

## ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМИ CROPWAT ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СУМАРНОГО ВОДОСПОЖИВАННЯ КУКУРУДЗИ ЦУКРОВОЇ

**ЛИХОВИД П.В.** – кандидат сільськогосподарських наук

<https://orcid.org/0000-0002-0314-7644>

Інститут зрошуваного землеробства

Національної академії аграрних наук України

**ЛАВРЕНКО С.О.** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0003-3491-1438>

Херсонський державний аграрно-економічний університет

**Постановка проблеми.** Раціональне використання водних ресурсів – одна з головних проблем сучасного землеробства, яке нині є чи не найбільш потужним споживачем води в загальній структурі водокористування. Зважаючи на істотне скорочення запасів якісної прісної води та зростання потреб у водопостачанні практично в усіх галузях сільськогосподарства та промислового виробництва, перед аграріями постає проблема пошуку шляхів раціоналізації використання водних ресурсів і зменшення їх непродуктивних втрат унаслідок неправильно організованої господарської діяльності, зокрема непродуктивних втрат від нераціонального зрошення сільськогосподарських культур [1–3]. На допомогу виробникам сільськогосподарської продукції приходять сучасні рішення в галузі інформаційних технологій, які забезпечують точне визначення, прогнозування та планування потреб у воді для конкретних культур, вирощування у певних агрокліматичних умовах, та дозволяють істотно підвищити ефективність використання водних ресурсів у зрошуваному землеробстві. Зокрема, популярна серед науковців і виробників продукції рослинництва програма CROPWAT 8.0, розроблена та безкоштовно пропонується ФАО для розв'язання завдань формування раціонального режиму зрошення [4; 5]. Проте недоліком цієї програми є її низька адаптованість до ґрунтово-кліматичних умов та генотипових особливостей сільськогосподарських культур, вирощуваних в Україні, оскільки програму насамперед розроблено для умов країн Середземноморського басейну, результатом чого є недостатня адекватність оцінок водоспоживання культурних рослин на території з іншими агрокліматичними умовами [6].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання адаптації програми CROPWAT 8.0 до конкретних ґрунтово-кліматичних умов активно вирішується науковцями та фахівцями країн, які не належать до Середземноморського басейну. Так, окремими дослідженнями було встановлено істотне спотворення величини водоспоживання кукурудзи, особливо за традиційних способів зрошення [7]. Окремі дослідження присвячені оцінці прогнозу водоспоживання та формуванню режимів зрошення за різних опцій, передбачених ФАО [8]. В Україні питанням вивчення та можливості застосування програми як розрахункового інструменту моделювання водоспоживання сільськогосподарських культур було присвячено дослідження науковців Інституту водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук (далі – НААН) України,

Інституту зрошуваного землеробства НААН [9; 10]. За результатами вищезгаданих досліджень вітчизняні науковці дійшли висновків про необхідність коригування коефіцієнтів культур за фазами їх вегетації, оскільки за використання в розрахунках запропонованих ФАО величин істотно спотворюються реальні показники потреб рослин у воді.

**Мета статті.** Робота присвячена вивченню можливості поліпшення надійності розрахунку сумарного водоспоживання програмою CROPWAT 8.0 шляхом коригування коефіцієнтів культури. Базовою культурою було обрано кукурудзу цукрову (*Zea mays* L. ssp. *saccharata* Sturt.). Дана культура була обрана за базову, оскільки більшість дослідників використовували у своїх працях різновиди кукурудзи як еталонної культури для проведення пошукових робіт у даному напрямі.

**Матеріали та методика досліджень.** Для оцінки точності та надійності розрахункового визначення сумарного водоспоживання кукурудзи цукрової здійснювали модельні розрахунки у програмі CROPWAT 8.0 із застосуванням рекомендованих ФАО параметрів для відомого періоду та порівнювали розрахункові значення з фактичними, які було отримано під час проведення польових досліджень щодо вдосконалення технології вирощування культури.

Дослідження виконувалися впродовж 2014–2016 рр. на зрошуваних землях СК «Радянська земля» Білозерського району Херсонської області згідно з вимогами методики дослідної справи в агрономії на слабосолонцюватому темнокаштановому ґрунті [11]. Вміст гумусу в шарі ґрунту 0–50 см становить 2,5%, поступово знижується за профілем. Щільність складення метрового шару ґрунту становить 1,35 г/см<sup>3</sup>, щільність твердої фази – 2,66 г/см<sup>3</sup>. Сумарна шпаруватість ґрунту в метровому шарі становить 49,3%. За результатами агрохімічних обстежень вміст у ґрунті лужногідролізованого азоту (за Корнфілдом) низький (35 мг/кг ґрунту), рухомого фосфору (за Мачигінім) – підвищений і високий (32 мг/кг ґрунту), обмінного калію (за Мачигінім) – високий (430 мг/кг ґрунту). Рівень залягання ґрунтових вод – 3–5 м.

Для зрошення культури використовували воду Інгuleцької зрошувальної системи, яка, згідно з вимогами ДСТУ 2730:2015, належить до II класу якості за агрономічними критеріями (середня за роками досліджень мінералізація води – 1 418 мг/л, концентрація токсичних іонів в еСl – 10,63 мекв/л, водневий показник – 8,29 одиниць, SAR (натрієво-адсорбційне відношення) – 4,53 мекв/л).

У дослідях вирощували сорт солодкої (*su*) кукурудзи цукрової Брусниця селекції Сквирської дослідної станції Інституту овочівництва і баштанництва НААН. Сорт районований для використання в Україні з 1995 р., середньостиглий (період від сходів до збирання врожаю – 77–79 днів), універсального напрямку використання.

Сумарне водоспоживання кукурудзи цукрової (фактичне) розраховували за методом водного балансу з урахуванням приходу вологи з ефективними опадами, вологи ґрунту, а також зрошувальної норми та непродуктивних втрат води під час зрошення [11]. Метеорологічні дані, використовувані під час проведення досліджень, було надано Херсонським обласним гідрометеорологічним центром. Вологість ґрунту визначали термостатно-ваговым методом. Передполивну вологість в активному шарі ґрунту (0–30 см до фази 7–8 листків та 0–50 см протягом решти періоду вегетації культури) підтримували на рівні 80% НВ шляхом проведення поливів через систему краплинного зрошення. За роками досліджень виконували: у 2014 р. – 10 поливів по 5 мм до фази 7–8 листків кукурудзи цукрової та 12 поливів по 10 мм до збирання врожаю культури (зрошувальна норма – 170 мм); у 2015 р. – 6 поливів по 5 мм до фази 7–8 листків кукурудзи цукрової та 9 поливів по 10 мм до збирання врожаю культури (зрошувальна норма – 120 мм); у 2016 р. – 8 поливів по 5 мм до фази 7–8 листків кукурудзи цукрової та 12 поливів по 10 мм до збирання врожаю культури (зрошувальна норма – 160 мм).

Параметри, застосовувані під час розрахунку сумарного водоспоживання кукурудзи цукрової, наведено в табл. 1–4. Усі основні опції, застосовувані для розрахунків, були стандартними згідно з рекомендаціями ФАО [12].

**Таблиця 1 – Строки сівби та збирання врожаю кукурудзи цукрової, застосовувані для розрахунку сумарного водоспоживання культури у програмі CROPWAT 8.0**

Строки виконання технологічних операцій	
Сівба	Збирання врожаю
1 травня 2014 р.	23 липня 2014 р.
22 травня 2015 р.	8 серпня 2015 р.
21 травня 2016 р.	7 серпня 2016 р.

**Таблиця 5 – Фактична та розрахункові величини сумарного водоспоживання кукурудзи цукрової**

Рік	Сумарне водоспоживання культури, мм			Похибка (коригований розрахунок), %	Похибка (розрахунок за ФАО), %
	Фактичне	CROPWAT 8.0 (коригований)	CROPWAT 8.0 (ФАО)		
2014	287,2	290,9	427,7	1,29	48,92
2015	275,1	295,7	387,4	7,49	40,82
2016	269,1	287,1	398,9	6,69	48,23
Середнє	277,1	291,2	404,7	5,16	45,99

Використання стандартних коефіцієнтів культури, рекомендованих ФАО, веде до спотворення реальних потреб культури у волозі, похибка модельного розрахунку перевищує гранично допустимий рівень (10%) більш ніж у 4,5 рази [13]. Похибка в оцінці сумарного водоспожи-

**Таблиця 2 – Параметри програми CROPWAT 8.0, застосовувані для розрахунку сумарного водоспоживання (рекомендовані ФАО)**

Параметри	Опції
ET <sub>o</sub> (Пенман – Монтейт)	ET <sub>o</sub> , розраховане за температурними даними
Ефективний дощ	Залежний дощ (формула ФАО/AGLW)
Таймінг зрошення	Полив за досягнення передполивного порога вологості ґрунту
Поливна норма	Полив до досягнення НВ
Ефективність зрошення	70%

**Таблиця 3 – Коефіцієнти культури для розрахунку сумарного водоспоживання у програмі CROPWAT 8.0**

Етапи розвитку	Коефіцієнт ФАО	Коефіцієнт скоригований
Початковий	0,30	0,30
Середина сезону	1,00	0,80
Кінецьсезону	0,20	0,20

**Таблиця 4 – Тривалість періодів розвитку культури, що застосовувалася під час розрахунків у програмі CROPWAT 8.0**

Період	Тривалість, діб
Початковий	20
Розвиток	20
Середина сезону	25
Кінець сезону	15

**Результати досліджень.** Нами було емпірично скориговано величину коефіцієнта культури для середини сезону. Під час розрахунків за стандартизованими коефіцієнтами, рекомендованими ФАО, помітно, що найбільша переоцінка водоспоживання культури спостерігається саме в цей період її розвитку, а отже, рекомендований ФАО коефіцієнт для умов Півдня України є не виправдано високим. Зниження величини коефіцієнта на 0,20 істотно поліпшує достовірність розрахункової оцінки сумарного водоспоживання цукрової кукурудзи (табл. 5).

вання цукрової кукурудзи за використання коригованого коефіцієнта культури для середини сезону коливається в межах 1,3–7,5% (з максимумом у 2015 р. та мінімумом у 2014 р.), а отже, модельні розрахунки мають значно вищий рівень точності та можуть бути застосовані для

моделювання водоспоживання культури в умовах Півдня України. Абсолютна величина похибки коливалася в межах 3,7–20,6 мм залежно від умов року проведення досліджень, що не є ризиком надмірного поливу культури. Водночас подальше зменшення величини коефіцієнта культури до 0,75 в окремі роки вестиме до заниження оцінюваної величини сумарного водоспоживання, а це спричинятиме ризик недостатнього поливу, що негативно позначатиметься на врожайності та якості продукції кукурудзи цукрової як вибагливої до водного режиму культури.

**Висновки.** Застосування програми CROPWAT 8.0 є перспективним і високоефективним способом раціоналізації водовикористання в галузі зрошуваного землеробства шляхом поліпшення оперативності та точності прогнозування та планування потреб сільськогосподарських культур у воді. Застосування коригованого коефіцієнта культури для середини сезону дозволило істотно підвищити точність і надійність даного розрахункового методу для оцінки сумарного водоспоживання кукурудзи цукрової. У подальшому буде проведено пошукову роботу щодо емпіричного встановлення оптимальних параметрів для розрахунку потреб у волозі інших сільськогосподарських культур..

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Water resources deficit and water engineering / J. Tarjuelo et al. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2010. Vol. 8. № S2. P. 102–121.
2. Flörke M., Schneider C., McDonald R. Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. *Nature Sustainability*. 2018. Vol. 1. № 1. P. 51.
3. Molden D. Water for food water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture. *Routledge*, 2013. 688 p.
4. Feng Z., Liu D., Zhang Y. Water requirements and irrigation scheduling of spring maize using GIS and CropWat model in Beijing – Tianjin–Hebei region. *Chinese Geographical Science*. 2007. Vol. 17. № 1. P. 56–63.
5. George B., Shende S., Raghuvanshi N. Development and testing of an irrigation scheduling model. *Agricultural Water Management*. 2000. Vol. 46. № 2. P. 121–136.
6. Valipour M., Sefidkouhi M., Raeini M. Selecting the best model to estimate potential evapotranspiration with respect to climate change and magnitudes of extreme events. *Agricultural Water Management*. 2017. Vol. 180. P. 50–60.
7. Simulation of maize yield under water stress with the EPIC phase and CROPWAT models / J. Caverro et al. *Agronomy Journal*. 2000. Vol. 92. № 4. P. 679–690.
8. Water requirements and irrigation scheduling of maize crop using CROPWAT model / S. Bhat et al. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. Vol. 6. № 11. P. 1662–1670.
9. Romashchenko M., Shatkowski A., Zhuravlev O. Features of application of the Penman – Monteith method for conditions of a drip irrigation of the steppe of Ukraine (on example of grain corn). *Journal of Water and Land Development*. 2016. Vol. 31. № 1. P. 123–127.
10. Assessment of the CROPWAT 8.0 software reliability for evapotranspiration and crop water requirements calculations / R. Vozhehova et al. *Journal of Water and Land Development*. 2018. Vol. 39. № 1. P. 147–152.
11. Методика польового досліду (зрошуване землеробство) / В. Ушкаренко та ін. Херсон : Грін Д.С., 2014. 448 с.
12. Smith M. CROPWAT : A computer program for irrigation planning and management. *FAO*, 1992. 126 p.
13. Экономическое прогнозирование : учебное пособие / Ю. Лапыгин и др. Москва, 2009. 256 с.

#### REFERENCES:

1. Tarjuelo, J.M., De-Juan, J.A., Moreno, M.A., & Ortega, J.F. (2010). Water resources deficit and water engineering. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8 (S2), 102–121. [in English]
2. Flörke, M., Schneider, C., & McDonald, R.I. (2018). Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. *Nature Sustainability*, 1(1), 51. [in English]
3. Molden, D. (2013). Water for food water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture. *Routledge*. [in English]
4. Feng, Z., Liu, D., & Zhang, Y. (2007). Water requirements and irrigation scheduling of spring maize using GIS and CropWat model in Beijing – Tianjin – Hebei region. *Chinese Geographical Science*, 17(1), 56–63. [in English]
5. George, B.A., Shende, S.A., & Raghuvanshi, N.S. (2000). Development and testing of an irrigation scheduling model. *Agricultural Water Management*, 46(2), 121–136. [in English]
6. Valipour, M., Sefidkouhi, M.A.G., & Raeini, M. (2017). Selecting the best model to estimate potential evapotranspiration with respect to climate change and magnitudes of extreme events. *Agricultural Water Management*, 180, 50–60. [in English]
7. Caverro, J., Farre, I., Debaeke, P., & Faci, J.M. (2000). Simulation of maize yield under water stress with the EPIC phase and CROPWAT models. *Agronomy Journal*, 92(4), 679–690. [in English]
8. Bhat, S.A., Pandit, B.A., Khan, J.N., Kumar, R., & Jan, R. (2017). Water Requirements and Irrigation Scheduling of Maize Crop using CROPWAT Model. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(11), 1662–1670. [in English]
9. Romashchenko, M., Shatkowski, A., & Zhuravlev, O. (2016). Features of application of the Penman – Monteith method for conditions of a drip irrigation of the steppe of Ukraine (on example of grain corn). *Journal of Water and Land Development*, 31(1), 123–127. [in English]
10. Vozhehova, R.A., Lavrynenko, Y.O., Kozovikhin, S.V., Lykhovyd, P.V., Biliaieva, I.M., Drobitko, A.V., & Nesterchuk, V.V. (2018). Assessment of the CROPWAT 8.0 software reliability for evapotranspiration and crop water requirements calculations. *Journal of Water and Land Development*, 39(1), 147–152. [in English]
11. Ushkarenko, V.O., Kozovikhin, S.V., Holoborodko, S.P., & Vozhehova, R.A. (2014). *Metodyka poliovoho doslidu (zroshuvane zemlerobstvo) : Navchalnyi posibnyk [Methodology of field experiment (irrigated agriculture) : The textbook]*. Kherson : Hrin D.S. [in Ukrainian]

12. Smith, M. (1992). CROPWAT : A computer program for irrigation planning and management. *Food & Agriculture Organization*. [in English]

13. Lapygin, Y.N., Krylov, V.Y., & Chernivskij, A.P. (2009). *Ekonomicheskoje prognozirovanije : uchebnoje posobije* [Economic forecasting : the textbook]. Moscow. [in Russian]

УДК 631.675:634.1.03:634.234

DOI <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2020.73.10>

## ЕФЕКТИВНІСТЬ КРАПЛИННОГО ЗРОШЕННЯ МОЛОДИХ ІНТЕНСИВНИХ НАСАДЖЕНЬ ЧЕРЕШНІ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ

**МАЛЮК Т.В.** – кандидат сільськогосподарських наук,  
старший науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0001-9727-4531>

**КОЗЛОВА Л.В.** – кандидат сільськогосподарських наук

<https://orcid.org/0000-0001-7139-3233>

**ПЧОЛКІНА Н.Г.** – молодший науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0002-6590-0769>

Мелітопольська дослідна станція садівництва імені М.Ф. Сидоренка  
Інституту садівництва Національної академії аграрних наук України

**Постановка проблеми.** Уже не викликає сумнівів, що одним із визначальних чинників інтенсифікації садівництва в посушливих умовах півдня України є зрошення. Відомо, що витрати води у плодівих насадженнях безпосередньо визначаються режимом зрошення, який складається з величини поливної норми, строків проведення та кількості вегетаційних поливів, які, у свою чергу, залежать від біологічних особливостей рослин та ґрунтово-кліматичних умов зони. Раціональний режим зрошення повинен забезпечувати підтримання оптимального водного режиму ґрунту та сприяти активізації продукційних процесів плодівих дерев. Крім того, оптимізація водного режиму в молодих садах не лише зумовлює покращення фізіолого-біохімічних процесів рослин у певний період росту й розвитку, але є також основою реалізації потенціалу продуктивності насаджень у майбутньому.

Водночас у сучасних економічних умовах значно зросли вимоги до раціонального використання ресурсів. Безперечно, використання краплинного зрошення в садах вже само собою сприяє зменшенню витрат води порівняно з іншими способами зрошення, що пов'язано з локальним характером зволоження й іншими технологічними його характеристиками. Водночас, зважаючи на нестачу водних ресурсів, зростання посушливості клімату, необхідність ефективного використання не лише водних, а й трудових і матеріальних ресурсів, режими краплинного зрошення також повинні сприяти підвищенню ефективності використання поливної води та ресурсоощадливості технології вирощування садів загалом. Тому проблеми збільшення ефективності зрошення інтенсивних насаджень плодівих культур в умовах півдня України залишаються актуальними. Особливо це стосується черешні, питання зрошення якої за інтенсивних технологій вирощування є майже недослідженими.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні економічні трансформації та ринкові перетворення в сільському господарстві потребують активізації вивчення проблеми обґрунтування економічної доцільності й ефективності водорегу-

лювання на меліорованих землях [1; 2]. У таких умовах велике значення має господарський ефект від упровадження елементів технології вирощування, який проявляється в підвищенні врожаю. Але не меншого значення набувають відомості про те, наскільки економічно вигідне впровадження тих чи інших елементів технології зрошення, які для цього потрібні додаткові фінансові витрати, чи забезпечать вони заощадження ресурсів тощо.

Відомо, що основними вимогами до способу призначення поливів є підтримання оптимального рівня передполивної вологості ґрунту й оперативність визначення поливного режиму. Традиційний термостатно-ваговий метод призначення поливів, безсумнівно, дає об'єктивну оцінку режиму вологості ґрунту і слугує надійним способом дотримання запланованого рівня контролю. Водночас він є енерго- та трудозатратним і не відповідає вимогам оперативності [3]. Ці недоліки можна виправити застосуванням краплинного зрошення із призначенням строків і норм поливу розрахунковим методом. Доцільність використання таких методів під час зрошення садів доведена вітчизняними та закордонними дослідженнями [2; 4–6].

Ще одним напрямом ресурсоощадного зрошення є зменшення витрат ґрунтової вологи із зони інтенсивного її споживання. Значного ефекту в саду можна досягти мульчуванням пристовбурних смуг. Разом зі зменшенням водоспоживання зазначений захід позитивно впливає на властивості ґрунту, продуктивність плодівих дерев, зменшує витрати на боротьбу з бур'янами, покращує термічний режим ґрунту тощо [7; 8–12]. Крім того, краплинне зрошення забезпечує можливість проведення фертигації й оперативного керування умовами живлення і вологозабезпечення рослин відповідно до фізіологічних потреб культур [13–15]. Це підтвердили і результати власних досліджень за період 2006–2015 рр. щодо особливостей застосування добрив шляхом фертигації в молодих та плодоносних інтенсивних насадженнях зерняткових культур за краплинного зрошення [16; 17]. Вони довели високу ефективність цього елемента технології в умовах