

Навчальні модулі DUALOG

МОДУЛЬ

GB03

Організація системи зрошення в ОВОЧІВНИЦТВІ



**Червоний буряк, морква, цибуля,
білокачанна капуста**

Вступ

Передача практичних та прикладних знань і ноу-хау є центральним елементом двостороннього проекту співпраці «Німецько-український фаховий діалог зі сталого розвитку плодоовочевого сектору» (www.dualog-ukraine.de), який фінансується за рахунок коштів Федерального міністерства сільського господарства, продовольства та регіональної ідентичності Федеративної Республіки Німеччина (BMLEH).

Як важливий елемент підвищення кваліфікації дорадників та виробників, виконавцем проекту було створено серію **«Навчальні модулі DUALOG»** у вигляді 23 модулів німецькою та українською мовами. Ці фахові довідники призначені для консультантів, фахівців та виробників у секторі плодоовочівництва і мають стати для них у друкованому та електронному вигляді корисним помічником та довідковим матеріалом під час консультаційної роботи та у практичній діяльності. Кожен модуль у стислій та зрозумілій формі пояснює основні проблемні питання з відповідної теми та надає практичні поради, формує професійні знання та збагачує досвід.

Для досягнення мети проекту – поліпшення виробництва та збуту фруктів і овочів у Вінницькій області – ключову роль відіграють фахове консультування державних установ та підвищення кваліфікації та перепідготовки фахівців. Серія довідників, укладена спеціалістами з багаторічним практичним досвідом та глибокими сучасними фаховими знаннями, повністю відповідає цим завданням.

Про модуль «Організація системи зрошення в овочівництві»

Цей посібник у стислій та практичній формі описує принципи та можливості організації **зрошення** та **фертигації** для чотирьох класичних овочів «борщового набору»: червоного буряка, моркви, цибулі та білокачанної капусти. Посібник об'єднує інформацію про потреби зазначених культур у воді, ґрунті та кліматичних факторах. Одночасно подаються рекомендації щодо вибору системи зрошення, планування, програми фертигації, проектування, експлуатації та обслуговування систем, а також щодо економічних аспектів зрошення в умовах України.

Видавець: «Німецько-український фаховий діалог зі сталого розвитку плодоовочевого сектору» (DUALOG). Електронна пошта: info@adtproject.de, веб-сайт: www.adtproject.de.

Текст / Автор: Марсель де Йонг. **Джерело зображення:** дивись додаток Д.4

© 2026 «Німецько-український фаховий діалог зі сталого розвитку плодоовочевого сектору» (DUALOG). Всі права захищені.

Застереження: Цей навчальний посібник опубліковано під егідою проекту «Німецько-український фаховий діалог зі сталого розвитку плодоовочевого сектору» (DUALOG). Усі думки, результати, висновки, пропозиції та рекомендації належать автору/авторці і не обов'язково відповідають поглядам Федерального Міністерства сільського господарства, продовольства та регіональної ідентичності Німеччини (BMLEH).

Зміст

Розділ 1 – Вступ.....	8
1.1 Значення зрошення у овочівництві.....	8
1.2 Огляд потреб овочів у воді.....	8
1.3 Цілі та сфера застосування	9
Розділ 2 – Фізіологія овочевих рослин та їхні потреби у воді.....	11
2.1 Будова та глибина кореневої системи за групами культур.....	11
2.2 Транспірація та поглинання води	12
2.3 Критичні стадії росту та потреба у воді.....	13
2.3.1 Проростання та укорінення сходів	13
2.3.2 Вегетативний ріст.....	13
2.3.3 Цвітіння та запилення.....	13
2.3.4 Розвиток цибулини / качана / кореня	13
2.3.5 Дозрівання та збирання врожаю	13
2.4 Водний стрес: симптоми та вплив на врожайність і якість	14
Розділ 3 – Групи овочевих культур та їхні специфічні потреби у воді.....	16
3.1 Листові овочі	16
3.2 Плодові овочі	16
3.3 Коренеплоди та бульбоплоди (морква, червоний буряк)	16
3.4 Капустяні (білокачанна капуста)	17
3.5 Цибулеві (цибуля)	18
3.6 Бобові	19
Розділ 4 – Вимоги до ґрунту та місця вирощування	20
4.1 Текстура ґрунту та водоутримуюча здатність	20
4.2 Польова вологоємність, точка в'янення та доступна вода.....	20
4.3 Глибина ґрунту, ущільнення та дренаж.....	21
4.4 Рельєф та мікроклімат	23
4.5 Водоутримуюча здатність органічної речовини	24
4.6 Якість води та солоність.....	24
Розділ 5 – Кліматичні та екологічні фактори	25
5.1 Поняття еталонної евапотранспірації (ЕТо).....	25
5.2 Характеристики опадів та ефективна кількість опадів	25
5.3 Температура, вологість, вітер та їхній вплив на сільськогосподарські культури ...	26
Розділ 6 – Системи зрошення: типи та придатність	28

6.1 Поверхнєве зрошення (борозенне, бордюрне, басейнове)	28
6.2 Дощувальні системи (стаціонарні, з барабаном для шланга, з центральним шарніром).....	28
6.3 Крапельне зрошення (поверхнєве та підповерхнєве)	29
6.4 Характер змочування та вибір системи	30
6.5 Зрошення в закритих ґрунтах (теплиці, тунелі)	30
6.6 Критерії вибору овочевих культур	30
Розділ 7 – Планування зрошення.....	32
7.1 Планування на основі вологості ґрунту	32
7.2 Рослинні індикатори	33
7.3 Планування на основі ETс та водного балансу.....	33
7.4 Інструменти та додатки для підтримки прийняття рішень	34
7.5 Стратегії дефіцитного зрошення в умовах дефіциту води	34
Розділ 8 – Потреба у воді за стадіями росту та системами землеробства	35
8.1 Висадка розсади проти прямого посіву	35
8.2 Виробництво у відкритому ґрунті	35
8.3 Захищене та гідропонне вирощування.....	36
8.4 Сівозміна та багатокультурне землеробство	36
Розділ 9 – Фертигація	38
9.1 Принципи фертигації	38
9.2 Обладнання для ін'єкційного внесення	38
9.3 Потреби в поживних речовинах та графік підживлення овочів.....	39
9.4 Хімічне зрошення – не лише добрива	40
Розділ 10 – Проектування та монтаж системи	42
10.1 Гідравлічні принципи: витрата, тиск, втрати тиску	42
10.2 Насоси, фільтрація та регулювання тиску.....	42
10.3 Розташування труб та відстань між емітерами.....	43
10.4 Порядок монтажу та контроль якості	44
Розділ 11 – Експлуатація та технічне обслуговування.....	45
11.1 Щоденні та щотижневі планові перевірки	45
11.2 Запобігання та усунення засмічень.....	46
11.3 Процедури наприкінці сезону.....	47
11.4 Посібник з усунення несправностей для польових операторів	47
Розділ 12 – Сталий розвиток та кліматично-орієнтоване зрошення	48
12.1 Показники ефективності використання води.....	48

12.2 Мульчування, покривні культури та збереження вологи в ґрунті	49
12.3 Збір дощової води та її зберігання на фермі	49
12.4 Дренаж та управління засоленістю	50
12.5 Адаптація до зміни клімату	50
Розділ 13 – Економічні, регуляторні та політичні аспекти	51
13.1 Аналіз «витрати–вигоди» інвестицій у зрошення.....	51
13.2 Оптимізація енерговитрат та насосного обладнання.....	53
13.3 Водні права, нормативно-правові акти та стандарти якості	53
Додаток А: Приклади розкладу зрошення з розрахунками	54
А.1 Вирощування цибулі під крапельним поливом у Херсонській області.....	54
А.2 Таблиця графіка вирощування капусти (лісостеп, дощувальне зрошення + крапельне зрошення)	54
Додаток Б: Корисні перерахунки та константи.....	55
Додаток С: Глосарій	56
Додаток Д: Корисні контакти та додаткові джерела	57
Д.1 Українські установи	57
Д.2 Міжнародні ресурси.....	58
Д.3 Програмне забезпечення та додатки.....	58
Д.4 Зображення	58
Література	59

Перелік рисунків

Рисунок 1 - Глибина кореневої системи та ріст овочів.....	11
Рисунок 2 - Вода, доступна для рослин (PAW)	21
Рисунок 3 - Як обробіток ґрунту створює ущільнені шари+	22
Рисунок 4 - поглинання води органічною речовиною	23
Рисунок 5 - Борознисте зрошення. Фото: Андрій Ялнаський	28
Рисунок 6 - Півот. Автор: Teltonika	29
Рисунок 7 - Крапельне зрошення. Від Life Aclima	30
Рисунок 8 - Покривна культура: суміш жита та вики, автор: Picasa.....	49
Рисунок 9 - Збір дощової води, автор: Invade Agro Global	50

Перелік таблиць

Таблиця 1 - Навіщо зрошувати овочі в Україні?.....	8
--	---

Таблиця 2 - Типові сезонні потреби овочів для борщу у воді в центральній та південній Україні	9
Таблиця 3 - Як користуватися цим посібником	10
Таблиця 4 - Ефективна глибина вкорінення, архітектура кореневої системи та наслідки для зрошення	12
Таблиця 5 - Порядок величин щоденного поглинання води (мм/день) зрілою культурою за різних погодних умов.....	12
Таблиця 6 - Приблизний розподіл (%) загальної сезонної потреби у воді за етапами росту культур	14
Таблиця 7 - — Видимі симптоми водного стресу в овочевих культурах — від ранніх до пізніх.....	14
Таблиця 8 - Дефекти якості, спричинені проблемами зі зрошенням	14
Таблиця 9 - Рекомендовані потреби у воді для листових овочів	16
Таблиця 10 - Орієнтовні потреби у воді для плодових овочів.....	16
Таблиця 11 - Стадії росту моркви та Кс для кожної стадії (FAO-56).....	17
Таблиця 12 - Стадії росту червоного буряка та значення Кс для кожної стадії (FAO-56, столовий буряк)	17
Таблиця 13 - Стадії росту капусти та рекомендації щодо зрошення.....	18
Таблиця 14 - Значення Кс та ЕТс для різних стадій розвитку цибулі (сорт «Нафіс», дані лізіметра)	18
Таблиця 15 - Референтні потреби бобових культур у воді	19
Таблиця 16 - Текстура ґрунту, швидкість інфільтрації та ємність доступної води	20
Таблиця 17 - Польова вологоємність, точка в'янення та доступна вода за текстурою ґрунту (FAO-56)	21
Таблиця 18 - Вплив ущільнення на ефективну глибину проростання коренів.....	22
Таблиця 19 - Мікрокліматичні фактори та їхній вплив на потребу в зрошенні	23
Таблиця 20 - Стійкість овочів до солоності (зниження врожайності починається при) ..	24
Таблиця 21 - Типові щоденні значення ЕТо для умов півдня України за місяцями	25
Таблиця 22 - Довгострокові середньомісячні норми опадів для репрезентативних овочевих зон України	26
Таблиця 23 - Кліматичні оптимуми та пороги стресу	27
Таблиця 24 - Придатність основних систем зрошення в умовах України	31
Таблиця 25 - Порогові значення тензіометра для зрошення на ґрунтах середньої структури.....	32
Таблиця 26 - Приклад розрахунку тижневого водного балансу для цибулі (стадія формування цибулин; допустиме вичерпання ~25 % від загального обсягу доступної води).....	33
Таблиця 27 - Орієнтовні сезонні водні баланси для овочів при крапельному зрошенні, південь України	35
Таблиця 28 - Залежність врожайності від рівня зрошення (% від врожайності при повному зрошенні).....	36
Таблиця 29 - Критична стадія росту та мінімальний цільовий рівень вологості ґрунту..	37
Таблиця 30 - Порівняння обладнання для введення добрив під час зрошення	39
Таблиця 31 - Загальне сезонне споживання добрив (кг/га при цільовій врожайності)..	40

Таблиця 32 - Орієнтовний графік фертигації (% від загального сезонного азоту) для цибулі, що зберігається, при крапельному зрошенні	40
Таблиця 33 - Вимоги до фільтрації залежно від системи зрошення та джерела води ...	42
Таблиця 34 - Рекомендовані схеми крапельного зрошення для овочів.....	43
Таблиця 35 - Графік планових перевірок системи вирощування овочів із крапельним підживленням	45
Таблиця 36 - Поширені проблеми крапельного зрошення, їхні причини та заходи щодо їх усунення	46
Таблиця 37 - Орієнтовні показники ефективності використання води для систем зрошення овочевих культур	48
Таблиця 38 - Орієнтовні капітальні витрати (євро/га) на системи крапельного зрошення з підживленням	51
Таблиця 39 - Спрощений 5-річний підсумок витрат і вигод від переходу 1 га з борозняного поливу на крапельне зрошення з внесенням добрив	52
Таблиця 40 - Сезонний графік зрошення цибулі, призначеної для зберігання (1 га, Херсон, крапельне зрошення)	54
Таблиця 41 - Водний баланс капусти за десятиліттями, центральна Україна (0,5 га)	54
Таблиця 42 - Поширені перетворення одиниць вимірювання для зрошення	55
Таблиця 43 - Довідкові значення властивостей ґрунту та води.....	55
Таблиця 44 - Визначення термінології з поливу та фертигації, що використовується в цьому посібнику	56

Розділ 1 – Вступ

1.1 Значення зрошення у овочівництві

Вода є найважливішим фактором у вирощуванні овочів. В Україні той самий гектар капусти, який дає $30 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ в умовах богарного землеробства під час посушливого літа, може давати $60\text{--}70 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ при належному зрошенні, без будь-яких інших змін у технології вирощування. Цибуля, морква та червоний буряк демонструють аналогічні результати. У Херсонській степу та прилеглих південних регіонах, де сума опадів з червня по серпень (період максимальної потреби культур у воді) становить у середньому $110\text{--}140 \text{ мм}$, вирощування овочів без додаткового зрошення є технічно можливим, але економічно недоцільним.

Каховська іригаційна система — найбільша в Європі — історично забезпечувала водою приблизно $220\,000 \text{ га}$ сільськогосподарських угідь лише в Херсонській області, що свідчить як про масштаби проблеми зрошення в Україні, так і про давнє усвідомлення того, що організоване зрошення є необхідним. Після пошкодження частин мережі регіональне планування водокористування переорієнтувалося на менші, децентралізовані, високоефективні системи, такі як крапельні та мікродощувальні установки, що експлуатуються на рівні господарств.

Таблиця 1 - Навіщо зрошувати овочі в Україні?

Чинник	Вплив на врожайність
Недостатня кількість опадів влітку у степовій зоні	Загалом $350\text{--}500 \text{ мм/рік}$; лише $\sim 30\text{--}40 \%$ припадає на вегетаційний період
Високе літнє ETo	$5\text{--}7 \text{ мм/день}$ у липні; у більшість днів попит значно перевищує пропозицію
Прогнози щодо зміни клімату	Більш спекотне літо, більша мінливість кількості опадів (сценарії RCP 4.5 / RCP 8.5 показують зростання дефіциту)
Чутливість овочів до стресу	Навіть коротка посуха під час формування головки або цибулини знижує товарний урожай на $20\text{--}60 \%$
Рентабельність овочів	Високодохідні культури окупають інвестиції в зрошення протягом $1\text{--}3$ сезонів

1.2 Огляд потреб овочів у воді

Овочеві культури є фізіологічно та економічно вимогливими до води. Вони здебільшого мають неглибоке коріння, високий індекс листової поверхні у фазі дозрівання та збираються у свіжому вигляді, причому водний режим протягом останніх двох тижнів перед збиранням безпосередньо визначає візуальну якість. Типові сезонні потреби у воді (евапотранспірація, ET_c) для чотирьох овочів, що використовуються для приготування борщу, в умовах України наведено в таблиці 2 нижче.

Таблиця 2 - Типові сезонні потреби овочів для борщу у воді в центральній та південній Україні

Культура	Вегетаційний період (днів)	Сезонна ЕТс (мм)	Критичний період
Цибуля (Allium sera)	110–150	450–550	Утворення цибулин (червень–липень)
Морква (Daucus carota)	120–180	400–500	Потовщення кореня (червень–липень)
Червоний буряк (Beta vulgaris)	90–120	350–500	Збільшення кореня (липень–серпень)
Білокачанна капуста (Brassica oleracea)	120–180	400–550	Формування качанів (липень–серпень)

Ці цифри відображають ЕТс за умов, коли вологи в ґрунті достатньо. Фактична потреба у воді для зрошення (IWR) — це та частина ЕТс, яку не покривають опади та запаси ґрунтової вологи, збільшена для компенсації втрат під час внесення. Таким чином, типовий урожай цибулі на півдні України, за умови ефективною кількості опадів протягом вегетаційного періоду 90 мм та ефективності подачі води 85 %, потребуватиме $(500 - 90) / 0,85 \approx 480$ мм поливної води.

1.3 Цілі та сфера застосування

Цей посібник призначений для українських фермерів та консультантів, які відповідають за вирощування капусти, моркви, буряка та цибулі у малих та середніх комерційних господарствах (0,5–50 га). Його цілі:

- Пояснити, як вода переміщується в системі «ґрунт–рослина–атмосфера», використовуючи термінологію, зрозумілу для нефахівців.
- Надати інформацію щодо потреб у воді на окремих стадіях розвитку, коефіцієнтів культур та порогових значень тензіометра для кожної з чотирьох овочевих культур, що використовуються для приготування борщу.
- Порівняти борознисте, дощувальне та крапельне зрошення з точки зору ефективності, вартості та придатності для українських умов.
- Розробити програми фертигації, що поєднують внесення азоту, фосфору, калію, кальцію, магнію та мікроелементів із подачею води.
- Пояснити, як проектувати, встановлювати, експлуатувати та обслуговувати крапельну систему, а також усувати найпоширеніші несправності.
- Окреслити стратегії збереження води (мульчування, дефіцитне зрошення, збір дощової води), що відповідають умовам південноукраїнського степу.
- Розглянути економічні аспекти зрошення — капітальні витрати, енергоспоживання насосів та термін окупності за типових цінових умов в Україні.

Посібник навмисно написано стисло. Кожен розділ завершується зведеною таблицею, розрахованим прикладом або правилом прийняття рішень, яке користувач може безпосередньо застосувати в польових умовах.

Таблиця 3 - Як користуватися цим посібником

Читач	Найкорисніші розділи
Сільськогосподарський виробник	Розділи 3, 7, 8, 9, 11
Агроном / консультант	Розділи 2, 5, 7, 8, 9
Проектувальник систем зрошення	Розділи 6, 10, 13
Викладач / студент	Усі розділи послідовно
Спеціаліст з питань політики / фінансування	Розділи 12, 13, Бібліографія

Розділ 2 – Фізіологія овочевих рослин та їхні потреби у воді

2.1 Будова та глибина кореневої системи за групами культур

Глибина проникнення коренів овочевих культур визначає об'єм ґрунту, з якого можна черпати воду та поживні речовини, а отже, і максимальний інтервал між поливами, який культура може витримати. Чотири види овочів помітно відрізняються в цьому відношенні: цибуля має найменшу глибину вкорінення серед цієї групи, причому основна маса волокнистих коренів знаходиться у верхніх 25–30 см ґрунтового профілю, тоді як морква має довгий стрижневий корінь, який у глибоких, добре структурованих ґрунтах може сягати 80–100 см. Червоний буряк та капуста займають проміжне положення, маючи ефективну глибину вкорінення приблизно 50–70 см за умови належного догляду.

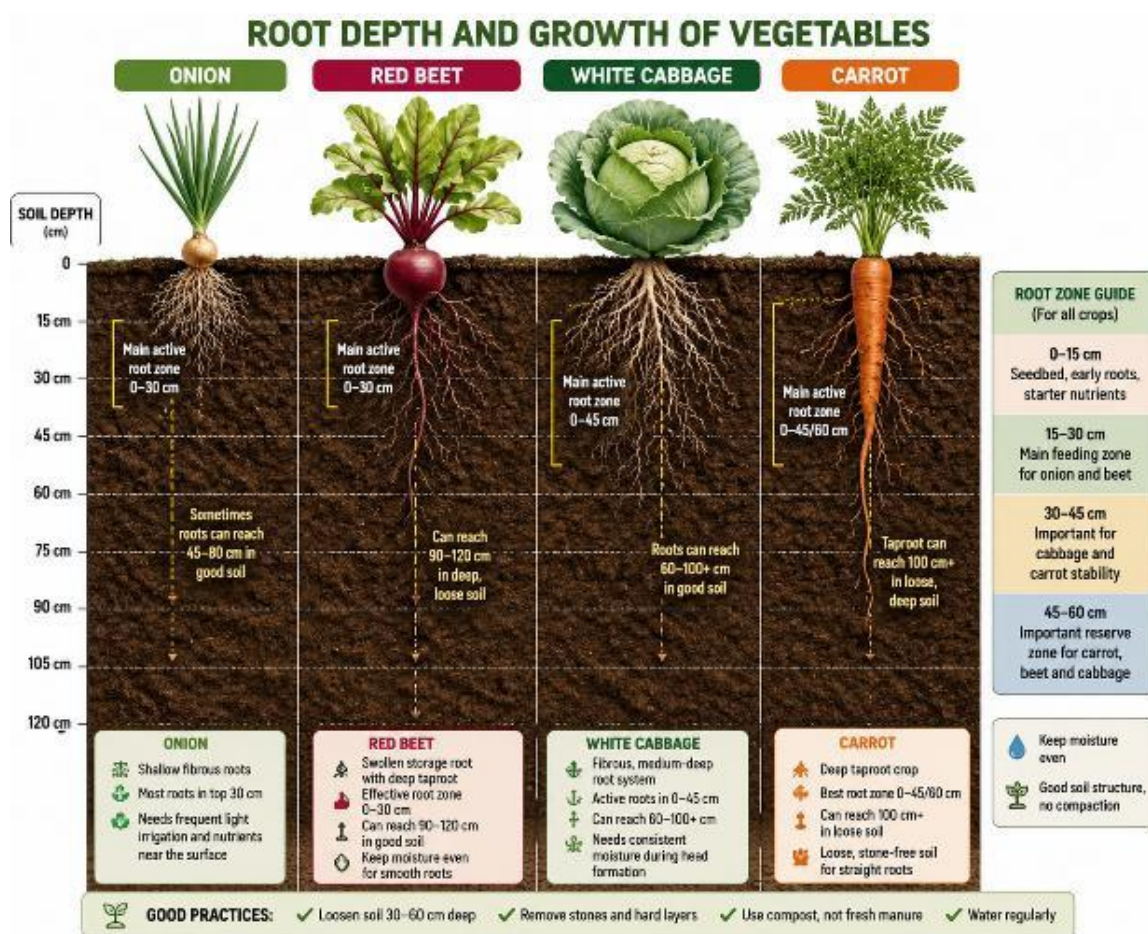


Рисунок 1 - Глибина кореневої системи та ріст овочів

Таблиця 4 - Ефективна глибина вкорінення, архітектура кореневої системи та наслідки для зрошення

Культура	Ефективна глибина кореневої системи (см)	Тип кореневої системи	Наслідки для зрошення
Цибуля	25–45	Неглибоке, волокнисте, розріджене	Потрібно поливати часто і небагато; ніколи не дозволяйте верхньому шару ґрунту пересихати
Капуста	40–60	Розгалужений стрижневий корінь + густі бічні коріння	Помірні інтервали; основна частина води на глибині 0–40 см
Червоний буряк	60–90	Міцний стрижневий корінь, бічні відгалуження	Витримує більш тривалі проміжки; допустиме більш глибоке зволоження
Морква	60–100	Один домінуючий стрижневий корінь	Ґрунт має бути пухким і без каменів; слід уникати розтріскування внаслідок повторного зволоження

2.2 Транспірація та поглинання води

Рослини поглинають воду через коріння і віддають понад 95 % її назад в атмосферу шляхом транспірації. Енергія, що забезпечує транспірацію, походить від сонячного випромінювання, тоді як її інтенсивність регулюється вологістю повітря, швидкістю вітру та відкритістю продихів. Випаровування з ґрунту є другою складовою втрат води з посівного поля. Разом ці дві складові утворюють евапотранспірацію культур (ЕТс) — кількість води, яку необхідно поповнити за допомогою зрошення.

Таблиця 5 - Порядок величин щоденного поглинання води (мм/день) зрілою культурою за різних погодних умов

Рослини	Прохолодний день (T _{max} 18 °C)	Помірний день (24 °C)	Теплий день (30 °C)	Спекотний вітряний день (35 °C)
Цибуля	1,5–2,0	3,0–3,5	4,5–5,0	6,0–7,0
Морква	1,5–2,0	2,5–3,0	4,0–4,5	5,5–6,5
Червоний буряк	1,5–2,0	2,5–3,5	4,0–5,0	5,5–6,5

Білокачанна капуста	1,8–2,2	3,0–4,0	5,0–6,0	7,0–8,0
------------------------	---------	---------	---------	---------

2.3 Критичні стадії росту та потреба у воді

2.3.1 Проростання та укорінення сходів

На початковій стадії потреба у воді є низькою (3–4 мм/день), але поверхня ґрунту має залишатися постійно вологою. Насіння цибулі проростає особливо повільно (10–18 днів при 15 °C) і є дуже чутливим до утворення кірки. Саджанці капусти та червоного буряка витримують короточасне висихання після появи двох справжніх листків, але вологість ґрунту на грядці все одно слід підтримувати на рівні понад 60 % польової вологості.

2.3.2 Вегетативний ріст

Від появи чотирьох справжніх листків і до того моменту, як культура вкриває ґрунт, площа листя швидко збільшується, а потреба у воді зростає з 30 % до 90 % від повної евапотранспірації (ЕТс). Водний стрес на цій стадії зменшує кінцевий урожай більш-менш лінійно: 30-відсотковий дефіцит на цьому етапі зазвичай знижує вагу товарних качанів капусти на 20 % під час збору врожаю.

2.3.3 Цвітіння та запилення

Цибуля, морква, червоний буряк та капуста є дворічними рослинами і зазвичай не цвітуть у комерційному році. Тому управління водними ресурсами в їхньому комерційному циклі зосереджується на вегетативній фазі та фазі формування органів накопичення, а не на цвітінні.

2.3.4 Розвиток цибулини / качана / кореня

Це найчутливіша до води фаза. Для цибулі вона відповідає формуванню цибулини (40–80 днів після пересадки); для капусти — ущільненню качана (40–80 днів після пересадки); для моркви та буряка — збільшенню кореня (30–70 днів після проріджування). Водяний стрес під час цієї фази спричиняє розтріскування, порожнистість серцевини, передчасне стрілкування та невеликий товарний розмір — втрати, які неможливо компенсувати пізніше протягом сезону.

2.3.5 Дозрівання та збирання врожаю

Потреба у воді різко знижується в останні 10–20 днів циклу. Для цибулі зрошення слід припинити приблизно за два тижні до збору врожаю, щоб дати змогу шийці висохнути

для зберігання. Капуста та коренеплоди менш чутливі, але все ж виграють від зменшення поливу в останній тиждень для ущільнення тканин.

Таблиця 6 - Приблизний розподіл (%) загальної сезонної потреби у воді за етапами росту культур

Стадія	Цибуля	Морква	Червоний буряк	Капуста
Посадка	10–20 %	10–15 %	5–10 %	5–15 %
Вегетативний	15–25 %	10–20 %	10–20 %	15–25 %
Утворення цибулини / кореня / головки	30–55 %	25–40 %	20–35 %	30–50 %
Дозрівання	5–15 %	5–15 %	5–10 %	5–15 %

2.4 Водний стрес: симптоми та вплив на врожайність і якість

Раннє виявлення водного стресу — одна з найцінніших навичок роботи в полі, яку може розвинути овочівник. Ознаки стресу стають помітними лише після того, як вже завдано значної шкоди, але щоденна прогулянка по полю, особливо в найспекотніший час доби, дозволяє виявити проблеми, поки їх ще можна виправити.

Таблиця 7 - Видимі симптоми водного стресу в овочевих культурах — від ранніх до пізніх

Культура	Ранні симптоми → пізні симптоми
Цибуля	Синювато-зелене забарвлення кінчиків → висихання кінчиків листя → зменшення розміру цибулин, передчасне формування цибулин
Морква	Потемніння листя, легке в'янення опівдні → тріщин у коренях при повторному зволоженні → роздвоєні або дрібні корені
Червоний буряк	Посилення почервоніння країв листя → в'янення опівдні → кільцеві зони в м'якоті, порожнисте серце
Білокачанна капуста	Зовнішні листки загинаються донизу → в'янення опівдні → розпушені качани, опік верхівки через дефіцит кальцію

Окрім безпосередніх втрат врожаю, водний стрес може погіршувати якість продукції таким чином, що покупець помітить це набагато раніше, ніж агроном. Гниль шийки цибулі, розтріскування моркви, кільцеві зони на буряку та опік кінчиків капусти — це все форми втрати якості, спричинені стресом. Кожна з них має більш-менш прямий зв'язок або з одним серйозним стресовим явищем, або з повторюваними циклами «волого-сухо», і того, і іншого можна уникнути завдяки правильному плануванню зрошення.

Таблиця 8 - Дефекти якості, спричинені проблемами зі зрошенням

Дефект	Культура	Основна причина
Розтріскування / тріщин	Морква, буряк, капуста	Інтенсивний полив після посушливого періоду; раптове зволоження
Пожовтіння кінчиків листя	Капуста	Нерегулярне водопостачання → порушення транспорту кальцію до внутрішніх листків
Стрілкування	Цибуля, буряк, капуста	Стрес від посухи + холодовий шок у фазі сходів
Гниль шийки	Цибуля	Надмірний полив наприкінці вегетаційного періоду; висока вологість під час дозрівання цибулин
Порожнисте серце	Буряк, велика капуста	Швидкий пізній ріст після дефіциту; нестача калію
Недостатній товарний розмір	Усі	Кумулятивний дефіцит під час фази формування запасних органів

Розділ 3 – Групи овочевих культур та їхні специфічні потреби у воді

3.1 Листові овочі

Листові овочі (салат, шпинат, мангольд) характеризуються неглибоким корінням, густим листяним покривом та безперервними циклами збору врожаю. Їхні сезонні потреби у воді є помірними (250–400 мм), але потреба зосереджена у короткому циклі (35–80 днів). Водяний стрес призводить до негайної втрати якості — в'янення листя, гіркоти, передчасного стрілкування. Перевагу надають крапельному зрошенню або зрошенню за допомогою дощувальних установок з малим об'ємом; борозневе зрошення використовується рідко через ризик захворювань на вологому листі.

Таблиця 9 - Рекомендовані потреби у воді для листових овочів

Культура	Сезон (днів)	ЕТс (мм)	Критичний період
Салат	60–90	240–350	Качан
Шпинат	35–60	180–250	Розростання листя
Мангольд	60–100	300–400	Безперервно

3.2 Плодові овочі

До плодових овочів належать помідори, перець, баклажани та огірки. Їхня сезонна потреба у воді є високою (500–800 мм) і припадає переважно на фазу плодоношення. У всьому світі для цих культур переважає система крапельного зрошення з підживленням, яку часто поєднують із пластиковою мульчею та захищеним вирощуванням.

Таблиця 10 - Орієнтовні потреби у воді для плодових овочів

Культура	Сезон (днів)	ЕТс (мм)	Критичний період
Помідор (польовий)	130–180	550–800	Зав'язування та набір плодів
Перець	120–180	500–700	Утворення плодів
Баклажан	130–170	500–700	Цвітіння
Огірок (польовий)	70–110	350–500	Плодоношення

3.3 Коренеплоди та бульбоплоди (морква, червоний буряк)

Морква та червоний буряк — це два коренеплоди. Обидва повільно приживаються, потребують дрібнозернистого, але пухкого ґрунту та добре реагують на постійне водопостачання під час росту коренеплодів. Польські польові випробування, проведені у період 1991–1999 рр. на легких піщаних ґрунтах, показали, що врожайність червоного

буряка при крапельному зрошенні стабілізувалася на рівні понад 20 т·га⁻¹ щороку, тоді як на ділянках без зрошення врожайність становила від 0,87 до 21,4 т·га⁻¹ залежно від кількості опадів. Ці ж дослідження визначили липень як найважливіший місяць для ефективності зрошення.

Залежність між кількістю опадів у липні та приростом врожайності червоного буряка завдяки дощувальному зрошенню, отримана на основі багаторічних польових даних, може бути виражена лінійною моделлю $Q = 1,77 \times (190 - P)$, де Q — приріст врожайності в т·га⁻¹, а P — фактична кількість опадів у липні–серпні в мм. Порівнянні польські регресійні рівняння для моркви ($Q = 2,94 \times (242 - P)$) та селери кореневої ($Q = 1,77 \times (190 - P)$) підтверджують, що темп приросту врожайності на 1 мм зрошення є найвищим у моркви, середнім — у буряка, а найнижчим — у капусти.

Таблиця 11 - Стадії росту моркви та K_s для кожної стадії (FAO-56)

Стадія	Тривалість (днів)	K_s	Щоденна ET_c (мм)	Накопичена ET_c (мм)
Початкова	20–30	0,7	1,5–2,5	30–50
Розвиток	30–50	0,7–1,05	2,5–4,5	100–200
Середина сезону	30–60	1,05	4,5–6,0	220–340
Пізня	20–30	0,95	3,0–4,0	70–110
Разом	100–170	—	—	420–700

Джерело: Документ FAO № 56 «Зрошення та дренаж» (Allen et al. 1998).

Таблиця 12 - Стадії росту червоного буряка та значення K_s для кожної стадії (FAO-56, столовий буряк)

Стадія	Тривалість (днів)	K_s	Щоденна ET_c (мм)	Накопичена ET_c (мм)
Початкова	15–25	0,5	1,0–2,0	20–40
Розвиток	25–35	0,5–1,05	2,5–4,5	90–160
Середина сезону	20–40	1,05	4,5–6,0	150–260
Пізня	10–20	0,95	3,0–4,0	40–80
Разом	70–120	—	—	300–540

3.4 Капустяні (білокачанна капуста)

Білокачанна капуста є основною культурою роду капустяних в українському овочівництві. Польові експерименти в Індії з сортом капусти С-139 протягом трьох послідовних сезонів показали, що крапельне зрошення, розраховане на 80 % ET_c , що застосовувалося раз на два дні, давало найкраще поєднання врожайності (до 70 т·га⁻¹)

та ефективності використання води. Крапельні системи також дозволили заощадити 30–40 % добрив порівняно з поверхневим зрошенням, одночасно покращивши якість продукції та зменшивши накопичення солей у кореневій зоні.

Таблиця 13 - Стадії росту капусти та рекомендації щодо зрошення

Стадія	Дні	Кс	Примітка щодо зрошення
Укорінення	0–20	0,7	Підтримуйте вологість кореневої кульки пересадженої рослини; щоденний помірний полив
Початок формування головки	20–50	0,85–1,0	Збільшуйте частоту; ніколи не допускайте стресу
Ущільнення качана	50–90	1,05	Піковий попит 5–6 мм/день; не пропускайте
Дозрівання	90–120	0,95	Зменшуйте поступово; сприяє збереженню

3.5 Цибулеві (цибуля)

Цибуля є найбільш вимогливою до зрошення серед культур, що використовуються для приготування борщу. Її неглибока коренева система, тонке листя та висока чутливість товарної врожайності до вологого натягу ґрунту роблять точне управління зрошенням надзвичайно важливим. Дослідження, проведені в Трежер-Веллі (штат Орегон, США) протягом більше ніж двох десятиліть, показали, що цибуля, яка зрошується крапельним способом, дає цибулини максимального розміру та приносить найбільший прибуток, коли вологовий потенціал ґрунту на глибині 20 см у суглинково-глинистому ґрунті підтримується на рівні близько 20 кПа (cb). Більш вологі умови сприяють розвитку хвороб під час зберігання; більш сухі умови зменшують розмір цибулин.

У напівпосушливих умовах Єфіопії вимірювання лізіметром сорту цибулі «Нафіс» показали сезонну ЕТс на рівні 460 мм із значеннями Кс для окремих стадій розвитку — 0,68 / 0,89 / 1,03 / 0,86 відповідно для початкової стадії, стадії « », середини сезону та кінця сезону. Ці значення є корисними орієнтирами для українських умов, хоча рекомендується провести їх локальну валідацію.

Таблиця 14 - Значення Кс та ЕТс для різних стадій розвитку цибулі (сорт «Нафіс», дані лізіметра)

Стадія	Дні після пересадки	Кс	Щоденний ЕТс (мм/день)	Загальна сума за стадією (мм)
Початкова	1–25	0,68	3,12	78
Розвиток	25–55	0,89	4,19	126

Середина сезону (цибулини)	55–85	1,03	4,81	144
Пізній сезон	85–110	0,86	3,84	96
Весь сезон	1–110	—	—	460

Практичний висновок: в умовах України в середині літа **цибуля потребує поливу кожні 1–3 дні за допомогою крапельних систем**, причому під час кожного поливу слід подавати 5–15 мм води. Тривалі та нечасті поливи є неприйнятними.

3.6 Бобові

Бобові (квасоля, горох) включаються до овочевих сівозмін як через їхню безпосередню цінність, так і через їхній внесок у фіксацію азоту для наступної культури. Сезонна ETc є помірною (300–500 мм). Критичними періодами є цвітіння та набивання стручків; водний стрес на цих стадіях є головною причиною втрати врожаю. Крапельне зрошення є ідеальним, оскільки воно дозволяє утримувати листя сухим і зменшує ризик розвитку хвороб листя, таких як іржа квасолі та борошниста роса.

Таблиця 15 - Референтні потреби бобових культур у воді

Культура	Сезон (днів)	ETc (мм)	Критичний період
Суха квасоля	90–130	300–500	Цвітіння, набір бобів
Стручкова квасоля	60–90	250–400	Цвітіння, набір бобів
Горох садовий	65–100	300–450	Цвітіння

Розділ 4 – Вимоги до ґрунту та місця вирощування

4.1 Текстура ґрунту та водоутримуюча здатність

Текстура ґрунту — співвідношення піску, мулу та глини — визначає, скільки води може утримувати ґрунт і наскільки легко ця вода надходить до рослин. Піщані ґрунти утримують мало води й швидко висихають; глинисті ґрунти утримують багато води, але можуть перезволожуватися, і їх важко рівномірно зволожити. Середньозернисті суглинки та суглинки центральної України та чорноземи лісостепу є ідеальними ґрунтами для вирощування овочів.

Таблиця 16 - Текстура ґрунту, швидкість інфільтрації та ємність доступної води

Текстура	Інфільтрація (мм/год)	AWC (мм/м)	Примітки
Грубий пісок	20–25	50–80	Потрібен частий помірний полив
Дрібний пісок	12–18	80–120	Вносити 10–15 мм за один полив
Піщано-суглинистий ґрунт	8–12	120–150	Хороший ґрунт для вирощування овочів за умови належного догляду
Глинисто-мулистий ґрунт	5–10	140–190	Ідеально підходить для овочів для борщу
Глинистий суглинок	3–8	160–220	Ризик перезволоження; важко просочується на глибину
Глина	1–4	190–260	Довгі інтервали; уникати для чутливих культур

4.2 Польова вологоємність, точка в'янення та доступна вода

Після ретельного зволоження ґрунту гравітаційний дренаж очищає найбільші пори протягом від кількох годин (у піщаних ґрунтах) до кількох днів (у глинистих ґрунтах). Вміст води, при якому гравітаційний дренаж фактично припиняється, називається польовою вологоємністю (FC). Вміст води, при якому культура більше не може поглинати воду і остаточно в'яне, називається точкою постійного в'янення (PWP). Різниця між цими двома показниками становить воду, доступну для рослин (PAW).

Загальна кількість доступної води (TAW) у кореневій зоні розраховується шляхом множення PAW на ефективну глибину вкорінення. Для капусти, вирощуваної на суглинисто-мулистому ґрунті з PAW = 16 % за об'ємом та кореневою зоною глибиною 50

см, $TAW = 0,16 \times 500 \text{ мм} = 80 \text{ мм}$. З цієї кількості до поливу слід допустити вичерпання лише легкодоступної фракції (зазвичай 40–55 %); для коефіцієнта вичерпання $p = 0,5$ легкодоступна вода (RAW) становить 40 мм — це максимально допустиме вичерпання між двома поливами.

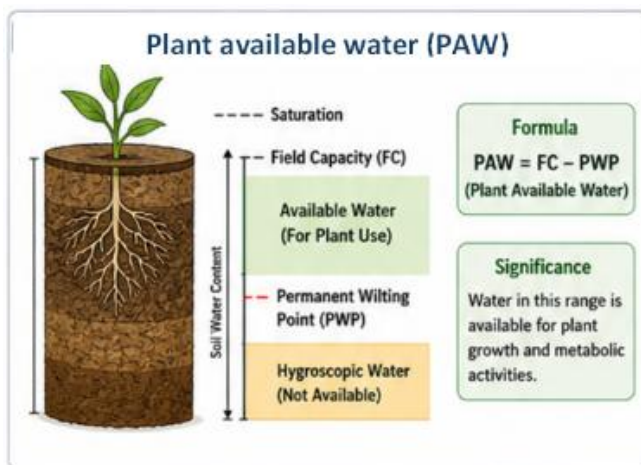


Рисунок 2 - Вода, доступна для рослин (PAW)

Таблиця 17 - Польова вологоємність, точка в'янення та доступна вода за текстурою ґрунту (FAO-56)

Текстура	FC (% об.)	PWP (% об.)	PAW (% об.)	PAW (мм/м)
Пісок	10	4	6	60
Супіщаний ґрунт	14	6	8	80
Піщано-суглинистий ґрунт	18	8	10	100
Суглинок	26	10	16	160
Глинистий суглинок	31	13	18	180
Глинистий суглинок	38	18	20	200
Глина	42	22	20	200

Приклад з розрахунками: Цибуля, що вирощується на супісках ($PAW = 100 \text{ мм/м}$), має ефективну глибину вкорінення 30 см; отже, $TAW = 30 \text{ мм}$. Рекомендований коефіцієнт виснаження (p) для овочів з неглибоким корінням становить 0,30, тому $RAW = 9 \text{ мм}$. Культуру необхідно поливати, коли сумарна ET_c з моменту останнього поливу досягне приблизно 9 мм — що при піковій ET_c 5 мм/день означає полив кожні два дні.

4.3 Глибина ґрунту, ущільнення та дренаж

Глибокий, неущільнений ґрунт — це найдешевша з можливих інвестицій у зрошення. У польсько-українському порівнянні Херсонської та Куявсько-Поморської областей було зазначено, що навіть за однакової номінальної кількості опадів характеристики ґрунту визначають верхню межу врожайності: чорноземи з глибокими гумусовими

горизонтами містять утричі більше води, доступної для рослин, ніж піщані підзоли, і тому для вирощування тієї самої культури потребують утричі менше поливів.

Операції з обробки ґрунту створюють ущільнені шари на глибині дії знаряддя — зазвичай 25–30 см на полях капусти та буряка, оброблених відвальним плугом, або 15–20 см на грядках цибулі, оброблених роторним культиватором. Плита ущільнення зменшує ефективну глибину проростання коренів, збільшує стікання води та змушує культуру покладатися на поверхнєве зрошення. Глибоке розпушування кожні 3–5 років відновлює глибину проростання коренів, особливо на суглинисто-глинистих ґрунтах.

Таблиця 18 - Вплив ущільнення на ефективну глибину проростання коренів

Культура	Втрата глибини кореневої системи (см)	Зниження врожайності
Цибуля	5–10	5–15 %
Капуста	10–15	15–25 %
Червоний буряк	15–25	20–35 %
Морква	20–30	30–50 % (розгалуження коренів, розтріскування)

Дренаж — це часто забута складова управління зрошенням. Овочі для борщу витримують перезволоження ґрунту лише 2–5 днів, після чого починається відмирання коренів і зростає захворюваність. Поверхневий дренаж слід забезпечувати за допомогою мінімального ухилу поля (0,1–0,3 %) та утримання дренажних борозен вільними від рослинності. На важких суглинистих ґрунтах може знадобитися підземний дренаж за допомогою дренажних труб.

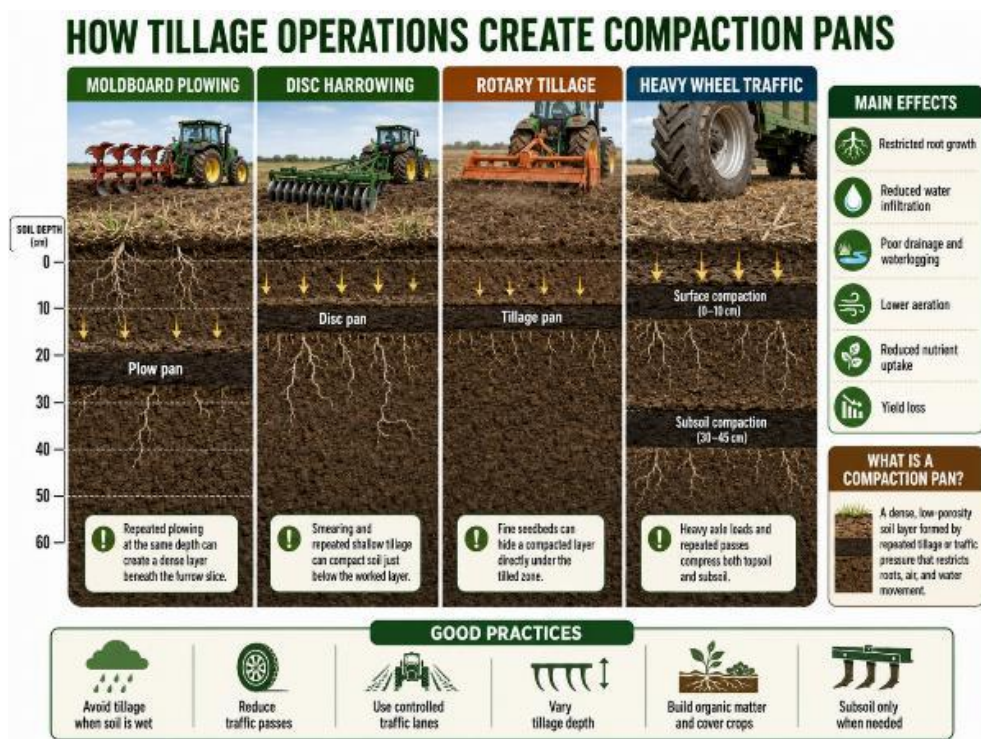


Рисунок 3 - Як обробіток ґрунту створює ущільнені шари

4.4 Рельєф та мікроклімат

На території одного господарства коливання мікроклімату часто бувають такими ж значними, як і відмінності між агрокліматичними зонами. Схили, орієнтовані на північ, прохолодніші та вологіші; схили, орієнтовані на південь, тепліші, сухіші та накопичують більше Етс (пояснено в розділі 5). Вітрозахисні смуги (які на фермах Української степу зазвичай складаються з робінії, ясена або тополі) зменшують ЕТо (пояснено в розділі 5) на 10–20 % у захищеній зоні на відстані, що становить до 10–15 висот дерев.

На рівних полях з дуже однорідним ґрунтом одна зона зрошення може обслуговувати всю площу. На полях з перепадами висот та на полях із змішаними піщаними й мулистими ділянками — що характерно для багатьох районів Херсонської області — поле слід розділити на 2–4 зони зрошення, кожну з яких слід планувати окремо. Витрати на таке поділення є незначними (додаткові клапани та відгалуження), але вигода від води та врожаю може становити 15–25 %.



Рисунок 4 - поглинання води органічною речовиною

Таблиця 19 - Мікрокліматичні фактори та їхній вплив на потребу в зрошенні

Фактор	Напрямок впливу на Етс	Практичні заходи
Схил, орієнтований на південь	від +10 до +20 %	Більша глибина зрошення; слід розглянути можливість використання мульчі
Схил, орієнтований на північ	–5—–15 %	Знижена потреба; слідкуйте за появою хвороб
Захист лісосмугою	від –10 до –20 %	Зменшіть полив у підвітряній зоні
Морозні ями / улоговини	Прохолодна, тривала роса	Ризик захворювань наприкінці сезону; зменшення зволоження
Відкрите поле	+10—+20 %	Встановити вітрозахист або застосовувати

		зрошення під кронами дерев
--	--	----------------------------

4.5 Водоутримуюча здатність органічної речовини

Органічна речовина покращує здатність ґрунту утримувати воду. Коли вміст органічної речовини у верхньому шарі ґрунту товщиною 30 см збільшується на 1 %, ґрунт може накопичувати значну кількість додаткової води на гектар. Точна кількість залежить від типу ґрунту та його об'ємної щільності.

Загалом, ґрунти з вищою об'ємною щільністю можуть утримувати більше додаткової води на кожне 1% збільшення вмісту органічної речовини. Наприклад, легкий піщаний ґрунт з об'ємною щільністю близько 1,6 т/м³ може утримувати приблизно 240 000 літрів додаткової води на гектар, що дорівнює 24,0 мм води. Піщано-суглинистий ґрунт може утримувати близько 225 000 літрів на гектар, або 22,5 мм. Суглинок може утримувати близько 210 000 літрів на гектар, що дорівнює 21,0 мм. Глинистий ґрунт може утримувати близько 195 000 літрів на гектар, або 19,5 мм. Торф'яні або органічні ґрунти з низькою об'ємною щільністю можуть утримувати близько 105 000 літрів на гектар, що дорівнює 10,5 мм.

Корисно знати, що 1 мм води на 1 гектарі дорівнює 10 000 літрів на гектар. Ці значення є типовими оцінками і можуть варіюватися залежно від польових умов, структури ґрунту, ущільнення, глибини проникнення коренів та якості органічної речовини.

4.6 Якість води та солоність

Вода для зрошення на півдні України зазвичай береться з річок Дніпро, Інгулець або Південний Буг, із свердловин підземних вод або з господарських водосховищ. Кожне джерело має свій профіль солевого та осадового складу. Досвід Каховської системи показав, що навіть переважно прісна річкова вода може стати непридатною під час літніх періодів низького стоку, коли електропровідність (ЕС) зростає з 0,4 до 1,2 дС/м. Тому довгостроковий моніторинг є надзвичайно важливим.

Таблиця 20 - Стійкість овочів до солоності (зниження врожайності починається при)

Культура	Порогове значення ЕСе (дС/м)	50 % втрат при (дС/м)	Клас толерантності
Цибуля	1,2	4,3	Чутлива
Морква	1,0	4,6	Чутливий
Капуста	1,8	7,0	Помірно чутлива
Червоний буряк	4,0	11,5	Помірно толерантна

Український державний стандарт ДСТУ 2730:2015 («Якість природних вод для зрошення. Агрономічні критерії») визначає чотири класи якості води для сільськогосподарського використання і є обов'язковим еталоном для оцінки зрошувальних вод в Україні.

Розділ 5 – Кліматичні та екологічні фактори

Клімат є найважливішим чинником, що визначає потребу рослин у воді. Дві культури, що вирощуються на однакових ґрунтах з однаковим зрошувальним обладнанням, можуть потребувати дуже різних обсягів води в різні пори року — або в різних агрокліматичних зонах України — просто через відмінності в сонячній радіації, температурі повітря, дефіциті тиску пари, швидкості вітру, а також у часі та кількості опадів. У цьому розділі представлено кліматичні поняття, що лежать в основі будь-якого раціонального планування зрошення.

5.1 Поняття еталонної евапотранспірації (ЕТо)

Еталонна евапотранспірація (ЕТо) — це швидкість втрати води з гіпотетичної, добре зрошеної поверхні трави холодного сезону висотою 0,12 м, що виражається в мм на добу. Вона залежить лише від метеорологічних змінних — а не від культури чи ґрунту — саме це робить її корисним орієнтиром для планування зрошення.

Рівняння Пенмана–Монтейта ФАО (FAO-56) є міжнародним стандартом для розрахунку ЕТо на основі щоденної температури повітря, вологості, швидкості вітру та сонячної радіації. У випадках, коли повні метеорологічні дані недоступні, простіші методи, такі як метод Харгрівза (який використовує лише мінімальну та максимальну температуру й позаземну радіацію), є прийнятною альтернативою.

Таблиця 21 - Типові щоденні значення ЕТо для умов півдня України за місяцями

Місяць	Tmax (°C)	Tmin (°C)	RHmean (%)	Швидкість вітру (м/с)	ЕТо (мм/день)	Місячний ЕТо (мм)
Квітень	14	5	65	3,2	2,5	75
травень	21	10	60	3,0	4,0	124
червень	26	14	60	2,8	5,2	156
липень	29	16	55	2,7	6,0	186
серпень	28	15	55	2,5	5,4	167
вересень	22	10	60	2,6	3,5	105
жовтень	14	5	70	2,8	1,8	56

Джерело: на основі середніх кліматичних показників Херсонської області; значення є орієнтовними і повинні бути замінені місцевими метеорологічними даними, якщо такі є.

5.2 Характеристики опадів та ефективна кількість опадів

Річна кількість опадів в українських регіонах овочівництва коливається від приблизно 700 мм у західній лісовій зоні до 350–450 мм у південній степовій зоні (Херсонська, Миколаївська, Одеська, Запорізька області). Частка опадів, що припадає на вегетаційний період (квітень–вересень), зазвичай становить 55–65 % від річної кількості опадів.

Не вся кількість опадів стає доступною для сільськогосподарських культур. Ефективні опади — частка, яка просочується в ґрунт і накопичується в кореневій зоні — зменшуються внаслідок поверхневого стоку, дренажу нижче кореневої зони та повторного випаровування затриманої води. Для планування зрошення на півдні України зазвичай використовують коефіцієнт ефективності 0,7–0,8 для опадів інтенсивністю 10–25 мм; слід вважати, що дуже невеликі опади (<5 мм) та дуже сильні опади (>40 мм за добу) майже або зовсім не надходять у кореневу зону.

Таблиця 22 - Довгострокові середньомісячні норми опадів для репрезентативних овочевих зон України

Зона (приклад області)	Квітень (мм)	Травень (мм)	Червень (мм)	Лип (мм)	Серпень (мм)	Вересень (мм)
Полісся / Ліс (Волинь)	40	55	75	90	65	55
Лісостеп (Київ)	35	50	65	70	55	45
Північна степ (Дніпро)	30	40	55	50	40	35
Південна степ (Херсон)	25	35	45	35	30	25
Причорноморське узбережжя (Одеса)	28	32	40	30	25	30

5.3 Температура, вологість, вітер та їхній вплив на сільськогосподарські культури

Температура визначає швидкість розвитку сільськогосподарських культур через накопичені суми активних температур (GDD), а також впливає на транспірацію завдяки своєму сильному впливу на тиск насичених парів у повітрі. Кожна овочева культура має порогову температуру, нижче якої розвиток фактично зупиняється (близько 4 °C для цибулі, моркви та капусти; 5 °C для буряка), та температурний оптимум (18–24 °C), вище якого тепловий стрес починає знижувати врожайність та якість.

Вологість повітря, що виражається як відносна вологість або, що є більш корисним для зрошення, як дефіцит тиску пари (VPD), визначає, наскільки інтенсивно атмосфера витягує воду з листя. У сухих, часто вітряних степових післяобідніх годинах на півдні України VPD може перевищувати 3,5 кПа, що подвоює транспірацію порівняно з вологим ранком при тій самій температурі повітря.

Вітер посилює цю потребу, замінюючи вологий прикордонний шар навколо кожного листка сухішим навколишнім повітрям. Вітрозахисні смуги з тополі, верби або кукурудзи зменшують швидкість вітру в підвітряній зоні на 30–50 % на відстані 10 Н (десятикратній висоті вітрозахисту) і можуть знизити сезонну евапотранспірацію (ET) на 5–15 %,

причому найбільша економія досягається в посушливі дні, коли зрошення є найдорощим.

Таблиця 23 - Кліматичні оптимуми та пороги стресу

Культура	Tbase (°C)	TOpt вдень (°C)	TOpt вночі (°C)	Максимальна допустима температура (°C)	Примітки
Цибуля (цибулина)	4	20–24	10–15	32	Початок формування цибулини зумовлений тривалістю світлового дня та температурою; висока температура під час формування цибулини зменшує її розмір
Морква	4	18–22	12–16	30	Високі температури призводять до погіршення забарвлення та розгалуження коренів
Червоний буряк	5	18–22	10–14	30	Спека + посуха = появилися білі кільця на коренях
Білокачанна капуста	4	16–22	10–14	28	Нагрівання під час формування качанів призводить до утворення пухких, тріснутих качанів

Джерело: складено на основі рекомендацій ФАО з екології сільськогосподарських культур та регіональних агрономічних рекомендацій України

Розділ 6 – Системи зрошення: типи та придатність

Вибір системи зрошення визначає ефективність використання води, енерговитрати, потреби в робочій силі, придатність господарства до фертигації та, зрештою, товарний урожай на кубічний метр використаної води. У цьому розділі описано системи, що регулярно використовуються на українських овочевих господарствах, та наведено критерії вибору для різних культур.

6.1 Поверхневе зрошення (борозенне, бордюрне, басейнове)

Поверхнєве зрошення забезпечує переміщення води по полю під дією сили тяжіння. Борозне зрошення — домінуючий метод поверхневого зрошення на українських овочевих полях, обладнаних за системою Каховки та іншими системами, — подає воду через невеликі канали між рядами культур. Капітальні витрати є низькими, але ефективність подачі води на поле рідко перевищує 50–60 %; решта втрачається через глибоке просочування на початку борозни та стікання на її кінці. Борознисте зрошення погано підходить для фертигації, оскільки розподіл поживних речовин уздовж каналу є нерівномірним, а значна частина розчинного азоту вимивається нижче кореневої зони.



Рисунок 5 - Борознисте зрошення. Фото: Андрій Ялнаський

6.2 Дощувальні системи (стаціонарні, з барабаном для шланга, з центральним шарніром)

Дощувальні системи розпилюють воду під тиском у повітрі, імітуючи дощ. Вони універсальні, працюють на нерівній місцевості, охолоджують посіви у спекотні дні, а також можуть використовуватися для захисту від заморозків. Ефективність подачі

зазвичай становить 70–80 % за безвітряних умов, але знижується до 50–60 % при швидкості вітру понад 4 м/с, що є типовим для південного степу.

Серед польового дощувального обладнання в Україні переважають шлангові дощувальні установки та дощувальні системи з центральним шарніром. Дощувальні системи з центральним шарніром зрошують великі кругові ділянки (40–130 га) з мінімальними трудовитратами, але вимагають рівномірних, квадратних або майже квадратних полів. Шлангові дощувальні установки є гнучкими та недорогими, але трудомісткими. Стаціонарні системи з навісними мікродощувачами поширені в розсадниках та на невеликих захищених ділянках.

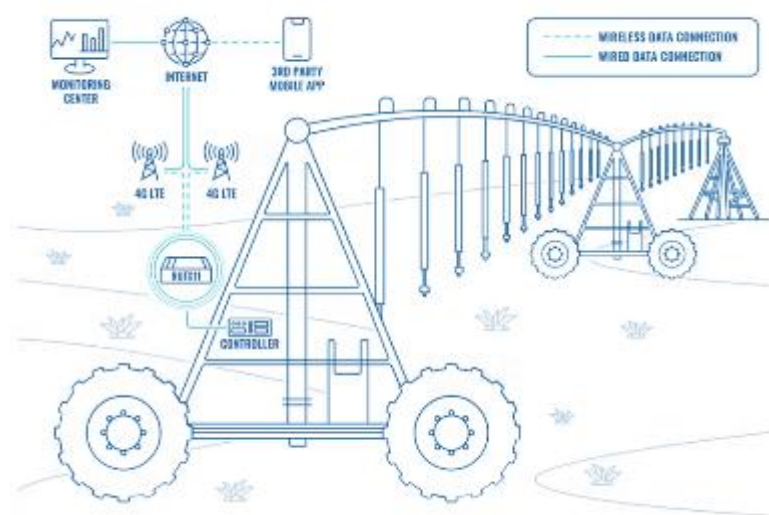


Рисунок 6 - Півом. Автор: Teltonika

6.3 Крапельне зрошення (поверхневе та підповерхневе)

Крапельне зрошення подає воду під низьким тиском (0,5–2,0 бар) безпосередньо до кореневої зони через емітери, розташовані вздовж бічних трубопроводів, прокладених на поверхні ґрунту або закопаних у землю (підповерхневе крапельне зрошення, SDI). Ефективність застосування на полі досягає 90–95 % за умови належного управління. Крапельне зрошення ідеально підходить для фертигації: розподіл поживних речовин визначається рівномірністю подачі з крапельниць, яка в сучасних системах з компенсацією тиску перевищує 95 %.

Поверхневе крапельне зрошення з використанням одноразової стрічки, розрахованої на один сезон, є домінуючим вибором для прямого посіву моркви, буряка та цибулі в Україні; багатосезонна крапельна лінія (товщина стінки 1,0–1,2 мм, термін експлуатації 6–10 років) використовується для пересадженої капусти та цибулі на більш постійних овочевих ділянках. Поверхневе крапельне зрошення (SDI) стає дедалі поширенішим там, де пошкодження поверхневих відгалужень гризунами та ультрафіолетом є постійною проблемою.



Рисунок 7 - Крапельне зрошення. Від Life Aclima

6.4 Характер змочування та вибір системи

Характер зволоження, що створюється крапельним емітером у польових умовах, залежить від текстури ґрунту, витрати емітера, а також тривалості та частоти поливу. На піщаних ґрунтах зона зволоження, як правило, вузька й глибока (високе співвідношення вертикального та поперечного розмірів); на суглинистих ґрунтах вона поширюється вбік і є не такою глибокою. Для капусти з широким міжряддям ($0,5 \times 0,6$ м) відстань між крапельницями $0,4\text{--}0,6$ м забезпечує хороше перекриття; для моркви та буряка з вузькими міжряддями стандартом є відстань $0,2\text{--}0,3$ м з однією крапельною лінією на дворядкову грядку. Цибуля, з її щільним розміщенням рослин і неглибоким корінням, вимагає найменшого відстані між крапельницями з усіх культур ($0,15\text{--}0,25$ м).

6.5 Зрошення в закритих ґрунтах (теплиці, тунелі)

У теплицях та високих тунелях стандартом є крапельне зрошення в поєднанні з фертигацією. Для вирощування на субстраті (торф'яні мішки, кокосове волокно, мінеральна вата) у розсадниках та для високоцінних салатних культур використовують дрібне крапельне зрошення з крапельницями продуктивністю 1 л/год та окремими кілочками біля кожної рослини. Рециркуляційні безґрунтові системи (NFT, припливно-відпливна система) застосовуються для мікрозелені та цибулі-батуну. Щоденний обсяг поливу під укриттям зазвичай становить $1,2\text{--}1,5 \times \text{ETc}$ у відкритому ґрунті протягом найтепліших місяців через вищі денні температури.

6.6 Критерії вибору овочевих культур

Вибір між поверхневим, дощувальним та крапельним зрошенням рідко є бінарним. Багато українських господарств використовують гібридні системи: до появи третього

справжнього листка цибулю, висіяну безпосередньо в ґрунт, зрошують дощовим способом, а потім переходять на крапельне зрошення; або застосовують виключно дощове зрошення для капусти на рівних ділянках, де крапельне зрошення може бути пошкоджене під час механізованого збору врожаю. Критерії вибору включають якість та кількість води, структуру ґрунту, форму поля, доступність енергії, наявну робочу силу та вартість культури. У наведеному нижче підсумку показано придатність кожної системи для вирощування овочів в Україні.

Таблиця 24 - Придатність основних систем зрошення в умовах України

Критерій	Борозна	Дощувальне (центрообертове)	Крапельне (поверхневе)	SDI
Ефективність внесення (%)	50–60	70–80 (без вітру)	90–95	90–95
Чутливість до вітру	Низька	Висока (>4 м/с)	Відсутня	Відсутня
Придатність для фертигації	Низька	Помірна	Відмінна	Відмінна
Капітальні витрати (євро/га)	500–1 500	2 500–4 000	6 000–10 000	8 000–12 000
Потреба в робочій силі	Висока	Низька	Помірна	Низька
Найбільш підходящі культури	Капуста на рівній місцевості	Капуста; цибуля, що росте в прохолодних умовах	Цибуля, морква, буряк	Капуста на багаторічних ділянках

Розділ 7 – Планування зрошення

Планування зрошення відповідає на два питання: коли проводити зрошення та скільки води подавати. У українському овочівництві зазвичай використовують три відомі підходи: на основі вологості ґрунту (тензіометри та електронні датчики), на основі стану рослин (візуальне спостереження, температура листяного покриву) та на основі ЕТс (щоденний водний баланс на основі метеорологічних даних). Найбільш надійні графіки поєднують елементи всіх трьох підходів.

7.1 Планування на основі вологості ґрунту

Тензіометри вимірюють матричний потенціал ґрунту (силу всмоктування, з якою вода утримується ґрунтом) у центибарах (cb) або кілопаскалях (кПа). Для овочів для борщу на ґрунтах середньої структури полив зазвичай запускається, коли показники тензіометра на глибині 30 см досягають 30–40 cb (цибуля: 20–25 cb; морква, буряк, капуста: 30–40 cb). Тензіометри недорогі, надійні та дають змогу інтерпретувати результати на місці, але вони потребують щоденної перевірки та доливання рідини, а також перестають показувати достовірні значення при значенні понад 80 cb.

Датчики ємнісного типу та датчики рефлектметрії у частотній області (FDR) вимірюють об'ємний вміст води безпосередньо та безперервно; сучасні бездротові моделі надсилають дані на смартфон кожні 15 хвилин. Зонди рефлектметрії у часовій області (TDR) забезпечують ще вищу точність і є еталонним інструментом для наукових досліджень, але коштують дорожче. Для діючого сільськогосподарського господарства два тензіометри на кожну зону управління (один на глибині 15 см, інший — на глибині 30 см) забезпечують достатню інформацію для планування за десяту частину ціни електронної системи.

Таблиця 25 - Порогові значення тензіометра для зрошення на ґрунтах середньої структури

Культура	Глибина датчика (см)	Поріг спрацьовування (cb)	Цільовий рівень поповнення (cb)	Коментар
Цибуля (цибулинна)	15	20	5–8	Коріння неглибоке, рідке; ніколи не допускайте пересихання
Морква	30	35	10	Витримує невелике висихання після закриття листяного покриву

Червоний буряк	30	40	10	Найбільш посухостійкий із чотирьох; не слід надмірно поливати
Білокачанна капуста (утворення качанів)	30	30	10	Уникайте як стресу, так і перезволоження

7.2 Рослинні індикатори

Самі сільськогосподарські культури подають ранні сигнали про водний стрес, які досвідчений фермер навчився розпізнавати. Незначне потемніння кольору листя, втрата тургору листя в другій половині дня (з швидким відновленням протягом ночі) та часткове закриття продихів, що проявляється у вигляді тьмянішої поверхні листя, є ранніми ознаками. Постійне в'янення, скручування листя та сріблясте забарвлення зовнішніх листків капусти свідчать про сильний стрес, який уже призвів до втрати врожаю. Інфраревоні термометри для листя, які вимірюють температуру листя відносно температури повітря, є кількісним варіантом того самого підходу: якщо у безхмарний день температура листя на 2–3 °C вища за температуру повітря, це свідчить про закриття продихів і необхідність поливу.

7.3 Планування на основі ETc та водного балансу

У цьому підході щоденну потребу у воді розраховують за **формулою** $ET_c = K_c \times ET_o$, де ET_o — еталонна евапотранспірація (розділ 5.1), а K_c — коефіцієнт культури (розділи 2.3, 3, 8). Потім підтримується простий щоденний баланс ґрунтової вологи: $SWD(\text{сьогодні}) = SWD(\text{вчора}) + ET_c - \text{ефективна кількість опадів} - \text{полив}$, де SWD — дефіцит ґрунтової вологи, у мм, відносно польової вологості. Полив планується, коли SWD досягає допустимого рівня вичерпання (зазвичай 0,30–0,50 від загального обсягу доступної води, залежно від культури та стадії розвитку).

Таблиця 26 - Приклад розрахунку тижневого водного балансу для цибулі (стадія формування цибулин; допустиме вичерпання ~25 % від загального обсягу доступної води)

День	ET _o (мм)	K _c	ET _c (мм)	Опади (мм)	Зрошення (мм)	Сумарна кількість опадів (мм)
Понеділок	6,1	1,05	6,4	0	0	6,4
Вівторок	6,4	1,05	6,7	0	0	13,1
Середа	5,8	1,05	6,1	0	12	7,2
Четвер	6,2	1,05	6,5	5	0	8,7

П'ятниця	6,0	1,05	6,3	0	0	15,0
Субота	5,5	1,05	5,8	0	12	8,8
Неділя	5,0	1,05	5,3	0	0	14,1

Зрошення запускається, коли $SWD \geq 12$ мм. Цибуля на суглинисто-мулистому ґрунті, стадія формування цибулин

7.4 Інструменти та додатки для підтримки прийняття рішень

Існує кілька безкоштовних або недорогих інструментів підтримки прийняття рішень, які поєднують прогнози погоди, коефіцієнти врожайності та дані, введені користувачем (дата посіву, тип ґрунту, система зрошення), щоб рекомендувати терміни зрошення. Прикладами, доступними в українській мові, є FAO AquaCrop, CropWat та кілька пропрієтарних інструментів (Netafim NetBeat, Naandanjain DripWise). Польові випробування у Херсонській та Одеській областях показали, що планування на основі ЕТс у поєднанні з одним тензіометром на блок зменшує сезонне споживання води на 15–30 % порівняно зі зрошенням з фіксованими інтервалами, без втрат у врожайності.

7.5 Стратегії дефіцитного зрошення в умовах дефіциту води

У разі дефіциту води при регульованому дефіцитному зрошенні (RDI) подається менше, ніж повна величина ЕТс, на стадіях росту, коли культура відносно нечутлива до стресу. Для моркви та червоного буряка рання фаза розширення листяного покриву (25–45 днів після посіву) є порівняно толерантною до помірного стресу; для капусти період між пересадкою та закриттям розетки можна зрошувати з дефіцитом води без істотного зниження врожайності. Жоден із чотирьох овочів для борщу не переносить дефіцитного зрошення під час своєї критичної стадії (утворення цибулин у цибулі, потовщення кореня у моркви/буряка, формування качана у капусти).

Розділ 8 – Потреба у воді за стадіями росту та системами землеробства

У цьому розділі криві ЕТс, коефіцієнти ефективності систем та принципи планування, наведені в розділах 2–7, об'єднано у готові до використання сезонні водні бюджети для кожного з чотирьох овочів для борщу за системами землеробства, що зазвичай застосовуються в Україні.

8.1 Висадка розсади проти прямого посіву

Капусту в Україні майже виключно висаджують розсадою (40-денні рослини висаджують з інтервалом 50 × 60 см наприкінці квітня для ранньолітнього збору врожаю або в середині червня для осіннього зберігання). Цибулю вирощують як із цибулин-саджанців (найпоширеніше для ранньої солодкої цибулі), так і з насіння (сорти для зберігання); у комерційних системах крапельного зрошення дедалі частіше застосовують пересадку цибулі з розсадних лотків. Моркву та червоний буряк висівають безпосередньо в ґрунт, часто на дворядних грядках шириною 1,4 м, оснащених двома крапельними лініями.

Пересаджені культури потребують короткого, інтенсивного поливу одразу після висадки (8–12 мм/день протягом 3–5 днів) для формування кореневої системи у свіжому ґрунті. Культури, висіяні безпосередньо у ґрунт, потребують легкого, частого поверхневого поливу (4–6 мм/день, двічі на день у спекотні дні) до появи сходів, після чого інтервали між поливами можна продовжувати у міру росту коренів углиб ґрунту.

8.2 Виробництво у відкритому ґрунті

У наведеній нижче таблиці підсумовано сезонні водні баланси для повністю зрошуваного вирощування на відкритому полі кожного овоча для борщу на середньородючому ґрунті в південній степу (умови Херсона, травень–вересень). Значення для лісостепу зазвичай на 20–30 % нижчі через більшу кількість ефективних опадів.

Таблиця 27 - Орієнтовні сезонні водні баланси для овочів при крапельному зрошенні, південь України

Культура	Сезон (днів)	Загальна ЕТс (мм)	Ефективні опади (мм)	Потреба у зрошенні (мм)	Зрошення (м³/га)	Планована врожайність (т/га)
Цибуля (на зберігання)	120–140	550–650	150	400–500	4 000–5 000	45–65
Морква (довгострокова)	120–150	450–550	180	270–370	2 700–3 700	55–80
Червоний буряк	100–120	400–500	160	240–340	2 400–3 400	40–60

Білокачанна капуста (на зберігання)	100–130	450–550	170	280–380	2 800–3 800	70–100
-------------------------------------	---------	---------	-----	---------	-------------	--------

Джерело: узагальнено на основі даних Kebede та ін. (2025) для цибулі (ЕТс); Rolbiecki та ін. (2017–2019) для моркви та червоного буряка; Singh та ін. (2014) для капусти; FAO-56 для Кс.

8.3 Захищене та гідропонне вирощування

У центральній та західній Україні набуває поширення тепличне вирощування (високі тунелі, неопалювані та опалювані теплиці) для раннього розсадного вирощування капусти та високоцінного салатного буряка. Щоденне зрошення в теплицях зазвичай становить $1,2\text{--}1,5 \times \text{ЕТс}$ у відкритому ґрунті протягом найтепліших місяців через вищі денні температури, хоча загальне сезонне споживання води є подібним, оскільки вегетаційний період коротший.

Безґрунтове (гідропонне) вирощування листя червоного буряка (мікрозелень) та цибулі пучкової є невеликим, але зростаючим сегментом. Системи з рециркуляцією поживної плівки та системи «приплив-відплив» забезпечують витрату води на рівні 20–30 л на кг товарної продукції, проти 60–120 л/кг у разі добре організованого крапельного зрошення на відкритому полі.

8.4 Сівозміна та багатокультурне землеробство

Чотирирічна сівозміна, що чергує один із овочів для борщу з озимими зерновими (пшениця або ячмінь) та бобовими (горох або соя), є рекомендованою базовою схемою для зрошуваних овочевих угідь України. Сівозміна зменшує поширення ґрунтових хвороб, збалансовує потребу в поживних речовинах та розподіляє пікові потреби у зрошенні протягом календарного року. На полях, обладнаних крапельним зрошенням, одна й та сама заглиблена підмагістраль та фільтрувальна станція можуть обслуговувати як овочеву культуру, так і наступну зернову культуру, при цьому потрібно лише перемістити або замінити бічні відгалуження.

Таблиця 28 - Залежність врожайності від рівня зрошення (% від врожайності при повному зрошенні)

Культура / рівень зрошення	100 % ЕТс	80 % ЕТс	60 % ЕТс	40 % ЕТс	Борозна
Цибуля (на зберігання)	100	92	75	55	35
Морква	100	95	80	60	45
Червоний буряк	100	97	85	65	55

Білокачанна капуста	100	94	78	58	40
---------------------	-----	----	----	----	----

Відносна врожайність (%) порівняно з повністю зрошуваним варіантом (100). Дані узагальнено на основі рецензованих досліджень, проведених у Польщі, Ефіопії, Індії та Україні.

Таблиця 29 - Критична стадія росту та мінімальний цільовий рівень вологості ґрунту

Культура	Критична стадія	Тривалість (д)	Цільовий рівень вологості ґрунту (% TAW)	Наслідки стресу
Цибуля	Від початку формування цибулини до дозрівання	40–60	≥ 80 %	Маленькі цибулини, злиті, передчасне стрілкування
Морква	Потовщення кореня	30–50	≥ 65 %	Роздвоєні або розтріскані корені, низький вміст цукру
Червоний буряк	Збільшення кореня	30–45	≥ 65 %	Зонування (білі кільця), низький показник Брікса
Білокачанна капуста	Формування качанів	25–40	≥ 70 %	Нещільні качани, тріщини, низька вага

TAW = загальна кількість доступної води в кореневій зоні. Джерело: FAO-56, доповнено даними регіональних випробувань

Розділ 9 – Фертигація

Фертигація — введення розчинних добрив у потік зрошувальної води — є технологією, яка, більше ніж будь-яка інша, виправдовує інвестиції в зрошення під тиском. Забезпечуючи надходження поживних речовин разом із водою невеликими щоденними дозами саме туди, де знаходяться активні корені, фертигація дозволяє підвищити ефективність використання добрив з 30–50 %, що є типовим для розкидного внесення, до 80–90 %. Згідно з повідомленими польовими результатами, загальне споживання добрив зменшується на 20–30 %, ефективність використання азоту зростає на 30 %, а вимивання нітратів у ґрунтові води суттєво зменшується. Хімічне зрошення — це та сама технологія, що застосовується до хімічних речовин, які не є добривами (кислоти для очищення, іноді хлор для обслуговування трубопроводів та — за суворих регуляторних вимог — деякі пестициди). У цьому розділі розглядаються принципи, обладнання та правила експлуатації.

9.1 Принципи фертигації

В основі будь-якої фертигації лежать три фундаментальні поняття: розчинність, сумісність та терміни внесення. Слід використовувати лише повністю водорозчинні добрива; нерозчинні залишки забивають емітери та пошкоджують насоси. Не всі розчинні добрива можна змішувати в одному резервуарі: солі кальцію утворюють осад у поєднанні з фосфатами та сульфатами, а хелатні мікроелементи чутливі до рН. Вибір часу є головною агрономічною перевагою: замість того, щоб вносити весь азот під час посадки, фермер подає невеликі щоденні дози, що відповідають фактичній кривій поглинання культури, забезпечуючи поживні речовини саме тоді, коли рослина їх потребує.

Дві найважливіші поживні речовини для фертигації — це азот (надзвичайно рухливий у ґрунті; високий ризик вимивання при розкиданні та зрошенні) та калій (поглинається у великих кількостях під час потовщення коренів та цибулин). Фосфати набагато рідше вносяться шляхом фертигації через ризик осадження та тому, що фосфор є відносно нерухомим і його добре регулювати шляхом внесення перед посадкою.

9.2 Обладнання для ін'єкційного внесення

На українських овочевих господарствах зазвичай використовують три типи інжекторів, кожен із яких має свою нішу:

- Інжектори Вентурі прості, недорогі (~100–300 євро), працюють за рахунок перепаду тиску, який вони самі створюють у звуженні головної магістралі. Вони не мають рухомих частин, але вимагають падіння тиску на 20–30 % на всьому пристрої, а швидкість введення залежить від тиску в системі. Найкраще підходять для невеликих господарств та систем із постійним тиском.
- Поршневі та мембранні дозувальні насоси (електричні або гідравлічні) забезпечують точне дозування об'єму за одиницю часу незалежно від тиску в системі. Вартість обладнання вища (~600–2 500 євро), але точність є необхідною

для пропорційного внесення добрив у великих господарствах або для хімічної обробки, що вимагає точного дозування.

- Байпасні баки (баки для добрив, підключені паралельно до головної лінії) є найпростішими з усіх — невелике падіння тиску відводить частину потоку через бак, розчиняючи та захоплюючи добриво. Швидкість введення є нерівномірною (спочатку високою, а потім знижується у міру спорожнення резервуара), тому байпасні резервуари найкраще використовувати для додавання мікроелементів або кислот, де час не має критичного значення, а не для точного дозування азоту (N) або калію (K).

Таблиця 30 - Порівняння обладнання для введення добрив під час зрошення

Інжектор	Вартість (євро)	Точність	Втрата тиску (%)	Технічне обслуговування	Найкраще підходить
Вентурі	100–300	Помірна	20–30	Низький	Невеликі та середні крапельні блоки; системи з постійним тиском
Мембранний насос (гідравлічний)	600–1 500	Високий	0–5	Помірний	Блоки середнього та великого розміру; пропорційне внесення добрив
Поршневий насос (електричний)	1 000–2 500	Дуже високий	0–5	Помірний	Теплиці; дуже точне дозування; хімічне зрошення
Байпасний бак	150–400	Низький	5–10	Дуже низький	Промивання кислотою; добавки мікроелементів; невеликі ферми

9.3 Потреби в поживних речовинах та графік підживлення овочів

Кожна культура має характерну криву поглинання поживних речовин — швидкість, з якою вона поглинає азот, фосфор, калій та вторинні поживні речовини, змінюється залежно від стадії росту. Фертигація дозволяє узгодити добову дозу з цією кривою. У наведених нижче таблицях підсумовано типове сезонне споживання N–P–K та наведено рекомендації щодо розподілу добової дози фертигації за основними фенологічними стадіями.

Таблиця 31 - Загальне сезонне споживання добрив (кг/га при цільовій врожайності)

Культура	Цільова врожайність (т/га)	N (кг/га)	P ₂ O ₅ (кг/га)	K ₂ O (кг/га)	Співвідношення N : P : K
Цибуля	55	140	60	180	1,0 : 0,43 : 1,29
Морква	70	150	70	300	1,0 : 0,47 : 2,00
Червоний буряк	50	160	60	280	1,0 : 0,38 : 1,75
Білокачанна капуста	85	260	100	320	1,0 : 0,38 : 1,23

Вилучення з зібраного врожаю. Норми внесення можуть бути на 10–20 % вищими на початку сівозміни та на 10–20 % нижчими після попередньої культури з високим вмістом азоту (наприклад, бобові, гній).

Таблиця 32 - Орієнтовний графік фертигації (% від загального сезонного азоту) для цибулі, що зберігається, при крапельному зрошенні

Стадія росту	Кількість днів від сходів	% від загального азоту	кг азоту/га	Частота фертигації	Джерело азоту
Укорінення	0–25	10 %	14	2 рази на тиждень	Нітрат кальцію
Вегетативний ріст	25–60	30 %	42	3 рази на тиждень	Нітрат амонію + KNO ₃
Початок формування цибулин	60–85	35 %	49	Щодня	Сечовина + KNO ₃
Наповнення цибулин	85–115	20 %	28	Щодня, зменшуючи дозу	KNO ₃ (низький вміст азоту)
Дозрівання	115–130	5 %	7	2 рази на тиждень	K ₂ SO ₄ (без азоту)

9.4 Хімічне зрошення – не лише добрива

Хімігація розширює можливості фертигації, додаючи до системи зрошення хімічні речовини, що не є добривами. На овочевій фермі важливі три категорії. Хлорування — зазвичай у вигляді гіпохлориту натрію, що подається для підтримання постійного рівня вільного хлору 1–2 мг/л під час зрошення — запобігає біологічному засміченню. Введення кислот (фосфорної, азотної або сірчаної кислоти до зниження рН до 5,5–6,5) утримує кальцій і залізо в розчині та зменшує осадження в розпилювачах. Внесення пестицидів через систему зрошення дозволено лише для обмеженого переліку засобів і регулюється нормами Міністерства охорони здоров'я України; для цього необхідні зворотний клапан, подвійні зворотні клапани та кваліфіковані оператори.

Розділ 10 – Проектування та монтаж системи

Грамотне гідравлічне проектування є основою кожної успішної системи крапельного зрошення з підживленням. Система, яка рік за роком забезпечує правильний потік при правильному тиску до кожного емітера, багаторазово окупає витрати на її проектування. У цьому розділі описано етапи проектування та найпоширеніші помилки, яких слід уникати.

10.1 Гідравлічні принципи: витрата, тиск, втрати тиску

Системи зрошення під тиском підкоряються двом фізичним законам. Рівняння неперервності вимагає збереження витрати в системі: те, що виходить із насоса, має дорівнювати сумі того, що випускає кожен емітер. Рівняння енергії вимагає, щоб напір, що подається насосом, врівноважувався втратами на тертя вздовж труб плюс робочий тиск на кожному емітері. Втрати на тертя зростають пропорційно квадрату швидкості, тому подвоєння діаметра труби зменшує втрати на тертя приблизно в 30 разів; вибір труб на один розмір більшого діаметра є найдешевшим вкладенням, яке може зробити проектувальник. Емітери з компенсацією тиску підтримують постійний потік у широкому діапазоні тиску (зазвичай 0,5–4 бари) і є стандартним вибором на нерівній місцевості або на довгих відгалуженнях.

10.2 Насоси, фільтрація та регулювання тиску

Насос повинен забезпечувати потік у системі при проектному тиску з запасом міцності 10–15 %. Відцентрові насоси, що приводяться в дію електродвигунами потужністю 7,5–22 кВт, підходять для типових українських овочевих господарств (1–20 га). Фільтрація є обов'язковою: навіть вода з каналів, яка «виглядає чистою», містить достатню кількість частинок, щоб за кілька тижнів забити крапельні емітери. Двоступенева фільтрація — первинний пісочний фільтр (або гідроциклон для води зі свердловин, що містить пісок), за яким слідує дисковий фільтр з розміром отворів 120 меш як остаточний захист — є стандартом найкращої практики в Україні. Регулятори тиску або крапельниці з компенсацією тиску згладжують коливання, що виникають через перепади висот та втрати на бокове тертя.

Таблиця 33 - Вимоги до фільтрації залежно від системи зрошення та джерела води

Система / джерело води	Первинний фільтр	Кінцевий фільтр (меш)	Коментар
Крапельне зрошення / чиста свердловина	Гідроциклон	Диск з сіткою 120	Додати фільтр для дрібного піску, якщо Fe > 0,2 мг/л
Крапельне зрошення / поверхневий канал	Піщаний фільтр	Диск з сіткою 120 меш	Постійно хлорувати 1–2 мг/л

Крапельне зрошення / фермерський ставок	Піщаний фільтруючий матеріал	Диск з розміром отворів 120–150 меш	Ріст водоростей – щомісячне шокове хлорування
Спринклер / будь-яке джерело	Сітка 50 меш	—	Менша потреба у фільтрації, ніж у крапельному зрошенні
Підземна крапельна система (SDI)	Піщаний фільтруючий матеріал	Диск 155 меш	Плюс емітери з компенсацією тиску

10.3 Розташування труб та відстань між емітерами

Головні та проміжні трубопроводи зазвичай заглиблюються (на глибину 60–80 см) і виготовляються з ПВХ або ПЕ. Бічні крапельні трубопроводи прокладаються над землею (поверхнєве крапельне зрошення) або на глибині 15–35 см під поверхнею (SDI). Для моркви та буряка, висіяних на дворядкових грядках шириною 1,4 м, одна бічна лінія на грядку з відстанню між крапельницями 30 см та крапельницями продуктивністю 2 л/год забезпечує миттєву норму подачі 4,8 мм/год. Для капусти при розмірі грядок 0,6 м × 0,5 м один бічний трубопровід на ряд з відстанню між крапельницями 0,5 м і продуктивністю 2 л/год забезпечує подачу 2,4 мм/год. Для цибулі, висадженої подвійними або чотирирядними рядами на грядках шириною 1,2 м, доцільно використовувати два бічних трубопроводи на грядку з відстанню між крапельницями 0,2–0,3 м.

Таблиця 34 - Рекомендовані схеми крапельного зрошення для овочів

Культура	Відстань між грядками / рядами	Кількість бічних трубопроводів на грядку	Відстань між крапельницями (м)	Продуктивність крапельниці (л/год)	Примітки
Цибуля (дворядкова)	Грядка 1,2 м, 2 ряди	2	0,20–0,30	1,0–2,0	З неглибоким корінням; менший міжрядковий простір
Цибуля (4 ряди)	Грядка 1,4 м, 4 ряди	2	0,20	1,0	Рекомендуються емітери з компенсацією тиску

Морква	Грядка 1,4 м, подвійн і ряди	1 (посередині)	0,30	1,6–2,0	Бічна середина грядки; SDI на глибині 15 см — звичайна практика
Червоний буряк	Грядка 1,4 м, подвійн і ряди	1 (посередині)	0,30	1,6–2,0	Таке саме розташування, як у моркви
Білокачанна капуста	0,6 × 0,5 м	1 на ряд	0,50	2,0	Поперек ряду

10.4 Порядок монтажу та контроль якості

Монтаж здійснюється за стандартною послідовністю: обстеження та перевірка проекту на місці; риття траншей для магістральних та підмагістральних ліній; будівництво насосної станції (бетонна площадка, фільтрувальний колектор, манометри, запірні клапани, злив та вентиляційний отвір); розкладка бічних відгалужень; перше промивання та випробування під тиском (при 1,5 × робочому тиску протягом 30 хв) перед початком посівної кампанії.

Кожен оператор повинен зберігати виконавчий креслення системи, гідравлічний протокол (залежності витрати від тиску в розрахункових точках) та протокол перевірки витрати з розпилювачів (виміряна витрата з 16 випадково обраних розпилювачів уздовж кожного відгалуження) з моменту введення в експлуатацію. Ці три документи є базовими критеріями, за якими оцінюється сезонне технічне обслуговування.

Розділ 11 – Експлуатація та технічне обслуговування

Повсякденна експлуатація та технічне обслуговування визначають, чи досягне система зрошення свого проектного терміну служби в 12–15 років, чи вийде з ладу вже на третьому сезоні. Згідно з польовим досвідом, переважають три групи несправностей: засмічення розпилювачів (фізичне, біологічне або хімічне), нехтування фільтрами та проблеми з насосними станціями. У цьому розділі наведено експлуатаційні процедури, що запобігають цим несправностям.

11.1 Щоденні та щотижневі планові перевірки

Таблиця 35 - Графік планових перевірок системи вирощування овочів із крапельним підживленням

Періодичність	Пункт	Що перевіряти	Дія / цільовий показник
Щодня	Тиск у системі на вході/виході фільтра	Різниця між тиском на вході та на виході	Промивання у зворотному напрямку, коли $\Delta P > 0,4$ бар
Щодня	Рівень у баку для добрив + рН/ЕС	Візуальний огляд + портативний вимірювач ЕС/рН	Дозаправка; регулювання рН до 5,5–6,5
Щодня	Візуальний огляд: сухі ділянки на полі	Проходити один квартал на день	Позначити та перевірити того ж дня
Щотижня	Перевірка витоків з емітерів	16 випадково обраних емітерів уздовж кожного відгалуження	Замініть відгалуження, якщо CV > 15 %
Щотижня	Витоки та вібрація на насосній станції	Прослухати та оглянути муфти, підшипники	Затягнути / змастити / замінити
Щомісяця	Перевірка фільтра з піщаним наповнювачем	Відкрийте та перевірте рівень наповнювача	Досипте пісок; замінить, якщо він злепився
Щомісяця	Журнал введення хлору	Перевірте швидкість подачі	Підтримуйте постійний рівень 1–2 мг/л
Сезонно	Промивання наприкінці сезону	Відкрийте всі бічні кінці, промивайте по 5 хвилин кожен	Закрийте кінці заглушками на період міжсезоння

11.2 Запобігання та усунення засмічень

Засмічення виникає з трьох причин — фізичної (частинки, що проходять крізь фільтр), біологічної (бактеріальний наліт та ріст водоростей) та хімічної (осадження заліза, марганцю, карбонату кальцію). Першою лінією захисту є правильна фільтрація. Другою — постійне хлорування на низькому рівні (1–2 мг/л вільного хлору, що безперервно вводиться на початку системи під час зрошення), яке запобігає росту біоплівки. Третьою є періодична шоківна обробка: 30 мг/л хлору протягом 30 хвилин або промивання кислотою (0,6 % фосфорною або азотною кислотою) до зниження рН до 2 протягом 30 хвилин, що проводиться один раз у середині сезону та один раз наприкінці сезону. Після будь-якої хімічної обробки систему необхідно промити чистою водою у обсязі, що дорівнює принаймні одному повному об'єму головної магістралі, перш ніж відновити нормальну роботу.

Таблиця 36 - Поширені проблеми крапельного зрошення, їхні причини та заходи щодо їх усунення

Симптом	Ймовірна причина	Діагностичний тест	Заходи щодо усунення
Підвищення тиску на вході до фільтра	Забиття фільтра	Показник манометра $\Delta P > 0,4$ бар	Промийте фільтр у зворотному напрямку або очистіть диски
Падіння тиску в відгалуженнях	Витік у магістралі / несправність регулятора тиску	Пройдіть по трубопроводу, перевірте регулятор	Усуньте витік; замініть регулятор
Низька продуктивність розпилювачів по всій системі	Біоплівка / слиз	Розріжте розпилювач, огляньте	Проведіть шоківну хлорацію 30 мг/л протягом 30 хв
Низький розряд на кінці відгалуження	Осад + занадто довга лінія	Відкрийте заглушку та промийте	Скоротіть відгалуження або використовуйте трубу з більшим внутрішнім діаметром
Білий наліт на розпилювачі	Осадження CaCO_3	Огляньте; перевірте рН/твердість води	Промийте кислотою; знизьте рН до 5,5–6,5
Червоні/коричневі плями на емітері	Окислення заліза	Аналіз води на вміст Fe $> 0,2$ мг/л	Аерація + піщана фільтрація; хлорування

Пошкоджена/прогризена крапельна лінія	Гризуні (SDI)	Візуальний огляд при низькому тиску	Боротьба з гризунами; розставлення приманок
Мокрі плями між розпилювачами	Механічне пошкодження / зношена стрічка	Пройдіться та огляньте	З'єднайте або замініть ділянку

11.3 Процедури наприкінці сезону

Наприкінці кожного сезону систему слід ретельно промити (відкрити всі кінці відгалужень, пропустити воду за допомогою насоса протягом 5 хвилин на кожне відгалуження, закрити кожен кінець, коли вода, що витікає, стане прозорою), очистити фільтри та зберігати їх у сухому стані, злити воду з дозувальних насосів і пропустити через них чисту воду, а також захистити відкриті стояки та клапани від замерзання. Крапельну стрічку зазвичай збирають і зберігають під накриттям; товстостінну крапельну лінію (товщина стінки 1,0–1,2 мм, розраховану на 6–10 сезонів) залишають на місці. Заглиблені бічні відгалуження системи SDI промивають і наповнюють під тиском приблизно 0,5 бара на зиму, щоб запобігти проникненню коренів.

11.4 Посібник з усунення несправностей для польових операторів

Польові оператори повинні дотримуватися простої послідовності діагностичних дій, коли виникають підозри щодо ефективності роботи системи:

- (1) перевірити манометри на насосі, після фільтра та на вході в бічну гілку;
- (2) щодня обходити один квартал і шукати сухі та вологі ділянки, а також місця скупчення води;
- (3) відбирати проби води з розпилювачів на початку, в середині та на кінці трьох випадково обраних бічних трубопроводів і фіксувати час їх витікання у градуйовану чашку;
- (4) порівняти отримані результати з номінальними характеристиками розпилювачів та даними попереднього аудиту. Перевірка завжди проводиться у напрямку від витоку (насоса) до входу (розпилювача); така послідовність дозволяє локалізувати причину проблеми в найменшій можливій частині системи.

Розділ 12 – Сталий розвиток та кліматично-орієнтоване зрошення

Зрошення овочевих культур в Україні здійснюється в умовах дедалі жорсткіших екологічних, економічних та кліматичних обмежень: зростання цін на енергоносії, зниження рівня ґрунтових вод у деяких південних районах, частіші літні спекотні періоди та більш суворі європейські стандарти якості води. Кліматично-орієнтоване зрошення реагує на ці виклики шляхом поєднання водозберігаючих технологій із заходами щодо збереження ґрунтів, збором води на території господарств та довгостроковим підходом до використання цього ресурсу.

12.1 Показники ефективності використання води

Три показники ефективності використання води застосовуються на постійній основі, і про них слід звітувати на кожному господарстві: ефективність використання води для зрошення ($IWUE = \text{товарний урожай} / \text{об'єм використаної зрошувальної води, у кг/м}^3$); ефективність використання води за евапотранспірацією ($ETWUE = \text{урожай} / ET_c$); та водна продуктивність культур ($WP = \text{урожай} / \text{загальний обсяг спожитої води}$). Для овочів для борщу, що вирощуються з крапельним підживленням на півдні України, досяжні значення $IWUE$ становлять 12–18 кг/м^3 для цибулі, 18–25 кг/м^3 для моркви та буряка та 22–30 кг/м^3 для капусти. Контрольні ділянки з борозновим зрошенням у тому ж районі зазвичай демонструють менше половини цих значень.

Таблиця 37 - Орієнтовні показники ефективності використання води для систем зрошення овочевих культур

Культура	Система зрошення	Урожайність (т/га)	Зрошення (мм)	$IWUE$ (кг/м ³)	Коментар
Цибуля	Борозна	30–40	650	4,6–6,2	Базовий рівень
Цибуля	Зрошувальна система	40–50	550	7,3–9,1	+ ризик захворювань
Цибуля	Крапельне зрошення + фертигація	55–65	450	12,2–14,4	Найкраща практика
Морква	Борозна	40–55	500	8,0–11,0	Базовий рівень
Морква	Крапельне зрошення + фертигація	65–80	320	20,3–25,0	Найкраща практика
Червоний буряк	Борозна	30–45	450	6,7–10,0	Базовий рівень

Червоний буряк	Крапельне зрошення + фертигація	45–60	290	15,5–20,7	Найкраща практика
Білокачанна капуста	Дощувальна система	60–80	500	12,0–16,0	Базовий рівень
Білокачанна капуста	Крапельне зрошення + фертигація	85–100	350	24,3–28,6	Найкраща практика

12.2 Мульчування, покривні культури та збереження вологи в ґрунті

Пластикова мульча (зазвичай чорний або біорозкладний поліетилен товщиною 25–30 мкм) зменшує випаровування з ґрунту на 50–80 %, підвищує температуру ґрунту на початку вегетаційного періоду на 2–4 °С та зменшує конкуренцію з боку бур'янів. У документі FAO-56 рекомендується помножити коефіцієнт K_s у середині вегетаційного періоду на 0,7–0,9 для культур, замульчованих поліетиленом, з урахуванням зменшеного випаровування; для повністю замульчованої капусти та цибулі, що зрошуються з внесенням добрив, економія води протягом вегетаційного періоду зазвичай становить 20–30 %.



Рисунок 8 - Покривна культура: суміш жита та вики, автор: Picasa

Покривні культури, що вирощуються в період парові (озима жито, вики, гірчиця), захищають поверхню ґрунту від вітрової та водної ерозії, поглинають залишковий азот та збагачують ґрунт органічною речовиною, що покращує водоутримуючу здатність піщаних ґрунтів. Кожне збільшення вмісту органічної речовини в ґрунті на 1 % підвищує доступну водоемність приблизно на 0,15 мм води на 1 см глибини ґрунту.

12.3 Збір дощової води та її зберігання на фермі

Створіння на фермі ставків та резервуарів для зберігання дозволяє перетворити зимові та весняні опади на джерело поливу влітку. Ставок місткістю 4 000–6 000 м³ на один гектар зрошуваної землі достатній для подолання шеститижневої посухи на більшості південних українських овочевих сівозмін. Збір дощової води з дахів великих

пакувальних цехів та будівель для техніки, що направляється до ставків з гідроізоляційним покриттям, забезпечує високоякісну воду з низьким вмістом осаду, яка особливо підходить для крапельного зрошення продукції, призначеної для продажу на ринку свіжих овочів.



Рисунок 9 - Збір дощової води, автор: *InvaDe Agro Global*

12.4 Дренаж та управління засоленістю

У випадках, коли електропровідність зрошувальної води перевищує 1,0 дС/м — що характерно для нижньої течії Дніпра та деяких свердловинних джерел у Миколаївській та Одеській областях — необхідно ретельно контролювати частку вимивання (частку поданої води, яка стікає нижче кореневої зони, вимиваючи накопичені солі).

Крапельне зрошення з щоденним подаванням води підтримує низький рівень солоності у зоні зволоження навіть за умов обмеженої кількості води; один або два рази на сезон навмисне надмірне зрошення (промивання) вимиває накопичені солі нижче кореневої зони. Підземний дренаж необхідний там, де рівень ґрунтових вод сезонно піднімається до кореневої зони.

12.5 Адаптація до зміни клімату

Прогнози на 2030–2050 роки для півдня України передбачають підвищення середньої літньої температури на 1,5–2,5 °С, зменшення кількості опадів у вегетаційний період на 5–15 % та збільшення частоти багатоденних теплових хвиль із температурою понад 30 °С. Стратегії адаптації для зрошуваного овочівництва включають перенесення термінів посіву на більш ранні або пізні дати, щоб уникнути піку спеки під час критичної стадії розвитку рослин, використання тіньових сіток у розсадниках і тунелях, ширше застосування крапельного зрошення та SDI (які набагато менш чутливі до вітру та спеки, ніж дощувальні установки), а також перехід на більш посухостійкі сорти (включаючи більш теплостійкі сорти цибулі та буряка, які вже вирощуються в південній Європі).

Розділ 13 – Економічні, регуляторні та політичні аспекти

Інвестиції в сучасне зрошення мають окупитися протягом горизонту планування господарства, який зазвичай становить 5–10 років. У цьому розділі викладено складові витрат, наведено типовий аналіз витрат і вигод переходу від бороздового зрошення до крапельного фертигації, узагальнено українську нормативно-правову базу та зазначено основні механізми підтримки з боку донорів та уряду, доступні у 2025–2026 роках.

13.1 Аналіз «витрати–вигоди» інвестицій у зрошення

Типова установка системи крапельного зрошення з внесенням добрив для одного гектара овочів для борщу на півдні України у 2025 році мала таку структуру капітальних витрат (дані взято з комерційних пропозицій постачальників та нещодавньої проектної документації ProAgro / ФАО):

Таблиця 38 - Орієнтовні капітальні витрати (євро/га) на системи крапельного зрошення з підживленням

Компонент	Низький (євро)	Середня (євро)	Високий (євро)	Примітка
Насос + електродвигун (15–22 кВт)	1 500	2 200	3 000	Відцентровий, багатоступеневий
Станція піско-дискового фільтрування	1 200	1 800	2 400	Остаточна фільтрація 120 меш
Інжектори для фертигації + резервуари	600	1 000	1 500	Мембранний насос для середніх господарств
Магістральні та відгалужені трубопроводи (ПВХ/ПЕ)	1 200	1 800	2 400	Підземне прокладання; ділянка площею 1 га
Крапельні відгалуження (односезонна стрічка)	800	1 100	1 400	Замінюються щороку
Крапельна лінія (багатосезонна, 6 років)	1 800	2 400	3 000	Виберіть стрічку АБО лінію, а не обидві
Регулюючі клапани +	300	500	700	За блок

регулятори тиску				
Монтаж + введення в експлуатацію	500	800	1 200	Робоча сила + підрядник
Разом (стрічкова система)	6 100	9 200	12 600	Щорічна заміна відгалужень
Разом (багатосезонна лінія)	7 100	10 500	14 200	6-річний термін експлуатації відгалужень

Не включає джерело води (підключення до каналу або буріння свердловини) та польові водосховища

Експлуатаційні витрати включають енергію (зазвичай 350–650 кВт·год/га/сезон для крапельного зрошення), оновлення фільтрувальних матеріалів, запасні частини, робочу силу для щоденного моніторингу (близько 30 годин на гектар за сезон) та сезонні витрати на крапельну стрічку, якщо вона використовується. На тлі цих витрат типовий приріст доходу від переходу одного гектара посівів моркви або капусти з борозняного поливу на крапельне зрошення з підживленням становить 15–25 т/га додаткового врожаю, 20–30 % економії добрив (100–200 євро/га) та 30–50 % економії трудових витрат на контроль за поливом. Згідно з останніми оцінками проектів, термін окупності становить 3–5 років.

Таблиця 39 - Спрощений 5-річний підсумок витрат і вигод від переходу 1 га з борозняного поливу на крапельне зрошення з внесенням добрив

Стаття витрат (євро/га)	0-й рік	Рік 1	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Капітальні інвестиції	–9 200	0	0	0	0
Заміна бічної частини (стрічка)	0	–1 100	–1 100	–1 100	–1 100
Енергія + фільтрувальні матеріали	0	–450	–470	–490	–510
Додатковий дохід від врожаю (порівняно з борозною)	0	+3 800	+4 000	+4 200	+4 200

Економія добрив	0	+160	+170	+180	+180
Економія робочої сили	0	+240	+250	+260	+260
Річний чистий	-9 200	+2 650	+2 850	+3 050	+3 030
Сукупний чистий результат	-9 200	-6 550	-3 700	-650	+2 380

13.2 Оптимізація енерговитрат та насосного обладнання

Енергоспоживання на перекачування зазвичай є найбільшою статтею експлуатаційних витрат. Існує три заходи, що дозволяють скоротити споживання енергії без шкоди для врожайності: збільшення діаметра головних та підголовних трубопроводів на один розмір (нижча швидкість → менші втрати напору → менша кількість кВт·год на м³); використання частотно-регульованих приводів на насосах для узгодження витрати з фактичним попитом; а також полив у нічний час, коли діють тарифи в години найменшого навантаження (в Україні часто надається знижка 30–50 %). У сукупності ці заходи дозволяють скоротити енергоспоживання на перекачування на 20–40 % протягом сезону.

13.3 Водні права, нормативно-правові акти та стандарти якості

Забір води для зрошення в Україні регулюється Водним кодексом, а дозволи видаються басейновими органами Державного агентства з водних ресурсів (Держводагентство). Великі водозабірники (понад 5 м³/год із поверхневих або підземних джерел) зобов'язані встановлювати облікове обладнання та подавати звіти щокварталу. Стандарти якості води для зрошення встановлені в ДСТУ 2730:2015 (оновлена версія стандарту 1994 року), де визначено максимальні значення електропровідності, коефіцієнта адсорбції натрію та концентрації токсичних іонів; фермери, які використовують поверхневі води, повинні перевіряти відповідність цим вимогам кожного сезону.

У рамках європейської інтеграції України Директива про нітрати та Рамкова директива про воду встановлюють додаткові обмеження щодо норм внесення азоту та впливу сільського господарства на водойми. Фертигація за допомогою крапельного зрошення добре відповідає цим директивам, оскільки дозволяє точно контролювати дозування та мінімізує втрати через вимивання.

Додаток А: Приклади розкладу зрошення з розрахунками

А.1 Вирощування цибулі під крапельним поливом у Херсонській області

Поле площею 1 га, суглинистий ґрунт, FC = 31 % об., PWP = 13 % об., AWC = 180 мм/м. Цибулю висаджено 15 квітня, зібрано 25 серпня (132 дні). Система крапельного зрошення подає 4,8 мм/год одночасно через подвійні бічні лінії з кроком розпилювачів 0,2 м.

Таблиця 40 - Сезонний графік зрошення цибулі, призначеної для зберігання (1 га, Херсон, крапельне зрошення)

Десятиденний період	Kc	ET _o (мм)	ET _c (мм)	Ефективні опади (мм)	Зрошення (мм)	Час роботи (год)
1 травня	0,50	35	18	10	8	1,7
2 травня	0,55	42	23	12	11	2,3
3 травня	0,65	47	31	12	19	4,0
1 червня	0,85	50	43	15	28	5,8
2 червня	1,00	52	52	10	42	8,8
3 червня	1,05	54	57	15	42	8,8
1 липня	1,10	60	66	10	56	11,7
2 липня	1,10	62	68	5	63	13,1
3 липня	1,05	64	67	5	62	12,9
1 серпня	1,00	58	58	10	48	10,0
2 серпня	0,85	55	47	10	37	7,7
3 серпня	0,65	48	31	10	21	4,4
Разом	—	627	561	124	437	91,2

А.2 Таблиця графіка вирощування капусти (лісостеп, дощувальне зрошення + крапельне зрошення)

Поле площею 0,5 га, піщано-суглинистий ґрунт, пересаджена капуста сорту «Слава» (літостійка). Посадка 15 травня, збирання врожаю 5 вересня. Одна крапельна лінія на ряд, крапельниця 2 л/год на відстані 0,5 м, норма подачі 2,4 мм/год.

Таблиця 41 - Водний баланс капусти за десятиліттями, центральна Україна (0,5 га)

Десятиліття	Kc	ET _o (мм)	ET _c (мм)	Ефективні опади (мм)	Зрошення (мм)	Об'єм (м³)
3 травня	0,60	40	24	18	6	30

1 червня	0,75	47	35	20	15	75
2 червня	0,95	50	47	20	27	135
3 червня	1,05	52	55	15	40	200
1 липня	1,05	58	61	18	43	215
2 липня	1,05	60	63	10	53	265
3 липня	1,05	60	63	12	51	255
1 серпня	1,00	55	55	12	43	215
2 серпня	0,95	50	48	10	38	190
3 серпня	0,85	45	38	10	28	140
1 вересня	0,75	32	24	10	14	70
Разом	—	549	513	155	358	1 790

Додаток Б: Корисні перерахунки та константи

Таблиця 42 - Поширені перетворення одиниць вимірювання для зрошення

Від	На	Помножити на
мм глибини води	м³ на гектар	10
м³ на гектар	мм глибини води	0,1
л на секунду	м³ на годину	3,6
м³ на годину на гектар	мм на годину	0,1
бар	метрів водяного напору	10,2
фунтів на квадратний дюйм	бар	0,0689
фунтів на квадратний дюйм	метрів водяного стовпа	0,7031
дС/м (ЕС)	мг/л загальних розчинених речовин (приблизно)	640
акр	гектар	0,4047
галон (США) на хвилину	літри на секунду	0,0631
дюйм (кількість опадів)	мм	25,4

Таблиця 43 - Довідкові значення властивостей ґрунту та води

Властивість	Типове значення	Одиниця
Щільність води (4 °С)	1 000	кг/м³

Питома теплоємність води	4,186	кДж/(кг·К)
Прихована теплота випаровування (20 °С)	2 453	кДж/кг
Атмосферний тиск (на рівні моря)	101,325	кПа
Прискорення вільного падіння	9,81	м/с ²
Об'ємна щільність (типовий сільськогосподарський ґрунт)	1,2–1,5	г/см ³
Польова вологоємність (супісок)	18–22	% об.
Польова вологоємність (суглинок з великою часткою мулу)	28–34	% об./об.
Польова вологоємність (глинистий суглинок)	33–40	% об./об.
Точка постійного в'янення (піщано-суглинистий ґрунт)	8–12	% об./об.
Точка постійного в'янення (мулист-суглинистий ґрунт)	12–15	% об./об.
Точка постійного в'янення (глинистий суглинок)	17–20	% об./об.

Додаток С: Глосарій

Таблиця 44 - Визначення термінології з поливу та фертигації, що використовується в цьому посібнику

Термін	Визначення
Доступна вода (AW)	Вода, що утримується в ґрунті в діапазоні від польової вологоємності до точки постійного в'янення; доступна для використання рослиною.
Коефіцієнт культури (Kc)	Відношення евапотранспірації культури до еталонної евапотранспірації; змінюється залежно від стадії росту.
Дефіцитне зрошення	Навмисне застосування обсягу, меншого за повну ETc, на стадіях, толерантних до стресу.
Крапельне зрошення	Мікрозрошення під низьким тиском, при якому вода подається через розпилювачі, розташовані вздовж бічних трубопроводів.
Ефективні опади	Частка опадів, що просочується в ґрунт і накопичується в кореневій зоні.
Емітер	Випускний отвір на крапельній бічній лінії, що дозує потік води в ґрунт.
ЕТо	Еталонна евапотранспірація гіпотетичного трав'яного покриву висотою 0,12 м; залежить виключно від погодних умов.

ETc	Евапотранспірація сільськогосподарських культур; $ETc = Kc \times ETo$.
Фертигація	Внесення добрив, розчинених у поливній воді.
Польова вологоємність (FC)	Вміст води в ґрунті, що зберігається після припинення вільного дренажу; верхня межа води, доступної для рослин.
IWUE	Ефективність використання поливної води = товарний урожай / об'єм використаної поливної води (кг/м³).
Фракція вимивання	Частка поданої води, яка стікає нижче кореневої зони, вимиваючи солі.
Точка постійного в'янення (PWP)	Вологість ґрунту, нижче якої рослини не можуть відновитися після в'янення; нижня межа AW.
Емітер з компенсацією тиску	Емітер, що забезпечує постійний потік у діапазоні тиску.
Регульоване дефіцитне зрошення (RDI)	Стратегія, що передбачає зменшення обсягів поливу на некритичних стадіях розвитку рослин.
SDI	Підземне крапельне зрошення; бічні трубопроводи заглиблені на 15–35 см під поверхнею.
Дефіцит ґрунтової води (SWD)	Різниця між поточним вмістом води в кореневій зоні та польовою вологоємністю, у мм.
Тензіометр	Прилад для вимірювання матричного потенціалу ґрунту (сили всмоктування) у центибарах або кПа.
TAW	Загальна кількість доступної води в кореневій зоні (мм); максимальний SWD до виникнення стресу.
VPD	Дефіцит тиску пари; різниця між тиском насиченої пари та фактичним тиском пари повітря.
Змочений термометр	3-D об'єм ґрунту, змоченого одним крапельним емітером.

Додаток Д: Корисні контакти та додаткові джерела

Д.1 Українські установи

- Державне агентство водних ресурсів України (Держводагентство) – www.davr.gov.ua
– видає дозволи на водозабір, утримує регіональні басейнові управління, публікує бюлетені Каховської та Дніпро-Інгулецької систем.
- Національний університет життя та екологічних наук України (НУБіП), факультет меліорації та водного господарства, Київ – головний український науковий центр з досліджень у галузі зрошення та підготовки аспірантів.

- Інститут зрошувального землеробства Національної академії аграрних наук України, Херсон – польові дослідження, демонстраційні випробування, регіональні рекомендації.
- Український клуб агробізнесу (UCAB) – аналітика щодо інвестицій у зрошення, програм фінансування, експортних ринків.

Д.2 Міжнародні ресурси

- Відділ земельних та водних ресурсів ФАО — публікації та безкоштовне програмне забезпечення (CropWat, AquaCrop, ClimWat) для планування зрошення. www.fao.org/land-water.
- Міжнародна комісія з іригації та дренажу (ICID) — Нью-Делі; технічні публікації та Український національний комітет.
- Механізм фінансування «зеленої економіки» ЄБРР – співфінансування модернізації зрошення в Україні.
- Орегонський державний університет – широко використовувані англомовні посібники з крапельного зрошення для цибулі, моркви та буряка.

Д.3 Програмне забезпечення та додатки

- CropWat 8.0 (ФАО) – система підтримки прийняття рішень щодо планування зрошення з урахуванням культур, ґрунту та клімату.
- AquaCrop (ФАО) – моделювання водної продуктивності культур за різних стратегій зрошення.
- ETo Calculator (ФАО) – розрахунок за методом Пенмана–Монтейта на основі даних метеостанцій.
- Netafim NetBeat, Naandanjain DripWise, Rivulis Manna — комерційні хмарні платформи для управління фертигацією.

Д.4 Зображення

- FAO Irrigation and Drainage Paper 56 (Allen et al. 1998);
- Oregon State University Extension; Rolbiecki et al. (2017–2019);
- Inagro field trial reports; project field photographs.

Будь ласка, вказуйте джерела.

Література

1. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). Евапотранспірація сільськогосподарських культур – Керівництво з розрахунку потреби культур у воді. Документ ФАО з іригації та дренажу № 56. ФАО, Рим.
2. Дооренбос, Дж., Пруїтт, В.О. (1977). Потреба культур у воді. Документ ФАО з іригації та дренажу № 24. ФАО, Рим.
3. Дооренбос, Дж., Кассам, А.Х. (1979). Вплив вологи на врожайність. Публікація ФАО з іригації та дренажу № 33. ФАО, Рим.
4. Кебеде, А., Мамо, Г., Тіабу, Е., Герба, Г., Еркосса, Т. (2025). Кількісна оцінка евапотранспірації цибулі (*Allium cepa* L.) та коефіцієнта культури в умовах напівпустелі центральної Ефіопії. *Frontiers in Water* 7: 1450162.
5. Шок, К.К., Фейберт, Е.Б.Г., Сондерс, Л.Д. (2017). Потреби цибулі у зрошенні та графік зрошення. EM 8901. Служба розширення Орегонського державного університету, Корвалліс.
6. Ролбієцький, Р., Ролбієцький, С., Фігас, А., Ягош, Б., Стаховський, П., Садан, Х.А., Атілган, А., Пінар, М.О. (2019). Вимоги до крапельного зрошення червоного буряка на дуже легкому ґрунті та його вплив в умовах Бидгощського регіону. «Інфраструктура та екологія сільських територій» 3/IV: 1–11.
7. Яськов'як, М., Ролбієцький, С., Ролбієцький, Р., Стаховський, П. (2017). Вплив крапельного зрошення на врожайність та біометричні параметри червоного буряка (*Beta vulgaris* L.) сорту «Червона Куля», вирощеного на легких ґрунтах. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 16(2): 165–174.
8. Жарський, Я., Дудек, С., Кушмірек-Томашевська, Р., Рольбіцький, Р., Рольбіцький, С. (2020). Прогнозована реакція врожайності окремих овочевих культур на зрошення в центральній Польщі на основі прогнозів щодо зміни клімату. *Water* 17(3): 239.
9. Сінгх, В., Насіруддін, К.Х., Рана, Д.К. (2014). Вплив різних рівнів крапельного зрошення на ріст, врожайність та якість капусти. *HortFlora Research Spectrum* 3(2): 166–168.
10. Каві Яжаган, С., Авудайнаягам, С., Сундарамбал, С., Картікеян, Р., Аніта, Р. (2023). Крапельне зрошення та фертигація: огляд перспектив їхнього застосування в сталому сільському господарстві. *Plant Science Today* 10: 298.
11. Мората, Г.Т., Роча, Ф.А., Соарес, Ф.А.Л., Насіменто, М.Г.Р., Фернандес, А.Л.Т. (2019). Схильність крапельниць до засмічення при використанні води, що містить залізо та кальцій. *Engenharia Agrícola* 39(5): 614–622.
12. Резнік, Н., Ушкаренко, В., Косенков, В. (2016). Сучасний стан зрошення в Херсонській області. *Вісник аграрної науки Причорномор'я* 4(92): 25–38.
13. EMBRAPA Hortaliças (2018). Урожайність та якість буряка (*Beta vulgaris* L.) за різних рівнів зрошення. Звіти про дослідження Бразильського центру садівничих досліджень, Бразилія.

- 14.** ФАО (1986). Вода для сільського господарства. Навчальні посібники з управління зрошувальною водою 1–8. ФАО, Рим.
- 15.** ФАО (2002). Методи дефіцитного зрошення. Звіти про воду № 22. ФАО, Рим.
- 16.** ФАО (2012). Боротьба з дефіцитом води – Рамкова програма дій для сільського господарства та продовольчої безпеки. Звіти про воду № 38. ФАО, Рим.
- 17.** Броувер, К., Хейблом, М. (1986). Потреби у воді для зрошення. Навчальний посібник з управління зрошувальною водою № 3. ФАО, Рим.
- 18.** Броувер, К., Гоффео, А., Хейблом, М. (1985). Вступ до зрошення. Навчальний посібник з управління зрошувальною водою № 1. ФАО, Рим.
- 19.** Служба охорони природних ресурсів Міністерства сільського господарства США (2016). Національний інженерний довідник, розділ 15 — Зрошення. Розділи 1–11. Міністерство сільського господарства США, Вашингтон, округ Колумбія.
- 20.** AINDB (2017). Управління водними ресурсами для польових овочевих культур. Звіт за програмою «Польові овочі». Рада з розвитку сільського господарства та садівництва, Стоунлі.
- 21.** Стюарт, Дж. І., Хаган, Р. М., Пруїт, В. О., Деніелсон, Р. Е., Франклін, В. Т., Хенкс, Р. Дж., Райлі, Дж. П., Джексон, Е. Б. (1977). Оптимізація рослинництва шляхом контролю рівня вологості та солоності ґрунту. Звіти Лабораторії досліджень води штату Юта, Університет штату Юта, Логан.
- 22.** Ламм, Ф.Р., Айарс, Дж.Е., Накаяма, Ф.С. (ред.) (2007). Мікрозрошення для рослинництва: проектування, експлуатація та управління. Elsevier, Амстердам.
- 23.** Фокаїдес, А. (2007). Посібник з технік зрошення під тиском. 2-ге вид. ФАО, Рим.
- 24.** Бакс, Д.А., Накаяма, Ф.С., Гілберт, Р.Г. (1979). Якість води для крапельного зрошення та профілактичне обслуговування. *Agricultural Water Management* 2(2): 149–162.
- 25.** Патель, Н., Раджпут, Т.Б.С. (2009). Вплив підземного крапельного зрошення на врожайність цибулі. «*Irrigation Science*» 27(2): 97–108.
- 26.** ДСТУ 2730:2015. Охорона природи. Гідросфера. Якість природних вод для зрошення. Агрономічні критерії. Державний стандарт України, Київ.
- 27.** Кабінет Міністрів України (2019). Стратегія розвитку зрошення та меліорації в Україні на період до 2030 року. Постанова № 688-р від 14 серпня 2019 року.
- 28.** Міністерство аграрної політики та продовольства України (2024). Концепція розвитку зрошення на 2024–2030 роки. МАПП, Київ.
- 29.** ЄБРР (2022). Огляд агропромислового сектору України — зрошення та управління водними ресурсами. Європейський банк реконструкції та розвитку, Лондон.
- 30.** Світовий банк (2019). Україна: Сільськогосподарський сектор та модернізація державного управління. Вашингтон, округ Колумбія.

Навчальні модулі DUALOG



- Серія «Навчальні модулі DUALOG» складається з 23 модулів і призначена для фермерів, викладачів та всіх зацікавлених
- Кожен модуль у стислій та зрозумілій формі пояснює основні взаємозв'язки та надає практичні поради та професійні знання, засновані на багаторічному досвіді
- Модулі доступні як у друкованому, так і в цифровому вигляді.

Плодівництво (OB)	Модуль OB01: Планування та організація території під закладку нових насаджень яблуні
	Модуль OB02: Ґрунтознавство в плодівництві: аналіз ґрунту, основні принципи внесення добрив та налаштування відповідної техніки
	Модуль OB03: Техніка захисту рослин: налаштування техніки для внесення ЗЗР на садових культурах. Розрахунок дозування
	Модуль OB04: Організація системи зрошення в плодівництві. Розрахунок потреби води. Фертигація для яблуні
	Модуль OB05: Комплексний контроль хвороб і шкідників при вирощуванні яблуні
	Модуль OB06: Обрізка яблуні «на клик». Формування крони яблуні на підщепі M9
	Модуль OB07: Захист плодівних насаджень від приморозків
	Модуль OB08: Організація збору врожаю яблук
Овочівництво (GB)	Модуль GB01: Планування та вирощування овочів борщового набору (морква, буряк столовий, цибуля)
	Модуль GB02: Посів овочів «борщового набору» (цибуля, морква, буряк). Налаштування сівалки
	Модуль GB03: Організація системи зрошення в овочівництві. Розрахунок потреби води. Фертигація для вирощування овочевих культур «борщового набору» (цибуля, морква, буряк)
	Модуль GB04: Хвороби овочевих культур (буряк столовий, капуста білокачанна, морква, цибуля)
	Модуль GB05: Шкідники овочевих культур (буряк столовий, капуста білокачанна, морква, цибуля)
	Модуль GB06: Організація збору врожаю овочів борщового набору
Загальні / Комплексні теми (UT)	Модуль UT01: Підготовка сховищ до сезону зберігання яблук. Зберігання яблук
	Модуль UT02: Підготовка сховищ до сезону зберігання капусти. Зберігання капусти
	Модуль UT03: Економіка в овочівництві: аспекти рентабельності, планування та аналіз діяльності
	Модуль UT04: Економіка плодівництва: Економічні аспекти, планування та аналіз діяльності
	Модуль UT05: Забезпечення якості фруктів під час їх зберігання
	Модуль UT06: Забезпечення якості овочів під час їх зберігання
	Модуль UT07: Енергоощадні технології в галузі зберігання та первинної переробки плодоовочевої продукції
Захист рослин в органічному плодівництві та овочівництві (OEK)	Модуль OEK01: Боротьба з хворобами та шкідниками овочів в органічному землеробстві
	Модуль OEK02: Боротьба з хворобами та шкідниками фруктів в органічному землеробстві

<http://www.dualog-ukraine.de>

