

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-189>Available at (PDF): <http://mivg.iwvim.com.ua/index.php/mivg/article/view/189>

УДК 631.675.4:631.674.6:634.11

АДАПТАЦІЯ МЕТОДУ «PENMAN–MONTEITH» ЗА КРАПЛИННОГО ЗРОШЕННЯ ЯБЛУНІ НА ПІДЦЕПІ М-9 В УМОВАХ СТЕПУ УКРАЇНИ

Ф.А. Мінза¹, А.П. Шатковський², докт. с.-г. наук, О.В. Журавльов³, канд. с.-г. наук¹ Сільськогосподарське товариство з обмеженою відповідальністю «Енограй»,

с. Софіївка, Білозерський район, Херсонська область, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-4341-9157>; e-mail: minza2014@gmail.com² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;<https://orcid.org/0000-0002-4366-0397>; e-mail: andriy-1804@ukr.net³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;<https://orcid.org/0000-0001-7035-219X>; e-mail: zhuravlov_olexandr@ukr.net

Анотація. Оптимізація режимів краплинного зрошення інтенсивних яблуневих садів є основою агротехнології їх вирощування з урожайністю плодів понад 50 т/га. Існує багато різнопланових методів керування режимами зрошення сільськогосподарських культур, які дають змогу використовувати окремо чи комплексно відповідні прилади, інструменти, засоби, комп'ютерні програми, математичні моделі тощо. За використання будь-якого підходу, безумовно, враховують дані щодо погодних та ґрунтових умов, біологічних і сортових особливостей водоспоживання культури. Метою досліджень обрано адаптацію розрахункового методу визначення сумарного водоспоживання (ЕТс) «Penman–Monteith» за краплинного зрошення яблуні на підцепі М-9 в умовах Степу України. При закладанні дослідів використано науково-методичні підходи, які викладено у керівництві FAO 56. У дослідях, для отримання даних та проведення розрахунків водоспоживання, використано комп'ютерну програму CropWat 8.0 та цифрову інтернет-метеостанцію iMetos. За використання методу «Penman–Monteith» за період досліджень було проведено 6–10 вегетаційних поливів нормою зрошення 620–700 м³/га. За цього середня врожайність товарних плодів становила 32,9 т/га, а середній коефіцієнт ефективності зрошення – 31,5 м³/т. У виробничих умовах встановлено фактичне сумарне водоспоживання яблуні за використання методу «Penman–Monteith» – 3269,7 м³/га та еталонне водоспоживання (ЕТо) для цієї ґрунтово-кліматичної зони протягом вегетаційного періоду. У всіх фазах розвитку дерев встановлено відношення коефіцієнтів культури яблуні (Кс): типового за рекомендаціями FAO 56 та розрахованого на основі експериментальних даних. Проведено порівняння фактичного значення ЕТс та розрахованого за допомогою Кс яблуні згідно з керівництвом FAO 56. Рекомендовано у разі визначення параметрів режимів краплинного зрошення яблуні на підцепі М-9 у Степу України за допомогою програми CropWat 8.0 та даних цифрової інтернет-метеостанції iMetos користуватися скоригованими значеннями Кс.

Ключові слова: краплинне зрошення, сумарне водоспоживання, коефіцієнт культури, норма зрошення, метод «Penman–Monteith», яблуня.

Постановка проблеми. Впровадження сучасних агротехнологій та інновацій у сільськогосподарське виробництво є на сьогодні нагальною потребою аграрної галузі економіки України [1]. Проведення постійного моніторингу кліматичних метеоданих певної зони землеробства можливо забезпечити за допомогою мобільних цифрових інтернет-метеостанцій. Поряд з цим, необхідним є проведення адаптації та корегування існуючих методик щодо визначення потреб сільськогосподарських культур у забезпеченні вологою для подальшого застосування у виборі поливного режиму [2–8]. Загальноприйнятим у світі методом розрахунку параметрів сумарного водоспоживання (ЕТс) є метод «Penman–Monteith», який затвер-

джено FAO як стандарт із визначення ЕТо для еталонної культури [2]. Розрахунок ЕТо проводять на підставі стандартних кліматичних вимірів сонячної радіації, температури і вологості повітря та швидкості вітру на висоті 2 м, тобто він включає всі параметри, які визначають обмін енергії з відповідним потоком тепла (евапотранспірації) з однорідного рослинного покриву [2; 7; 9]. Такі стандартні умови передбачають відмінні агрономічні і ґрунтові умови, проте ЕТс рослин у фактичному кліматичному середовищі суттєво відрізняється від еталонного. Цю відмінність відображають коефіцієнтом культури – Кс:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0}, [2; 10; 11] \quad (1)$$

© Ф.А. Мінза, А.П. Шатковський, О.В. Журавльов, 2019

де: ET_c – фактичне сумарне водоспоживання, мм або $m^3/га$;

ET_o – еталонне сумарне водоспоживання, мм або $m^3/га$.

Рекомендовані FAO значення K_c є типовими величинами у стандартних кліматичних умовах, а саме у субгумідному кліматі, за середньої висоти рослин, тобто культура знаходиться в оптимальних умовах [2]. Поряд з цим, зазначимо, що основні кліматичні характеристики Степу України відрізняються від субгумідного клімату: на 15 позицій або на 33,3% за середньодобовою мінімальною відносною вологістю (RH_{min}); більше на 1 м/с або на 50% за середньою швидкістю вітру [12]. Отже, для практичного використання методу «Penman-Monteith» необхідно виконати дослідження для корегування K_c з урахуванням відхилень від стандартних умов.

Актуальність дослідження. Краплинне зрошення плодових насаджень інтенсивного типу є локальним і потребує точного визначення строків і норм поливу [13; 14].

Ефективне комплексне використання інструментально-вимірювальних комплексів діагностування поливних режимів у садівництві передбачає ретельне вивчення відповідних характеристик розвитку культур та їх водоспоживання на всіх стадіях активної вегетації.

Отже, існує необхідність проведення досліджень щодо визначення параметрів ET_c на культурі яблуні в умовах Степу України методом «Penman-Monteith» для планування і реалізації режимів краплинного зрошення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Результати останніх досліджень щодо адаптації методу «Penman-Monteith» за краплинного зрошення було проаналізовано на предмет двох основних чинників, котрі впливають на підсумкове значення розрахунків: культури яблуні та кліматичні умови зони Степу України. Так науковцями Інституту водних проблем і меліорації НААН [10; 11; 15; 16] дослідження проведено в зоні Степу України, на овочевих та просапних культурах. Також групою вчених Корнельського університету США ґрун-

товно досліджено ET_c культури яблуні, проте у кліматичних умовах північного сходу США [17]. Відповідні дослідження з визначення ET_c за методом «Penman-Monteith» для яблуні в зрошуваних умовах Степу України вченими не було проведено.

Мета дослідження. Встановлення режиму краплинного зрошення та адаптація розрахункового методу визначення сумарного водоспоживання (ET_c) «Penman-Monteith» на культурі яблуні в умовах Степу України.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження проведено протягом 2015–2017 рр. у виробничих умовах. Яблуневий сад висаджено у 2010 р. за інтенсивним типом зі схемою садіння 4x1 м у с. Софіївка Білозерського району Херсонської області.

На підставі ґрунтових вишукувань згідно з ДСТУ 4287 [18] та ДСТУ 4730 [19] встановлено, що ґрунт дослідної ділянки – темно-каштановий середньосуглинковий на лесовій породі, вміст фізичної глини у шарі 0–50 см становить 42%, у шарі 50–100 см – 39%. Визначено щільність складення ґрунту до глибини 100 см, яка становить від 1,27 $г/см^3$ до 1,47 $г/см^3$ (ДСТУ ISO 11272:2001) [20] та вміст вологи у ґрунті, який відповідає найменшій і передполивній вологості: 27,5% і 23,4% (ДСТУ Б В.2.1–17:2009) [21].

Район досліджень відноситься до підзони Степу Сухого з середньобіагаторічною сумою опадів 434 мм і температурою повітря +10,2°C [12]. У зв'язку зі змінами клімату посушливі явища проявляються практично щороку, тому ведення інтенсивного садівництва у цій зоні можливе виключно в зрошуваних умовах.

Порівняння даних щодо забезпечення дослідної ділянки продуктивними опадами з середньобіагаторічними значеннями наведено в таблиці 1.

Отже, за період досліджень протягом вегетації яблуні більш посушливі умови щодо забезпечення опадами зафіксовано у 2015 році, з перевищенням середнього значення – у 2016 році. За цей же період середньодобова температура перевищувала показники кліматичної норми на 1,4–1,8°C.

1. Середньобіагаторічні та фактичні значення продуктивних опадів на дослідній ділянці за березень-вересень 2015-2017 рр.

| Рік | Середньобіагаторічне значення за період вегетації, мм | Фактичне значення за період вегетації, мм | Відхилення, % |
|------|---|---|---------------|
| 2015 | 275 | 193 | -29,74 |
| 2016 | 275 | 306 | 11,25 |
| 2017 | 273 | 267 | -2,36 |

У польових дослідженнях застосовували існуючі методики для краплинного зрошення [1; 13; 14]. Крім того, отримання необхідних для дослідів параметрів проводили з використанням цифрової інтернет-метеостанції iMetos, додатку «IRRIMET» та програми CROPWAT 8.0 [22; 23], також здійснювався періодичний контроль термостатно-ваговим методом [21].

Результати дослідження та їх обговорення. За період досліджень із використанням розрахункового методу «Penman-Monteith» для забезпечення передполивної вологості ґрунту на рівні 85% від НВ було призначено 6–10 вегетаційних поливів нормою зрошення 620–700 м³/га.

У таблиці 2 наведено параметри фактичного режиму краплинного зрошення з призначенням поливів за методом «Penman-Monteith» та розподіл складових частин параметра *ETc* у розрізі років досліджень:

Найбільша кількість поливів (10) та зрошувальна норма (700 м³/га) була у 2016 р., що на 30,4% та 4,5% більше середніх показників за період.

Усереднене значення *ETc* яблуні за роки досліджень становило 3,27 тис. м³/га. Мінімальне значення *ETc* зафіксовано у 2015 р. – 2,60 тис. м³/га, максимальне у 2016 р. – 3,81 тис. м³/га у 2016 р., коливання між ними склали 46,6%.

У структурі фактичного *ETc* у всіх роках досліджень найбільшу частку склали продуктивні опади (від 74,3% до 80,3%), найменшу – запаси ґрунтової вологи (у середньому за період – 1,5%). Зрошення становило 18,4–23,8% у формуванні *ETc* яблуні.

Середня врожайність товарних плодів становила 32,9 т/га, зокрема у 2015 р. – 46,0 т/га, 2016 р. – 24,8 т/га та 2017 р. – 28,0 т/га. Розраховано коефіцієнт ефективності зрошення, який відображає витрату поливної води на одиницю збільшення врожайності від зрошення: у 2015 р. – 29,8 м³/т, у 2016 р. – 30,1 м³/т, у 2017 р. – 34,5 м³/т, відповідно, середньорічне значення – 32,9 м³/т.

Дані вимірювань та розрахунків параметрів *ETc* за вирощування яблуні в умовах краплинного зрошення Степу наведено у рисунках 1-4.

Усереднені значення розрахованого за методом «Penman-Monteith» *ETo* становили 3,62 мм/добу, в тому числі у період серединної фази розвитку яблуні – 4,69 мм/добу. У цій же фазі максимальне значення *ETo* становило у III декаді червня 2016 р. – 7,08 мм/добу, а мінімальне – у III декаді травня 2017 р. – 3,76 мм/добу.

Фактичні показники середньодобового *ETc* за 2015–2017 рр. серединної фази розвитку культури у 8 разів перевищували *ETc* початкової фази та 2,2 рази – кінцевої фази. Максимальні значення середньодобового *ETc* у розрізі всіх років досліджень зафіксовано з II декади липня по I декаду серпня і становили від 34,9 м³/га (2015 р.) до 57,4 м³/га (2016 р.).

За формулою (1) проведено розрахунки фактичного коефіцієнта культури яблуні *Kc(p)*. Встановлено, що динаміка *Kc(p)* співпадає з фенофазами розвитку яблуні: повільне зростання змінюється на різкий ріст та пікові значення *Kc* у період активного росту плодів з II декади липня по I декаду серпня з наступним різким, а потім – поступовим зниженням. Крім цього, динаміка *Kc(p)* відповідає динаміці *ETc*.

Проведено порівняння *Kc(FAO)* яблуні для стандартних умов [2] із фактичними *Kc(p)*, розрахованим за результатами досліджень та визначено перевищення на 164,8% середніх показників за весь вегетаційний період та заниження на 5,5% у період активного росту плодів.

Із використанням *Kc(FAO)* яблуні проведено розрахунки *ETc(FAO)*. Майже за всіма позиціями встановлено збільшення норми зрошення та *ETc* і навпаки – дефіцит запасів вологи у фенофазі росту плодів яблуні. Перевищення над фактичними даними склали від 3,5% до 157,1%, і лише у період з II декади липня по I декаду серпня заниження визначено на рівні 2,2–9,3%.

2. Фактичний баланс сумарного водоспоживання яблуні за краплинного зрошення (шар ґрунту 0-100 см)

| Рік | Кількість поливів | Опади | | Запаси ґрунтової вологи | | Норма зрошення | | <i>ETc</i> | Відхилення від середнього значення | |
|---------|-------------------|--------------------|------|-------------------------|-----|--------------------|------|------------|------------------------------------|-------|
| | шт. | м ³ /га | %* | м ³ /га | %* | м ³ /га | %* | | м ³ /га | % |
| 2015 | 6 | 1930 | 74,3 | 48 | 1,8 | 620 | 23,9 | 2598 | -672 | 79,5 |
| 2016 | 10 | 3060 | 80,3 | 49 | 1,3 | 700 | 18,4 | 3809 | 539 | 116,5 |
| 2017 | 7 | 2670 | 78,5 | 42 | 1,2 | 690 | 20,3 | 3402 | 132 | 104,0 |
| Середнє | 7,7 | 2553,3 | 77,7 | 46,3 | 1,5 | 670 | 20,8 | 3269,7 | * | 100,0 |

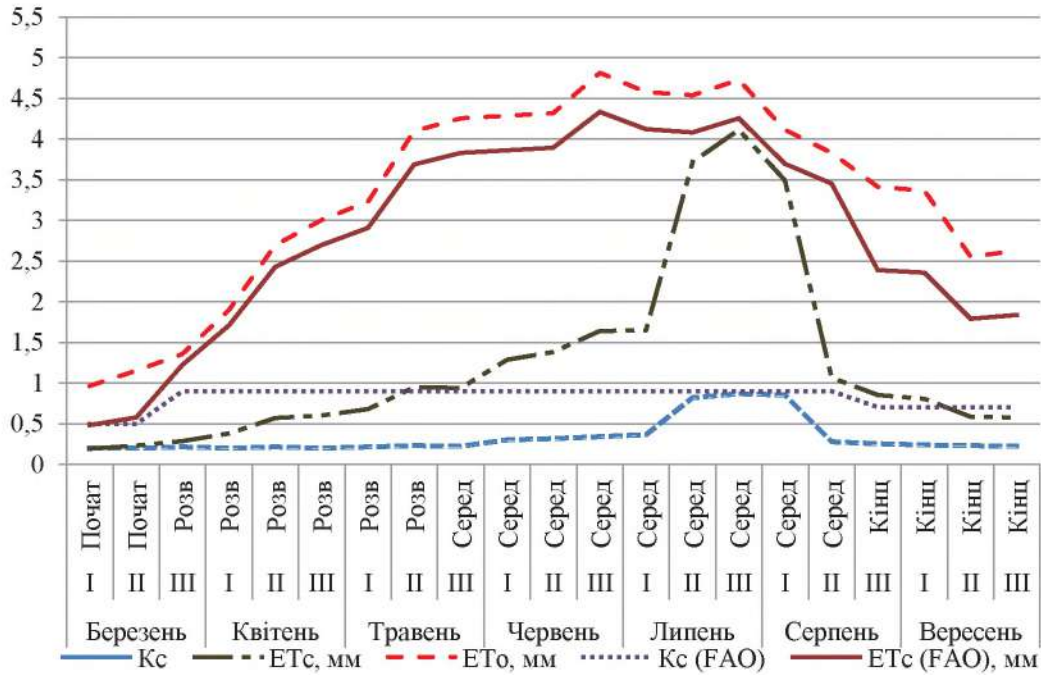


Рис. 1. Сумарне водоспоживання та Кс яблуні у 2015 р.

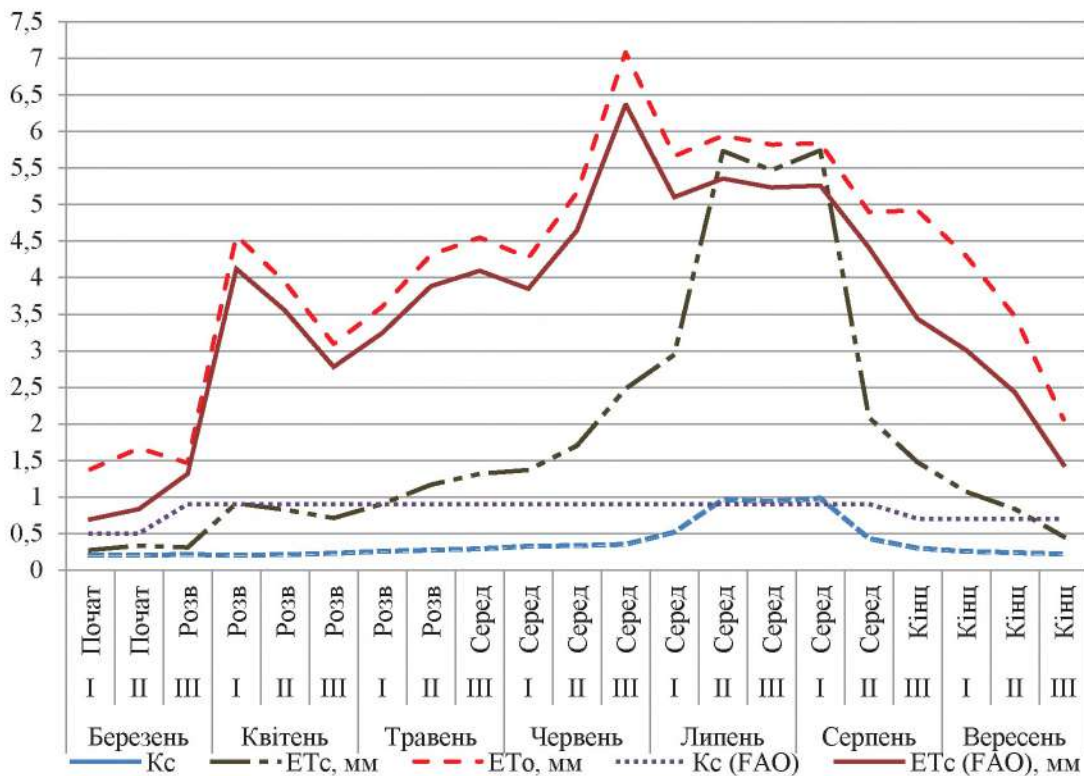


Рис. 2. Сумарне водоспоживання та Кс яблуні у 2016 р.

Отже, використання Кс(FAO) при встановленні режиму краплинного зрошення за розрахунковим методом «Penman-Monteith» призводить до перевитрат поливної води майже у всіх фазах активної вегетації яблуні,

крім критичного щодо вологозабезпечення періоду.

Враховуючи встановлені залежності, у разі визначення параметрів режимів краплинного зрошення методом «Penman-Monteith»

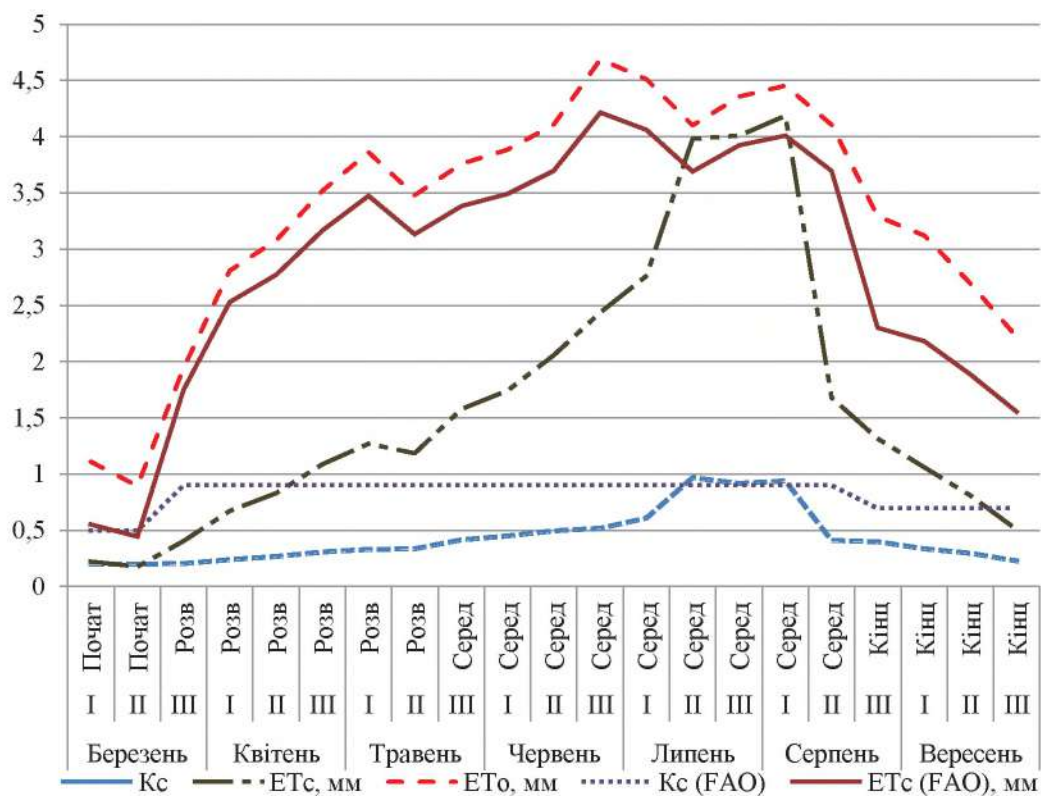


Рис. 3. Сумарне водоспоживання та Kc яблуні у 2017 р.

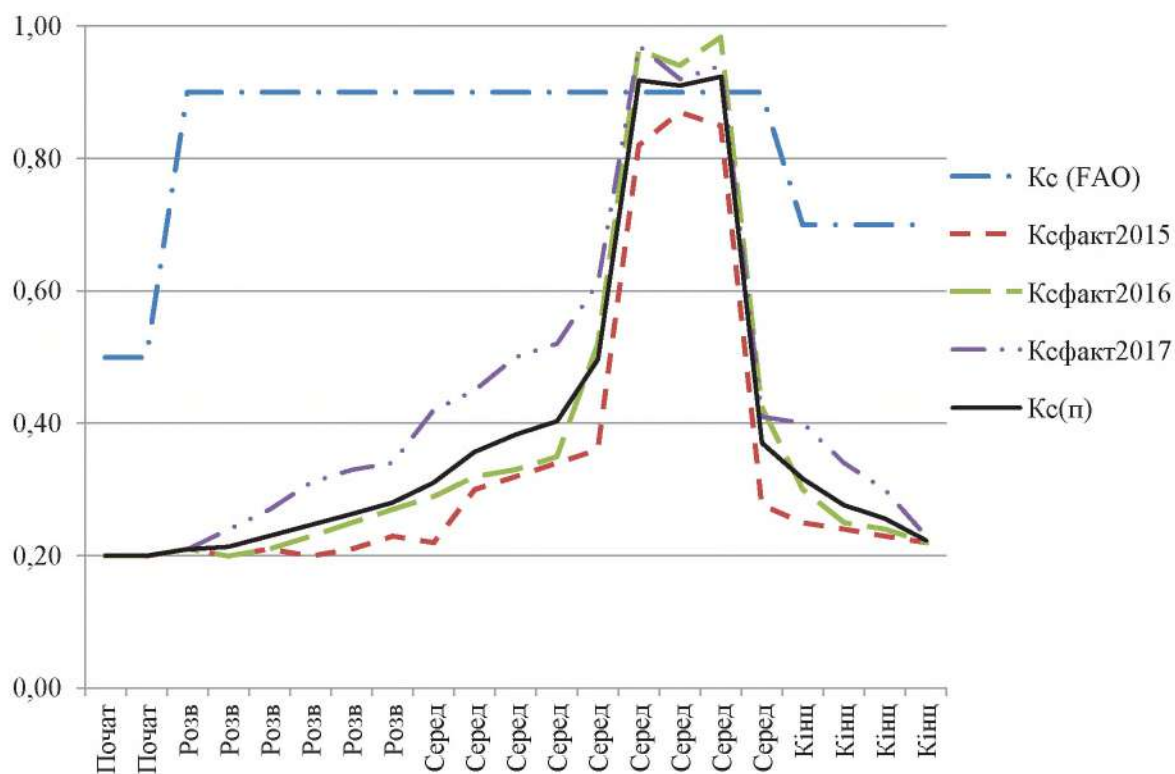


Рис. 4. Динаміка Kc(FAO) і Kc(п) протягом періоду вегетації яблуні

за допомогою програми CropWat 8.0 [23] та даних цифрової інтернет-метеостанції iMetos

(додаток «Irrimet») рекомендовано використовувати дані, які наведено у таблиці 3.

3. Фактичні значення коефіцієнта культури $K_c(p)$ для яблуні за умовними фазами періодів активної вегетації дерев

| Умовна фаза періодів активної вегетації яблуні | Декада / місяць | $K_c(p)$ |
|--|-----------------|----------|
| Початкова | I, березень | 0,20 |
| Серединна початкова | II, липень | 0,92 |
| Серединна кінцева | I, серпень | 0,93 |
| Прикінцева | III, вересень | 0,22 |

Висновки. За результатами досліджень встановлено відношення типових значень коефіцієнта культури яблуні $K_c(FAO)$ до фактичних показників K_c в зрошуваних умовах Степу України. Обґрунтовано використання методу «Penman-Monteith» для визначення параметрів сумарного водоспоживання та проведено його адаптацію з метою діагностування строків проведення поливів за краплинного зрошення яблуні. Зокрема, для підтримання передполивної вологості ґрунту

на рівні 85% від НВ залежно від метеоумов років досліджень призначено 6–10 поливів нормою зрошення 620–700 м³/га. Урожайність товарних плодів яблук становила за цього 32,9 т/га при коефіцієнті ефективності зрошення 31,5 м³/т.

Рекомендовано в подальшому для визначення ET_c і оперативного керування режимом краплинного зрошення яблуні на підщепі М-9 використовувати скореговані значення коефіцієнта культури K_c .

Бібліографія

1. Ромащенко М.І., Шатковський А.П., Рябков С.В. Концептуальні засади розвитку краплинного зрошення в Україні // Вісник аграрної науки. 2012. № 2. С. 5-8.
2. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D.S., Smith M.L. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements // FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1998.
3. Алатьев А.М. Влагодобороти в природі і їх преобразование. Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. 322 с.
4. Алпатьев С.М. О поливных режимах сельскохозяйственных культур. Орошаемое земледелие в европейской части СССР. Москва: 1965. С. 185–190.
5. Розрахункові методи визначення сумарного випаровування і строків поливу сільськогосподарських культур / Д.А. Штойко та ін. // Зрошуване землеробство. Київ: Урожай, 1977. Вип. 22. С. 3–11.
6. Иванов Н.Н. Об определении величин испаряемости // Известия ВГО. 1954. № 2, Т. 86. С. 189–196.
7. Penman H.L. Evaporation. An Introductory Survey // Neth. J. Agr. Sci. 1956. № 4. P. 9-29.
8. Blaney H.F., Criddle W.D. Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatologically and Irrigation Data // US Soil Cons. Serv. SCS-TR-96, 1950. 48 p.
9. Step by Step Calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method). URL: <https://edis.ifas.ufl.edu/ae459> (дата звернення: 15.09.2015).
10. Адаптація методу «Penman-Monteith» на культурі томата розсадного у виробничих умовах за краплинного зрошення / М.І. Ромащенко та ін. // «Меліорація і водне господарство». 2018. Вип. 108 № 2. С. 12–18.
11. Шатковський, А.П., Журавльов О.В. Діагностика поливів буряку цукрового за методом «Penman-Monteith» в умовах краплинного зрошення Степу України // Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. Дніпропетровськ. 2017. № 1(43) С. 63–69.
12. Український гідрометеорологічний центр. Кліматичні дані по м. Херсон. URL: https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate_stations/158/24/ (дата звернення: 20.03.2018).
13. Мікрозрошення. Краплинне зрошення плодових культур. Загальні вимоги та методи контролювання: ДСТУ 7594:2014 [Чинний від 2014-12-02]. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015. 5 с. (Національний стандарт України).
14. Рекомендації з технології вирощування зерняткових садів на клонових підщепах за краплинного зрошення в умовах Лісостепу України/ За ред. М.І. Ромащенко, С.В. Рябкова. Київ: Інститут водних проблем і меліорації НААН, 2012. 72 с.
15. Ромащенко М.І., Шатковський А.П., Журавльов О.В. Особливості застосування методу «Penman-Monteith» в умовах краплинного зрошення Степу України (на прикладі зернової кукурудзи) // Вісник аграрної науки. 2016. № 5. С. 55–59.

16. Шатковський А.П. Наукові основи інтенсивних технологій краплинного зрошення просапних культур в умовах Степу України: дис. докт. с.-г. наук: 06.01.02. Херсон, 2016. 496 с.
17. Robinson, T.L. & Lakso, A.N. & Lordan Sanahuja, Jaime & Francescato, P. & Dragoni, D. & Degaetano, Arthur & Eggleston, Keith. (2017). Precision irrigation management of apple with an apple-specific Penman-Monteith model. *Acta Horticulturae*. 1150.245–250. 10.17660/ActaHortic.2017.1150.34.
18. Якість ґрунту. Відбирання проб: ДСТУ 4287:2004. [Чинний від 2005.07.01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 10 с. (Національні стандарти України).
19. Якість ґрунту. Визначання гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського: ДСТУ 4730:2007. [Чинний від 2008.01.01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 18 с. (Національні стандарти України).
20. Якість ґрунту. Визначання щільності складення на суху масу: ДСТУ ISO 11272:2001 (ISO 11272:1998, IDT). [Чинний від 2003.07.01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 12 с. (Національні стандарти України).
21. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей: ДСТУ Б В.2.1 – 17:2009. [Чинний від 2010.10.01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 36 с. (Національні стандарти України).
22. iMetos-ECO-D2. A reliable and cost-effective solution for Soil Moisture monitoring, Rain, Water level and Irrigation Management. metos.at. URL: <http://metos.at/page/en/products/2/iMetos-ECO-D2> (дата звернення: 03.05.2015).
23. Коковіхін С.В. Прогнозування водопотреби сільськогосподарських культур та формування графіків поливів з використанням програми «CropWat» // Зрошуваче землеробство. 2011. Вип. 55. С. 298–303.

References

1. Romashchenko, M.I., Shatkovskiy, A.P., & Riabkov, S.V. (2012). Kraplynne zroshennia ovochevykh kultur i kartopli v umovakh Stepu Ukrainy [Drip irrigation of vegetables and potatoes in the conditions of the Steppe of Ukraine]. Kyiv: Vydavnytstvo DIA. [in Ukrainian]
2. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D.S., & Smith, M.L. (1998). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. (FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations). Rome.
3. Alatev, A.M. (1969). Vлагооборотy v prirode i ih preobrazovaniya [Moisture circulation in nature and her transformation]. Leningrad: Gidrometeoizdat.
4. Alpatov, S.M. (1965). O polivnykh rezhimakh selskohozyaystvennykh kultur [About irrigation regimes of crops. Irrigated agriculture in the European part of the USSR]. Moskva.
5. Shtoyko, D.A., Pysarenko, V.A., Bychko, O.S., & Yelazhenko, L.I. (1977). Rozrakhunkovi metody vyznachennia sumarnoho vyparovuvannia i strokiv polyvu silskohospodarskykh kultur [Estimated methods for determining the total evaporation and irrigation time of crops]. Kyiv: Zroshuvane zemlerobstvo. Urozhai, 22, 3–11. [in Ukrainian]
6. Ivanov, N.N. (1954). Ob opredelenii velichyn yspariaemosti [On the determination of values of evaporation]. Moskva: Yzvestiya VHO, 2, Vol. 86, 189–196.
7. Penman, H.L. (1956). Evaporation. An Introductory Survey. *Neth. J. Agr. Sci.*, 4, 9–29.
8. Blaney, H.F. & Criddle W.D. (1950). Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatologically and Irrigation Data. *US Soil Cons. Serv. SCS-TR-96*.
9. Step by Step Calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method). Retrieved from: <https://edis.ifas.ufl.edu/ae459>
10. Romashchenko, M., Shatkovskiy, A., Zhuravlov, O., Vasiuta, V., & Cherevychnyi, Y. (2018). Adaptatsiia metodu «Penman-Monteith» na kulturi tomata rozsadnoho u vyrobnychkykh umovakh za kraplynnoho zroshennia [Adapting the Penman-Monteith method to transplanted tomato crop in production conditions when applying drip irrigation]. Kyiv: *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 108(2), 5–18. [in Ukrainian]
11. Shatkovskiy, A.P. & Zhuravlov O.V. (2017). Diahnostyka polyviv buriaku tsukrovoho za metodom «Penman-Monteith» v umovakh kraplynnoho zroshennia Stepu Ukrainy [Diagnosis of sugar beet irrigation by the Penman-Monteith method in conditions of drip irrigation of the Steppe of Ukraine]. Dnipropetrovsk: *Visnyk Dnipropetrovskoho derzhavnoho aharno-ekonomichnoho universytetu*, 1(43), 63–69. [in Ukrainian]
12. Ukrainskiy hidrometeorologichnyi tsentr. Klymatychni dani po m.Kherson [Ukrainian Hydrometeorological Center. Climate data for Kherson]. Retrieved from: https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate_stations/158/24.

13. Mikrozhshennia. Kraplynne zhshennia plodovykh kultur. Zahalni vymohy ta metody kontroliuvannia [Micro irrigations. Drip irrigation of fruit crops. General requirements and methods of control]. (2015). DSTU 7594:2014. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv: Minekonomrozyvtku Ukrainy. [in Ukrainian]

14. Romashchenko, M.I., & Riabkov, S.V. (Ed.). (2012). Rekomendatsii shchodo tekhnolohii vyroshchuvannia zerniatkovykh sadyv na klonovykh pidshchepakakh za kraplynnoho zhshennia v umovakh Lisostepu Ukrainy [Recommendations for the cultivation of seed gardens on clonal rootstocks with drip irrigation in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine]. Kyiv: Instytut vodnykh problem i melioratsii NAAN. [in Ukrainian]

15. Romashchenko, M., Shatkovskiy, A., & Zhuravlov, O. (2016). Osoblyvosti zastosuvannia metodu «Renman–Monteith» v umovakh kraplynnoho zhshennia Stepu Ukrainy (na prykladi zernovoi kukurudzy) [Features of application of the Penman-Monteith method for conditions of a drip irrigation of the steppe of Ukraine (on example of grain corn)]. Kyiv: Visnyk aharnoi nauky 5, 55–59. [in Ukrainian]

16. Shatkovskiy, A.P. (2016). Naukovi osnovy intensyvnykh tekhnolohii kraplynnoho zhshennia prosapnykh kultur v umovakh stepu Ukrainy [Scientific bases of intensive technologies of drip irrigation of cultivated crops in conditions of steppe of Ukraine]. Doctor's thesis. Kyiv. [in Ukrainian]

17. Robinson, T.L., Lakso, A.N., Lordan Sanahuja, Jaume, Francescato, P., Dragoni, D., Degaetano, A., & Eggleston, K. (2017). Precision irrigation management of apple with an apple-specific Penman-Monteith model. *Acta Horticulturae*. 1150. 245–250. 10.17660/ActaHortic.2017.1150.34.

18. Yakist gruntu. Vidbyrannia prob [Soil quality. Sampling]. (2005). DSTU 4287:2004. Natsionalni standarty Ukrainy. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [in Ukrainian]

19. Yakist gruntu. Vyznachannia hranulometrychnoho skladu metodom pipetky v modifykatsii N.A. Kachynskoho [Soil quality. Determination of particle size distribution by the pipette method in N.Kaczynski's modification]. (2008). DSTU 4730:2007. Natsionalni standarty Ukrainy. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [in Ukrainian]

20. Yakist gruntu. Vyznachannia shchilnosti skladennia na sukhu masu. [Soil quality. Determination of the density of folding on dry weight]. (2008). DSTU ISO 11272:2001 (ISO 11272:1998, IDT). Natsionalni standarty Ukrainy. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [in Ukrainian]

21. Grunty. Metody laboratornogo vyznachennia fizychnykh vlastyvopei. [Soils. Methods of laboratory determination of physical properties]. DSTU B V.2.1 – 17:2009. (2010). Natsionalni standarty Ukrainy. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. [in Ukrainian]

22. iMetos-ECO-D2. A reliable and cost-effective solution for Soil Moisture monitoring, Rain, Water level and Irrigation Management. metos.at. Retrieved from <http://metos.at/page/en/products/2/iMetos-ECO-D2>.

23. Kokovikhin, S.V. (2011). Prohnozuvannia vodopotreby silskohospodarskykh kultur ta formuvannia hrafikiv polyviv z vykorystanniam prohramy «CropWat» [Predicting crop water use and scheduling irrigation using the program «CropWat»]. *Kherson: Zhshuvane zemlerobstvo*, 55, 298–303. [in Ukrainian]

Ф.А. Минза, А.П. Шатковский, А.В. Журавлев

Адаптация метода «Penman – Monteith» при капельном орошении яблони на подвое М-9 в условиях Степи Украины

Аннотация. Оптимизация режимов капельного орошения интенсивных яблоневых садов является основой агротехнологии их выращивания с урожайностью плодов более 50 т/га. Существует много разноплановых методов управления режимами орошения сельскохозяйственных культур, которые позволяют использовать отдельно или в комплексе соответствующие приборы, инструменты, средства, компьютерные программы, математические модели и т.п. При использовании любого подхода, несомненно, учитывают данные по погодным и почвенным условиям, биологическим и сортовым особенностям водопотребления культуры. Целью исследований выбрана адаптация расчетного метода определения суммарного водопотребления (ЕТс) «Penman-Monteith» при капельном орошении яблони на подвое М-9 в условиях Степи Украины. При закладке опыта использованы научно-методические подходы, изложенные в руководстве FAO 56. В опытах, для получения данных и проведения расчетов водопотребления, в качестве инструментария использованы компьютерная программа CropWat 8.0 и цифровая интернет-метеостанция iMetos. С использованием метода «Penman-Monteith» за период исследований было проведено 6-10 вегетационных поливов с нормой орошения 620-700 м³/га. При этом средняя урожайность товарных плодов составила 32,9 т/га, а средний коэффициент эффективности орошения - 31,5 м³/т. В производственных условиях установлено фактическое суммарное водопотребление яблони при использовании метода

«Penman-Monteith» - 3269,7 м³/га, эталонное водопотребления (ETo) для этой почвенно-климатической зоны в течение вегетационного периода. Во всех фазах развития деревьев установлено отношение коэффициентов культуры яблони (Kc): типового по рекомендациям FAO 56 и рассчитанного на основе экспериментальных данных. Проведено сравнение фактического значения ETc и рассчитанного с помощью Kc яблони согласно руководству FAO 56. Рекомендуется при определении параметров режимов капельного орошения яблони на подвое М-9 в Степи Украины с помощью программы CropWat 8.0 и данных цифровой Интернет-метеостанции iMetos, пользоваться скорректированными значениями Kc.

Ключевые слова: капельное орошение, суммарное водопотребление, коэффициент культуры, норма орошения, метод «Penman-Monteith», яблоня.

F.A. Minza, A.P. Shatkovskiy, O.V. Zhuravlov

Adaptation of the “Penman - Monteith” method when using drip irrigation for apple trees on the rootstock M-9 in the conditions of the Steppe zone

Abstract. Optimization of drip irrigation regimes for intensive apple orchards is the basis of agrotechnology for their cultivation with fruit yields exceeding 50 t/ha. There are many different ways of controlling irrigation regimes that enable to use individually or comprehensively relevant instruments, tools, computer programs, mathematical models etc. Using any approach is based on data on weather and soil conditions, biological and varietal characteristics of crop water consumption. The purpose of the research was to adapt the calculated method of determining the total water consumption (ETs) “Penman-Monteith” when using drip irrigation for apple trees on the rootstock M-9 in the conditions of the Steppe of Ukraine. The scientific-methodological approaches set out in the FAO 56 guidance were used when conducting the experiment. In the experiments, CropWat 8.0 computer program and iMetos digital weather station were used as tools to obtain data and calculate water consumption. When using the Penman – Monteith method, 6–10 vegetation irrigations with the rates of 620–700 м³/ha were conducted during the study period. With that the average yield of marketable fruits was 32.9 t/ha, and the average coefficient of irrigation efficiency was 31.5 м³/t. In production conditions, the actual total water consumption of apple trees when using the Penman-Monteith method was established as 3269.7 м³/ha, the reference water consumption (ETo) for this soil and climate zone during the growing season. In all phases of tree development, the ratio of apple coefficients (Kc) - typical one based on the recommendations of FAO 56 and calculated one, obtained based on the experimental data was established. A comparison of the actual value of the ETc and the calculated one using apple Kc according to the FAO 56 guidance was done.

It is recommended that when determining the parameters of the drip irrigation regimes for apple trees on the rootstock M-9 in the Steppe of Ukraine when using CropWat 8.0 computer program and iMetos digital weather station to use the adjusted values of Kc.

Key words: drip irrigation, total water consumption, crop coefficient, irrigation rate, method «Penman-Monteith», apple tree.