F(W_1, \dots, W_n) \cdot y^p(\theta_1, \dots, \theta_n), \quad (1)$$

де  $F(W_1, \dots, W_n)$  - функція залежності врожаю від динаміки вологості ґрунту за фазами розвитку сільськогосподарської культури;

$y^p(\theta_1, \dots, \theta_n)$  - плановий врожай сільськогосподарської культури у разі оптимального водоспоживання, який є залежним від рівня елементів живлення  $\theta_1, \dots, \theta_n$ .

За фізіологічними властивостями розрізняють два типи культур. До першого типу належать культури, що мають яскраво виражені критичні періоди, наприклад, зернові, для яких недостатнє водопостачання під час цвітіння має необоротний згубний вплив на обсяг врожаю; до другого - культури, наприклад, трави, які можуть переносити підсушування ґрунту протягом невеликого періоду і після цього цілком відновлювати врожай за оптимального водоспоживання.

В таких моделях кожна попередня фаза розвитку рослин впливає на зростання і розвиток у наступній фазі [2].

Фізіологічні обмеження виражені тим, що для культур першого типу рівняння має вигляд добутку функцій окремих періодів:

$$\frac{y}{y^p(\theta)} = f_1(W_1) \cdot f_2(W_2) \cdot \dots \cdot f_n(W_n), \quad (2)$$

для другого типу - суми функцій окремих періодів:

$$\frac{y}{y^p(\theta)} = f_1(W_1) + f_2(W_2) + \dots + f_n(W_n), \quad (3)$$

де  $f_i(W_i)$  - функція, яка відповідає питомому (відносно одиниці) зниженню врожаю при зниженні відносно критичного значення  $W_i^{cr}$  вологості ґрунту  $W_i$ .

Для важких ґрунтів  $W_i^{cr} = 80\%$  від найменшої вологоємності. Для інших типів ґрунтів необхідно замість фактичної вологості  $W_i$  підставляти вираз

$$W_i + d_i,$$

де  $d_i = W_{crh}^i - W_{cr}^i$  - поправочний коефіцієнт  $i$ -ої фази розвитку,  $W_{crh}^i$ ,  $W_{cr}^i$  - відповідно критична вологість важких ґрунтів і ґрунтів розглядуваного в моделі типу.

Для моделей другого типу (таких, як люцерна, трави) зниження врожаю внаслідок недополиву у попередній фазі (періоді) не впливає на врожайність у наступній фазі розвитку сільськогосподарських рослин, що зумовлено їхньою структурою.

Динаміку формування врожаю на основі рівняння (1) можна подати у вигляді системи рівнянь блокового типу:

$$y_i^p = f_i(W_i) \cdot y_{i-1}^p(\theta), \quad i \in [1, n], \quad (4)$$

в якій вплив дефіциту вологості у кожній  $(i-1)$ -й фазі поширюється на  $i$ -ту фазу через  $y_{i-1}^p(\theta)$ . Очевидно, що справджується таке співвідношення:

$$y_0^p(\theta) \geq y_1^p(\theta) \geq y_2^p(\theta) \geq \dots \geq y_n^p(\theta).$$

Причому рівність  $y_i^p(\theta) = y_1^p(\theta)$  досягається у тому разі, якщо протягом  $i$ -ої фази вологість ґрунту

не знижувалася за критичну межу  $W_i^{cr}$ , тобто  $f_i(W_i) = 1$ .

**Метою статті** є застосування інтелектуальних методів підтримки прийняття рішень в умовах багатокритеріальності в задачах оптимального керування вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур для економії водних та енергетичних ресурсів з одночасним забезпеченням отримання планового врожаю.

### Основна частина

Відповідно до [1], математичну модель «відносна врожайність - динаміка вологості ґрунту» для багаторічних трав представимо у вигляді:

$$\frac{y}{y^p(\theta)} = f_1(W_1) \cdot f_2(W_2) \cdot f_3(W_3) \cdot f_4(W_4), \quad (5)$$

$$f_i(W_i) = 0,01 \cdot (A_i W_i^3 + B_i W_i^2 + C_i W_i + D_i), \quad (6)$$

де  $W_i$  - середня вологість кореневмісного шару ґрунту у фазі  $i$  в % від повної вологоємності;  $A_i, B_i, C_i, D_i$  - емпіричні коефіцієнти, значення яких наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Значення емпіричних коефіцієнтів у рівнянні (5)

Культура	Міжфазний період	Коефіцієнти			
		A	B	C	D
Багаторічні трави	<b>Пісок</b>				
	1	1.27*10 <sup>-3</sup>	-0.307	23.29	-460.43
	2	2.05*10 <sup>-3</sup>	-0.485	36.50	-786.07
	3	2.06*10 <sup>-3</sup>	-0.511	40.53	-941.10
	4	1.38*10 <sup>-3</sup>	-0.306	21.78	-400.55
Багаторічні трави	<b>Супісь</b>				
	1	1.27*10 <sup>-3</sup>	-0.337	28.43	-666.87
	2	2.05*10 <sup>-3</sup>	-0.540	45.72	-1155.35
	3	2.07*10 <sup>-3</sup>	-0.55	49.07	-1298.65
	4	1.38*10 <sup>-3</sup>	-0.339	26.94	-595.17
Багаторічні трави	<b>Суглинок середній</b>				
	1	1.27*10 <sup>-3</sup>	-0.348	30.49	-755.27
	2	2.06*10 <sup>-3</sup>	-0.554	47.98	-1250.39
	3	2.06*10 <sup>-3</sup>	-0.573	51.39	-1400.29
	4	1.38*10 <sup>-3</sup>	-0.347	28.29	-650.01
Багаторічні трави	<b>Торф</b>				
	1	1.27*10 <sup>-3</sup>	-0.348	29.78	-724.95
	2	2.05*10 <sup>-3</sup>	-0.554	49.03	-1297.65
	3	2.06*10 <sup>-3</sup>	-0.573	52.54	-1452.11
	4	1.38*10 <sup>-3</sup>	-0.347	29.06	-658.94

Для економії водних та енергетичних ресурсів при прийнятті кінцевого рішення про значення рівня ґрунтових вод (РГВ) пропонується враховувати витрати на зміну РГВ та значення очікуваної врожайності. При цьому шукане значення рівня ґрунтових вод буде належати відрізку

$$L_i \in [L_{curr}, L_{task}],$$

де  $L_{curr}$  - поточне значення рівня ґрунтових вод,  $L_{task}$  - завдання, розраховане нео-фаззі регулятором:

$$L_{task, k+1}^h = NN(P_{k+1}, D_{k+1}, L_{k-1}, L_k, W_{k+1}^h),$$

де  $NN(\ )$  - перетворення, яке здійснюється нейронною мережею;  $k$  - поточний крок, а вхідними

параметрами є такі: кількість опадів  $P$  (мм), дефіцит вологості повітря  $D$  (мбар), рівень ґрунтових вод  $L$  від світлової поверхні (м), всмоктуючий тиск  $W^h$  (м) у визначеному шарі ґрунту  $h$ .

Розіб'ємо відрізок  $[L_{curr}, L_{task}]$  на рівні частини.

Для кожного значення РГВ визначимо вологість ґрунту, витрати на зміну РГВ до даного значення та відносну врожайність.

Всмоктуючий тиск ґрунту визначатиметься за навченою нео-фаззі моделлю об'єкта керування:

$$W_{k+1}^h = NN(P_{k+1}, D_{k+1}, L_{k+1}, W_{k-1}^h, W_k^h),$$

де  $NN(\ )$  - перетворення, яке здійснюється нейронною мережею;  $k$  - поточний крок, а вхідними параметрами є такі: кількість опадів  $P$  (мм), дефіцит вологості повітря  $D$  (мбар), рівень ґрунтових вод  $L$  від світлової поверхні (м).

Для переведення значення всмоктуючого тиску у відносну вологість скористаємося основною гідрофізичною характеристикою для даного типу ґрунту. Відносну врожайність на кожній фазі розвитку рослин визначатимемо за моделями (2) або (3), а у випадку багаторічних трав - за моделлю (6) з емпіричними коефіцієнтами з табл. 1. В результаті отримаємо множину можливих рішень визначення необхідного рівня ґрунтових вод (табл. 2).

Таблиця 2 – Множина можливих рішень визначення необхідного РГВ

Рішення $X_i \in X$	РГВ $L_i \in [L_{curr}, L_{task}]$	Вологість (всмоктуючий тиск) ґрунту $W_i$	Витрати на зміну РГВ $k_{1,i}$	Відносна врожайність на $i$ -й фазі $k_{2,i} = f_i(W_i)$
$x_0$	$L_0$	$W_0$	$k_{1,0}$	$k_{2,0}$
$x_1$	$L_1$	$W_1$	$k_{1,1}$	$k_{2,1}$
$x_2$	$L_2$	$W_2$	$k_{1,2}$	$k_{2,2}$
...	...	...	...	...
$x_n$	$L_n$	$W_n$	$k_{1,n}$	$k_{2,n}$

Область допустимих рішень має такий вигляд:

$$X = \{x_0, x_1, \dots, x_n\}.$$

Кожне рішення характеризується двома критеріями - витратами на зміну РГВ та відносною врожайністю:

$$K = \{k_1, k_2\}.$$

Застосувавши один з методів підтримки прийняття рішення в умовах багатокритеріальності [3-10] (принцип головного критерію, функціонально-вартісний аналіз, принцип послідовної оптимізації, схема максимальної загальної корисності, схема максимуму), визначаємо, який РГВ необхідно встановити в системі, з врахуванням фінансових витрат та очікуваної врожайності [11, 12].

Наприклад, при застосуванні принципу головного критерію, визначаємо, який критерій є головним. Тоді другий критерій виступає у ролі обмеження.

Так, якщо головним критерієм є витрати на зміну рівня ґрунтових вод, то відносна врожайність виступає у ролі обмеження:

$$k_{2, \min} \leq k_2 \leq 1.$$

Сформуємо область допустимих рішень  $X^*$ , яка задовольняє заданим обмеженням. Тоді найкращим рішенням є таке:

$$x = \arg \min_{x \in X^*} k_1.$$

### Висновки

В роботі застосовано інтелектуальні методи підтримки прийняття рішень в умовах багатокритеріальності в задачах оптимального керування вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур. Даний підхід дозволяє економити водні та енергетичні ресурси при керуванні вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур без втрат врожайності.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Лазарчук М.О. Основи гідромеліорацій. Осушення земель. / М.О. Лазарчук. - Рівне: НУВГП, 2006. - 300 с.
- Комашинский В.И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов. - Москва: Горячая линия - Телеком, 2003. - 93 с.
- Mohammed, A. S. Optimal Forecast Model for Erbil Traffic Road Data. ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences. 2017. Vol. 29, No 5. P. 137–145. DOI: <https://doi.org/10.21271/ZJPAS.29.5.15>
- Коваленко А. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування / А. А. Коваленко, Г. А. Кучук // Сучасні інформаційні системи. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
- Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускну здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. Сучасні інформаційні системи. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>

6. Gomathi B, Karthikeyan N K, Saravana Balaji B, "Epsilon-Fuzzy Dominance Sort Based Composite Discrete Artificial Bee Colony optimization for Multi-Objective Cloud Task Scheduling Problem", International Journal of Business Intelligence and Data Mining, Volume 13, Issue 1-3, 2018, pages 247-266, DOI: <https://doi.org/10.1504/IJBIDM.2018.088435>
7. Кучук, Г.А. Метод уменьшения времени передачи данных в беспроводной сети / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НІУ, 2011. – Вип. 3 (19). – С. 209–213.
8. Kuchuk G., Kovalenko A., Komari I.E., Svyrydov A., Kharchenko V.. Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method. Studies in Systems, Decision and Control, vol 171. Kharchenko, V., Kondratenko, Y., Kacprzyk, J. (Eds.). Springer Nature Switzerland AG, 2019. Pp. 161-183. DOI: [http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8)
9. Amin Salih Mohammed, Saravana Balaji B., Niwa Abdulkarim Mawlood. Conceptual analysis of Iris Recognition Systems. Advanced Information Systems. 2019. Vol. 3, No. 2. P. 86-90. DOI : <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.15>
10. Кучук Г. А. Метод параметрического управления передачей данных для модификации транспортных протоколов беспроводных сетей / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. – 2011. – № 8(98). – С. 211-218.
11. Grebennik I.V. Interval estimation of alternatives in decision-making problems / I.V. Grebennik, T.E. Romanova, S.B. Shek-hovtsov // Cybernetics and Systems Analysis, 45(2), 2009. - P. 253-262.
12. Гребеннік І.В. Методи прийняття рішень / О.Г. Наконечний, І.В. Гребеннік, Т.Є. Романова, А.Д. Тевяшев. - Харків: ХНУРЕ, 2016. - 132 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. О.В. Шефер,  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.  
Received (Надійшла) 10.07.2019  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.08.2019

### Оптимизация энергетических затрат и расходов воды в автоматизированной системе управления влажностью сельскохозяйственных культур

Л. И. Леви

Целью управления водным режимом почвы является получение планового урожая сельскохозяйственных культур. Современные методы расчета оросительных систем и управления ими требуют использования количественных связей между водным режимом почвы и урожайности культур. Существуют подходы по связыванию урожайности с суммарным испарением, коэффициентом влагообеспеченности, осадками, количеством дней, в которые растения почувствуют водный стресс. Самыми совершенными являются динамические модели формирования урожая, в которых учитываются все основные факторы жизнедеятельности растений. Они инвариантны, но для их практического применения необходимо определять большое количество недостаточно изученных в настоящее время факторов внешней среды и физиологии растений, изменяющихся во времени по видам и сортам растений. По физиологическим свойствам различают два типа культур. К первому типу относятся культуры, имеющие ярко выраженные критические периоды, например, зерновые, для которых недостаточное водоснабжение во время цветения имеет необратимое пагубное влияние на объем урожая; ко второму - культуры, например, травы, которые могут переносить подсушивание почвы в течение небольшого периода и после этого полностью восстанавливать урожай при оптимальном водопотреблении. В таких моделях каждая предыдущая фаза развития растений влияет на рост и развитие в следующей фазе. В работе применены интеллектуальные методы поддержки принятия решений в условиях многокритериальности в задачах оптимального управления влагообеспеченностью сельскохозяйственных культур. Данный подход позволяет экономить водные и энергетические ресурсы при управлении влагообеспеченностью сельскохозяйственных культур без потерь урожайности.

**Ключевые слова:** интеллектуальные методы поддержки принятия решений, оптимальное управление влагообеспеченностью, многокритериальность, нео-фаззи модель объекта управления, принцип главного критерия, схема максимина.

### Optimization of energy costs and water consumption in an automated system for managing moisture supply of agricultural crops

L. Lievi

The purpose of soil water management is to obtain a planned crop yield. Modern methods for the calculation and management of irrigation systems require the use of quantitative links between the soil water regime and crop yields. There are approaches for tying yields with total evaporation, moisture supply ratio, precipitation, the number of days in which plants will experience water stress. The most perfect are dynamic models of crop formation, which take into account all the main factors of plant activity. They are invariant, but for their practical application it is necessary to determine a large number of environmental factors and plant physiology, which are currently not enough studied, varying with time in species and varieties of plants. According to physiological properties, there are two types of cultures. The most perfect are dynamic models of crop formation, which take into account all the main factors of plant activity. They are invariant, but for their practical application it is necessary to determine a large number of environmental factors and plant physiology, which are currently not enough studied, varying with time in species and varieties of plants. According to physiological properties, there are two types of cultures. The first type includes crops that have pronounced critical periods, for example, cereals, for which insufficient water supply during flowering has an irreversible detrimental effect on crop yield; to the second, crops, for example, herbs that can tolerate drying of the soil for a short period and then completely restore the crop with optimal water consumption. In such models, each previous phase of plant development influences growth and development in the next phase. Intellectual methods of decision-making support in the conditions of multicriteriaity in the tasks of optimal control of moisture supply of agricultural crops are applied. This approach allows to save water and energy resources while managing the moisture supply of agricultural crops without loss of yield.

**Keywords:** intelligent decision-making support methods, optimal control of moisture security, multicriteriaity, neo-fuzzy model of the control object, principle of the main criterion, maximin scheme.