

**МЕТОДИ ТА ПРОГРАМНО АПАРАТНІ ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ЗА  
ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН З ВРАХУВАННЯМ ЕВАПОТРАНСПІРАЦІЇ****N. Demchan, higher education applicant; R. Jarovski, PhD., Associate Prof.  
METHODS AND SOFTWARE-HARDWARE TOOLS FOR CONTROLLING  
PLANT GROWTH WITH INCLUDES OF EVAPOTRANSPIRATION**

В умовах зростання вартості енергоресурсів та посилення кліматичних змін, підвищення ефективності використання води в агросекторі є критичним завданням [2]. Більшість існуючих бюджетних систем автоматизації поливу покладаються на спрощені або реактивні моделі управління. Вони або використовують усереднені норми поливу за площею, що не враховують динамічних погодних умов, або реагують на свідчення датчиків вологості ґрунту, фіксуючи вже настання стресового для рослини стану. Такий підхід призводить до неефективного використання ресурсів та неоптимальних умов для вегетації. На ринку бракує доступних рішень, які б перейшли від "поливу за фактом" до "поливу за реальною потребою", базуючись на прогностичних розрахунках [4].

Метою роботи є наукове обґрунтування та розробка архітектури прогностичної системи поливу, що базується на розрахунку  $ET_c$ . Завдання включають: аналіз методології FAO-56 для розрахунку евапотранспірації; проектування програмно-апаратного комплексу [3]; обґрунтування гібридної моделі збору даних для мінімізації вартості системи; розробку алгоритмів для автоматичного розрахунку та управління виконавчими механізмами.

Методологічною основою розрахунку слугує рівняння Пенмана-Монтейта, для визначення еталонної евапотранспірації  $ET_0$  [1].

Для розрахунку реальної потреби конкретної культури  $ET_c$  застосовується формула:

$$ET_c = ET_0 \cdot K_0 \quad (1)$$

де  $K_0$  — коефіцієнт культури, що зберігається у базі даних у вигляді цифрових фенологічних профілів;

$ET_0$  — еталонна евапотранспірація, розрахована на основі мікрокліматичних даних.

Рівняння Пенмана-Монтейта[5] для розрахунку евапотранспірації:

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot T + \frac{900}{T+273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)} \quad (2)$$

де  $R_n$  — чиста радіація на поверхні;

$G$  — тепловий потік у ґрунті;

$T$  — середня температура повітря, береться з АРІ;

$u_2$  — швидкість вітру на висоті 2 м, береться з АРІ;

$e_s$  — насичений парціальний тиск, береться з АРІ;

$e_a$  — фактичний парціальний тиск, береться з АРІ;

$\Delta$  — нахил кривої насичення парціального тиску;

$\gamma$  — психрометрична постійна.

Для визначення реальної потреби конкретної культури  $ET_0$  використовується коефіцієнт  $K_c$ , що зберігається у базі даних у вигляді "профілів росту". Система автоматично обирає відповідний коефіцієнт  $K_c$  залежно від фази вегетації, яка визначається за кількістю днів від моменту посадки. Апаратна частина базується на мікроконтролері ESP32, датчиках температури та вологості повітря і водяній pompі.

Розроблено архітектуру системи, що дозволяє перейти від реактивного до прогностичного управління поливом. Наукова новизна полягає в економічному обґрунтуванні гібридної моделі збору даних. Запропонований підхід дозволяє використовувати точний метод Пенмана-Монтейта без необхідності встановлення дорогих локальних піранометрів та анемометрів, що робить рішення економічно доцільним для впровадження у малих господарствах та теплицях.

Запропонована прогностична система дозволяє перейти від "поливу за розкладом" до "поливу за реальною потребою". Це створює передумови для значного скорочення витрат води та енергії, уникнення стресу рослин, спричиненого як нестачею, так і надлишком вологи, та, як наслідок, підвищення врожайності.

### Література

1. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
2. Smith, J. Optimization of Water Usage in Automated Irrigation Systems. *Journal of Agricultural Engineering*. 2018. P. 201-214.
3. Brown, T., White, K. IoT and Data Analytics for Smart Irrigation. *IEEE Transactions on Smart Agriculture*. 2020. P. 145-160.
4. Chen, H., Wang, Y. Mathematical Models for Efficient Water Management. *Journal of Environmental Systems*. 2019. P. 98-112.
5. The Penman-Monteith Method C. 2–3. URL: [https://www.researchgate.net/publication/241492864\\_The\\_Penman-Monteith\\_Method](https://www.researchgate.net/publication/241492864_The_Penman-Monteith_Method).

УДК 004.75

**В.Л. Дерягін, М.В. Дрогобицький, Н.С. Луцик доктор філософії, доц.**  
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

### ЗАСОБИ АВТОМАТИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАФІКУ МІЖ МІКРОСЕРВІСАМИ В ISTIO SERVICE MESH

**V.L. Deriahin, M.V. Drohobytskyi, N.S. Lutsyk Ph.D., Assoc. Prof.**  
**TOOLS FOR AUTOMATIC OPTIMIZATION OF TRAFFIC BETWEEN  
MICROSERVICES IN ISTIO SERVICE MESH**

Сучасна мікросервісна архітектура значно підвищує швидкість та гнучкість розробки програмного забезпечення, проте водночас збільшує операційну складність розподілених систем [1]. Перехід від монолітних застосунків до мікросервісів створює нові виклики у сфері управління міжсервісною комунікацією, моніторингу та забезпечення безпеки. Service mesh є перспективним підходом до вирішення цієї проблеми шляхом впровадження виділеного інфраструктурного рівня над мікросервісами без необхідності модифікації їх реалізації [1]. Istio, побудований на основі високопродуктивного Envoy проху, є однією з найпоширеніших реалізацій