

НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ В АПК: ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УПРАВЛІННЯ

УДК 004.4:631.671

[http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2021-1-29\(43\)-11](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2021-1-29(43)-11)

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ РОЗРАХУНКІВ ЕВАПОТРАНСPIРАЦІЇ В МОБІЛЬНОМУ ДОДАТКУ EVAPO

Вожегова Р., д-р с.-г. наук, проф., акад. НААН,

e-mail: izz.ua@ukr.net,

<https://orcid.org/0000-0002-3895-5633>

Лиховид П., канд. с.-г. наук,

e-mail: pavel.likhovid@gmail.com,

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

Інститут зрошуваного землеробства НААН

Анотація

У статті викладено результати вивчення точності визначення евапотранспірації у мобільному додатку EVAPO.

Метою роботи є надання рекомендацій щодо ефективного застосування мобільного додатка для оперативного, недорогого та зручного визначення випаровуваності та планування режиму зрошення.

Матеріали та методи. Дослідження виконували в осінній період 2020 року та у літній період 2021 року із використанням метеорологічних даних Херсонської обласної гідрометеорологічної станції, які застосовували для еталонних розрахунків евапотранспірації за методом, рекомендованим ФАО (рівняння Пенман-Монтейта) у програмі EToCalculator. Розраховані величини випаровуваності за еталонним методом та одержані у мобільному додатку EVAPO порівнювали між собою з визначенням коефіцієнтів кореляції, детермінації та середньої абсолютної похибки у відсотках для оцінки точності даних щодо досліджуваного агрометеорологічного індексу в мобільному додатку. Статистичні розрахунки та графічні моделі було виконано з використанням табличного процесора Microsoft Excel 365. Калібрування і поліпшення базового функціоналу додатка EVAPO було виконано поліноміальною регресією.

Результати. Встановлено, що мобільний додаток EVAPO без додаткового калібрування не може забезпечити належної точності розрахунку евапотранспірації. У холодний період року (жовтень-листопад) середня абсолютна похибка становила 137,02 %, а в теплий (травень-серпень) – 41,43 %. Загальна похибка розрахунків у мобільному додатку порівняно з еталонною програмою EToCalculator склала 88,75 %. У той самий час, EVAPO дає можливість достатньо точно відстежувати тренд динаміки евапотранспірації, коефіцієнт детермінації моделі становить 0,86. У теплий період року спостерігається тенденція до завищення величини евапотранспірації, а у холодний період року чіткої закономірності не виявлено. Скориговані поліноміальною регресійною моделлю величини випаровуваності, одержані в мобільному додатку EVAPO, використовують їх в оперативному плануванні зрошення.

Висновки. Мобільний додаток EVAPO є зручним доступним інструментом оперативної оцінки евапотранспірації. Втім, зараз його використання на теренах України не може бути рекомендованим без попереднього калібрування для кожної агрокліматичної зони через занадто велику похибку в оцінці випаровуваності.

Ключові слова: випаровуваність, EToCalculator, математичний аналіз, зрошення, оперативне планування.

Вступ. Сучасний етап розвитку сільськогосподарського виробництва — це етап переходу на «розумне» сільське господарство (за кордоном відоме як Intelligent Agriculture та Smart Agriculture), що передбачає всебічне широкомасштабне залучення новітніх інформаційних технологій і відповідних технологічних пристроїв у процес виробництва продукції рослинництва і тваринництва, що не тільки знижує витрати живої праці, але й стає потужним інструментом підвищення продуктивності галузі завдяки прийняттю оптимальних управлінських рішень і зниженню непередбачуваних раніше ризиків, пов'язаних із втратою продуктивності та ірраціональним використанням наявних природних і матеріально-технічних ресурсів [Chen & Yang, 2019].

Особливе місце в інформатизації аграрного виробництва, яке тісно пов'язане з розвитком IoT-технологій (IoT або Internet of Things — Інтернет речей, який є не чим іншим, як взаємопов'язаною сукупністю пристроїв і датчиків, об'єднаних спільною інтернет-мережею для обміну фактичними даними та функціонування у конкретному середовищі для виконання певних завдань з контролю та управління процесами виробництва) посідають мобільні пристрої на базі операційних систем iOS та Android, які перетворюються завдяки спеціалізованому програмному забезпеченню та доступу до мережі Інтернет і супутникової навігації на активних помічників для аграріїв. Наприклад, зараз агровиробник смартфоном з попередньо встановленим відповідним програмним забезпеченням може здійснювати дистанційний моніторинг стану посівів на полях, які знаходяться за сотні кілометрів одне від одного; без прямого втручання вмикати або вимикати освітлення та полив у теплиці; швидко та точно визначати за ознаками ураження та зовнішнім виглядом захворювання та шкідників рослин, тощо [Chen et al., 2020]. Таким чином значно спрощується та поліпшується процес виробництва продукції рослинництва.

Водночас, висока насиченість ринку

мобільних додатків для аграріїв має як позитивні, так і негативні сторони. Поряд із широким вибором, вона приховує в собі ризик встановлення та використання недостатньо якісного програмного забезпечення, або такого, яке не є протестованим для конкретних умов виробництва. Наприклад, одним із кращих (і чи не єдиних у своєму роді) мобільних додатків для оперативного визначення евапотранспірації для смартфонів на базі Android є EVAPO. Розробники мобільного додатка використовували рекомендований ФАО алгоритм розрахунку випаровуваності (а саме рівняння Пенман-Монтейта) на базі метеорологічних даних, одержаних за геолокацією із серверів NASA-POWER. Пілотне порівняння результатів калькуляцій евапотранспірації в додатку EVAPO з фактичними значеннями, одержаними на метеостанції, було доволі оптимістичним: індекс відповідності становив 0,67, середньоквадратична похибка — 0,95 мм, а коефіцієнт детермінації — 0,72. Втім, дійсно високої точності, як свідчать дані, досягнуто не було [Júnio et al., 2019].

Постановка завдань. Виходячи з вказаного вище та високої актуальності проблеми оперативного управління зрошенням в умовах зростання посушливості на Півдні України, метою дослідження було вивчення можливості застосування агро-виробниками мобільного додатку EVAPO для оцінки евапотранспірації як головного агрометеорологічного індексу, який визначає потребу в штучному зволоженні.

Методи і матеріали. Дослідження виконували впродовж холодного осіннього періоду 2020 року (жовтень-листопад) та теплого періоду 2021 року (травень-серпень) із використанням метеорологічних даних Херсонської обласної гідрометеорологічної станції для виконання еталонних розрахунків евапотранспірації у комп'ютерному програмному забезпеченні EToCalculator, яке є рекомендованим ФАО [Raes & Munoz, 2009]. Дані за період грудень-квітень не включено у дослідження, оскільки у цей період часу зазвичай зрошення не проводиться че-

рез відсутність води у мережах та низьку водопотребу культур у цей період. Розраховані величини евапотранспірації порівнювали з останніми, одержаними в мобільному додатку EVAPO. Для оцінки точності використовували графічний метод та методи математичної статистики: калькуляцію коефіцієнтів кореляції (R), детермінації (RSQ), а також середньої абсолютної похибки у відсотках (MAPE) як окремо для холодного і теплого періодів досліджень, так і для всієї вибірки загалом [Taylor, 1990; Coleman & Swanson, 2007]. Статистичні розрахунки та графічну роботу виконували в табличному процесорі Microsoft Excel 365. Поліном другого ступеня був застосований як базова математична модель для калібрування та поліпшення результатів оцінки евапотранспірації в мобільному додатку EVAPO [Ostertagovb, 2012]. Регресійний аналіз і побудову поліноміальної моделі другого ступеня було реалізовано в програмному комплексі BioStatv 7.

Результати. Згідно зі статистичними розрахунками можна дійти висновку про недостатню точність оцінки евапотранспірації мобільним додатком EVAPO, особливо в теплий період року (табл. 1). Скажімо, величина коефіцієнту кореляції для періоду травень-серпень становить лише 0,30, що вказує на слабкий зв'язок, а величина похибки в 41,43 % каже про посередній рівень вірогідності такого прогнозу згідно з Morenoetal. (2013). Узагальнення теплого і холодного періодів року значно поліпшує точність моделі (коефіцієнт кореляції – 0,93, коефіцієнт детермінації – 0,86), що свідчить про можливість використання мобільного додатка для відстеження загального тренду

евапотранспірації. Втім, занадто висока похибка у 88,75 % не залишає можливості рекомендувати EVAPO для оцінки евапотранспірації та оперативного планування на її основі режиму зрошення.



Рисунок 1 – Графічна оцінка розрахунків евапотранспірації у мобільному додатку EVAPO та еталонній програмі ФАО ET0Calculator

Таблиця 1 – Результати статистичної оцінки порівняння евапотранспірації розрахованої у мобільному додатку EVAPO та в еталонній комп'ютерній програмі ФАО ET0Calculator

Статистичний показник	Теплий період (травень-серпень)	Холодний період (жовтень-листопад)	Узагальнений період
R	0,30	0,79	0,93
RSQ	0,09	0,63	0,86
MAPE, %	41,43	137,02	88,75

Графічна оцінка результатів встановлює факт завищення величини евапотранспірації мобільним додатком EVAPO у теплий період року, у той час як у холодний період відсутня єдина закономірність у похибках (рис. 1).

Регресійна поліноміальна модель поліпшила функціональну оцінку евапотранспірації в мобільному додатку EVAPO. Поліноміальна модель, розроблена для узагальненого періоду дослідження, має істотно кращі показники статистики: коефіцієнт кореляції 0,95, коефіцієнт детермінації – 0,90, скоригований коефіцієнт детермінації – 0,89. За цих умов похибка комбінованих (EVAPO Ч поліноміальна модель) розрахунків MAPE становить 47,52%, або на 41,23% менше ніж за оцінки у некаліброваному додатку.

Власне модель має вигляд: $-0,6121 + 1.3038 \times \text{EVAPO} - 0.0664 \times \text{EVAPO}^2$ (EVAPO – величина евапотранспірації, оцінена в мобільному додатку, мм/добу).

Графічна апроксимація моделі наведена на рисунку 2.

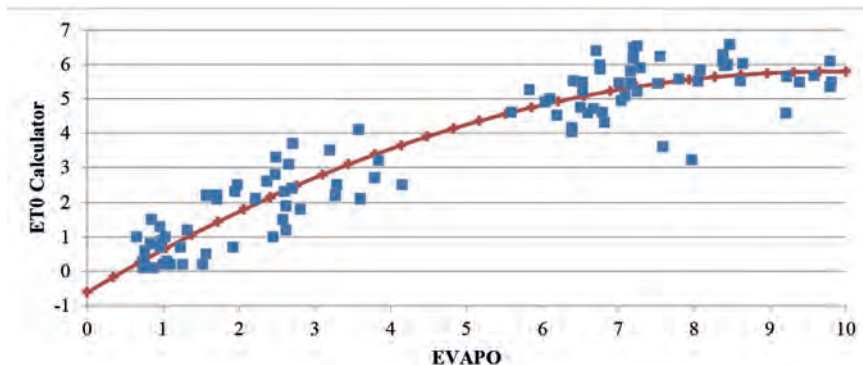


Рисунок 2 – Графічна апроксимація розрахунків евапотранспірації у мобільному додатку EVAPO з калібруванням та еталонній програмі ФАО ET0Calculator

Обговорення. Виконане нами дослідження мобільного додатка EVAPO є фактично єдиним на цей час та не має аналогів в Україні та світі. На жаль, наукова спільнота зараз не проявляє високої активності щодо вивчення та впровадження у виробництво здобутків ІТ для аграрного сектора, що гальмує просування інтелектуального продукту в сільськогосподарському секторі виробництва та стримує розвиток і розробку ІТ для агро-

номії. Далі нами заплановане вивчення інших цікавих інтелектуальних продуктів для «розумного» сільського господарства для їх популяризації та оптимізації використання на практиці та в наукових дослідженнях.

Висновки. Результатами досліджень було встановлено, що мобільний додаток EVAPO не може бути використаний для оцінки евапотранспірації та планування режиму зрошення через високу похибку в оцінці цього агрометеорологічного показника. Втім, історичний тренд випаровуваності доволі точно передається додатком. Водночас, за потреби можливе коригування розрахунків мобільного додатка поліномом другого ступеня, що робить їх більш прийнятними та надає можливість обмеженого застосування EVAPO на практиці.

Перелік літератури

Chen, J., & Yang, A. (2019). Intelligent agriculture and its key technologies based on internet of things architecture. *IEEE Access*, 7, 77134-77141.

Chen, K., Li, Z., Ma, L., & Tang, Y. (2020). Intelligent Agriculture –Agricultural Monitoring and Control Management System. In *CSIA* (1) (pp. 317-325).

Coleman, C. D., & Swanson, D. A. (2007). On MAPE-R as a measure of cross-sectional estimation and forecast accuracy. *Journal of Economic and Social Measurement*, 32(4), 219-233.

Júnior, W. M., Valeriano, T. T. B., & de Souza Rolim, G. (2019). EVAPO: A smartphone

application to estimate potential evapotranspiration using cloud gridded meteorological data from NASA-POWER system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156, 187-192.

Moreno, J. J. M., Pol, A. P., Abad, A. S., & Blasco, B. C. (2013). Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy. *Psicothema*, 25(4), 500-506.

Ostertagovb, E. (2012). Modelling using polynomial regression. *Procedia Engineering*, 48, 500-506.

Raes, D., & Munoz, G. (2009). The ETo Calculator. Reference Manual Version, 3, 480.

Taylor, R. (1990). Interpretation of the correlation coefficient: a basic review. *Journal of diagnostic medical sonography*, 6(1), 35-39.

References

Chen, J., & Yang, A. (2019). Intelligent agriculture and its key technologies based on internet of things architecture. *IEEE Access*, 7, 77134-77141.

Chen, K., Li, Z., Ma, L., & Tang, Y. (2020). Intelligent Agriculture –Agricultural Monitoring and Control Management System. In *CSIA (1)* (pp. 317-325).

Coleman, C. D., & Swanson, D. A. (2007). On MAPE-R as a measure of cross-sectional estimation and forecast accuracy. *Journal of Economic and Social Measurement*, 32(4), 219-233.

Júnior, W. M., Valeriano, T. T. B., & de Souza Rolim, G. (2019). EVAPO: A smart-phone application to estimate potential evapotranspiration using cloud gridded meteorological data from NASA-POWER system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156, 187-192.

Moreno, J. J. M., Pol, A. P., Abad, A. S., & Blasco, B. C. (2013). Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy. *Psicothema*, 25(4), 500-506.

Ostertagov6, E. (2012). Modelling using polynomial regression. *Procedia Engineering*, 48, 500-506.

Raes, D., & Munoz, G. (2009). The ETo Calculator. Reference Manual Version, 3, 480.

Taylor, R. (1990). Interpretation of the correlation coefficient: a basic review. *Journal of diagnostic medical sonography*, 6(1), 35-39.

UDC 004.4:631.671

ANALYTICAL STUDY OF FRICTIONAL AUTO-VIBRATIONS IN SYSTEMS WITH TWO DEGREES OF FREEDOM

Vozhehova R., D-r Agr. Scs, Prof., Academician of NAAS,

Lykhovyd P., Ph. D.,

Institute of Irrigated Agriculture of NAAS

Summary

The article presents the results of the study on the accuracy of evapotranspiration in the EVAPO mobile application.

The aim of the work is to provide recommendations on the effective use of the mobile application for the prompt, low-cost and convenient determination of evapotranspiration and planning the irrigation regime.

Materials and methods. The study was conducted in the autumn of 2020 and in the summer of 2021 using meteorological data from Kherson Regional Hydrometeorological Station, which were used for reference calculations of evapotranspiration according to the method recommended by FAO (Penman-Monteith equation) in the ETo Calculator software. The calculated values of the reference evapotranspiration and those obtained in the EVAPO mobile application were compared with each other through the computation of the correlation coefficients, determination coefficients and mean absolute percentage errors to assess the accuracy of the data on the studied agrometeorological index in the mobile application. Statistical calculations and graphical models were performed using Microsoft Excel 365 spreadsheet processor. Polynomial regression was applied to calibrate and enhance the performance of original EVAPO application.

Results. It was found that the EVAPO mobile application without additional calibration cannot provide the proper accuracy of the evapotranspiration calculation. During the cold period of the year (October-November) the mean absolute percentage error was 137.02 %, and during the warm period (May-August) it was 41.43 %. The general error of the calculation in the mobile application compared to the ETo Calculator reference values was 88.75 %. At the same time, EVAPO makes it possible to accurately track the trend of evapotranspiration dynamics, the coefficient of determination of the model is 0.86. In the warm period of the year, there is a tendency to overestimate the value of evapotrans-

piration, and in the cold period of the year, no clear pattern was found. The evapotranspiration values adjusted by the polynomial regression model obtained in the EVAPO mobile application allow their use in operational irrigation planning.

Conclusions. The EVAPO mobile application is a convenient, accessible tool for the rapid assessment of evapotranspiration. However, its implementation on the territory of Ukraine cannot be recommended without preliminary calibration for each specific agroclimatic zone due to enormous errors in the estimation of evapotranspiration value.

Key words: evapotranspiration, ETo Calculator, mathematical analysis, irrigation, operational planning.

УДК 004.4:631.671

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ ЭВАПОТРАНСПИРАЦИИ В МОБИЛЬНОМ ПРИЛОЖЕНИИ EVAPO

Вожегова Р., д-р с.-х. наук, проф., акад. НААН,

Лиховид П., канд. с.-х. наук,

Институт орошаемого земледелия НААН

Аннотация

В статье изложены результаты изучения точности определения эвапотранспирации в мобильном приложении EVAPO.

Целью работы является предоставление рекомендаций по эффективному применению мобильного приложения для оперативного, недорогого и удобного определения испаряемости и планирования режима орошения.

Материалы и методы. Исследования выполняли в осенний период 2020 года и в летний период 2021 года с использованием метеорологических данных Херсонской областной гидрометеорологической станции, которые применяли для эталонных расчетов эвапотранспирации по методу, рекомендованному ФАО (уравнение Пенман-Монтейт) в программе EToCalculator. Рассчитанные величины испаряемости по эталонному методу и полученные в мобильном приложении EVAPO сравнивали между собой с определением коэффициентов корреляции, детерминации и средней абсолютной погрешности в процентах для оценки точности данных об исследуемом агрометеорологическом индексе в мобильном приложении. Статистические расчеты и графические модели были выполнены с использованием табличного процессора Microsoft Excel 365. Калибрование и улучшение базового функционала приложения EVAPO были осуществлены с помощью полиномиальной регрессии.

Результаты. Установлено, что мобильное приложение EVAPO без дополнительной калибровки не может обеспечить должной точности расчета эвапотранспирации. В холодный период года (октябрь-ноябрь) средняя абсолютная погрешность составила 137,02 %, а в теплый (май-август) – 41,43 %. Общая погрешность расчетов в мобильном приложении по сравнению с эталонной программой EToCalculator составила 88,75 %. В то же время EVAPO дает возможность достаточно точно отслеживать тренд динамики эвапотранспирации, коэффициент детерминации модели составляет 0,86. В теплый период года наблюдается тенденция к завышению величины эвапотранспирации, а в холодный период года четкой закономерности не обнаружено. Скорректированы с помощью полиномиальной регрессионной модели величины испаряемости, полученные в мобильном приложении EVAPO, позволяют использовать их в оперативном планировании орошения.

Выводы. Мобильное приложение EVAPO является удобным доступным инструментом оперативной оценки эвапотранспирации. Впрочем, пока что его применение на территории Украины не может быть рекомендовано без предварительной калибровки для каждой конкретной агроклиматической зоны из-за слишком большой погрешности в оценке испаряемости.

Ключевые слова: испаряемость, EToCalculator, математический анализ, орошение, оперативное планирование.