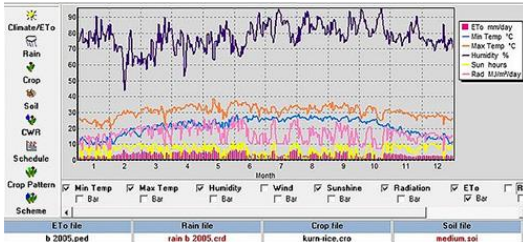


Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства  
та природокористування  
Кафедра гідротехнічного будівництва та гідравліки



01-04-96M

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичної роботи CropWat 8.0 та  
самостійної роботи з навчальної дисципліни  
«Гідроінформаційні технології в іригації»

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
за освітньо-професійною програмою  
«Гідротехнічне будівництво, водна інженерія  
і водні технології» спеціальності  
194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія  
та водні технології» всіх форм навчання

Рекомендовано  
науково-методичною радою  
з якості ННІ енергетики,  
автоматики та водного господарства  
Протокол № 5 від 30.12.2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до виконання практичної роботи CropWat 8.0 та самостійної роботи з навчальної дисципліни «**Гідроінформаційні технології в іригації**» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія і водні технології» спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія і водні технології» всіх форм навчання. [Електронне видання] / Клімов С. В. – Рівне : НУВГП. 2024. – 30 с.

Укладач: Клімов С. В., к.т.н., доцент кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки.

Відповідальний за випуск – Волк Л. Р., к.т.н., доцент, в.о. завідувача кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки.

Гарант ОП – Клімов С. В., к.т.н., доцент кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки.

## Зміст

Зміст .....	3
1. Вступ.....	4
2. Програма навчальної дисципліни .....	5
3. Тематика практичних робіт .....	6
4. Самостійної робота.....	6
4.1. Розподіл самостійної та індивідуальної роботи - 78 год.	6
4.2. Завдання для самостійної роботи – 33 години.....	6
5. Практична робота №1. Робота з CropWat .....	8
5.1. Загальні дані про CropWat.....	8
5.2. Використання моделі ФАО CROPWAT .....	9
у дослідженнях дефіциту зрошення .....	9
5.3. Модель CROPWAT .....	11
Процедура розрахунку .....	11
Вхідні дані CROPWAT .....	14
Еталонна евапотранспірація (ETo) .....	14
Метеорологічні дані.....	15
5.4. Робота в програмі CROPWAT .....	18
1. Початок роботи.....	18
2. Як розрахувати ETo за Пенманом-Монтейтом.....	20
3. Як розрахувати вимоги культури на воду.....	21
4. Як розрахувати графік поливів .....	23
5. Як розрахувати подачу на схему (Scheme Supply) .....	25
6. Як імпортувати дані .....	25
7. Як експортувати дані та діаграми .....	26
8. Панель інструментів .....	26
Література .....	28

## 1. Вступ

Навчальна дисципліна «**Гідроінформаційні технології в іригації**» за навчальним планом ОПП «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» представлена лекційним курсом, практичними заняттями, самостійною роботою. Кількість кредитів ECTS – 4,0, 120 год.

Для визначення рівня засвоєння здобувачі вищої освіти (ЗВО) навчального матеріалу використовуються наступні методи оцінювання знань: - поточне тестування після вивчення кожного змістового модуля; - оцінювання правильності та повноти виконаних за індивідуальними варіантами практичних завдань, усний захист практичних завдань. Для оцінювання знань використовується ЕКТС зі 100-бальною шкалою оцінювання. Поточна кількість балів за видами робіт – на сторінці навчальної дисципліни на платформі Moodle.

Контроль роботи ЗВО проводиться за такими видами робіт: наявність лекційного матеріалу – шляхом перегляду конспектів; робота на практичних та лабораторних заняттях – шляхом усного опитування і перевірки виконаних практичних завдань; підготовка до видання наукових статей, тез для участі в конференціях, участь в конкурсах та олімпіадах.

Основною **метою** дисципліни є формування знань про методи та засоби прийняття інженерних рішень при застосуванні іригаційних технологій з використанням гідроінформатики: на засадах математичного моделювання; формування системного, аналітичного мислення для оцінки потреби у зрошенні.

Основними **завданнями**, є:

- сформувані структуровані знання про сучасні гідроінформаційні програмні продукти у сфері іригації (зрошенні), їх можливості, принципи та особливості роботи;
- розкриття можливостей сучасного програмного забезпечення та ефективного застосування інформаційних технологій у зрошенні.

## **2. Програма навчальної дисципліни**

### **Змістовий модуль 1. Вступ до гідроінформаційних технологій (6 год)**

**Тема 1:** Вступ до гідроінформаційних технологій (2 години)

- Роль інформаційних технологій у водному господарстві та іригації.
- Основні типи програмного забезпечення для аналізу іригаційних систем.

**Тема 2:** Основи моделювання водних систем (4 годин)

- Основи моделювання руху води в ґрунтах (основи гідравліки та інфільтрації).
- Визначення водного балансу в іригаційних системах.
- Поняття про гідравлічне моделювання (канали, трубопроводи, розподільчі системи).

### **Змістовий модуль 2. Огляд програмного забезпечення (18 год)**

**Тема 3:** Огляд програмного забезпечення (12 годин)

Детальний огляд ключових програм:

- CropWat для розрахунку водоспоживання культур, [1], [2] 2 год.
- EPANET для моделювання гідравліки в розподільчих мережах, [3], [4], [5], [6], 4 год.
- AquaCrop для оцінки урожайності залежно від доступності води, [7], [8] 2 год..
- SWAT (Soil and Water Assessment Tool): для моделювання ґрунтових та водних процесів в масштабі вододілу, допомагаючи планувати зрошення, [9], [10], [11], 4 год.

**Тема 4:** Інтеграція даних у іригаційні системи (6 годин)

- Використання кліматичних даних (метеостанції, бази даних).
- Аналіз просторових даних для управління іригацією (на прикладі EOS Crop Monitoring), [12].
- Прийняття рішень на основі моделей і даних.

### **3. Тематика практичних робіт**

Практичні заняття – 20 годин

1. Практична робота 1: Робота з CropWat (4 години) (Введення даних про культури, ґрунти та клімат. Розрахунок потреби в іригаційній воді.)

2. Практична робота 2. Моделювання трубопровідних мереж у EPANET (6 години) Створення схеми розподільчої мережі. Розрахунок втрат напору, продуктивності насосів.

3. Практична робота 3. Оцінка урожайності залежно від доступності води в програмі AquaCrop. (2 години)

4. Практична робота 4. Моделювання ґрунтових та водних процесів в масштабі вододілу в SWAT (Soil and Water Assessment Tool), (4 години).

5. Практична робота 5. Аналіз просторових даних для управління іригацією з використанням EOS Crop Monitoring, (4 години).

Перелік тем практичних занять може бути змінений при формуванні індивідуальної траєкторії навчання. Загальний обсяг в годинах залишається незмінним. Особливості виконання окремих лабораторних занять зазначені у відповідних методичних вказівках.

### **4. Самостійної робота**

#### **4.1. Розподіл самостійної та індивідуальної роботи - 78 год.**

• 21 годин – вивчення літератури з курсу і розробка лекційних конспектів  $(22+20) \times (0,5 \text{ год} / 1 \text{ год аудиторних занять})$ ;

• 24 годин – підготовка до контрольних заходів (6 год на 4,0 кредит ECTS);

• 33 годин – опрацювання окремих розділів програми, які не розглядаються під час аудиторних занять (див.п.б.1. Завдання для самостійної роботи).

#### **4.2. Завдання для самостійної роботи – 33 години**

1. Тема 1: Вступ до гідроінформаційних технологій (2 години)

2. Тема 2: Основи моделювання водних систем (4 годин)

3. Тема 3: Огляд програмного забезпечення (20 годин)
4. CropWat для розрахунку водоспоживання культур, [1], [2], 4 год.
5. EPANET для моделювання гідравліки в розподільчих мережах, [3], [4], [5], 8 год.
6. AquaCrop для оцінки урожайності залежно від доступності води, [6], [7], 2 год..
7. SWAT (Soil and Water Assessment Tool): для моделювання ґрунтових та водних процесів в масштабі вододілу, допомагаючи планувати зрошення, [8], [9], [10] 6 год.
8. Тема 4: Інтеграція даних у іригаційні системи (7 годин)
9. Використання кліматичних даних (метеостанції, бази даних).
10.           Аналіз просторових даних для управління іригацією (на прикладі EOS Crop Monitoring), [11].
11.           Прийняття рішень на основі моделей і даних.

## 5. Практична робота №1. Робота з CropWat

### 5.1. Загальні дані про CropWat

CROPWAT — це інструмент підтримки прийняття рішень, розроблений Відділом розвитку земельних і водних ресурсів ФАО, [1].

CROPWAT 8.0 для Windows — це комп'ютерна програма для розрахунку потреб рослин у воді та зрошення на основі даних про ґрунт, клімат і врожай. Крім того, програма дозволяє розробляти графіки зрошення для різних умов господарювання та розраховувати схему водопостачання для змінних структур посівів. CROPWAT 8.0 також можна використовувати для оцінки методів зрошення фермерів і продуктивності врожаю в умовах богарного і зрошуваного режимів, [1].

Усі процедури розрахунку, які використовуються в CROPWAT 8.0, базуються на двох публікаціях ФАО із серії Іригація та дренаж (FAO publications of the Irrigation and Drainage Series), а саме, № 56 « Випаровування сільськогосподарських культур – Рекомендації для обчислення потреб культури у воді » ([Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements](#)) та № 33 під назвою «Реакція врожайності на воду» (Yield response to water), [1].

CROPWAT 8.0 включає в себе стандартні дані про сільськогосподарські культури та ґрунти. Коли локальні дані доступні, ці файли даних можна легко змінити або створити нові. Для ознайомлення можна переглянути приклад по Індії [13] Так само, якщо місцеві кліматичні дані недоступні, їх можна отримати для понад 5000 станцій у всьому світі з CLIMWAT, пов'язаної кліматичної бази даних. Розробка графіків зрошення в CROPWAT 8.0 базується на щоденному балансі ґрунт-вода з використанням різних визначених користувачем параметрів водопостачання та умов управління зрошенням. Схема водопостачання розраховується відповідно до заданої користувачем схеми посіву, яка може включати до 20 культур, [1].

CROPWAT 8.0 — це програма для Windows, заснована на попередніх версіях DOS. Крім повністю переробленого інтерфейсу користувача, CROPWAT 8.0 для Windows містить безліч оновлених і нових функцій, зокрема:



- щомісячне, декадне та щоденне введення кліматичних даних для розрахунку еталонної евапотранспірації (ЕТо)
- зворотна сумісність, що дозволяє використовувати дані з бази даних CLIMWAT
- можливість оцінки кліматичних даних за відсутності вимірених значень
- декадний і щоденний розрахунок потреб культури у воді на основі оновлених алгоритмів розрахунку, включаючи коригування значень культур-коефіцієнта
- розрахунок потреб посівів у воді та планування зрошення для рису-рису та гірського рису, використовуючи нещодавно розроблену процедуру для розрахунку потреб у воді, включаючи період підготовки землі
- інтерактивні графіки поливу, що регулюються користувачем
  - добові таблиці виведення водного балансу ґрунту
  - просте збереження та пошук сеансів і визначених користувачем графіків поливу
  - графічне представлення вхідних даних, потреб культури у воді та графіків зрошення
  - імпорт/експорт даних і графіків через буфер обміну або текстові файли ASCII
  - контекстно-залежна довідкова система
    - Багатомовний інтерфейс і довідкова система: англійська, іспанська, французька та російська
    - CROPWAT 8.0 для Windows розроблено з використанням Visual Delphi 4.0 і працює на таких платформах Windows, [1].

## **5.2. Використання моделі ФАО CROPWAT у дослідженнях дефіциту зрошення**

Метою регульованого дефіцитного зрошення (*regulated deficit irrigation*) є економія води, піддаючи культури періодам нестачі вологи з мінімальним впливом на врожайність. Дефіцит води призводить до зменшення випаровування через закриття продихів, зниження асиміляції вуглецю та зменшення виробництва біомаси. Знижене виробництво біомаси мало впливає на

кінцеву врожайність, якщо культура здатна компенсувати це з точки зору репродуктивної здатності, [14].

У деяких випадках періоди зниження росту можуть викликати фізіологічні процеси, які фактично збільшують врожайність та/або дохід. Такі процеси включають індукцію цвітіння у випадку бавовни, посилений розвиток коренів, що досліджують глибші шари ґрунту, раннє дозрівання зерна та покращення якості та смаку плодів. Однак стрес, що був під час репродуктивного росту, може вплинути на зав'язування плодів або зерна, що призведе до зниження врожайності. Вплив стресу на врожайність є складним і може відрізнятись залежно від виду, сорту та стадії росту; вони були предметом багатьох досліджень. Для кращого розуміння фізичних і біологічних процесів, які контролюють реакцію культур на стрес вологи, необхідні масштабні польові дослідження.

З цією метою Спільний відділ FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture координував дослідницький проект, у якому брали участь 14 держав-членів у період з 1990 по 1995 роки. Мета дослідження полягала у покращенні water use efficiency (WUE) шляхом планування дефіцитного зрошення. За допомогою загального протоколу дослідження вчені з 14 дослідницьких інститутів, які співпрацюють, визначили польові процедури для оцінки впливу родючості та нестачі води, які застосовуються на різних стадіях росту, на характеристики росту, врожайність і якість врожаю. Ґрунтуючись на результатах і знаннях про чутливість культур до водного стресу, можна було розробити рекомендації щодо планування зрошення, щоб задовольнити потреби у волозі на стадіях росту, чутливих до стресу, і ввести дефіцит на стадіях, менш чутливих до стресу, [14].

Моделі, які імітують ріст культур і потік води в кореневій зоні, можуть бути потужним інструментом для екстраполяції результатів і висновків польових досліджень на умови, які не перевірялися, дозволяючи прогнозувати розклад дефіциту зрошення за різних умов водопостачання та управління ґрунтом і культурами. Крім того, використання моделей може бути важливим для стандартизації дослідницьких процедур у таких скоординованих дослідницьких програмах і, таким чином, полегшити

більш значущі порівняння між дослідженнями, проведеними в різних місцях і країнах.

Модель CROPWAT включає просту модель водного балансу, яка дозволяє симулювати умови водного стресу сільськогосподарських культур і оцінювати зниження врожайності на основі добре встановлених методологій для визначення випаровування сільськогосподарських культур (FAO, 1998) і реакції врожайності на воду (FAO, 1979) , [14].

### 5.3. Модель CROPWAT Процедура розрахунку

Розрахунок еталонної евапотранспірації (evapotranspiration -  $ET_0$ ) базується на методі FAO Пенмана-Монтейта (FAO, 1998).

Форма Пенмана-Монтейта комбінованого рівняння, [15, Ch. 2]:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{e_s - e_a}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}, \quad (1)$$

де

$ET$  - евапотранспірація (мм/день);

$\Delta$  - нахил кривої тиску насиченої пари від температури (кПа/°C);

$R_n$  - чиста радіація (МДж/м<sup>2</sup>/день);

$G$  — тепловий потік у ґрунті (МДж/м<sup>2</sup>/день);

$\rho_a$  — щільність повітря (кг/м<sup>3</sup>);

$c_p$  — питома теплоємність повітря при постійному тиску (кДж/кг/°C);

$e_s - e_a$  — дефіцит насичення пари (кПа);

$r_a$  — аеродинамічний опір (с/м);

$r_s$  — поверхневий опір (с/м);

$\gamma$  — психрометричний коефіцієнт (кПа/°C).

$\gamma$  є психрометричною постійною, а  $r_s$  і  $r_a$  є (об'ємним) поверхневим та аеродинамічним опором.

Передача тепла і водяної пари від поверхні випаровування в повітря над куполом визначається аеродинамічним опором, [15, Ch. 2]:

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right) \cdot \ln\left(\frac{z-d}{z_{0h}}\right)}{k^2 u}, \quad (2)$$

де:

- $z$  — висота вимірювання швидкості вітру (м);
- $d$  — висота зміщення (м);
- $z_0$  — висота шорсткості поверхні для швидкості вітру (м);
- $z_{0h}$  — висота шорсткості поверхні для температури й вологості (м);
- $k$  — константа фон Кармана ( $k \approx 0.41$ );
- $u$  — швидкість вітру (м/с).

Вхідні дані включають місячну та десятиденну температуру (максимальна та мінімальна), вологість, сонячне світло та швидкість вітру. Потреба культури у воді (Crop water requirements - ET<sub>crop</sub>) протягом вегетаційного періоду визначається на основі ET<sub>o</sub> та оцінок швидкості випаровування культури, виражених у вигляді коефіцієнтів культури (K<sub>c</sub>), на основі добре встановлених процедур (FAO, 1977) відповідно до наступного рівняння, [14]:

$$ET_{crop} = K_c \times ET_o, \quad (3)$$

FAO (1998) представила оновлені значення для коефіцієнтів урожаю. Через оцінки ефективної кількості опадів розраховуються потреби в зрошенні сільськогосподарських культур за умови оптимального водопостачання. Вхідні дані щодо схеми посіву дозволяють оцінити потреби схеми зрошення.

За допомогою вхідних даних щодо утримання води в ґрунті та характеристик інфільтрації та оцінок глибини вкорінення розраховується щоденний баланс ґрунтової води, прогнозуючи вміст води в укоріненому ґрунті за допомогою рівняння водозбереження, яке враховує вхідний і вихідний потік води.

Стресові умови в кореневій зоні визначаються критичним вмістом води в ґрунті, вираженим як частка загальної доступної ґрунтової води між польовою ємністю та точкою в'янення, яка є легко доступною для транспірації культур, і характеризує стан

вологості ґрунту, за якого транспірація культур не відбувається. обмежений будь-якими обмеженнями потоку в кореневій зоні.

Критичний вміст вологи в ґрунті різний для різних культур і різних стадій культури і визначається характеристиками щільності коренів культури, швидкістю випаровування і, певною мірою, типом ґрунту. FAO (1998) оновила оцінки критичної вологості ґрунту, що представляє початок стресу, про які раніше повідомлялося у FAO (1977) та FAO (1979).

На рис. 1 представлено швидкість скороченого випаровування сільськогосподарських культур,  $ET$  а  $ET_{crop}$ , оцінену відповідно до виснаження вологи в ґрунті (FAO, 1992).

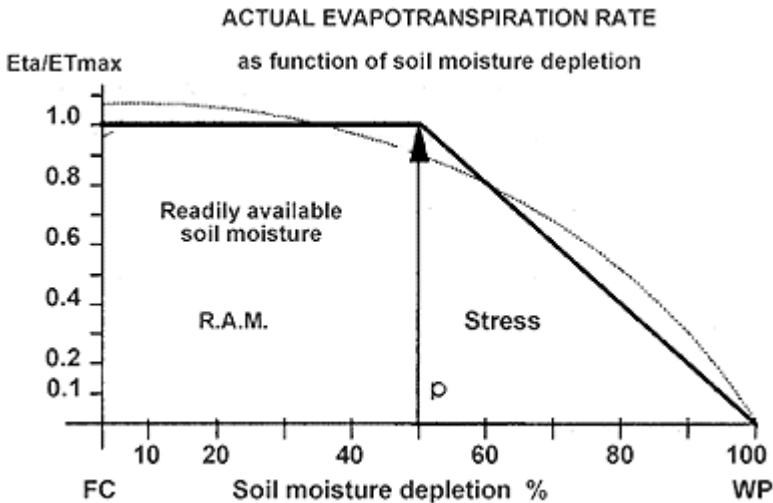


Рис. 1. Швидкість випаровування врожаю під впливом вологи в ґрунті, [14].

Вплив нестачі води на врожай кількісно визначається шляхом співвідношення відносного зниження врожаю з відносним дефіцитом випаровування через емпірично отриманий коефіцієнт відповіді врожаю ( $K_y$ ) (FAO 1979), [14]:

$$1 - \frac{Y_a}{Y_{max}} = K_y \left( 1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right), \quad (4)$$

де:  $1 - Y_a / Y_{max}$  - часткове зменшення виходу в результаті зниження швидкості випаровування ( $1 - E_{Ta} / E_{Tm}$ ).

Аналіз великого набору дослідницької інформації дав значення для ( $K_u$ ) для 26 культур на різних стадіях росту. Це дає змогу враховувати ступінь чутливості до води в оцінках зниження врожайності для різних культур і стадій росту на основі стану вологості ґрунту.

### **Вхідні дані CROPWAT**

Для розрахунків потреб у воді та зрошенні використовуються вхідні дані про клімат, урожай і ґрунт, а також дані про зрошення та дощі. Потрібними кліматичними вхідними даними є еталонна евапотранспірація (за місяць/десятиріччя) та кількість опадів (за місяць/декаду/щодень). Еталонну евапотранспірацію можна розрахувати за фактичною температурою, вологістю, сонячним світлом/радіацією та даними про швидкість вітру відповідно до методу FAO Пенмана-Монтейта (FAO, 1998). База даних CLIMWAT надає щомісячні кліматичні дані для CROPWAT по 144 країнах (FAO, 1993).

Параметри культури, що використовуються для оцінки випаровування культури, розрахунків водного балансу та зниження врожайності внаслідок стресу, включають:  $K_s$ , тривалість вегетаційного періоду, критичний рівень виснаження  $p$  і коефіцієнт реакції врожайності  $K_u$ . Програма містить стандартні дані для основних культур і їх можна коригувати відповідно до реальних умов.

### **Еталонна евапотранспірація ( $E_{To}$ )**

Тут йдеться про випаровування з контрольної поверхні, так зване еталонне випаровування сільськогосподарських культур (reference crop evapotranspiration, [16]) або еталонне випаровування, позначене як  $E_{To}$ . Еталонною поверхнею є гіпотетична еталонна трава з припущеною висотою культури 0,12 м, фіксованим опором поверхні (surface resistance, [17]) 70 s/m і [альбедо](#) 0,23. Еталонна поверхня дуже нагадує велику поверхню зеленої, добре зволоженої трави однорідної висоти, що активно росте і повністю затінює землю. Постійний поверхневий опір 70 s/m передбачає помірно суху поверхню ґрунту в результаті щотижневої частоти зрошення.

ЕТо можна обчислити за метеорологічними даними. З 1990 року метод ФАО Пенмана-Монтейта рекомендований як єдиний стандартний метод для визначення та обчислення еталонної евапотранспірації. Метод ФАО Пенмана-Монтейта вимагає даних про радіацію (radiation), температуру повітря (air temperature), вологість повітря (humidity) та швидкість вітру (wind speed). Процедури розрахунку для отримання кліматичних параметрів з метеорологічних даних і для оцінки відсутніх метеорологічних змінних, необхідних для розрахунку ЕТо, представлені в частині (розділ 3, [15]).

ЕТо також можна оцінити за випаровуванням з водної поверхні [евапорометра](#) (Pan evaporation, [18]), які довели свою практичну цінність і успішно використовувалися для оцінки ЕТо



шляхом спостереження за втратою води з мірної ємності та використання емпіричних коефіцієнтів для зв'язку випаровування води з ЕТо. Однак необхідно застосовувати спеціальні запобіжні заходи та технологію.

Рис. 2. [Евапорометр](#), Class A evaporation pan, [18]

### **Метеорологічні дані**

Методи розрахунку евапотранспірації за метеорологічними даними вимагають різноманітних кліматичних і фізичних параметрів. Частина даних вимірюється безпосередньо на метеостанціях. Інші параметри пов'язані із загальноновимірними даними та можуть бути отримані за допомогою прямого або емпіричного зв'язку. У розділ 3, [15] обговорюється джерело, вимірювання та обчислення всіх даних, необхідних для розрахунку еталонної евапотранспірації за допомогою методу ФАО Пенмана-Монтейта.

Метеорологічні дані можна виразити кількома одиницями. Коефіцієнти перетворення між різними одиницями та стандартними одиницями СИ наведені в [Додатку 1](#), [15]. Кліматичні параметри, розраховані за допомогою рівнянь, наведених у цій главі, зведені в таблицю та відображені для різних метеорологічних умов у [Додатку 2](#), [15]. Передумови певних взаємозв'язків і більше інформації про певні процедури наведено в Додатку 3 ([Annex 3. Background on physical parameters used in evapotranspiration computations](#)). У Додатках 4 ([Annex 4. Statistical analysis of weather data sets](#)), 5 ([Annex 5. Measuring and assessing integrity of weather data](#)) і 6 ([Annex 6. Correction of weather data observed in non-reference weather sites to compute ETo](#)) перераховано процедури статистичного аналізу, оцінки, виправлення та завершення часткових або відсутніх даних про погоду.

Метеорологічні фактори, що визначають ЕТ (евапотранспірацію) — це параметри погоди, які забезпечують енергію для випаровування та видалення водяної пари з поверхні випаровування. Нижче представлені основні параметри погоди, які необхідно враховувати:

- [Сонячна радіація](#)
- [Температура повітря](#)
- [Вологість повітря](#)
- [Швидкість вітру](#)

CLIMWAT, [19] для CROPWAT (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46) містить щомісячні дані з 3 262 кліматичних станцій. Станції згруповані за країнами та континентами. Середні місячні максимальні та мінімальні температури, середня відносна вологість, швидкість вітру, години сонячного сяйва, радіаційні дані, а також кількість опадів і ETo, розраховані за методом ФАО Пенмана-Монтейта, наведені для середніх довгострокових умов.



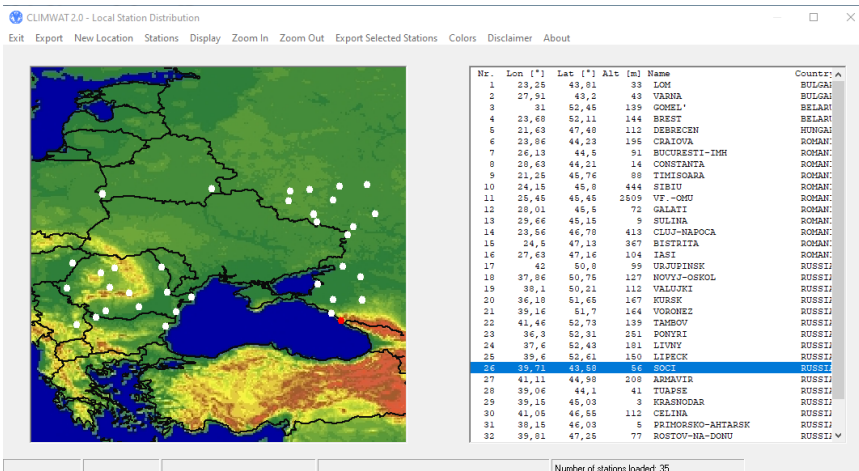


Рис. 3. кліматична база даних CLIMWAT для використання в поєднанні з комп'ютерною програмою CROPWAT

**CLIMWAT** надає довгострокові середньомісячні значення семи кліматичних параметрів, а саме, [19]:

- Середньодобова максимальна температура в °C
- Середньодобова мінімальна температура в °C
- Середня відносна вологість у %
- Середня швидкість вітру в км/добу
- Середня кількість сонячних годин на день
- Середня сонячна радіація в МДж/м<sup>2</sup>/добу
- Місячна кількість опадів у мм/міс
- Місячна ефективна кількість опадів у мм/міс
- Еталонна евапотранспірація, розрахована за методом Пенмана-Монтейта в мм/день.

Дані можна отримати для однієї чи кількох станцій у форматі, який підходить для їх використання в CROPWAT. Для кожної вибраної станції створюється два файли. Перший файл містить довгострокові місячні дані про кількість опадів [мм/місяць]. Крім того, ефективна кількість опадів також включена в розрахунок і включена в той самий файл. Другий файл складається з довгострокових середньомісячних значень для семи кліматичних параметрів, згаданих вище. Цей файл також містить координати та висоту розташування, [19].

Вся інформація про станції взята з бази даних The Agromet Group ФАО, [19].

### Визначення ЕТо

#### 5.4. Робота в програмі CROPWAT

##### 1. Початок роботи

У звичайній сесії CROPWAT користувач спочатку має забезпечити вхідні дані. Це можна зробити одним із двох способів:

1. звертаючись до кожного окремого модуля введення даних та вводячи нові дані, завантажуючи дані з файлів або імпортуючи дані з інших програм, *або*
2. завантажуючи раніше збережену сесію, яка автоматично завантажить усі вхідні дані, які були використані у цій сесії.

Коли необхідні вхідні дані забезпечені, користувач може перейти до одного з розрахункових модулів, які представляють розрахункові дані у вихідних таблицях у вікні даних. Якщо не всі дані є, програма зупинить розрахунок і видасть попередження. Наприклад, коли користувач переходить до модуля Графік, а ґрунтових даних немає, CROPWAT видасть повідомлення "Ґрунтові дані не в порядку. Розрахунок графіка зрошення неможливий".

Модуль CROPWAT відноситься до одного з 8 компонентів програм, які можуть бути вибрані з **Панель модулів** з лівого боку від головного вікна CROPWAT.

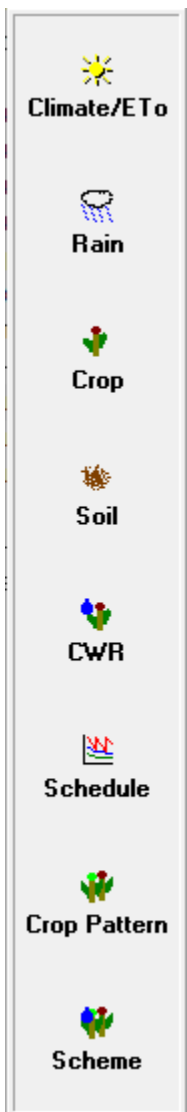


Рис. 4. *Панель модулів*

Є модулі для введення даних (Crop, Soil, SWR), для виведення даних (SWR, Crop або Schedule та Scheme) і два модулі, Клімат/ЕТо (**Climate/ETo**) та Опади (Rain), які є модулями введення даних, але також включають розрахунки (розрахунки за Пенманом-Монтейтом у разі Climate/ETo та розрахунок ефективних опадів у разі опадів).

**Панель модулів** розташована зліва від головного вікна CROPWAT. Кнопки на панелі модулів дають прямий доступ до наявних модулів програми CROPWAT.

Спочатку, коли ви оберете кнопку **Клімат/ЕТо**, Опади (Rain), Культура (Crop), Ґрунт (Soil) або Схема розміщення культур (CWR), буде виведено вікно введення даних для відповідного модуля. Ви можете почати вводити дані вручну, відкрити існуючий файл даних через опцію меню Файл>Відкрити (або безпосередньо вибравши кнопку Відкрити на Панелі інструментів), або ви можете вставити таблицю з буфера обміну, яка була скопійована, наприклад, з таблиць Excel. Вікно даних для модулів Клімат/Ето, Опади та Культура відкриється з типом даних за умовчанням для цих даних (а саме місячні ЕТо за Пенманом-Монтейтом у разі модуля Клімат/ЕТо). Ви можете легко переключитися на інший тип даних для цього модуля (а саме місячні спостереження ЕТо у разі модуля Клімат/ЕТо), використовуючи список кнопки Нові, що розкривається, на Панелі інструментів.

За допомогою панелі модулів користувач може швидко переходити від одного модуля до іншого. Наприклад, користувач може перейти від модуля CWR до модуля Сгор, змінити дату посадки і перейти назад в модуль CWR, щоб побачити вплив різних термінів посадки на CWR.

Залежно від активного модуля, Панель інструментів дає прямий доступ до найважливіших функцій, які відносяться до цього модуля, таких як завантаження/збереження даних, друк даних, встановлення опцій, показ діаграм вхідних та вихідних даних тощо.

У випадку модуля Графік (суха культура або рис), кнопка Опції дає безпосередній доступ до всіх варіантів часу поливу та подачі води, що дозволяє користувачеві швидко перерахувати графіки при різних налаштуваннях. Крім того, дана нова версія CROPWAT дозволяє користувачеві маніпулювати з розрахованими графіками, змінюючи вручну поливи, розраховані програмою.


Усі функції, доступ до яких забезпечується через Панель інструментів, а також більш загальні функції, наприклад розташування файлу за замовчуванням, можуть бути активізовані через головне меню CROPWAT.

Після завершення сесії користувач може зберегти комбінацію даних у файлі сесії, щоб можна було швидко знайти той самий набір даних у майбутній сесії.

## 2. Як розрахувати ETo за Пенманом-Монтейтом

Виберіть модуль **Climate/ETo** на панелі Модулів. Праворуч відкриється вікно даних для поточного типу даних за замовчуванням для клімату/ETo. Якщо тип даних не відповідає тому, з яким ви хочете працювати, клацніть на маленьку стрілку кнопки Нові на Панелі інструментів і виберіть правильний тип даних з меню, що розкривається.


Потім, ви можете завантажити дані з існуючого файлу, або ввести нові дані. Як тільки дані для конкретного місяця будуть заповнені, CROPWAT автоматично розрахує **Rad** та **ETo** за Пенманом-Монтейтом та відобразить результати в останніх двох стовпцях таблиці.

  
 Climate/ETo

Country   
 Altitude  m. Latitude  °N Longitude  °E

Station

Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m <sup>2</sup> /day	mm/day
January	17.0	31.3	47	104	8.8	18.7	3.99
February	19.3	34.3	37	112	9.3	21.2	4.91
March	22.5	37.5	30	121	9.7	23.5	5.93
April	26.0	39.3	34	138	9.2	23.6	6.66
May	27.2	40.0	37	225	8.3	22.2	7.93
June	25.0	35.6	54	354	5.8	18.3	7.19
July	23.8	32.5	64	363	4.4	16.2	5.74
August	23.5	32.1	63	302	4.9	16.9	5.47
September	23.3	31.9	65	207	5.5	17.3	4.83
October	22.4	32.4	61	95	8.7	20.7	4.58
November	19.2	31.0	56	78	7.7	17.6	3.73
December	16.6	30.3	51	69	8.4	17.7	3.40
Average	22.1	34.0	50	181	7.5	19.5	5.36

  
 Rain


  
 Crop

Рис. 5. Вікно введення даних для поточного типу даних за замовчанням для **Climate/ETo**

Примітка: під час завантаження файлів з бази даних CLIMWAT CROPWAT перераховує значення **Rad** та **ETo**. Через невеликі відмінності у способах округлення, що використовуються в алгоритмах, результати з CROPWAT можуть незначно відрізнятися від результатів, що містяться в базі даних CLIMWAT.

### 3. Як розрахувати вимоги культури на воду

Для розрахунку вимог культури на воду, спочатку треба забезпечити наявність даних щодо **Climate/ETo**, опадів та культури. Якщо ви раніше зберегли комбінацію цих файлів даних у вигляді сесії, можна легко заново завантажити ці дані через елемент меню Файл>Відкрити сесію. В іншому випадку, ви повинні зайти в кожен з цих модулів через панель модулів і завантажити існуючі дані або ввести нові дані. У випадку рису, ви також повинні завантажити дані по ґрунтах Оскільки розрахунок вимог рису на воду включає вимоги на підготовку землі.

Після введення відповідних вхідних даних оберіть модуль CWR на панелі Модулей. Якщо вхідні дані гаразд, CROPWAT розрахує вимоги культури на воду та покаже результати у вікні даних. Якщо є проблеми з вхідними даними,

CROPWAT виведе повідомлення про помилку, що дані є невірними або неповними.






 Climate/ETo   Rain   Crop   Soil   CWR	ETo station		KURNDOOL					
	Rain station		KURNDOOL					
	Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
				coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
	Dec	3	Init	0.40	1.41	2.8	0.0	2.8
	Jan	1	Init	0.40	1.52	15.2	0.0	15.1
	Jan	2	Deve	0.41	1.63	16.3	0.0	16.3
	Jan	3	Deve	0.60	2.57	28.3	0.1	28.2
	Feb	1	Deve	0.86	3.95	39.5	1.1	38.4
	Feb	2	Mid	1.09	5.35	53.5	1.6	51.9
	Feb	3	Mid	1.14	6.00	48.0	1.2	46.8
	Mar	1	Mid	1.14	6.39	63.9	0.5	63.4
	Mar	2	Late	1.11	6.58	65.8	0.1	65.7
	Mar	3	Late	0.95	5.88	64.7	1.1	63.7
	Apr	1	Late	0.79	5.05	50.5	1.4	49.1
	Apr	2	Late	0.64	4.29	34.3	1.5	32.4
					<b>482.8</b>	<b>8.7</b>	<b>473.8</b>	

Рис. 6. Модуль CWR (Crop Water Requirement) - ТКВ (вимоги культури до води)

Модуль CWR вимог культури на воду включає розрахунки вимог культури на зрошувальну воду на декадній основі у вигляді різниці між Евапотранспірацією культури у стандартних умовах (Crop evapotranspiration under standard conditions - ETc) та Ефективними опадами (Effective rainfall). Щоб переглянути діаграми вимог, виберіть кнопку Діаграма (Chart) на панелі інструментів.

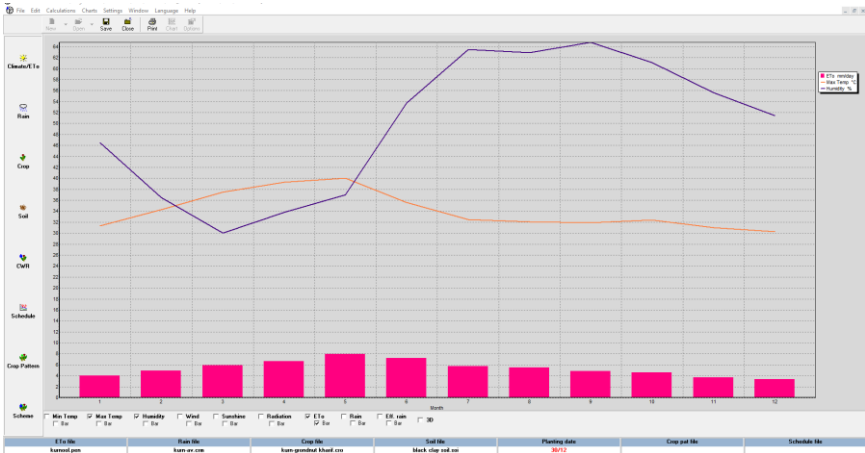


Рис. 7. Вікно діаграм (Chart)

#### 4. Як розрахувати графік поливів

Для розрахунку графіків поливів спочатку ви повинні завантажити відповідні вхідні дані, як описано в розділі довідки Як розрахувати вимоги культури на воду. Для графіків поливів вам потрібні дані щодо клімату/ЕТО, опадів, культури та ґрунтів.

Коли введені дані, на панелі Модулів виберіть модуль Графік (Scheduling module). Якщо вхідні дані готові, CROPWAT розрахує графік поливів на основі поточних налаштувань Опцій графіка поливів та покаже результати у вікні даних. Якщо є проблеми з вхідними даними, CROPWAT виведе повідомлення про помилку, що дані є невірними або неповними.

При активному модулі Графік ви можете легко змінювати опції графіка поливів через кнопку Опції на панелі інструментів. Ви також можете вручну регулювати графік, змінюючи поливи у вихідній таблиці графіка поливів і ви можете зберегти змінений графік у файл через кнопку Зберегти на панелі інструментів.

Щоб переглянути діаграму графіка поливу, на панелі інструментів виберіть кнопку Діаграма.

File Edit Calculations Charts Settings Window Language Help

New Open Save Close Print Chart Options

**ETo station** KURN00L **Crop** Groundnut Kharif **Planting date** 30/12 **Yield red.**  
**Rain station** KURN00L **Soil** BLACK CLAY SOIL **Harvest date** 18/04 **0.0 %**

Table format  
 Irrigation schedule **Timing:** Irrigate at critical depletion  
 Daily soil moisture balance **Application:** Refill soil to field capacity  
**Field eff.** 70 %

Date	Day	Stage	Rain	Ks	Eta	Depl	Net Irr	Deficit	Loss	Gr. Irr	Flow
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
30 Dec	1	Init	0.0	0.91	91	52	32.3	0.0	0.0	46.1	5.34
16 Jan	18	Init	0.0	1.00	100	45	43.7	0.0	0.0	62.4	0.42
2 Feb	35	Dev	0.0	1.00	100	46	59.9	0.0	0.0	85.6	0.58
16 Feb	49	Dev	0.0	1.00	100	48	75.6	0.0	0.0	108.1	0.89
1 Mar	62	Mid	0.0	1.00	100	46	74.2	0.0	0.0	106.0	0.94
13 Mar	74	Mid	0.1	1.00	100	48	76.6	0.0	0.0	109.4	1.06
25 Mar	86	End	0.0	1.00	100	47	74.8	0.0	0.0	106.9	1.03
9 Apr	101	End	0.0	1.00	100	49	78.3	0.0	0.0	111.9	0.86
18 Apr	End	End	0.0	1.00	0	20					

**Totals**

Total gross irrigation	736.4	mm	Total rainfall	11.2	mm
Total net irrigation	515.5	mm	Effective rainfall	10.2	mm
Total irrigation losses	0.0	mm	Total rain loss	1.0	mm
Actual water use by crop	478.4	mm	Moist deficit at harvest	32.8	mm
Potential water use by crop	478.6	mm	Actual irrigation requirement	468.4	mm
Efficiency irrigation schedule	100.0	%	Efficiency rain	91.0	%
Deficiency irrigation schedule	0.0	%			

**Yield reductions**

Stagelabel	A	B	C	D	Season
Reductions in ETo	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Yield response factor	0.20	0.80	0.60	0.20	0.70
Yield reduction	0.1	0.0	0.0	0.0	%
Cumulative yield reduction	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0 %

Рис. 8. Вікно графіку поливів (Irrigation schedule)



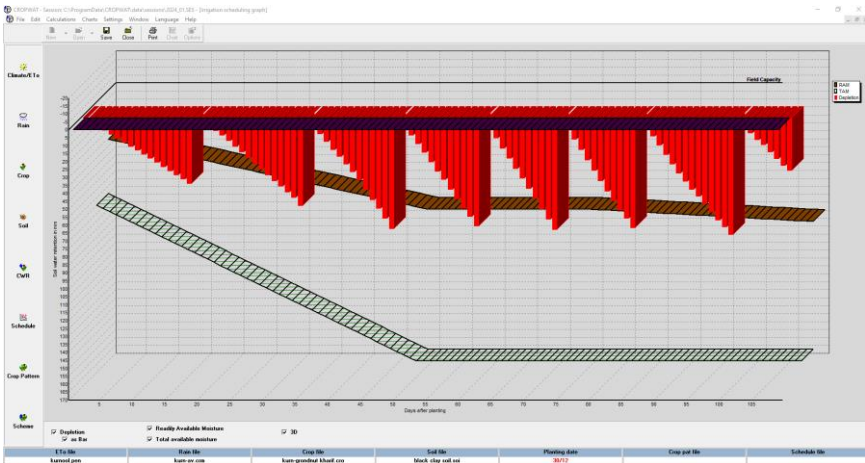


Рис. 9. Діаграма графіку поливів (кнопка Chart)

## 5. Як розрахувати подачу на схему (Scheme Supply)

Для розрахунку подачі на схему спочатку необхідно мати дані в модулях Клімат/ЕТо, Опали та Схема розміщення культур. Якщо ви раніше зберегли комбінацію цих файлів даних у вигляді сесії, можна легко заново завантажити ці дані через елемент меню Файл>Відкрити сесію. В іншому випадку, ви повинні зайти в кожен з цих модулів через панель модулів і завантажити існуючі дані або ввести нові дані.

Після введення відповідних вхідних даних виберіть модуль Схема на панелі модулів. Якщо вхідні дані гаразд, CROPWAT розрахує подачу на схему і покаже результати у вікні даних. Якщо є проблеми з вхідними даними, CROPWAT виведе повідомлення про помилку, що дані є невірними або неповними.

## 6. Як імпортувати дані

CROPWAT не має спеціальних модулів для імпорту файлів із даними. Для культури, ґрунтів та схем розміщення культур, введення нових даних у CROPWAT є швидким процесом, що не потребує спеціальних процедур для імпорту даних.

Таблиці з даними щодо клімату/Ето та опадів можуть бути легко імпортовані через копіювання таблиці у вихідному додатку (Word, Excel тощо) і потім вставку таблиці у CROPWAT.

Оскільки CROPWAT зберігає всі дані у файлах ASCII, можна імпортувати дані через їх збереження у файлах ASCII за допомогою того самого формату, що й у файлів CROPWAT. Цей формат можна перевірити, відкривши файли даних CROPWAT у простому текстовому редакторі, наприклад Notepad.

## **7. Як експортувати дані та діаграми**

Є два способи експорту даних CROPWAT (як вхідних даних, так і результатів розрахунків) для їх використання в інших програмах:

- через буфер обміну, вибравши Копіювати таблицю з мене Правка . Це можливо лише для даних, представлених у таблицях, наприклад, таблиця з кліматичними даними або результати розрахунку вимог культури на воду.

- вказавши в друку вмісту екрана , що ви хочете друкувати дані у файл ASCII, з або без розділення коми.

Діаграми можна експортувати двома способами.

- через буфер обміну, вибравши Копіювати діаграму>Як Растрове відображення або Копіювати діаграму>Як Розширений метафайл з меню Правка

- вибравши Файл>Зберегти (або вибравши кнопку Зберегти), щоб зберегти діаграму у вигляді растрового відображення або розширеного метафайлу на диск.

## **8. Панель інструментів**

Панель інструментів містить ряд кнопок, які забезпечують легкий доступ до найбільш поширених функцій CROPWAT, які необхідні користувачеві під час роботи з модулями CROPWAT. Функція панелі інструментів змінюється залежно від активного модуля. Н-р, кнопка "Опції" не діє для таких модулів, як

Культура та Грунт, оскільки для цих модулів немає конкретних опцій, які можуть бути задані.

Крім того, панель інструментів включає кнопку Оцінити, яка використовується в розрахунках ЕТо за Пенманом-Монтейтом.

Клацніть на відповідну секцію панелі інструментів, щоб отримати більше інформації про конкретну кнопку.

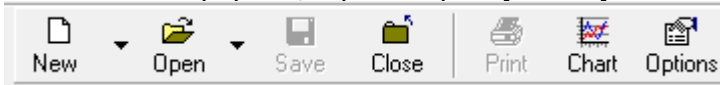


Рис. 10. Панелі інструментів

З прикладами розрахунків в програмі CROPWAT можна ознайомитись в наступних джерелах: [20], [21, Ch. 6.2.], [22], [23], [24] та інших.

Для отримання кліматичних даних можна скористатись користатися наступними ресурсами:

Український гідрометеорологічний центр: Цей національний орган надає метеорологічні дані для різних регіонів України.

Метеостанції METOS®: Компанія Pessl Instruments пропонує метеостанції, які збирають дані про температуру, вологість, швидкість вітру та сонячну радіацію. Вони також надають програмне забезпечення, яке розраховує евапотранспірацію за рівнянням Пенмана-Монтейта.

Міжнародні бази даних: Платформи, такі як [NASA POWER](#) або [NOAA](#), надають кліматичні дані для будь-якої точки світу, включаючи Україну, [19], [25], [26].

## Література

- [1] 'CropWat | Land & Water | Food and Agriculture Organization of the United Nations | Land & Water | Food and Agriculture Organization of the United Nations'. Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>
- [2] M. Smith and F. and A. O. of the U. Nations, *CROPWAT: A Computer Program for Irrigation Planning and Management*. Food & Agriculture Org., 1992.
- [3] O. US EPA, 'EPANET'. Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>
- [4] 'EPANET'. Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <http://epanet.de/>
- [5] 'EPANET', *Wikipedia*. Apr. 23, 2024. Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=EPANET&oldid=1220355013>
- [6] С. Ю. Мартинов, 'Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Імітаційне моделювання у системах водопостачання і водовідведення» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Водопостачання та водовідведення» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання'. Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <https://ep3.nuwm.edu.ua/20567/>
- [7] 'AquaCrop | Food and Agriculture Organization of the United Nations'. Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <https://www.fao.org/aquacrop/en/>
- [8] E. Vanuytrecht *et al.*, 'AquaCrop: FAO's crop water productivity and yield response model', *Environmental Modelling & Software*, vol. 62, pp. 351–360, Dec. 2014, doi: 10.1016/j.envsoft.2014.08.005.
- [9] 'Soil and Water Assessment Tool | USDA Climate Hubs'. Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <https://www.climatehubs.usda.gov/hubs/international/tools/soil-and-water-assessment-tool>
- [10] 'SWAT | Soil & Water Assessment Tool'. Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: <https://swat.tamu.edu/>
- [11] 'SWAT model', *Wikipedia*. Nov. 24, 2023. Accessed: Dec. 27, 2024. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=SWAT\\_model&oldid=1186597572](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=SWAT_model&oldid=1186597572)

- [12] 'EOSDA Crop Monitoring: Супутниковий Моніторинг Врожаю'. Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <https://eos.com/uk/products/crop-monitoring/>
- [13] F. R. Aks, 'EXAMPLE OF THE USE OF CROPWAT 8.0', Accessed: Dec. 29, 2024. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/8911190/EXAMPLE\\_OF\\_THE\\_USE\\_OF\\_CROPWAT\\_8\\_0](https://www.academia.edu/8911190/EXAMPLE_OF_THE_USE_OF_CROPWAT_8_0)
- [14] M. Smith, D. Kivumbi, and L.K. Heng, 'Use of the FAO CROPWAT model in deficit irrigation studies', in *Deficit Irrigation Practices*, Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization., vol. 22, in WATER REPORTS, vol. 22. , Rome, 2000. Accessed: Dec. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.fao.org/4/y3655e/y3655e05.htm>
- [15] R. Allan, L. Pereira, and M. Smith, *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56*, vol. 56. 1998.
- [16] 'Reference Evapotranspiration (ETref)'. Accessed: Dec. 29, 2024. [Online]. Available: [https://www.weap21.org/webhelp/Mabia\\_Alg\\_ETRef.htm](https://www.weap21.org/webhelp/Mabia_Alg_ETRef.htm)
- [17] W. Bie, M. C. Casper, P. Reiter, and M. Vohland, 'Surface resistance calibration for a hydrological model using evapotranspiration retrieved from remote sensing data in Nahe catchment forest area', in *Proceedings of IAHS*, Copernicus GmbH, May 2015, pp. 81–86. doi: 10.5194/piahs-368-81-2015.
- [18] 'Pan evaporation', *Wikipedia*. Jul. 17, 2024. Accessed: Dec. 29, 2024. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Pan\\_evaporation&oldid=1234980621](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Pan_evaporation&oldid=1234980621)
- [19] 'CLIMWAT | Land & Water | Food and Agriculture Organization of the United Nations | Land & Water | Food and Agriculture Organization of the United Nations'. Accessed: Dec. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/en/>
- [20] П. В. Лиховид and С. О. Лавренко, 'Застосування програми CROPWAT для визначення сумарного водоспоживання кукурудзи цукрової', 2020, Accessed: Dec. 30, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/5242>
- [21] В. А. Сташук, Р. А. Вожегова, В. В. Дудченко, А. М. Рокочинський, and В. В. Морозова, *Підвищення ефективності функціонування рисових зрошувальних систем України*. Київ;Херсон;Півне: НУБГП, 2020. Accessed: Dec. 30, 2024. [Online]. Available: <https://ep3.nuwm.edu.ua/16836/>

- [22] Вожегова Р.А., Коковіхін С. В., Шепель А. В., and Бояркіна Л. В., 'ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ОЦІНКИ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ ТА РОЗРАХУНКУ ВОДОПОТРЕБИ ЛЮЦЕРНИ НА КОРМ', *Землеробство, рослинництво, овочівництво та баштанництво*, no. 86, pp. 17–23, 2013.
- [23] С. В. Коковіхін, М. Г. Ніколайчук, and О. О. Пілярська, 'Нормування витрат поливної води на рівні сівозміни та господарства з використанням сучасних інформаційних технологій', *Зрошуване землеробство*, no. 61, pp. 63–65, 2014.
- [24] Коковіхін С. В., Смолієнко Н. Д., and Михаленко І. В., 'Організаційні аспекти формування режимів зрошення на рівні господарства та сівозмін з використанням сучасних інформаційних технологій', *Таврійський науковий вісник*, no. 84, pp. 62–66, 2013.
- [25] 'Climate Data Online (CDO) - The National Climatic Data Center's (NCDC) Climate Data Online (CDO) provides free access to NCDC's archive of historical weather and climate data in addition to station history information. | National Climatic Data Center (NCDC)'. Accessed: Dec. 30, 2024. [Online]. Available: <https://www.ncei.noaa.gov/cdo-web/>
- [26] 'NASA POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources'. Accessed: Dec. 30, 2024. [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/>