

Організація системи зрошення в плодівництві



Розрахунок потреби води. Фертигація для яблуні

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 плодівництві»

Модуль присвячений висвітленню основних принципів зрошення яблуневих садів в умовах України. Він охоплює фізіологію водообміну дерев, ґрунтові та кліматичні фактори, вибір систем зрошення, методи планування, фертигацію, проектування та експлуатацію систем, збереження води та економічні аспекти — надаючи слухачам знання, необхідні для планування та управління ефективним і сталим зрошенням у сучасному яблуневому садівництві.

Практичні рекомендації щодо виявлення дефіциту поживних речовин та потреб у добривах, а також щодо методів внесення та розкидання різних видів добрив доповнюють цей модуль.

Видавець: «Німецько-український фаховий діалог зі сталого розвитку плодоовочевого сектору» (DUALOG). Email info@adtproject.de Web: www.adtproject.de

Текст / Автор: Марсель де Йонг. **Джерела зображень:** Просимо вказувати джерела

© 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 виробництві яблук.....	8
1.2. Огляд потреб яблунь у воді.....	9
1.3. Цілі та сфера застосування	10
Розділ 2 – Фізіологія яблуні та її потреби у воді	11
2.1. Будова та глибина кореневої системи.....	11
2.2. Транспірація та поглинання води	12
2.3. Критичні стадії росту та потреба у воді.....	13
2.3.1. Розпука бруньок та цвітіння	13
2.3.2. Утворення плодів та клітинний поділ.....	14
2.4. Розширення плодів.....	14
2.5. Передзбиральний та післязбиральний періоди	15
2.6. Водний стрес: симптоми та вплив на врожайність.....	16
Розділ 3 – Фактори, пов’язані з ґрунтом та місцем розташування.....	17
3.1. Текстура ґрунту та водоутримуюча здатність.....	17
3.2. Польова вологоємність, точка в’янення та доступна вода.....	17
3.3. Глибина ґрунту та дренаж	19
3.4. Топографія та мікроклімат.....	20
3.5. Водоутримуюча здатність органічної речовини	20
3.6. Якість води та солоність.....	21
Розділ 4 – Кліматичні фактори, що впливають на зрошення	22
4.1. Поняття евапотранспірації (ЕТ)	22
4.2. Еталонна евапотранспірація (ЕТ ₀) та коефіцієнти культур (К _с).....	23
4.3. Характеристики опадів та ефективна кількість опадів	25
4.4. Температура, вологість і вітер.....	26
Розділ 5 – Системи зрошення для яблуневих садів	28
5.1. Поверхнєве зрошення (борозенне, басейнове)	29
5.2. Зрошення за допомогою дощувальних установок	29
5.2.1. Надземні дощувачі	29
5.2.2. Розпилювачі під деревами	30
5.2.3. Мікророзпилювачі.....	30
5.3. Крапельне зрошення	31

5.3.1. Поверхнєве крапельне зрошення	31
5.3.2. Підповерхнєве крапельне зрошення	32
5.4. Критерії вибору системи	33
5.5. Порівняльні переваги та обмеження.....	33
Розділ 6 – Планування зрошення.....	35
6.1. Методи моніторингу вологості ґрунту	35
6.1.1. Тензіометри	36
6.1.2. Ємнісні датчики та датчики TDR.....	37
6.1.3. Гравіметричний відбір проб	37
6.2. Індикатори на основі рослин	38
6.2.1. Потенціал води в стеблі	38
6.2.2. Температура листя та провідність продихів	39
6.3. Планування поливу на основі погодних умов (ET).....	39
6.4. Інструменти та моделі для підтримки прийняття рішень	40
6.5. Стратегії регульованого дефіцитного зрошення (RDI)	41
Розділ 7 – Потреба у воді залежно від стадії розвитку саду	43
7.1. Щойно висаджені дерева.....	43
7.2. Молоді сади, що ще не дають врожаю	44
7.3. Зрілі плодоносні сади	44
7.4. Сади високої щільності порівняно з традиційними	45
Розділ 8 – Фертигація	47
8.1. Принципи фертигації	47
8.2. Обладнання для введення поживних речовин.....	48
8.3. Планування внесення поживних речовин під час зрошення	49
8.4. Збільшення вмісту кисню у воді.....	50
8.5. Хімічне внесення добрив	50
Розділ 9 – Проектування та монтаж системи	52
9.1. Принципи гідравлічного проектування	52
9.2. Вимоги до насоса та системи фільтрації.....	53
9.3. Розташування труб та відстань між крапельницями	55
9.4. Регулювання тиску та автоматизація	56
9.5. Кращі практики монтажу	56
Розділ 10 – Експлуатація, технічне обслуговування та усунення несправностей	58
10.1. Регулярні перевірки системи	58

10.2. Запобігання та усунення засмічення	59
10.3. Зимовий сезон	60
10.4. Поширені проблеми та їх вирішення.....	60
Розділ 11 – Збереження води та сталий розвиток	62
11.1. Показники ефективності використання води (WUE)	62
11.2. Мульчування та покривні культури	63
11.3. Збір та повторне використання дощової води.....	64
11.4. Дренаж	64
11.5. Адаптація до зміни клімату	65
Розділ 12 – Економічні та регуляторні аспекти	66
12.1. Аналіз витрат і вигод систем зрошення.....	66
12.2. Використання енергії та витрати на перекачування	67
Додаток	69
Додаток А — Перерахунок одиниць вимірювання та корисні константи	69
Додаток Б — Короткий довідник коефіцієнтів врожайності яблук (Kc).....	69
Додаток С — Рекомендації щодо якості води для зрошення	70
Додаток Д — Робочий аркуш для проектування крапельної системи	71
Додаток Е — Глосарій термінів	72
Література:	74

Список рисунків

Рисунок 1 - Основні кліматичні зони вирощування яблук в Україні	8
Рисунок 2 - Типова структура кореневої системи зрілої яблуні на напівкарликовому підщепі.	11
Рисунок 3 - Схема: Транспірація	12
Рисунок 4 - Критичні стадії росту та приблизна добова потреба у воді протягом вегетаційного періоду яблуні в умовах Центральної України.	13
Рисунок 5 - Розвиток плодів: від квітки до плоду	14
Рисунок 6 - Поділ клітин плоду, розширення клітин та дозрівання.....	15
Рисунок 7 - Прогресуючі симптоми водного стресу у яблунь.....	16
Рисунок 8 - Об'ємна вологість при насиченні.....	17
Рисунок 9 - Вода, доступна для рослин (PAW)	18
Рисунок 10 - Поглинання води органічною речовиною.....	20
Рисунок 11 - Температура в Україні.....	22
Рисунок 12 - Швидкість вітру	27
Рисунок 13 — Дефіцит тиску пари (VPD)	27
Рисунок 14 - Поверхнєве зрошення	29
Рисунок 15 - Навісні спринклери	29

Рисунок 16 - Розпилювачі під деревами, Nelson	30
Рисунок 17 - Мікророзпилювачі, Agrimotion	31
Рисунок 18 - Поверхнєве крапельне зрошення.....	32
Рисунок 19 - Підповерхнева крапельна система, Rivulis.....	32
Рисунок 20 - Ручний метод вимірювання вологості ґрунту	35
Рисунок 21 - Поперечний переріз тензіометра та інструкція з читання показань.	36
Рисунок 22 - Іррометр показує рівень сухості ґрунту, вимірюючи водяний потенціал ґрунту (тиск всмоктування)	36
Рисунок 23 - Ємнісні та TDR-датчики	37
Рисунок 24 - Гравіметричний аналіз, workybooks.com	38
Рисунок 25 - Водний потенціал стебла з листям у мішках, PMS Instrument Company	38
Рисунок 26 - Електронний термометр	39
Рисунок 27 - Схематична діаграма схеми зрошення у режимах FI, RDI та PRD за даними Девіса та Харфунга (2004)	41
Рисунок 28 - Стратегія регульованого дефіцитного зрошення у порівнянні з повним зрошенням.....	42
Рисунок 29 - Схематичне порівняння традиційних (ліворуч, ~400 дерев/га на напівкарликових підщепах) та високощільних (праворуч, ~3 000 дерев/га на М9) систем яблуневих садів.	45
Рисунок 30 - основні методи введення, що використовуються у фертигації яблунь.....	47
Рисунок 31 - Блок введення, виробник VGB	48
Рисунок 32 - Схематичне зображення Vital Oxidizer	50
Рисунок 33 - Проект системи зрошення.....	52
Рисунок 34 - Мобільна насосна система	53
Рисунок 35 - Водофільтрувальна установка.....	54
Рисунок 36 - Схема типової насосно-фільтрувальної лінії для системи крапельного зрошення яблуневого саду	54
Рисунок 37 - План типової схеми крапельного зрошення для яблуневого саду.....	55
Рисунок 38 - Кращі практики монтажу	57
Рисунок 39 - Три категорії засмічення крапельних емітерів.....	59
Рисунок 40 - Водозбірний басейн	62
Рисунок 41 - Порівняння ґрунту без мульчі (ліворуч) та мульчованого ґрунту з покривними культурами (праворуч) у садах	63
Рисунок 42 - Схематичне зображення дренажу	64
Рисунок 43 - Орієнтовні економічні показники на гектар для основних систем зрошення в Україні	66

Зміст таблиць

Таблиця 1 - Типові характеристики вологості ґрунту для основних класів текстури, що зустрічаються в українських яблуневих садах	18
Таблиця 2 - Середньомісячна еталонна евапотранспірація (ЕТо, мм) для основних регіонів України, де вирощують яблука.....	24
Таблиця 3 - Рекомендовані коефіцієнти врожайності яблук.....	25

Таблиця 4 - Орієнтовні сезонні потреби у воді для зрілих плодоносних яблуневих садів у основних регіонах України	44
Таблиця 5 - Матриця усунення типових проблем із зрошенням яблуневих садів.....	61

Розділ 1 – Вступ

1.1. Значення зрошення у виробництві яблук

Яблуко (*Malus domestica* Borkh.) є економічно найважливішим плодом родини яблуневих, що вирощується в Україні, і вже понад століття є основою садівничої галузі країни. Україна стабільно входить до десятки найбільших виробників яблук у Європі та є провідним регіональним експортером свіжих фруктів, сокових концентратів та сушених яблучних продуктів. За останнє десятиліття середньорічний обсяг виробництва становив від 1,0 до 1,2 млн тонн, які збирають із площі садів, що перевищує 100 000 гектарів і розташована у всіх основних сільськогосподарських зонах — від Полісся на півночі до Чорноморської степу на півдні.

Незважаючи на таку важливість, врожайність яблук в Україні значно коливається. Провідні комерційні сади, де застосовуються сучасні методи посадки з високою щільністю та повним зрошенням, регулярно дають від 50 до 70 тонн з гектара, тоді як старіші традиційні сади, що покладаються виключно на природні опади, зазвичай дають лише від 10 до 25 тонн з гектара. Значна частина цієї різниці пояснюється особливостями управління водними ресурсами. Яблуня не є посухостійкою культурою; вона еволюціонувала в помірному кліматі, де в середині літа запасів води зазвичай достатньо, і її врожайність різко знижується, коли вологи в ґрунті стає недостатньою під час критичного періоду росту плодів — з кінця травня до початку вересня.



Рисунок 1 - Основні кліматичні зони вирощування яблук в Україні

Українські умови вирощування наочно ілюструють цю залежність. У той час як у лісостеповій зоні випадає від 500 до 600 мм опадів на рік, у південному степу — лише від 350 до 450 мм, причому розподіл опадів рідко відповідає потребам культури. У липні

та серпні евапотранспірація регулярно сягає 5–7 мм на добу, тоді як літні опади є нерегулярними і часто випадають у вигляді коротких, інтенсивних злив, що перевищують інфільтраційну здатність ґрунту. Без додаткового зрошення на півдні часто спостерігається дефіцит води в середині літа в обсязі 200–400 мм, і навіть у центральних регіонах у роки з кількістю опадів нижче норми можуть траплятися періоди посухи, що обмежують врожайність.

Основна частина комерційного виробництва зосереджена в лісостепових та північностепових регіонах, де додаткове зрошення стає дедалі необхіднішим для садів з високою щільністю насаджень.

Отже, роль зрошення в сучасному українському яблуківництві полягає не лише в запобіганні втрати врожаю під час років виняткової посухи; це невід’ємна складова управління садами, що триває протягом усього вегетаційного періоду. Належним чином спроектовані та експлуатовані системи зрошення дають можливість садівникам підтримувати стабільний водний режим ґрунту, необхідний для садів високої щільності на карликових підщепах, інтегрувати управління поживними речовинами за допомогою фертигації, контролювати ризик заморозків під час весняного цвітіння та подовжити продуктивний термін насаджень. Інвестиції в зрошувальну інфраструктуру стали одним із найнадійніших видів капітальних витрат, що підвищують врожайність, для українських виробників яблук, прибутковість яких підтверджена покращенням розміру плодів, їхнього забарвлення, вмісту цукру та здатності до зберігання.

Зміни клімату підсилюють ці міркування. Кліматичні спостереження Державної гідрометеорологічної служби свідчать, що за останні чотири десятиліття середні літні температури на півдні України підвищилися приблизно на 1,5–2,0 °C, літні опади стали більш нестабільними, а частота помірних та сильних сільськогосподарських посух зросла. Прогнози на майбутнє вказують на те, що ці тенденції збережуться. Очікується, що яблуневі сади, засаджені сьогодні, залишатимуться у виробництві протягом 20–30 років, а це означає, що зрошувальна інфраструктура, спроектована та встановлена наприкінці 2020-х років, повинна працювати в кліматичних умовах, які можуть бути помітно спекотнішими та сухішими, ніж у минулому.

1.2. Огляд потреб яблунь у воді

Зрілий яблуневий сад втрачає через транспірацію значно більше води, ніж може здатися на перший погляд. Потужний плодоносний сад у центральній Україні має сезонну потребу в евапотранспірації приблизно від 550 до 750 мм. Якщо відняти ефективні опади, чиста потреба в зрошенні коливається від 150 мм у вологих сезонах на півночі до понад 500 мм у посушливих сезонах на півдні. Інакше кажучи, сад площею в один гектар може споживати від 4 000 до 7 000 кубічних метрів води за один вегетаційний період.

Потреба у воді не є постійною. Вона є незначною на початку весни до розгортання листя, стрімко зростає під час цвітіння та зав’язування плодів, досягає піку під час тривалої фази росту плодів у червні та липні, а після збору врожаю поступово зменшується. До критичних періодів високої чутливості до дефіциту води належать цвітіння (клітинний поділ у плодах, що розвиваються), фаза швидкого росту плодів з кінця червня до початку серпня (визначення розміру плодів) та чотири–шість тижнів перед збором врожаю

(накопичення цукру, формування кольору та дозрівання). Навіть короткочасний водний стрес у ці періоди може спричинити необоротні втрати розміру, врожайності та якості плодів, які неможливо компенсувати пізнішим поливом.

Загальна рекомендація для українських умов полягає в тому, що зрілий, повноцінно плодоносний сад потребує еквівалента 4–6 мм води на добу під час пікового попиту, розподіленого таким чином, щоб доступна вологість ґрунту в прикореневій зоні залишалася вище 60 відсотків польової вологоємності. Точний об'єм залежить від підщепи, щільності посадки, розміру крони, типу ґрунту та клімату, а система зрошення має бути спроектована так, щоб надійно забезпечувати цей піковий попит протягом найдовшого очікуваного посушливого періоду сезону.

1.3. Цілі та сфера застосування

Цей посібник містить практичні рекомендації щодо проектування, встановлення, експлуатації та управління системами зрошення для вирощування яблук в умовах України. Він призначений для власників садів, керівників господарств, агрономів, консультантів з питань сільського господарства та підрядників із зрошення; передбачає базові знання в галузі садівництва, але не вимагає попередніх знань з інженерії зрошення.

Посібник складається з дванадцяти розділів, які послідовно переходять від основних принципів до практичних рекомендацій. У розділі 2 розглядаються фізіологія яблуні та її потреби у воді. У розділах 3 та 4 аналізуються ґрунтові та кліматичні фактори, що визначають місцеві потреби у воді. У розділі 5 наводиться огляд систем зрошення, які найчастіше використовуються у виробництві яблук, а в розділі 6 пояснюється, як планувати зрошення, використовуючи методи, засновані на аналізі стану ґрунту, рослин та погодних умов. У розділі 7 наведено водні баланси для окремих стадій розвитку, у розділі 8 розглядаються фертигація та хемоіригація, а розділ 9 присвячений проектуванню та встановленню систем. У розділі 10 розглядаються експлуатація, технічне обслуговування та усунення несправностей; у розділі 11 обговорюються питання збереження водних ресурсів та сталого розвитку; а розділ 12 присвячений економічним аспектам. Далі наводяться бібліографія та додатки.

Протягом усього видання основна увага приділяється практичним, перевіреним на практиці рекомендаціям, адаптованим до українських умов. У випадках, коли в літературі наводяться діапазони значень, рекомендовані типові значення відображають умови, що зустрічаються в основних комерційних зонах вирощування яблук (Вінницька, Хмельницька, Черкаська, Київська, Харківська, Дніпропетровська, Запорізька, Миколаївська та Херсонська області, а також зрошувані райони півдня). У додатках зібрано таблиці перерахунку, робочі таблиці для розрахунків та довідкові дані, готові до використання в польових умовах.

Розділ 2 – Фізіологія яблуні та її потреби у воді

Ефективне зрошення починається з розуміння того, як яблуня використовує воду. У цьому розділі розглядаються структурні та функціональні особливості, що визначають, де, коли та скільки води потребує дерево, а також визначаються стадії розвитку, на яких управління водними ресурсами має найбільший вплив на врожайність та якість плодів.

2.1. Будова та глибина кореневої системи

Глибина, бічний розмах та щільність кореневої системи визначають об'єм ґрунту, з якого яблуня може черпати воду. Зріла яблуня стандартного або напівкарликового сорту може розвинути кореневу систему, що простягається на 1,5–2,5 метра вглиб та на 2–4 метри вбік, але переважна більшість дрібних коренів, що поглинають воду, зосереджена у верхньому шарі ґрунту товщиною 30–60 см. Як правило, приблизно 60–70 відсотків загальної маси коренів знаходиться у верхніх 30 см, ще 20–30 відсотків — на глибині від 30 до 80 см, а менше 10 відсотків — нижче 80 см.

Коріння на карликових підщепах, таких як М9, розташоване ближче до поверхні та менш розгалужене, ніж на стандартних підщепах або підщепах-саджанцях. У дерева на підщепі М9, що росте на добре доглянутому суглинному ґрунті, ефективна зона кореневої системи зазвичай обмежується верхнім шаром глибиною від 40 до 50 см, причому коріння на глибині понад один метр зустрічається вкрай рідко. Це означає, що сади з високою щільністю на підщепах М9 повністю залежать від вологості верхнього шару ґрунту і мають набагато меншу здатність до буферизації під час коротких посушливих періодів, ніж старіші сади на стандартних підщепах. Навпаки, дерева на підщепах ММ106, ММ111 або на підщепах-саджанцях можуть черпати вологу з глибших шарів і витримувати довші проміжки між поливами.

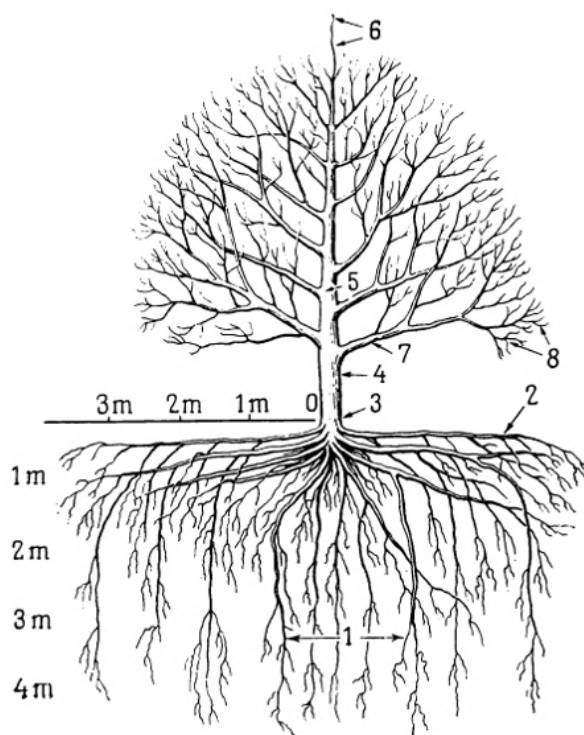


Рисунок 2 - Типова структура кореневої системи зрілої яблуні на напівкарликовій підщепі.

Структура ґрунту має значний вплив на розподіл коренів. Ущільнені шари, глиняні прошарки або анаеробні горизонти обмежують ріст коренів углиб і призводять до їх концентрації в шарах, що знаходяться безпосередньо над перешкодою. Каменисті або грубозерністі ґрунти з поганою водоутримувальною здатністю змушують корені поширюватися на більшу відстань. На українських чорноземах із глибокою, добре

дренованою структурою коріння яблуні може охоплювати профіль глибиною від 100 до 150 см, якщо вода та поживні речовини розподілені рівномірно. Натомість важчі глинисті або солонецькі ґрунти в деяких районах півдня обмежують ефективну глибину вкорінення до 50–70 см.

Основна маса поглинальних коренів зосереджена у верхньому шарі глибиною 30 см, а кількість дрібних коренів у глибших шарах поступово зменшується.

З точки зору проектування зрошення критичним параметром є ефективна глибина вкорінення — глибина, з якої дерево поглинає щонайменше 80 відсотків води. Для українських яблуневих садів ця глибина зазвичай становить від 60 до 100 см для традиційних насаджень та від 40 до 60 см для систем М9 з високою щільністю посадки. Зрошення слід здійснювати таким чином, щоб заповнити дефіцит вологи в цій активній зоні, але не глибше, оскільки вода, що проникає нижче кореневої зони, втрачається.

Солонцеві ґрунти характеризуються наявністю натрічного горизонту в підґрунті, що є результатом тривалого та інтенсивного збагачення адсорбованим натрієм та пов'язаної з цим диференціації текстури, що призводить до утворення горизонту накопичення глини з високим насиченням натрієм (натрічний горизонт).

2.2. Транспірація та поглинання води

Вода рухається по яблуні по безперервному шляху від ґрунту, через коріння, вгору по ксилемі, у листя і, нарешті, назовні через продихи в атмосферу. Цей потік — транспірація — майже повністю зумовлений потребою повітря у випаровуванні. У типовий ясний літній день у центральній Україні зріла яблуня з діаметром крони 4 метри може випаровувати від 40 до 70 літрів води; за дуже спекотних, вітряних та сухих умов у південному степу цей показник може короткочасно наблизитися до 100 літрів на дерево на добу.

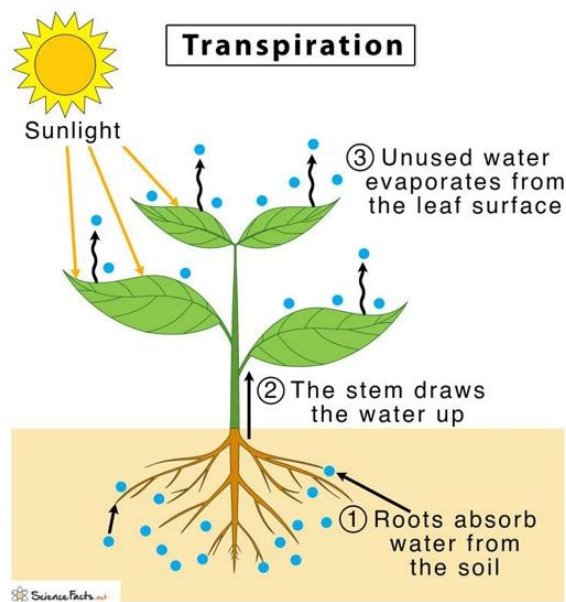


Рисунок 3 - Схема: Транспірація

Продихи — мікроскопічні пори на нижній стороні листя — регулюють цей потік. Вони відкриваються під впливом світла і закриваються у відповідь на водний стрес, високий дефіцит тиску пари або підвищення температури листя. Закриття продихів під час водного стресу є захисною реакцією, яка зберігає воду, але також зупиняє фотосинтез і, отже, зупиняє ріст плодів. Навіть короткочасне закриття продихів опівдні під час періоду набору плодів призводить до помітного зменшення щоденного приросту маси плодів.

Поглинання води коренями залежить від градієнта водного потенціалу між ґрунтом та ксилемою кореня. Коли ґрунтової води багато і вона утримується слабо, поглинання відбувається легко. У міру висихання ґрунту та збільшення сили всмоктування дерево мусить поступово знижувати (збільшувати від'ємність) внутрішній водний потенціал, щоб підтримувати поглинання. Коли сила всмоктування ґрунту перевищує здатність дерева формувати відповідний внутрішній потенціал, поглинання зупиняється, листя в'яне, а фотосинтез припиняється. Для яблуні ця точка — практичний поріг в'янення — досягається при

1,5 МПа ґрунтового тиску, хоча стрес, що обмежує ріст, починає проявлятися при значно нижчих значеннях тиску — приблизно від 60 до 80 кПа в активній зоні коренів.

2.3. Критичні стадії росту та потреба у воді

Потреба яблуні у воді систематично змінюється протягом сезону, відображаючи як розвиток крони, так і мінливу потребу розвиваючогося врожаю. На рис. 2.2 узагальнено цю сезонну закономірність для зрілого плодоносного саду.

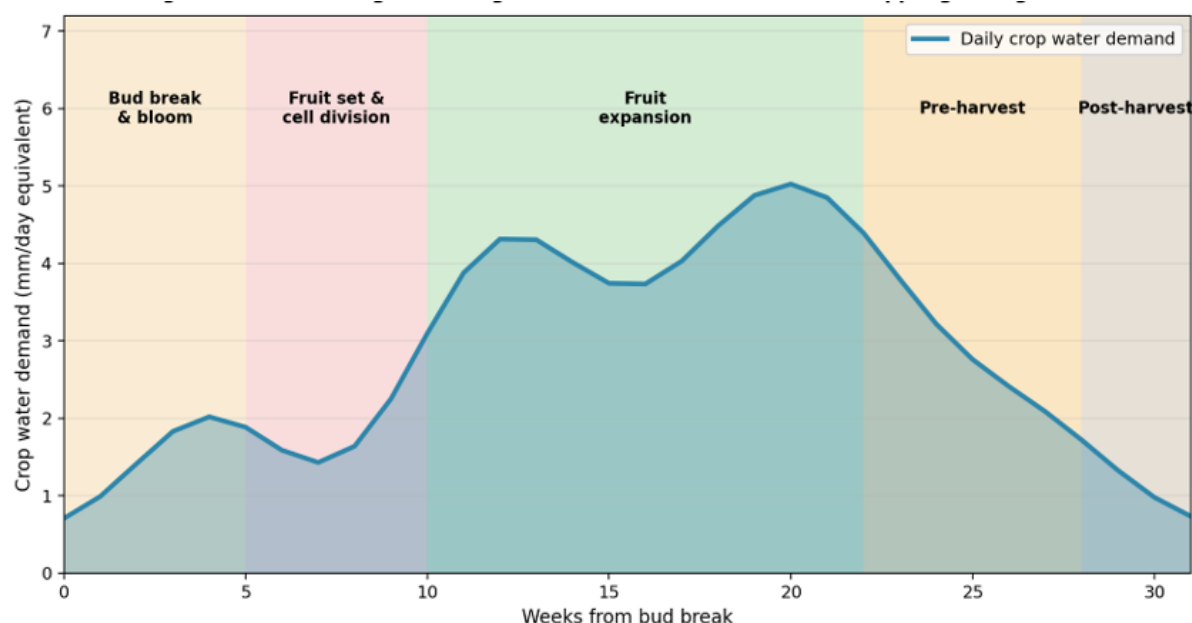


Рисунок 4 - Критичні стадії росту та приблизна добова потреба у воді протягом вегетаційного періоду яблуні в умовах Центральної України.

2.3.1. Розпука бруньок та цвітіння

Розпускання бруньок в українських яблуневих садах зазвичай відбувається наприкінці березня на півдні та в середині квітня на півночі. Потреба у воді на цій стадії є низькою — розгорнулася лише невелика площа листя — але ґрунтовий профіль на момент початку розпускання бруньок повинен бути на рівні польової вологості або близьким до неї. Достатня вологість під час цвітіння (кінець квітня — середина травня) має вирішальне значення для росту пилових трубок, запліднення та ранньої фази клітинного поділу в плодиках, що розвиваються. Водний стрес під час цвітіння знижує зав'язування плодів і є головною причиною низьких врожаїв у роки з посушливою

весною. У звичайні роки танення снігу та весняні опади задовольняють більшу частину цієї потреби, але в посушливі весни її необхідно компенсувати зрошенням.

Весняне зрошення має додаткову перевагу — його можна використовувати для захисту від заморозків. Дощове зрошення під час радіаційних заморозків може захистити квітки при температурі до приблизно -4 – -5 °C завдяки прихованій теплоті, що виділяється під час замерзання води на бруньках; це детальніше розглядається в розділі 5.

2.3.2. Утворення плодів та клітинний поділ

Протягом трьох-чотирьох тижнів після опадання пелюсток — зазвичай з середини травня до середини червня — плоди яблуні, що розвиваються, проходять фазу клітинного поділу. Остаточна кількість клітин у плоді визначається саме в цей період, і хоча розширення клітин може згодом певною мірою компенсувати зменшену кількість клітин, плоди, які під час клітинного поділу зазнають водного стресу, ніколи не досягають свого повного потенційного розміру. Це найчутливіша до води стадія у життєвому циклі яблуні. Вологість ґрунту в прикореневій зоні слід підтримувати на рівні, близькому до польової вологоємності, причому її зниження не повинно перевищувати 30 відсотків від кількості води, доступної для рослин. Застосування стратегій контрольованого дефіциту у цей період категорично не рекомендується.

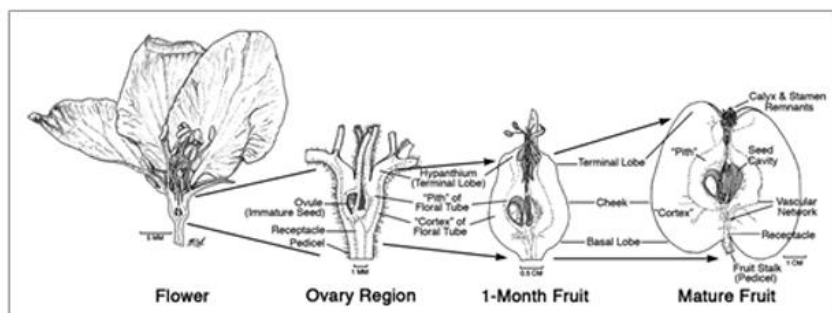


Рисунок 5 - Розвиток плодів: від квітки до плоду

2.4. Розширення плодів

Приблизно з 30-го дня після опадання пелюсток і до двох-трьох тижнів перед збором врожаю яблуко росте майже виключно за рахунок розширення клітин.

Це найтриваліша фаза сезону — зазвичай від 75 до 100 днів — і саме на неї припадає переважна більшість кінцевої маси плоду. Щоденна потреба у воді досягає свого піку: від 4 до 6 мм на добу для зрілого саду з високою щільністю насаджень, іноді перевищуючи 7 мм на добу у спекотні та посушливі дні в південному степу.

Водяний стрес під час росту плодів безпосередньо зменшує їх розмір та загальний урожай. Дослідження в регіонах вирощування яблук із кліматом, схожим на український, показали, що навіть помірний стрес (50–60 % від повної евапотранспірації) під час цієї фази знижує врожайність на 10–20 %. Сильний стрес також може спричинити передчасне опадання плодів, викликати гіркоту або інші фізіологічні порушення, а також зменшити запаси вуглеводів у дерев напередодні осені — що, у свою чергу, послаблює формування квіткових бруньок на наступний рік.

Для високоцінних сортів, призначених для ринку свіжої продукції, де преміальні ціни

залежать від досягнення мінімальних порогових значень діаметра плодів, підтримання повного ЕТс протягом фази розширення плодів є надзвичайно важливим. Менш цінні сорти, призначені для виробництва соків або переробки, можуть витримувати певний контрольований дефіцит, але лише протягом конкретних коротких періодів у межах фази розширення (див. розділ 6).

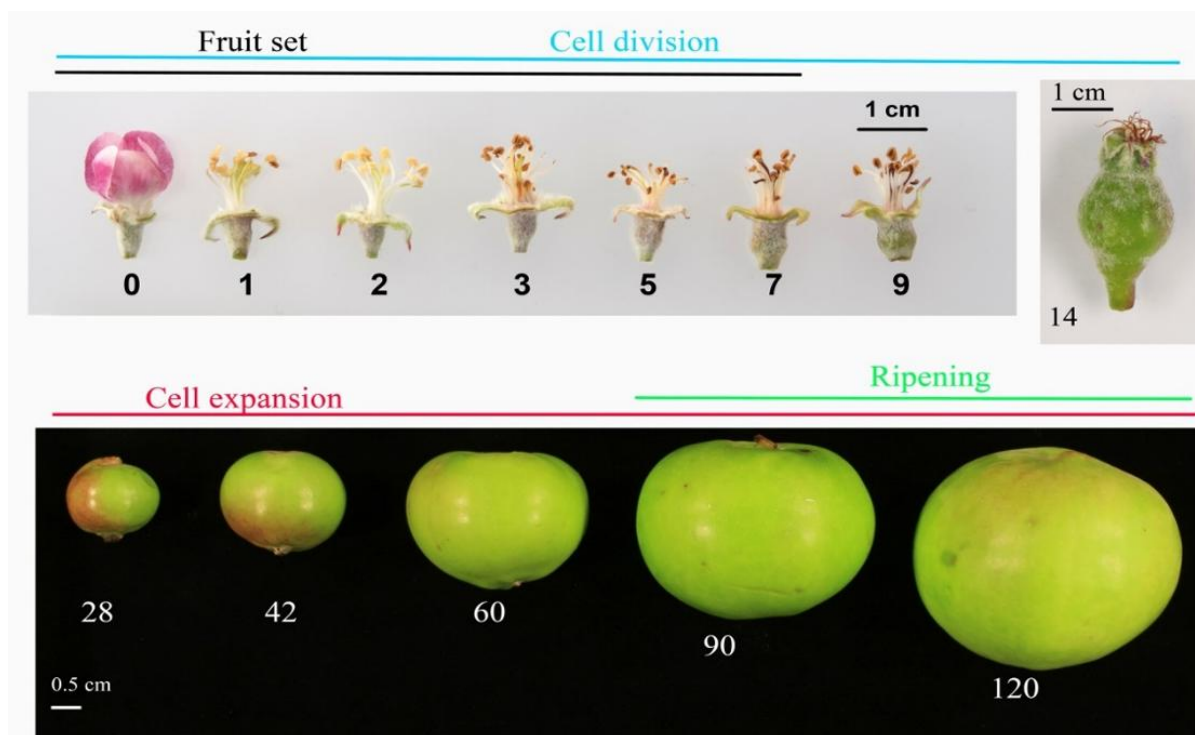


Рисунок 6 - Поділ клітин плоду, розширення клітин та дозрівання

2.5. Передзбиральний та післязбиральний періоди

Протягом останніх двох–чотирьох тижнів перед збиранням попиту на воду починає знижуватися, оскільки ЕТо зменшується, а плоди завершують своє зростання. Домінуючими фізіологічними процесами стають накопичення цукру, перетворення крохмалю на цукор та формування забарвлення. Помірне обмеження поливу на цьому етапі може покращити забарвлення плодів, вміст розчинних сухих речовин та здатність до зберігання після збору врожаю, особливо для червоних сортів у лісостеповій зоні. Однак сильний передзбиральний стрес може спричинити тріскання плодів (особливо після сильного дощу, що перериває період посухи) та викликати гіркоту плодів через зменшення транспорту кальцію до плодів. Тому рекомендується застосовувати м'яку стратегію: зменшити полив до приблизно 70–80 відсотків від ЕТс за три тижні до збору врожаю, а потім підтримувати мінімальний рівень поливу.

Після збору врожаю зрошення слід продовжувати на помірному рівні (приблизно 60 відсотків від ЕТс) до опадання листя, особливо в посушливі осінні періоди. Водний режим після збору врожаю впливає на запаси вуглеводів, що накопичуються в стовбурі та коренях, що, у свою чергу, сприяє росту коренів восени, зимостійкості та ранньому весняному сплеску росту в наступному сезоні. Допущення того, щоб дерева входили в зиму зі значним дефіцитом води, є поширеною — і такою, якої можна уникнути — причиною слабого повторного цвітіння та зниження врожайності.

2.6. Водний стрес: симптоми та вплив на врожайність

Вміння розпізнавати симптоми водного стресу є надзвичайно важливим для керівника садового господарства. Симптоми стресу у яблунь розвиваються за досить передбачуваною послідовністю у міру вичерпання вологи в ґрунті.

Найперші ознаки ледь помітні: незначна втрата темно-зеленого забарвлення листя, уповільнення темпів росту нових пагонів та поступове закриття продихів у полудень, яке не помітно неозброєним оком. У міру посилення стресу листя починає в'янути в найспекотніший час доби, але відновлюється протягом ночі; ріст пагонів сповільнюється або зупиняється; а темпи росту плодів знижуються. Сильний стрес призводить до скручування листя, тьмяного або сіро-зеленого забарвлення і, зрештою, до передчасного опадання листя, що спричиняє необоротне пошкодження врожаю цього сезону та ослаблення врожаю наступного року. Втрати врожаю внаслідок сильного стресу можуть коливатися від 30 відсотків до повного випадання врожаю.

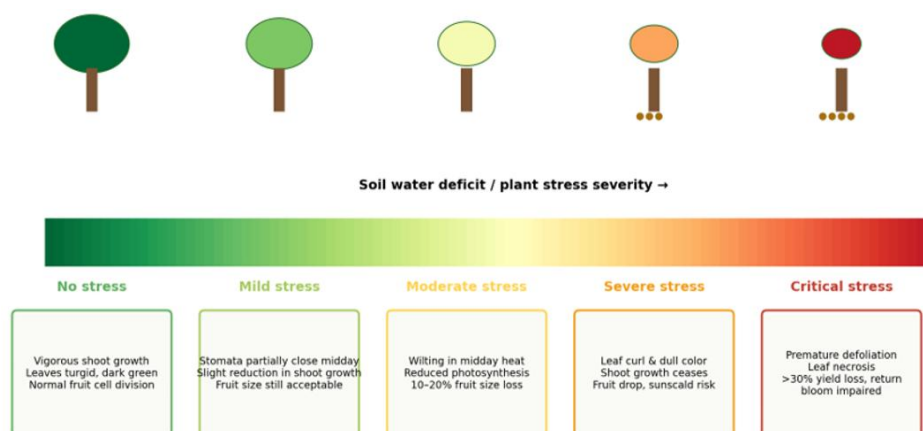


Рисунок 7 - Прогресуючі симптоми водного стресу у яблунь

Ранні ознаки часто є ледь помітними й вимагають ретельного спостереження; до моменту появи видимого в'янення або пошкодження листя вже відбулися значні втрати врожаю.

Кількісні порогові значення для початку стресу, що обмежує врожайність яблуні, добре встановлені. У активній зоні коренів менеджер з поливу повинен прагнути підтримувати:

- вологість ґрунту на рівні понад 60 відсотків доступної води (або, що еквівалентно, вичерпання запасів води, доступної для рослин, до рівня нижче 40 відсотків);
- матричну напругу ґрунту на рівні нижче 40–60 кПа на глибині активної зони коренів (10–30 см для сортів М9 з високою щільністю посадки, 30–50 см для традиційних садів);
- водяний потенціал стебла опівдні не нижче -1,2–1,5 МПа під час набору плодів.

Коли будь-який із цих показників перевищує відповідний поріг, слід негайно запланувати полив, щоб запобігти втраті врожаю. Використання цих показників у практичному плануванні поливу розглядається в розділі 6.

Розділ 3 – Фактори, пов'язані з ґрунтом та місцем розташування

Ґрунт є накопичувальним середовищем, через яке поливна вода досягає яблуні. Його фізичні властивості визначають, скільки води він може утримувати, як швидко він її вбирає, як швидко ця вода стікає та наскільки легко дерево може її поглинати. Тому чітке розуміння ґрунту на ділянці саду є основою будь-якої програми поливу.

3.1. Текстура ґрунту та водоутримуюча здатність

Текстура ґрунту — відносна частка піску, мулу та глинистих частинок — визначає розмір і розташування пор у ґрунті, а отже, і здатність ґрунту утримувати та віддавати воду. Грубозернисті ґрунти (піщані) мають великі пори, швидко дренуються та утримують мало води; дрібнозернисті ґрунти (глини) мають дрібні пори, дренуються повільно та утримують більше води, але значна її частина утримується настільки міцно, що рослина не може її засвоїти. Середньозернисті ґрунти (суглинки) зазвичай є найкращим компромісом для вирощування яблук: помірна водоутримуюча здатність, хороший дренаж та хороша аерація.

Більшість основних регіонів вирощування яблук в Україні розташовані на глибоких, добре структурованих чорноземних ґрунтах — суглинистих або суглинисто-глинистих ґрунтах з чудовою природною родючістю, дуже хорошою водоутримувальною здатністю та стабільною структурою. Ці ґрунти можуть утримувати до 200 мм доступної

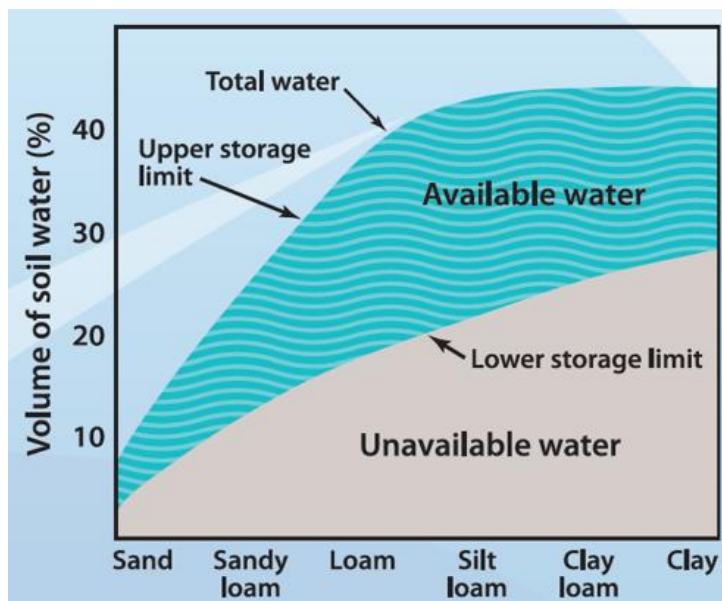


Рисунок 8 - Об'ємна вологість при насиченні

для рослин води на метр глибини, що робить їх ідеальними для вирощування яблук. Натомість піщані та піщано-суглинні ґрунти в окремих районах Полісся утримують лише від 80 до 120 мм на метр і потребують частішого зрошення, тоді як важкі глини в деяких районах Черкаської, Кіровоградської областей та на півдні можуть повільно дренуватися та схильні до перезволоження без ретельного догляду.

3.2. Польова вологоємність, точка в'янення та доступна вода

У управлінні зрошенням зазвичай використовуються три поняття, пов'язані з вологою ґрунту:

- Насичення: всі пори в ґрунті заповнені водою. Цей стан є нестійким для здорових коренів яблуні; коріння задихнеться протягом кількох днів, якщо ґрунт залишатиметься насиченим.
- Польова вологості (FC): Вміст води, що залишається після того, як насичений ґрунт вільно відсиджується під дією сили тяжіння протягом одного–трьох днів. Це верхня межа вмісту води, корисної для рослини.
- Точка постійного в'янення (PWP): Вміст води, при якому рослина більше не може поглинати воду з ґрунту і остаточно в'яне. Для більшості практичних цілей це приймається як матрична напруга 1,5 МПа (15 атмосфер).

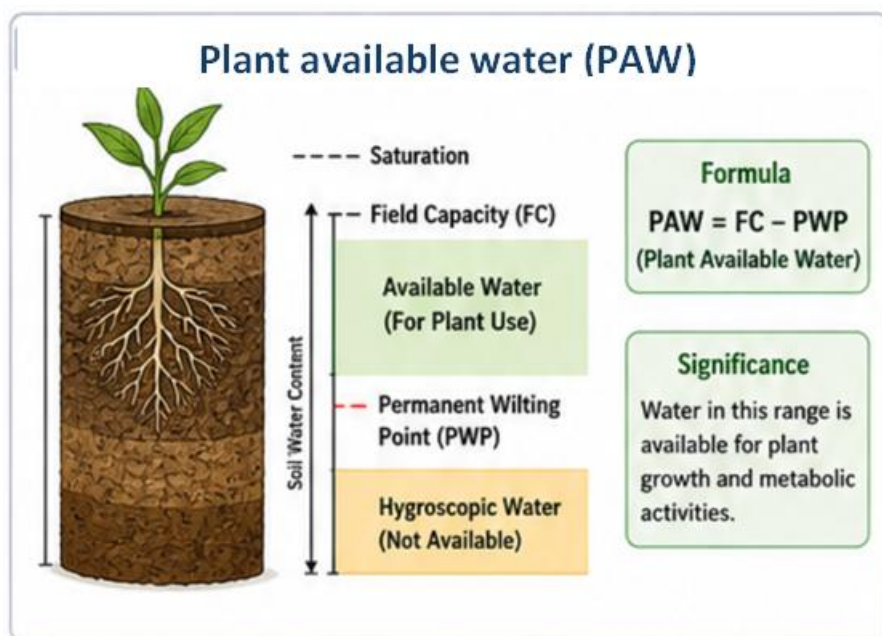


Рисунок 9 - Вода, доступна для рослин (PAW)

Різниця між FC і PWP — це вода, доступна для рослин (PAW), тобто вода, яку яблуня може фактично використовувати. Типові значення PAW становлять приблизно від 6 до 10 мм на 10 см глибини ґрунту в піщаних ґрунтах, від 15 до 18 мм на 10 см у суглинках та суглинко-мулистих ґрунтах, а також від 17 до 20 мм на 10 см у мулисто-глинистих суглинках. PAW для всієї ефективної кореневої зони дорівнює добутку цього значення на глибину активної кореневої зони; отже, для суглинку чорноземного типу, на якому росте зріла яблуня з ефективною глибиною кореневої системи 100 см, запас PAW становить приблизно 150–180 мм.

У практиці зрошення метою є наповнення кореневої зони до рівня повного насичення (FC), а потім надання дереву можливості поглинати воду до вичерпання обраної частки PAW, після чого проводиться наступне зрошення. Для яблуні на критичних стадіях розвитку ця частка вичерпання не повинна перевищувати 30–40 відсотків від PAW. Зведені типові значення наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Типові характеристики вологості ґрунту для основних класів текстури, що зустрічаються в українських яблуневих садах

Текстура ґрунту	Польова вологості (об. %)	PWP (об. %)	PAW (мм / 10 см)	Типова швидкість інфільтрації (мм/год)
Пісок	10 – 15	3 – 5	7 – 10	> 30

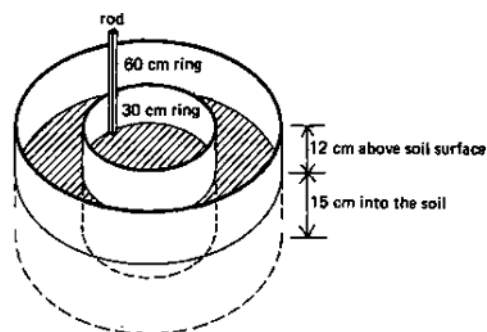
Піщаний суглинок	18 – 22	6 – 10	10 – 13	15 – 30
Суглинок	24 – 30	10 – 13	14 – 17	10 – 20
Суглинистий (чорнозем)	28 – 34	11 – 15	16 – 19	8 – 15
Глинистий суглинок	32 – 38	15 – 18	17 – 20	4 – 8
Глина	38 – 45	20 – 25	17 – 22	1 – 4

3.3. Глибина ґрунту та дренаж

Ефективна глибина вкорінення — а отже, і об'єм води, доступної для дерева, — визначається як текстурним профілем ґрунту, так і будь-якими шарами, що обмежують проникнення коренів. До поширених перешкод у ґрунтах українських садів належать плужна підшва (уцільнені шари в основі ґрунту внаслідок тривалої обробки), природні глинисті шари, глейові (анаеробні) горизонти, а також вапнякові або інші тверді шари. Перед закладенням саду слід дослідити ґрунтовий профіль на глибину щонайменше 150 см у кількох репрезентативних місцях. Найкращим методом є виривання ґрунтових ям за допомогою екскаватора; буріння отворів шнеком є прийнятним альтернативним варіантом.

Дренаж є іншим критично важливим аспектом придатності ґрунту. Яблуні не переносять тривалого перезволоження кореневої зони. Навіть короточасне перезволоження під час вегетаційного періоду призводить до кисневого голодування, відмирання коренів та підвищеної схильності до фітофторозу. Ділянка, на якій після весняного танення снігу або літніх злив утворюються калюжі, не підходить для вирощування яблунь без штучного дренажу. Вимоги до дренажу зазвичай оцінюють, викопуючи яму глибиною 100 см, заповнюючи її водою та спостерігаючи за падінням рівня води протягом 24 годин; задовільний дренаж відповідає падінню рівня води щонайменше на 50 см за 24 години.

У разі недостатнього природного дренажу можливими варіантами є підземний трубчастий дренаж на глибині від 0,8 до 1,2 м, дренаж за допомогою «кротів» (де це доцільно), підняті грядки або — як крайній захід — вибір іншої ділянки. Установку дренажних систем необхідно планувати у поєднанні з інфраструктурою зрошення, оскільки затоплення внаслідок несправності зрошувальної системи є однією з найпоширеніших причин перезволоження навіть добре дренованого саду.



Найпоширенішим методом вимірювання швидкості інфільтрації є польовий тест із використанням циліндричного або кільцевого інфільтрометра. Кільцевий інфільтрометр зазвичай складається з внутрішнього циліндра діаметром 30 см та зовнішнього циліндра діаметром 60 см. Замість зовнішнього циліндра можна спорудити вал, щоб запобігти бічному стоку води.

3.4. Топографія та мікроклімат

Топографія впливає як на проектування системи зрошення, так і на мікроклімат саду. Основними факторами, що слід враховувати, є:

- Ухил: Ухили, що перевищують 5 відсотків, вимагають ретельного проектування систем під тиском для контролю коливань тиску вздовж відгалужень і можуть вимагати використання емітерів з компенсацією тиску в крапельних системах. Ухили, що перевищують 8–10 відсотків, як правило, не підходять для борозняного зрошення через ризик ерозії.
- Орієнтація: Схили, орієнтовані на південь та захід, отримують більше прямого сонячного світла, прогріваються раніше навесні та мають вищу евапотранспірацію; вони можуть давати більш ранній урожай, але вимагають відповідно більшого поливу. Схили, орієнтовані на північ, прохолодніші та можуть подовжувати вегетаційний період, але прогріваються повільніше і є більш схильними до заморозків.
- Зони скупчення морозу: У низинних ділянках саду в безвітряні весняні ночі накопичується холодне повітря, і вони схильні до морозів у період цвітіння. На таких ділянках доцільно застосовувати дощувальне зрошення як засіб захисту від морозу, що може виправдати вищі витрати на установку систем подвійного призначення.
- Вплив вітру: На відкритих ділянках спостерігається вищий показник ЕТо, більші втрати від знесення води з дощувальних систем та підвищений ризик пошкодження плодів тертям. Вітрозахисні смуги (зазвичай з тополі, вільхи або граба) широко використовуються в українських садах і можуть знизити показник ЕТо в межах саду на 10–15 відсотків.

3.5. Водотримуюча здатність органічної речовини



Рисунок 10 - Поглинання води органічною речовиною

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.

3.6. Якість води та солоність

Якість води безпосередньо впливає як на врожайність, так і на термін експлуатації зрошувальної системи. Основними параметрами якості, що викликають занепокоєння, є:

- Загальна кількість розчинених речовин (солоність), що виражається як електропровідність (ЕС). Яблуня помірно чутлива до солоності; зниження врожайності починається при ЕС поливної води приблизно 1,5 дС/м, а серйозні пошкодження — при значенні понад 2,5–3,0 дС/м.
- Коефіцієнт адсорбції натрію (SAR), який впливає на структуру ґрунту. Значення SAR вище 6–9, особливо в поєднанні з низькою солоністю, можуть спричинити дисперсію глини та зниження проникності ґрунту.
- Концентрація хлоридів. Яблуня помірно чутлива до хлоридів; концентрації понад 250 мг/л можуть спричинити опіки листя, особливо при поливі з верхнього розпилення.
- Концентрація бору. Яблуня чутлива до бору; концентрації понад 0,7 мг/л можуть спричинити токсичність.
- Вміст зважених речовин та біологічне навантаження, які впливають на вибір фільтрів та ризик засмічення крапельниць (Розділ 9).
- рН, що впливає на доступність поживних речовин та стабільність розчинів добрив у системах фертигації.

Поверхневі води в українських регіонах вирощування яблук загалом мають хорошу якість, при цьому електропровідність (ЕС) зазвичай не перевищує 0,8 дС/м, а концентрації хлоридів та натрію є низькими. Ґрунтові води можуть бути більш мінливими: неглибокі свердловини в чорноземних регіонах зазвичай дають воду хорошої якості, тоді як глибші свердловини в деяких південних районах можуть давати солонувату воду з ЕС понад 2 дС/м. Вода з дренажних каналів та повторно використовувана зрошувальна вода часто має підвищені показники ЕС, хлоридів та біологічного навантаження і вимагає ретельної обробки перед використанням для поливу яблунь.



Перед проектуванням будь-якої системи зрошення слід провести повний аналіз води. Аналіз повинен включати електропровідність (ЕС), рН, загальну лужність, вміст кальцію, магнію, натрію, калію, хлоридів, сульфатів, бікарбонатів, нітратів, заліза, марганцю та бору, а також вміст зважених речовин і загальну кількість бактерій. Результати аналізу визначають вибір фільтра, сумісність добрив та тип розпилювачів. Джерела з вмістом заліза понад 0,2 мг/л або з високим вмістом бікарбонатів зазвичай вимагають введення кислоти для запобігання засміченню розпилювачів осадами.

Розділ 4 – Кліматичні фактори, що впливають на зрошення

Клімат є найважливішим зовнішнім чинником, що визначає потребу садів у воді. Два сади, розташовані на однаковому ґрунті та з однаковим режимом управління, можуть мати потреби у воді, що відрізняються на 30–50 відсотків залежно від кліматичних умов. Розуміння кліматичних чинників — та того, як вони впливають на евапотранспірацію — є основою будь-якого раціонального графіка зрошення.

Українські регіони вирощування яблук охоплюють широкий кліматичний градієнт — від відносно вологої

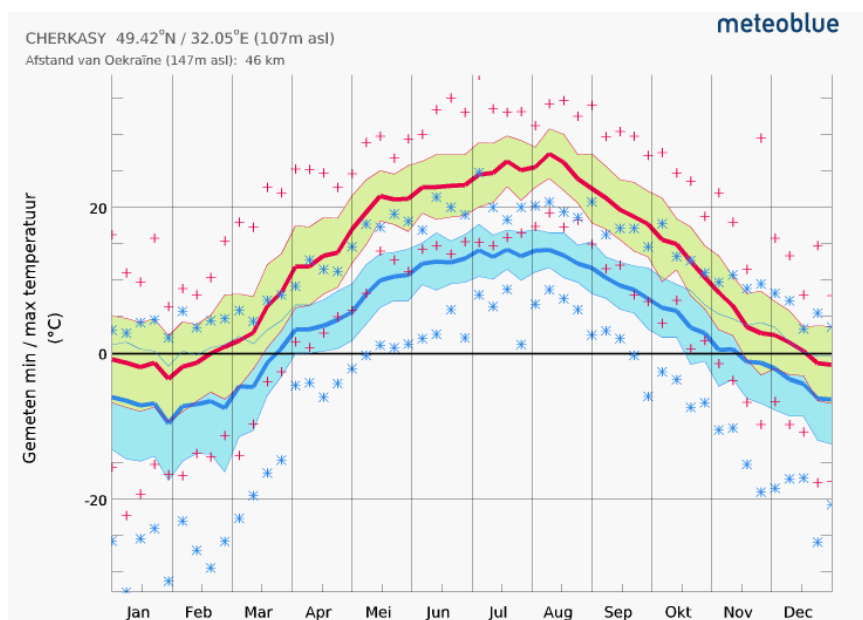


Рисунок 11 - Температура в Україні

підкарпатської зони на заході до напівпосушливих степів Херсонської та Миколаївської областей. У цьому розділі представлено основні поняття та наведено кліматичні дані, необхідні для розрахунків водного балансу в кожному з основних регіонів.

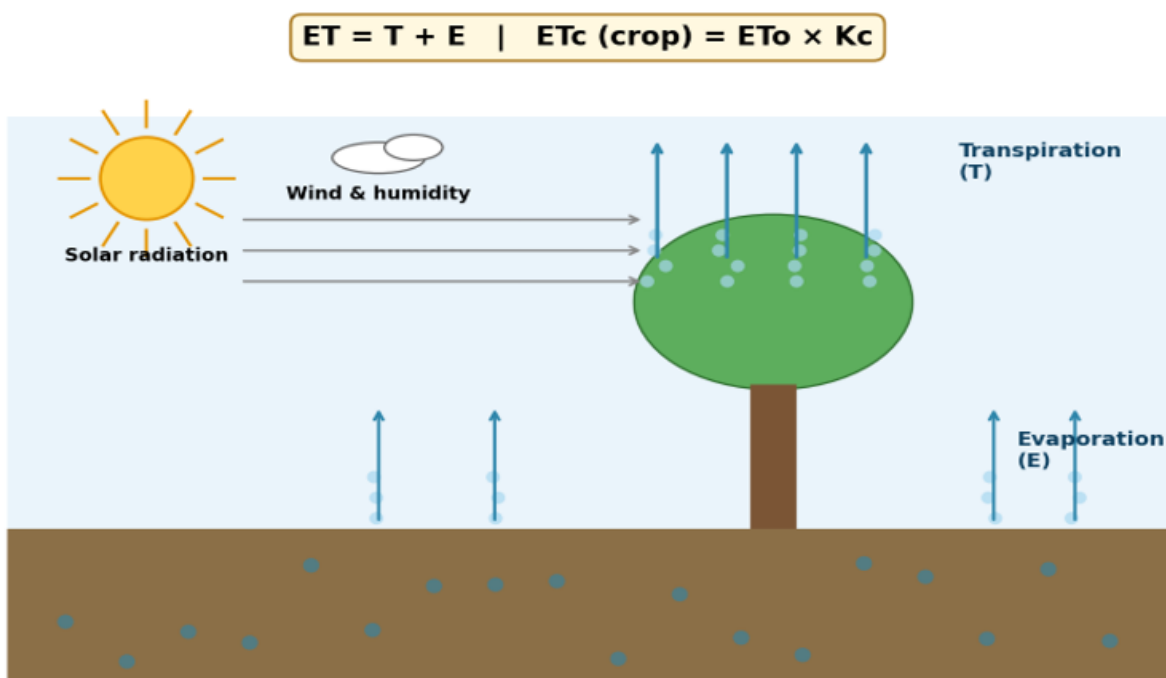
4.1. Поняття евапотранспірації (ЕТ)

Евапотранспірація — це сукупна втрата води внаслідок випаровування з ґрунту та транспірації рослин. Це домінуючий фактор у водному балансі зрошуваного саду протягом вегетаційного періоду, на який припадає майже вся вода, що має бути поповнена за рахунок опадів та зрошення. Спрощений польовий водний баланс має такий вигляд:

Зрошення = ЕТ культури – Ефективні опади + Втрати на дренаж – Зміна запасів води в ґрунті

Евапотранспірація культур (ЕТс) відображає сукупний вплив погодних умов, площі листя, що перехоплює сонячне випромінювання, розміру та активності кореневої системи, а також способу догляду за ґрунтом у саду. Зазвичай її поділяють на дві складові: еталонну евапотранспірацію (ЕТо), яка відображає кліматичну потребу у воді для стандартної еталонної поверхні, та коефіцієнт культури (Кс), який коригує ЕТо відповідно до конкретної культури та стадії її росту.

Основним висновком підходу, заснованого на евапотранспірації, є те, що потреба у воді визначається переважно атмосферними умовами — радіацією, температурою, вологістю та вітром — а не самою культурою. Культура модулює цю потребу за допомогою площі листя та фізіологічного регулювання продихів, але в ясний літній день атмосферна потреба може перевищувати 7 мм води на добу незалежно від того, яку саме культуру вирощують. Усвідомлення цієї відмінності є важливим для розуміння того, чому дані ЕТо з однієї метеостанції підходять для всіх культур у регіоні, причому між ними відрізняються лише значення Кс.



Поняття евапотранспірації. Потреба атмосфери зумовлює як випаровування з ґрунту (E), так і транспірацію рослин (T); їхня сума (ET) — це кількість води, яку необхідно забезпечити за рахунок опадів та зрошення.

4.2. Еталонна евапотранспірація (ЕТо) та коефіцієнти культур (Кс)

Еталонна евапотранспірація (ЕТо) визначається як швидкість втрати води з гіпотетичної еталонної поверхні добре зрошеної, активно зростаючої короткої трави висотою 0,12 м з поверхневим опором 70 с/м та альбедо 0,23. Рівняння Пенмана-Монтейта ФАО є міжнародним стандартом для розрахунку ЕТо; для цього потрібні щоденні значення максимальної та мінімальної температури, відносної вологості, швидкості вітру на висоті 2 м та сонячної радіації. ЕТо виражається в міліметрах на добу і відображає кліматичну потребу у воді для конкретного місця та дати.

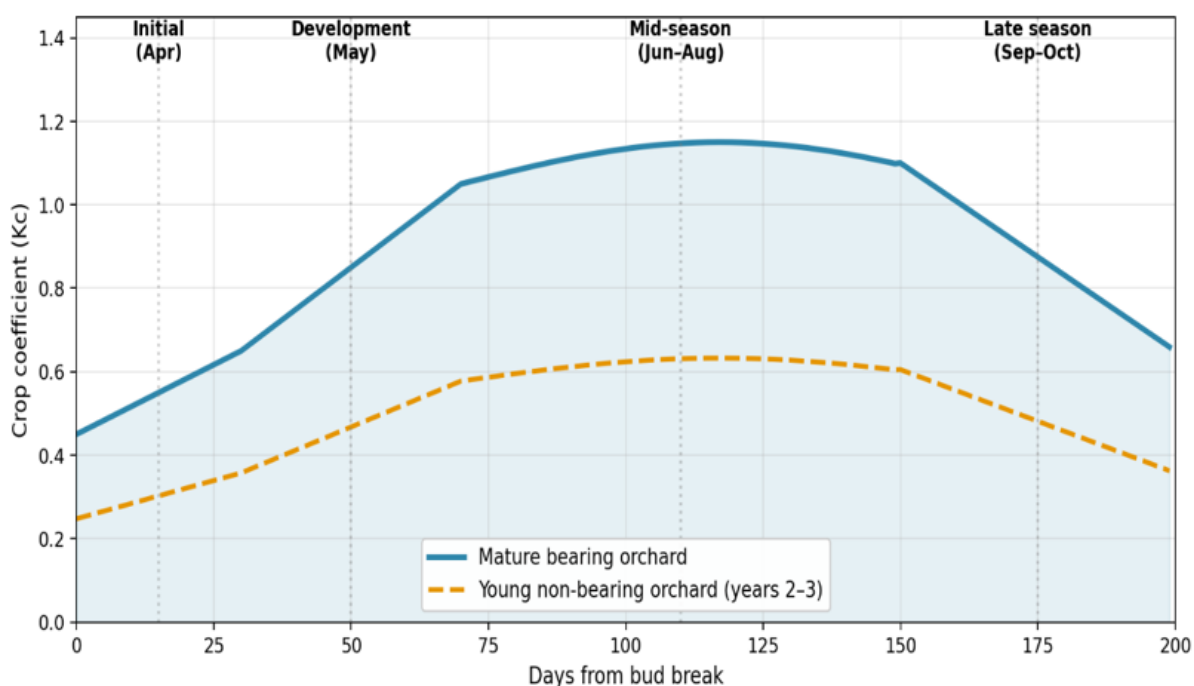
Типові місячні значення ЕТо для основних регіонів вирощування яблук в Україні наведено в таблиці нижче. Ці значення є багаторічними середніми, отриманими на основі даних агрометеорологічних станцій, що експлуатуються Українським гідрометеорологічним центром, а також розрахунків за методом Пенмана-Монтейта на основі кліматичних даних CLIMWAT та CRU.

Таблиця 2 - Середньомісячна еталонна евапотранспірація (ЕТо, мм) для основних регіонів України, де вирощують яблука

Регіон	Квітень	Травень	Чер	Лип	Серпень	Вересень	Сезон
Вінниця (лісостеп)	60	95	120	135	120	75	605
Київ (лісостеп)	65	100	125	140	125	80	635
Херсон (степ)	80	125	160	180	160	105	810
Миколаїв (степ)	75	120	155	175	155	100	780
Закарпаття (підкарпатське)	55	90	110	125	110	70	560
Львів (західна частина)	55	85	105	120	110	70	545

Коефіцієнт культури (Кс) перетворює ЕТо на фактичну потребу саду у воді: $ET_c = K_s \times ETo$.

Кс відображає різницю між еталонною трав'яною поверхнею та яблуневим садом. Він залежить від розвитку крони (що впливає на перехоплення сонячного випромінювання), ґрунтового покриття (голий ґрунт, покривні культури або мульча), системи формування крони дерев та частоти зволоження поверхні ґрунту. Для зрілого яблуневого саду з густим кроном на оголеному ґрунті з щоденним крапельним зрошенням пікові літні значення Кс знаходяться в діапазоні від 1,0 до 1,15. Для молодих садів Кс значно нижчий, оскільки площа листя невелика, а більша частина ґрунту оголена.



Сезонні криві коефіцієнта культури (Кс) для зрілого та молодого яблуневого саду в центральній Україні, побудовані відповідно до садового календаря. Форма кривої відображає стадії розвитку крони, повного покриття та старіння.

Рекомендовані значення Кс за стадіями росту та віком саду для українських умов наведено в таблиці 4.2. Ці значення передбачають щоденне або через день крапельне зрошення та оголену або злегка мульчовану смугу під деревами з постійним трав'яним

покривом або скошеною доріжкою. Необхідно внести корективи для садів, повністю вкритих травою (додати від 0,10 до 0,15 у періоди активного росту трави), або для садів під постійним мульчуванням (відняти від 0,05 до 0,10 з урахуванням зменшеного випаровування з ґрунту).

Таблиця 3 - Рекомендовані коефіцієнти врожайності яблук

Стадія	Приблизні дати	Кс, молоді (Y1–Y3)	Кс, напівзрілі (Y4–Y6)	Кс, зрілі (Y7+)
Від розпускання бруньок до цвітіння	Кінець квітня – середина травня	0,35	0,55	0,70
Від цвітіння до зав'язування плодів	Середина травня – початок червня	0,45	0,70	0,85
Поділ клітин	Початок червня – середина липня	0,50	0,85	1,05
Розширення клітин	Середина липня – середина серпня	0,50	0,90	1,15
Перед збиранням врожаю	Середина серпня – середина вересня	0,45	0,85	1,05
Післязбиральний період	Середина вересня – опадання листя	0,35	0,55	0,65

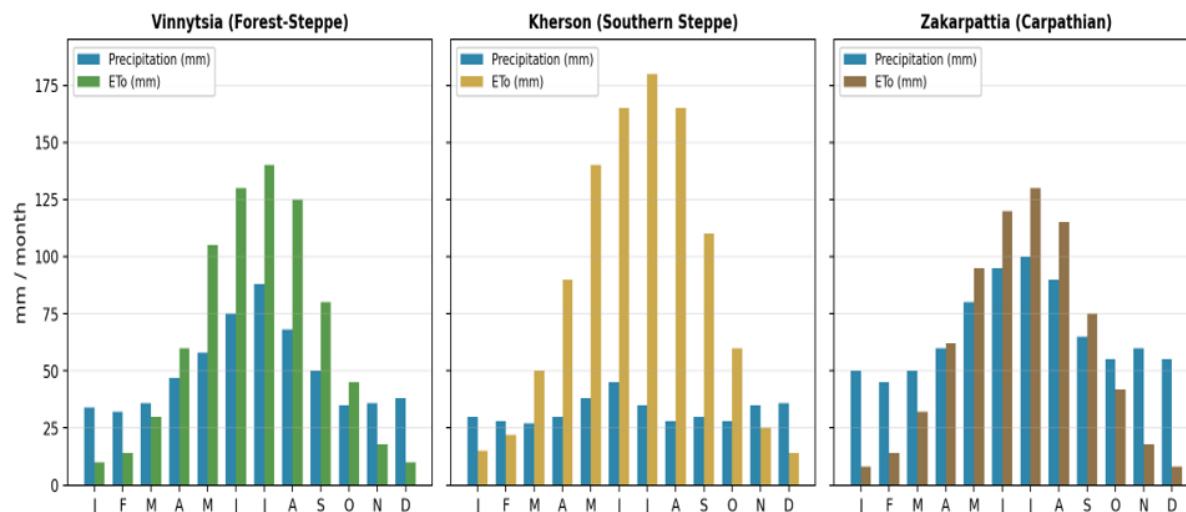
4.3. Характеристики опадів та ефективна кількість опадів

Опади є основним джерелом води для більшості українських яблуневих садів і орієнтиром, за яким визначається потреба у зрошенні. Розподіл опадів протягом вегетаційного періоду є щонайменше таким же важливим, як і їхня загальна кількість. У західних та центральних регіонах випадає досить стабільна кількість опадів — від 550 до 700 мм на рік, причому приблизно 350–450 мм припадає на період з квітня по жовтень. Південні регіони характеризуються більшою мінливістю: тут випадає від 350 до 450 мм на рік, причому загальна кількість опадів у вегетаційний період у посушливі роки часто не перевищує 250 мм і зосереджується у невеликій кількості інтенсивних опадів.

Не всі опади сприяють водопостачанню культур. Частина, яка це робить, називається ефективними опадами і відображає втрати через стік, глибоке просочування нижче кореневої зони та перехоплення кронами дерев, яке випаровується, не досягаючи ґрунту. Для яблуневих садів на ґрунтах середньої структури з доглянутими трав'яними проходами наведені нижче емпіричні рекомендації дають обґрунтовані оцінки ефективних опадів:

- Опади менше 5 мм: ефективна частка приблизно від 0 до 30 відсотків (більша частина випаровується з крони та поверхні).
- Опади від 5 до 25 мм: ефективна частка становить приблизно від 70 до 90 відсотків.
- Опади від 25 до 50 мм: ефективна частка становить приблизно від 80 до 90 відсотків.

- Опади понад 50 мм: ефективна частка зменшується через стік та глибоке просочування; припускається, що вона становить від 60 до 75 відсотків.



Середньомісячні опади (стовпчики) та еталонна евапотранспірація (лінія) для трьох контрастних регіонів України, де вирощують яблука: Вінниця (лісостеп), Херсон (степ) та Закарпаття (підкарпатський регіон). Зафарбований період (травень–серпень) є основним сезоном зрошення.

Для розрахунків місячного водного балансу в умовах України зазвичай використовують наближене значення ефективної частки опадів у розмірі 75–80 відсотків від місячного сумарного обсягу, з коригуванням у бік зменшення в місяцях, коли переважають кілька сильних злив, та у бік збільшення в місяцях із рівномірним розподілом помірних опадів.

Довгострокові дані є необхідними для проектування зрошувальних систем з належною надійністю. Проектування, орієнтоване лише на середні показники опадів, призводить до створення систем, які виходять з ладу приблизно в половині всіх років. Типова практика проектування в комерційних українських садах полягає в розрахунку на сухий рік, що відповідає 20-му перцентилу історичних даних про опади (один сухий рік на п'ять), з оперативною гнучкістю для відбору додаткової води зі сховищ у ще сухіші роки.

4.4. Температура, вологість і вітер

Температура є найвідомішою кліматичною змінною та найпотужнішим чинником, що впливає на ЕТо у вегетаційний період. Кожне підвищення середньої літньої температури на 1 °C збільшує ЕТо приблизно на 5–7 відсотків. Добова максимальна температура зумовлює пікові значення транспірації опівдні; мінімальна температура впливає на нічне відновлення після водного стресу. Екстремально високі температури (понад 32 °C) можуть спричинити закриття продихів навіть у добре поливаних дерев, що супроводжується тимчасовим пригніченням транспірації, яке створює враження недостатнього використання поливної води та ризик сонячних опіків плодів, особливо на південно-західних сторонах дерев

Відносна вологість впливає на ЕТо через свій вплив на дефіцит тиску пари (VPD), який є рушійним градієнтом для транспірації. Низька відносна вологість (високий VPD) збільшує потребу у транспірації; висока вологість — зменшує її. У приморських та південних степових регіонах України влітку спостерігається низька вологість, причому

післяобідні значення VPD часто перевищують 3 кПа; у західній Україні та передгір'ях Карпат вологість помітно вища, а отже, при тій самій температурі потреба у транспірації нижча.

Вітер посилює як випаровування з ґрунту, так і транспірацію з листяного покриву,

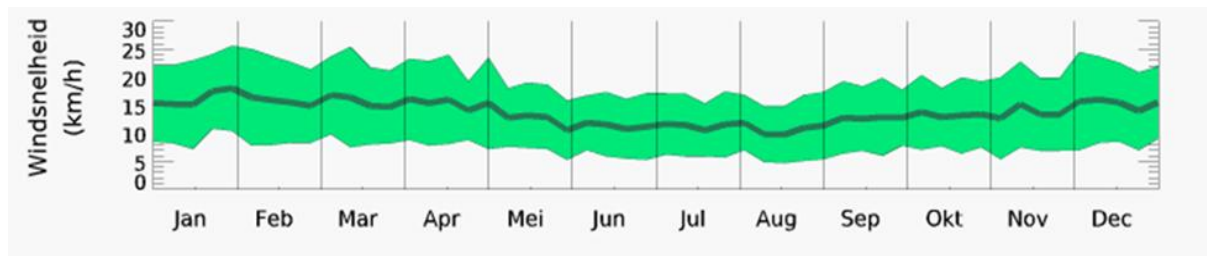


Рисунок 12 - Швидкість вітру

відводячи прикордонний шар насиченого повітря навколо листя та поверхні ґрунту. У стандартних розрахунках ЕТо передбачаються швидкості вітру від 2 до 3 м/с на висоті 2 м (типові для відкритих сільськогосподарських ділянок); значення від 5 до 7 м/с — поширені в степу — збільшують ЕТо на 10–20 відсотків і є важливим чинником, що визначає потребу в зрошенні. Сильні вітри також знижують ефективність дощувального та спринклерного зрошення через знесення води вітром та втрати на випаровування, а також можуть зробити системи мікрозрошення непридатними для використання.

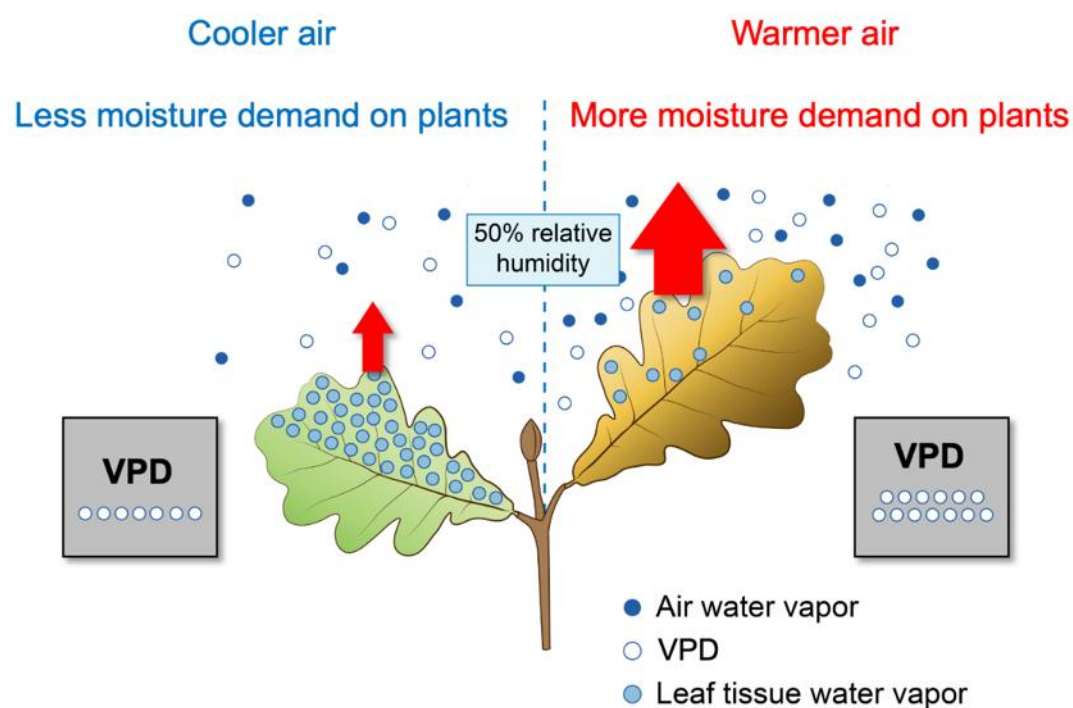


Рисунок 13 — Дефіцит тиску пари (VPD)

Розділ 5 – Системи зрошення для яблуневих садів

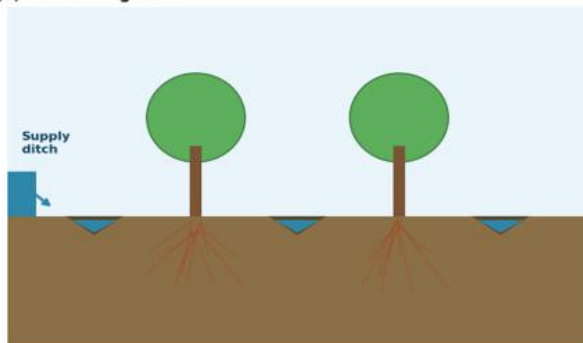
Існує кілька різних технологій подачі води до яблуневих садів. Кожна з них має характерні переваги, обмеження, капітальні та експлуатаційні витрати і найкраще підходить для конкретного поєднання ґрунту, рельєфу, джерела води та планування



саду. У цьому розділі описано основні системи, що використовуються в українському яблуневому виробництві, з особливим акцентом на виборі між поверхневим, дощувальним та крапельним зрошенням, перед яким стоїть більшість садівників, що планують нове облаштування.

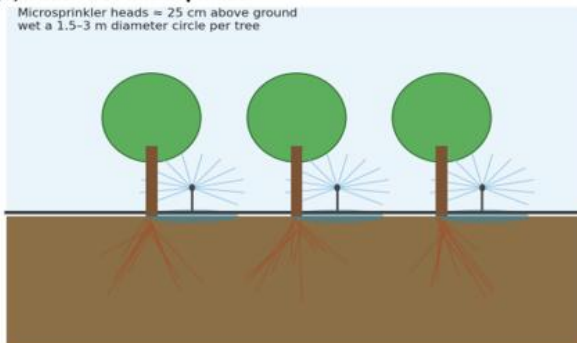
Figure 5.1 — Common irrigation systems used in apple orchards

(a) Furrow irrigation



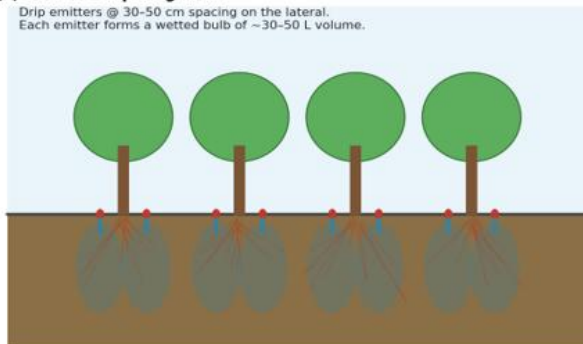
(b) Under-tree microsprinkler

Microsprinkler heads = 25 cm above ground
wet a 1.5-3 m diameter circle per tree



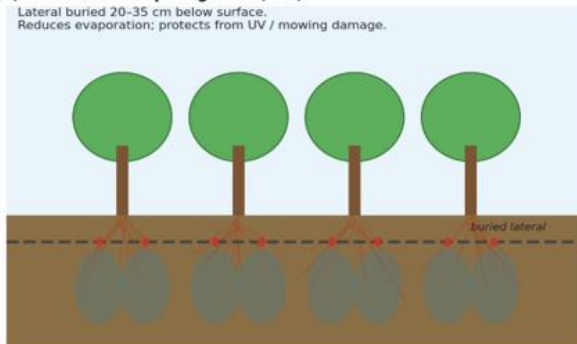
(c) Surface drip irrigation

Drip emitters @ 30-50 cm spacing on the lateral.
Each emitter forms a wetted bulb of ~30-50 L volume.



(d) Subsurface drip irrigation (SDI)

Lateral buried 20-35 cm below surface.
Reduces evaporation; protects from UV / mowing damage.



Схематичне порівняння чотирьох систем зрошення, що використовуються в яблуневих садах: (а) борозневе зрошення, (б) мікродощувальне зрошення, (в) поверхневе крапельне зрошення, (г) підповерхневе крапельне зрошення (SDI). Вибір системи впливає на ефективність використання води, капітальні витрати, потреби в робочій силі та придатність для фертигації.

5.1. Поверхнєве зрошення (борозенне, басейнове)

Поверхнєве зрошення розподіляє воду по поверхні саду за рахунок сили тяжіння — або у борознах, що пролягають паралельно рядам дерев, або у басейнах, що оточують кожне дерево чи групу дерев. Це найдавніший метод, який історично домінував у південних степових регіонах України і досі застосовується у старих садах на відповідних ґрунтах. Його головними перевагами є низькі капітальні витрати, просте обладнання та відсутність потреби в енергії для перекачування води під тиском.

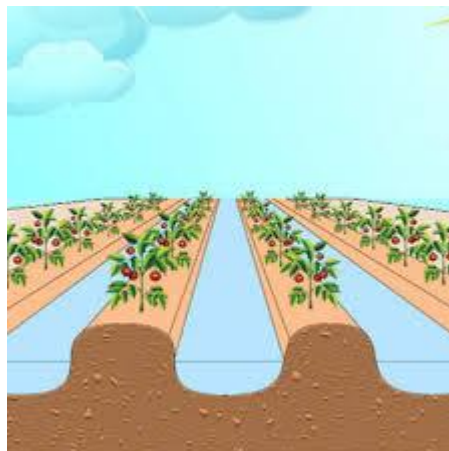


Рисунок 14 - Поверхнєве зрошення

Поверхнєві методи найкраще підходять для глибоких ґрунтів середньої структури з помірною швидкістю інфільтрації на ділянках зі схилом від 0,1 до 1 відсотка. Надмірні схили спричиняють нерівномірний рух води та зосереджену ерозію в борознах; рівна місцевість призводить до утворення калюж та нерівномірної інфільтрації. Зазвичай перед встановленням системи необхідне вирівнювання землі, що суттєво збільшує початкові інвестиції та може пошкодити підґрунтя.

Ефективність подачі води при правильно організованому борознистому зрошенні в яблуневих садах становить від 50 до 70 відсотків; при басейновому зрошенні, коли зволожується вся поверхня, вона зазвичай досягає 60–75 відсотків. Обидва показники значно нижчі за ті, що можна досягти за допомогою систем під тиском, а поверхнєві методи не дозволяють легко забезпечити невеликі та часті поливи, необхідні для садів з високою щільністю насаджень. Поверхнєве зрошення також змочує всю поверхню ґрунту та стовбур дерева, що сприяє росту бур'янів та збільшує ризик виникнення фітофторозу.

5.2. Зрошення за допомогою дощувальних установок

5.2.1. Надземні дощувачі

Навісні спринклери зволожують весь сад, включаючи крони дерев. Вони широко використовуються у виробництві яблук у помірному кліматі з двох причин: для комплексного захисту від заморозків під час весняного цвітіння та для охолодження плодів і крон під час літніх спекотних періодів з метою зменшення сонячних опіків. Ефективність подачі води у добре спроектованих установках сягає 60–75 відсотків, але зволоження листя підвищує ризик захворювань (парша, бактеріальний опік) та знижує стійкість фунгіцидів.



Рисунок 15 - Навісні спринклери

Капітальні витрати є від помірних до високих (зазвичай від 3 000 до 5 000 доларів США/га для

постійних установок в Україні), а енергоспоживання є найвищим серед усіх систем під тиском через велику висоту розпилення (зазвичай від 6 до 8 м) та необхідний робочий тиск (від 250 до 400 кПа). Навісні системи залишаються корисними там, де пізні весняні заморозки загрожують сорту, а сад неможливо захистити іншим способом, але тенденція у нових українських комерційних насадженнях спрямована на крапельне зрошення, доповнене спеціальними пристроями для захисту від заморозків.

5.2.2. Розпилювачі під деревами

Розпилювачі під деревами розміщують під кроною на коротких підйомних трубах, зазвичай по одному розпилювачу кожні 8–12 м уздовж ряду дерев. Кожен розпилювач зволожує кругову ділянку діаметром від 6 до 10 м, покриваючи більшу частину або всю поверхню саду. Ця система дозволяє уникнути змочування крони та проблем із захворюваннями, характерних для навісних розпилювачів, і забезпечує помірну ефективність подачі води на рівні 70–80 відсотків. Норми подачі нижчі, ніж у надголовних системах (2–5 мм/год), що зменшує піковий попит на потік.



Рисунок 16 - Розпилювачі під деревами, Nelson

Розпилювачі під деревами добре підходять для садів середньої щільності на відносно рівній місцевості з ґрунтами, що мають помірну або високу інфільтраційну здатність. Вони менш придатні для садів високої щільності (де густа крона перехоплює значну частину розпиленого розчину) та для вітряних ділянок. Сучасні конструкції з форсунками з низькою траєкторією розпилення можуть ефективно працювати навіть при слабкому вітрі та в умовах частково закритого листяного покриву. У нових українських комерційних садах вони поступилися місцем крапельному зрошенню, але залишаються поширеними у садах середньої щільності, засаджених у 1990-х та 2000-х роках.

5.2.3. Мікророзпилювачі

Мікророзпилювачі (іноді їх називають мінірозпилювачами або мікроструменями) — це невеликі розпилювальні або обертові емітери, що працюють при тиску від 100 до 250 кПа і видають від 20 до 100 л/год кожен. Зазвичай їх встановлюють по одному або два на дерево на опорних стовпчиках висотою від 20 до 40 см, і вони зрошують кругову або секторну ділянку радіусом від 1,5 до 3 м. У сучасних конструкціях використовуються форсунки з компенсацією тиску, що забезпечують рівномірну подачу води в широкому діапазоні тиску.

Мікророзпилювачі поєднують у собі багато переваг крапельного зрошення (точне розміщення поблизу дерев, робота під низьким тиском, легка сумісність з фертигацією) з більшим об'ємом зволоженого ґрунту, що краще підтримує кореневі системи на



Рисунок 17 - Мікророзпилювачі, Agripotion

піщаних ґрунтах. Вони особливо добре підходять для грубозернистих ґрунтів, де крапельне зрошення забезпечує занадто малий об'єм зволоженого ґрунту, а також для молодих дерев, де радіус зволоження від 1,5 до 3 м відповідає зоні розвитку кореневої системи. Мікророзпилювачі також можуть працювати з водою нижчої якості, ніж крапельні емітери (їхні більші отвори краще переносять завислі речовини), і добре підходять

для використання поверхневих джерел води після грубої фільтрації.

До обмежень належать більші втрати на випаровування, ніж у крапельному зрошенні (від 10 до 15 відсотків поданої води порівняно з 3–5 відсотками), більші трудові затрати на обслуговування (очищення форсунок, заміна кілків після обробки ґрунту) та необхідність дещо вищого робочого тиску. Мікророзпилювачі широко використовуються в сучасних українських яблуневих садах на піщаних ґрунтах у центральних та південних регіонах, а також у молодих садах до переходу на крапельне зрошення.

5.3. Крапельне зрошення

Крапельне зрошення подає воду з низькою інтенсивністю (зазвичай від 1 до 8 л/год на один емітер) через емітери, розміщені на рядах дерев або поблизу них. Воно стало домінуючою системою для нових комерційних насаджень яблунь в Україні та у світі, і це цілком виправдано: ефективність використання води зазвичай перевищує 90 відсотків, фертигація є простою, листя та плоди залишаються сухими, а система сумісна практично з будь-яким ґрунтом та рельєфом.

5.3.1. Поверхнєве крапельне зрошення

Поверхнєві крапельні лінії розміщують на поверхні ґрунту або підвішують на висоті від 10 до 30 см над нею вздовж кожного ряду дерев. Поширеними є дві конфігурації: одна бічна лінія на ряд дерев, іноді з двома крапельницями на дерево, або подвійне розташування бічних ліній (по одній з кожного боку стовбура), яке використовується переважно на молодих насадженнях високої щільності. Відстань між крапельницями зазвичай становить від 0,3 до 0,75 м уздовж бічної лінії; для забезпечення рівномірного поливу по всій довжині ряду та на схилах перевагу надають крапельницям із компенсацією тиску.

Поверхневі крапельні системи недорогі в монтажі (зазвичай від 2 500 до 4 000 доларів США/га на матеріали за умовами 2023 року в Україні), прості в огляді та обслуговуванні, а також їх легко модернізувати. До недоліків належать: схильність бічних трубопроводів до механічних пошкоджень (під час обробітку ґрунту, косіння та від диких тварин — особливо зайців узимку), схильність до деградації під впливом ультрафіолетового випромінювання (номінальний термін експлуатації сучасних поверхневих крапельних ліній становить від 7 до 12 років), а також концентрація кореневої системи поблизу поверхні, що може підвищити чутливість до морозів.



Рисунок 18 - Поверхневе крапельне зрошення

5.3.2. Підповерхневе крапельне зрошення

Підповерхневе крапельне зрошення (SDI) передбачає розміщення крапельних відгалужень на глибині від 15 до 30 см під поверхнею ґрунту. Сучасні бічні відгалуження SDI оснащені крапельницями з антисифонними мембранами, що запобігають проникненню коренів та ґрунту. Перевагами є зменшення випаровування з поверхні ґрунту, повний захист від механічних пошкоджень та УФ-випромінювання, а також відсутність будь-яких перешкод на поверхні, що заважають обробці ґрунту та збиранню врожаю. Деякі автори повідомляють про економію води на 10–20 відсотків порівняно з поверхневим крапельним зрошенням у яблуневих садах, хоча докази в умовах України є обмеженими.

Основними недоліками SDI у яблуневих садах є складність технічного огляду (проблеми виявляються лише за їхніми наслідками для дерев), необхідність дуже ретельної фільтрації для запобігання засміченню емітерів, яке неможливо усунути поверхневим промиванням, а також значно вищі витрати на монтаж. Для прокладання бічних



Рисунок 19 - Підповерхнева крапельна система, Rivulis

трубопроводів на рівномірній глибині потрібні спеціалізовані інструменти, а проникнення коренів залишається довгостроковим ризиком у деяких системах. SDI дедалі частіше застосовується на нових високодохідних українських насадженнях яблуні, де обробіток ґрунту триває протягом

усього терміну експлуатації саду, і де поверхнєве крапельне зрошення неодноразово зазнавало б пошкоджень.

5.4. Критерії вибору системи

Вибір системи зрошення для саду повинен ґрунтуватися на ретельній оцінці таких факторів, у приблизному порядку за важливістю:

- Джерело та якість води. Крапельні системи потребують добре фільтрованої води (зазвичай з каламутністю нижче 100 NTU та без великих зважених речовин); мікророзпилювачі можуть працювати з водою нижчої якості; поверхнєві системи толерантні до води практично будь-якої якості.
- Наявність капіталу та очікувана окупність. Крапельні системи мають найвищі капітальні витрати (зазвичай від 3 500 до 6 000 доларів США/га в Україні для повністю встановлених систем, включаючи насос, фільтр та фертигацію), але найнижчі експлуатаційні витрати на одиницю виробленої плодової продукції.
- Текстура та глибина ґрунту. Піщані ґрунти краще підходять для мікророзпилювачів, які забезпечують більший об'єм зволоження, ніж крапельне зрошення; глинисті ґрунти краще підходять для крапельного зрошення; неглибокі ґрунти потребують частого внесення невеликих обсягів води, що природним чином забезпечується крапельним зрошенням.
- Топографія та планування саду. На крутих або нерівних ділянках доцільніше використовувати крапельні системи з компенсацією тиску; на великих однорідних ділянках можна застосовувати поверхнєві системи.
- Цінність культури та інтенсивність управління. Насадження високої щільності та високої вартості з преміальними сортами виправдовують застосування крапельного зрошення; для садів з меншою вартістю краще підійдуть менш дорогі системи.
- Енергопостачання та його надійність. Системи під тиском потребують надійного електропостачання або потужного дизельного резервного джерела живлення; поверхнєві системи — ні.
- Вимоги щодо захисту від заморозків. Там, де часто трапляються пізні весняні заморозки, а сорт є чутливим до них, може бути доцільним використання надземної спринклерної системи — зазвичай як доповнення до основної крапельної або мікроспринклерної установки.
- Наявність робочої сили та технічних навичок. Системи крапельного та мікрозрошення вимагають кваліфікованих операторів, здатних контролювати тиск, промивати фільтри та виявляти несправності розпилювачів; поверхнєві системи можна експлуатувати з меншою технічною підготовкою.

5.5. Порівняльні переваги та обмеження

У таблиці 4 підсумовано основні характеристики систем, описаних у цьому розділі, для швидкого орієнтування при виборі. Наведені значення є типовими для українських комерційних умов і передбачають грамотне проектування та експлуатацію; системи будь-якого типу, що експлуатуються неналежним чином, демонструватимуть показники, значно нижчі за наведені.

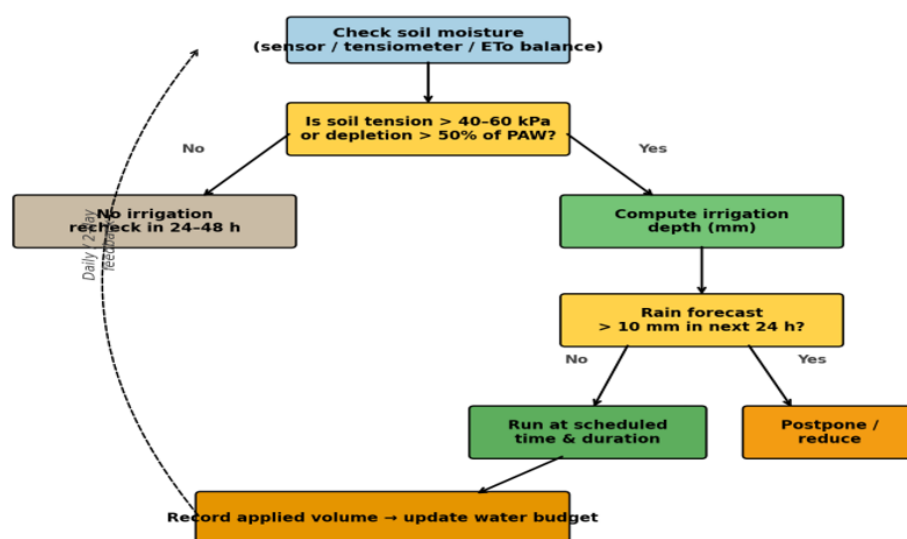
Таблиця 1 — Порівняльні характеристики систем зрошення для українських яблуневих садів.
 Ефективність — це ефективність подачі (кількість води, що надходить у кореневу зону, поділена на кількість води, що витікає з джерела); капітальні витрати вказано для типових установок у 2023 році.

Система	Ефективність (%)	Капітальні витрати (USD/га)	Енергія	Фертигація	Захист від заморозків
Борозна	50–70	500–1 500	Немає	Складно	Ні
Басейн	60–75	700–1 800	Низький	Складний	Ні
Навісний спринклер	60–75	3 000–5 000	Високий	Можливий	Відмінно
Спринклер під деревом	70–80	2 500–4 000	Середній	Добре	Обмежена
Мікрозрошувач	80–88	2 800–4 500	Середній	Відмінний	Обмежена
Поверхнєве крапання	88–95	3 500–5 500	Низький–середній	Відмінний	Ні
Підземне крапельне зрошення	90–95	4 500–7 000	Низький–середній	Відмінний	Ні

Розділ 6 – Планування зрошення

Планування — це процес прийняття рішень щодо того, коли проводити зрошення та скільки води подавати. Це найважливіший чинник, що визначає ефективність зрошення, — набагато важливіший, ніж вибір обладнання. Навіть найдорожча крапельна система дасть погані результати, якщо її експлуатація базується на припущеннях; навпаки, скромна установка з мікророзпилювачами, що працює за добре розробленим графіком, забезпечить чудові врожаї та високу якість плодів.

Сучасна практика планування поєднує три основні підходи: безпосередній моніторинг вологості ґрунту, вимірювання водного стану рослин та розрахунок потреби у воді на основі метеорологічних даних. Найбільш надійні графіки використовують принаймні два з цих трьох підходів, а інші слугують для перехресної перевірки. У цьому розділі по черзі описано кожен метод, а наприкінці наведено інтегрований процес прийняття рішень, що застосовується на практиці.



Алгоритм прийняття рішень щодо планування зрошення, що поєднує показники вологості ґрунту, погоди та стану рослин. Графік дає однаковий результат незалежно від того, з якого з трьох підходів до моніторингу його розпочати; їхнє поєднання зменшує невизначеність.

6.1. Методи моніторингу вологості ґрунту

Пряме вимірювання вологості ґрунту є найбільш інтуїтивним підходом до планування та становить основу більшості операційних систем. У повсякденному комерційному використанні застосовуються три групи методів: методи на основі напруги (тензіометри та датчики матричного потенціалу), методи вимірювання вмісту води (ємнісний метод, рефлектометрія в часовій області та нейтронний зонд) та лабораторний стандарт — гравіметричний відбір проб. Кожен з них вимірює певну фізичну властивість і має своє відповідне призначення.



Рисунок 20 - Ручний метод вимірювання вологості ґрунту

6.1.1. Тензіометри

Тензіометр — це герметична трубка, заповнена водою, з пористим керамічним наконечником у нижній частині та вакуумметром або перетворювачем тиску у верхній. У міру висихання навколишнього ґрунту вода витягується з трубки через керамічний наконечник, створюючи частковий вакуум, який фіксується на вакуумметрі. Показання виражають матричний потенціал ґрунту — силу, з якою вода утримується в ґрунті, — безпосередньо в сантибарах (cb) або кілопаскалях (кПа).

Іррометри визначають ступінь висушування ґрунту шляхом вимірювання водяного напруження ґрунту (тиску всмоктування).

Figure 6.1 — Tensiometer principle and reading guide for apple orchards

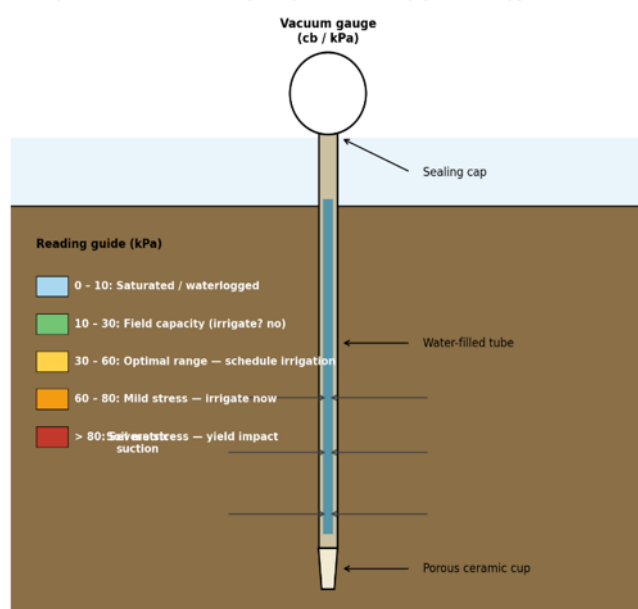


Рисунок 21 - Поперечний переріз тензіометра та інструкція з читання показань.

Прилад безпосередньо вимірює матричний потенціал ґрунту, що виражається в сантибарах (cb): показання 0–10 cb вказують на насичений ґрунт, 30–50 cb — на типовий діапазон, що є сигналом для

Тензіометри добре підходять для яблуневих садів на ґрунтах середньої та дрібної структури. Вони недорогі (зазвичай від 30 до 80 доларів США за штуку), прості в установці та зручні для зчитування показників візуально. Їхнє головне обмеження — робочий діапазон від 0 до приблизно 80 cb; на піщаних ґрунтах, які швидко висихають за межами цього діапазону, тензіометри не можуть відстежувати подальше висихання. Для більшості цілей зрошення яблуневих садів — де метою є підтримання матричного потенціалу в межах від 15 до 60 cb — це обмеження не має значення.

Стандартною практикою в комерційних українських садах є встановлення пар тензіометрів на глибині 30 см та 60 см у 4–8 репрезентативних місцях на кожен садовий блок. Полив запускається, коли поверхневий тензіометр (який висихає першим) досягає цільового значення — зазвичай 30 cb на піщано-суглинистому ґрунті, 40 cb на суглинистому ґрунті та 50



Рисунок 22 - Іррометр показує рівень сухості ґрунту, вимірюючи водяний потенціал ґрунту (тиск всмоктування)

св на глинисто-суглинистому ґрунті. Глибокий тензіометр використовується для перевірки того, чи були поливи достатньо тривалими, щоб заповнити всю кореневу зону, а також для виявлення надмірного поливу (глибокий тензіометр постійно перебуває поблизу 0 св).

6.1.2. Ємнісні датчики та датчики TDR

Ємнісні датчики (також відомі як рефлектометрія у частотній області, FDR) та зонди рефлектометрії у часовій області (TDR) вимірюють діелектричну проникність ґрунту, яка тісно корелює з об'ємним вмістом води. Вони показують вміст води у відсотках від об'єму та можуть генерувати безперервні зареєстровані дані з інтервалом 15 хвилин або менше. Сучасні датчики об'єднують показання з різних глибин (зазвичай 10, 20, 30, 50, 70 та 100 см) на одному стрижні.

Ємнісні та TDR-системи надають набагато більш детальну інформацію, ніж тензіометри: безперервні дані чітко показують добовий ритм поглинання води коренями, глибину зволоження після поливу та поступове вичерпання вологи між поливами. Сучасні системи передбачають телеметричну передачу даних через GSM або LoRaWAN із веб-панелями управління в режимі реального часу, доступними зі смартфона. Такі установки зараз є стандартом у великих комерційних садах України.

Основними обмеженнями є вищі капітальні витрати (типові телеметричні зонди з кількома рівнями глибини коштують від 800 до 1 500 доларів США за установку), необхідність калібрування з урахуванням особливостей ґрунту (заводські калібрування можуть відрізнятися від польових показань на 5–15 відсотків об'ємного вмісту води на кам'янистих або органічних ґрунтах) та залежність від надійного джерела живлення та мережі передачі даних. Для більшості яблуневих садів два–чотири телеметричні зонди на блок — по одному для кожного типового ґрунту та положення — забезпечують достатнє просторове покриття.



Рисунок 23 - Ємнісні та TDR-датчики

6.1.3. Гравіметричний відбір проб

Гравіметричний відбір проб є стандартним лабораторним еталонним методом визначення вологості ґрунту. Береться ґрунтовий kern відомого об'єму, зважується у вологому стані, висушується при 105 °C протягом щонайменше 24 годин, а потім зважується знову. Вміст води розраховується на основі різниці в масі та об'єму зразка. Хоча гравіметричний відбір проб є занадто повільним для оперативного планування робіт, він є незамінним для калібрування інших датчиків, діагностики проблем (таких як

розбіжності між показаннями датчиків та спостережуваною поведінкою дерев) та характеристики ділянки перед встановленням мережі датчиків. Кожна комерційна система датчиків для садів повинна бути відкалібрована за допомогою гравіметричних проб, відібраних під час встановлення.

6.2. Індикатори на основі рослин

Методи на основі рослин дозволяють вимірювати саме дерево, що має ту перевагу, що враховує реакцію на всі фактори навколишнього середовища — вологість ґрунту, атмосферний попит та будь-які

обмеження поглинання води коренями через недостатню аерацію, засоленість або хвороби. Вони є найбезпосереднішим показником водного стану рослин, але їх інтерпретація є складнішою, ніж у випадку даних про ґрунт або погоду.

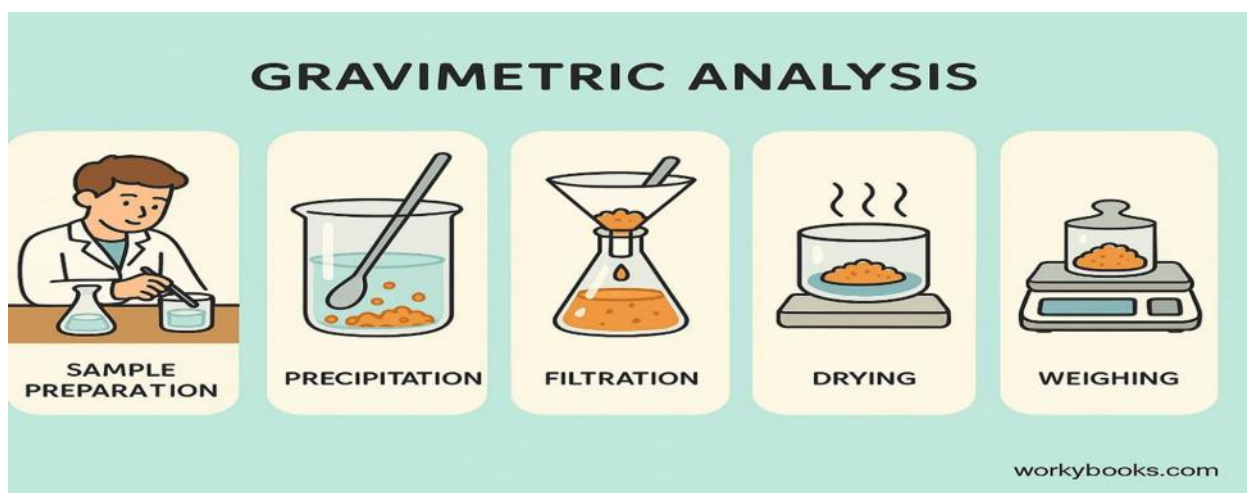


Рисунок 24 - Гравіметричний аналіз, workybooks.com

6.2.1. Потенціал води в стеблі

Водяний потенціал стебла (Ψ_{stem}), який вимірюють за допомогою напірної камери на листках, помічених у пакети, є найбільш загальноновизнаним рослинним показником для яблуні. Затінений листок, розташований поруч із стовбуром, поміщають у фольговий пакет щонайменше на одну годину для досягнення рівноваги з водяним потенціалом стовбура, після чого його відрізають і поміщають у напірну камеру. Тиск, необхідний для повернення води до поверхні зрізу (γ МПа), і є водяним потенціалом стебла. Менш від'ємні значення свідчать про краще зволоження дерев; більш від'ємні — про стрес.



Рисунок 25 - Водний потенціал стебла з листям у мішках, PMS Instrument Company

Еталонні значення для зрілих яблунь в умовах центральної та південної України становлять приблизно від $-0,6$ до $-0,9$ МПа для добре зрошуваних дерев, від $-0,9$ до $-1,2$ МПа для помірного стресу (що відповідає описаним нижче фазам регульованого дефіциту) та $-1,4$ МПа або ще більш негативні значення для сильного стресу, який гальмує ріст плодів та

знижує врожайність. Вимірювання проводяться опівдні (з 12:00 до 14:00 за сонячним часом) у ясну погоду щонайменше на 4–6 деревах у кожному блоці; середні значення інтерпретуються у порівнянні з еталонними значеннями.

Камери тиску коштують від 1 500 до 3 500 доларів США і вимагають наявності кваліфікованих операторів, що обмежує їхнє застосування науково-дослідними та дуже великими комерційними підприємствами. Вони особливо корисні як остаточна перехресна перевірка під час реалізації стратегій регульованого дефіциту, а також для діагностики садів з низькою врожайністю, де вологість ґрунту здається достатньою, але дерева виявляють ознаки стресу.

6.2.2. Температура листя та провідність продихів

Інфрачервона термометрія температури крони забезпечує швидке безконтактне вимірювання стресу. Стресовані листки закривають свої продихи, зменшуючи охолодження за рахунок транспірації та нагріваючись вище температури повітря. Різниця між температурою крони та температурою повітря ($T_c - T_a$) є найпростішим індексом стресу; індекс водного стресу культур (CWSI) нормалізує цю різницю до шкали від 0 до 1, використовуючи верхню та нижню опорні лінії. Яблуня є помірно консервативною у регуляції продихів; для появи чітких сигналів стресу за нормальних умов необхідна різниця $T_c - T_a$ понад 3 °C.

Портативні інфрачервоні термометри дозволяють проводити точкові вимірювання, що є практичним для діагностики в польових умовах. Більш досконалі системи використовують стаціонарні інфрачервоні датчики над кожним масивом або — все частіше — теплові зображення з безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які дозволяють скласти карту температури крони та визначити зони стресу з роздільною здатністю на рівні окремих дерев. Такі технології починають широко застосовуватися в сучасних українських садах.



Рисунок 26 - Електронний термометр

Пряме вимірювання провідності продихів за допомогою листового порометра забезпечує більш чутливий показник стресу, ніж температура крони, але є занадто повільним для повсякденного комерційного використання. Воно залишається важливим дослідницьким інструментом і час від часу застосовується в діагностичних дослідженнях.

6.3. Планування поливу на основі погодних умов (ЕТ)

Планування на основі погодних даних використовує рівняння, наведене в розділі 4: $ET_c = K_c \times ET_o$, чиста потреба у зрошенні = ET_c – ефективна кількість опадів, для прогнозування щоденної потреби саду у воді та накопичення поточного балансу вологи в ґрунті. На практиці процедура така:

- Щоранку отримуйте значення ЕТо за попередній день з автоматичної метеостанції або регіональної служби.
- Помножте це значення на поточне значення Кс (з каліброваної кривої, наприклад, наведеної в таблиці 4.2), щоб отримати ЕТс.
- Відніміть ефективну кількість опадів, виміряну у саду.
- Додайте результат до лічильника поточного дефіциту, що відображає поточне вичерпання ґрунтової вологи.
- Коли дефіцит досягає заздалегідь встановленого порогового значення (зазвичай від 30 до 50 відсотків доступної води в кореневій зоні), слід запланувати полив для поповнення ґрунту до польової вологоємності або до цільового рівня виснаження нижче польової вологоємності, якщо застосовується стратегія дефіцитного поливу.

Планування на основі погодних даних має ту перевагу, що воно є прогнозним, а не реактивним: система «знає» потребу ще до того, як дерева почнуть виявляти будь-які ознаки стресу, і полив можна запланувати з урахуванням експлуатаційних обмежень (робочий час, структури тарифів на електроенергію, заходи зі збору врожаю). Його головним недоліком є кумулятивне відхилення балансу ґрунтової вологи, якщо значення Кс, ЕТо або ефективних опадів систематично переоцінюються або недооцінюються. Стандартною практикою є переустановка розрахованого балансу на основі періодичних прямих вимірювань вологості ґрунту, зазвичай кожні 7–14 днів у пік сезону.

6.4. Інструменти та моделі для підтримки прийняття рішень

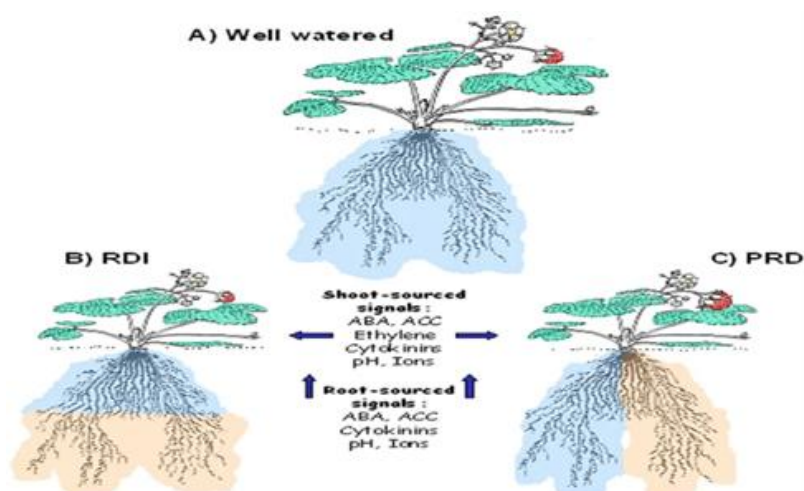
Для допомоги у плануванні зрошення яблуневих садів було розроблено численні програмні засоби та моделі. Вони відрізняються за рівнем складності, вартістю та ступенем інтеграції з мережами датчиків і метеорологічними мережами. До категорій належать:

- Прості калькулятори водного балансу на основі електронних таблиць, які поєднують показник ЕТо від метеорологічної служби з таблицями Кс та даними про ефективні опади. Вони є безкоштовними, прозорими та підходять для будь-якого господарства, де є базові навички роботи з комп'ютером.
- Комерційні платформи управління господарством з інтегрованими інформаційними панелями, що відображають вологість ґрунту в режимі реального часу, прогнози погоди та рекомендовані графіки зрошення. Прикладами є кілька систем, доступних в Україні, які поєднують телеметричні ґрунтові зонди з моделюванням водного балансу за методом FAO-56.
- Фізичні моделі наукового рівня, такі як APPLES, RZWQM2 або HYDRUS, що детально моделюють рух води в ґрунті та фізіологію сільськогосподарських культур. Вони вимагають ретельного вивчення характеристик ділянки та використовуються переважно в наукових дослідженнях та при розробці політик.
- Оперативні служби прогнозування, що поєднують прогнози ЕТо (зазвичай на 7–10 днів уперед) з прогнозами погоди для оцінки потреби у зрошенні, що дозволяє заздалегідь планувати зрошення з урахуванням прогнозованих опадів.

Для більшості комерційних українських садів поєднання простої електронної таблиці водного балансу, ґрунтових датчиків з телеметрією та регіональної метеорологічної служби забезпечує достатні можливості планування за помірну вартість. Найважливішою інвестицією є час кваліфікованого спеціаліста з планування, який узагальнює дані для прийняття оперативних рішень; програмне забезпечення не може замінити цю оцінку.

6.5. Стратегії регульованого дефіцитного зрошення (RDI)

Стратегія регульованого дефіцитного зрошення у порівнянні з повним зрошенням. Помірний водний стрес (Ψ_{stem} від $-1,0$ до $-1,2$ МПа) створюється під час періоду від клітинного поділу до середини фази розширення плодів (затінена зона), при цьому повне зрошення відновлюється до завершення розширення плодів для збереження їх розміру



Schematic diagram of the irrigation pattern in FI, RDI and PRD by Davies and Harfong 2004

Рисунок 27 - Схематична діаграма схеми зрошення у режимах FI, RDI та PRD за даними Девіса та Харфунга (2004)

Регульоване дефіцитне зрошення (RDI) — це стратегія, яка передбачає навмисне застосування меншої кількості води, ніж ET_c , під час певних фаз сезону з метою економії води, поліпшення якості плодів та контролю вегетативного росту. Вона ґрунтується на фізіологічному спостереженні, що помірний водний стрес на пізній стадії клітинного поділу (приблизно через 60–100

днів після повного цвітіння) уповільнює ріст пагонів у яблуні більше, ніж ріст плодів (), що дозволяє отримати більш компактні дерева з аналогічною врожайністю плодів, а також поліпшеним забарвленням і вмістом сухої речовини.

Типовий графік RDI для яблуні в українських умовах складається з повного зрошення (заміщення 100 відсотків ET_c) від розпускання бруньок до приблизно 30 днів після повного цвітіння; періоду дефіцитного зрошення (від 60 до 75 відсотків ET_c) — приблизно від 30 до 90 днів після повного цвітіння, при цьому водяний потенціал стебла дозволяється знижувати до $-1,0$ — $-1,2$ МПа; та знову повного зрошення — від 90 днів після повного цвітіння до збору врожаю. Зрошення після збору врожаю підтримується на помірному рівні (від 50 до 70 відсотків ET_c) для забезпечення старіння листя та загартовування до холоду.

Успішне застосування RDI вимагає ретельного моніторингу: застосовувати цю методику «наосліп» небезпечно. Рекомендована практика моніторингу передбачає щоденний

контроль вологості ґрунту та щотижневий контроль водного потенціалу стебла протягом періоду дефіциту, з швидким поверненням до повного зрошення, якщо будь-який показник вказує на надмірний стрес. За даними, у центральній та південній Україні можна досягти економії води на 15–30 відсотків порівняно з повним зрошенням без втрати врожаю, при цьому часто спостерігається поліпшення кольору плодів та терміну зберігання.

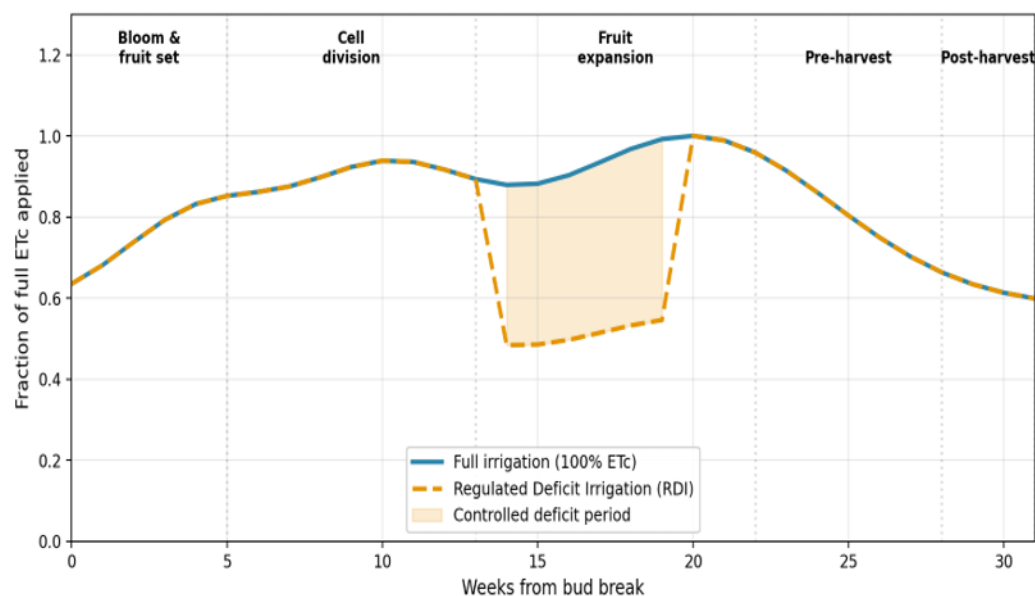


Рисунок 28 - Стратегія регульованого дефіцитного зрошення у порівнянні з повним зрошенням.

Помірний водний стрес (Ψ_{stem} від $-1,0$ до $-1,2$ МПа) створюється під час періоду від клітинного поділу до середини фази розширення плодів (затінена зона), при цьому повне зрошення відновлюється до завершення розширення плодів для збереження їх розміру.

Розділ 7 – Потреба у воді залежно від стадії розвитку саду

Яблуневі сади проходять різні стадії від посадки до зрілості, і їхні потреби у воді відповідно змінюються. Потреби щойно посадженого дерева, 4-річного дерева з центральним стовбуром, сформованим на шпалері, та 15-річного зрілого дерева на підщепі М9 суттєво відрізняються. У цьому розділі наведено орієнтовні потреби у воді для кожної стадії та розглянуто наслідки для визначення розмірів та графіку роботи систем зрошення.

7.1. Щойно висаджені дерева

Перший вегетаційний період після посадки є критичним для приживлення саду. Щойно посажені дерева мають невелику, пошкоджену кореневу систему, обмежену оригінальним ґрунтовим комком з розсадника; вони не можуть поглинати воду з значного об'єму ґрунту і повністю залежать від поливної води, що подається в безпосередній близькості від стовбура. Недотримання належного рівня вологості в перших 30 см навколо стовбура протягом перших 60–90 днів після посадки є найпоширенішою причиною поганого приживлення.

Типові потреби у воді для щойно висаджених дерев в українських умовах є помірними в абсолютному вираженні — від 2 до 6 літрів на дерево на добу, залежно від погоди, — але воду необхідно подавати на дуже невеликий об'єм ґрунту. Для цієї мети настійно рекомендується використовувати мікрозрошення (крапельне або мікророзпилювальне). Системи борозкового або дощового зрошення, призначені для зрілих садів, надмірно розпилюють воду на великій площі, не забезпечуючи достатнього поливу поблизу стовбура, що призводить як до поганого приживлення, так і до високого ризику захворювань.

Практичні рекомендації щодо зрошення в перший сезон:

- Сади з крапельним зрошенням: встановіть один крапельниця продуктивністю від 2 до 4 л/год на відстані від 15 до 30 см від кожного стовбура, на додаток до постійних крапельників, які обслуговуватимуть доросле дерево. Проводьте зрошення щодня протягом періоду приживлення.
- Сади з мікродощувальним зрошенням: слід забезпечити, щоб зона зволоження охоплювала місце розташування стовбура. У деяких системах постійні мікродощувачі доповнюються тимчасовим крапельним емітером, встановленим безпосередньо біля стовбура.
- Підтримуйте вологість ґрунту у верхньому шарі глибиною 30 см постійно на рівні, близькому до польової вологоємності. Показники тензіометра на цій глибині не повинні перевищувати 20 сб протягом періоду приживлення.
- Продовжуйте інтенсивний полив зони стовбура, доки інтенсивний новий приріст не підтвердить успішне приживлення, що зазвичай відбувається через 60–90 днів після посадки.

7.2. Молоді сади, що ще не дають врожаю

Починаючи з другого вегетаційного періоду і до досягнення садом комерційної врожайності — зазвичай це 2–4 роки на карликових підщепах, довше на напівкарликових та стандартних підщепах — потреба у воді швидко зростає у міру розширення крони та кореневої системи. Орієнтовні сезонні потреби у воді становлять від 200 до 350 мм/рік у 2-му році, від 300 до 450 мм у 3-му році та від 450 до 600 мм у 4-му році росту, залежно від регіону.

Метою на цьому етапі є швидкий і здоровий вегетативний ріст, щоб заповнити відведений простір і сформувати бажану структуру дерева. Помірний водний стрес, який був би прийнятним у плодоносному саду, на цьому етапі є недоцільним; він уповільнює розвиток крони, затримує початок плодоношення та знижує продуктивність протягом усього терміну експлуатації. Стратегії RDI (регульованого дефіциту води) не підходять для неплодоносних садів.

Практичні рекомендації для садів, що ще не плодоносять, включають зрошення крапельним або мікророзпилювальним способом із регулярним переглядом графіків у міру росту дерев; узгодження тривалості зрошення з розвитком кореневої системи, глибина якої збільшується з 30 см у 1-му році до 60–80 см до 4-го року; а також регулярне внесення добрив під час вегетаційного періоду для підтримки інтенсивного росту.

7.3. Зрілі плодоносні сади

Зрілі плодоносні сади мають стабільні потреби у воді, які залежать головним чином від щільності насаджень, підщепи, форми крони, клімату та догляду за ґрунтом у саду. У таблиці 5 наведено орієнтовні загальні сезонні потреби у воді та пікові добові потреби для зрілих комерційних яблуневих садів у основних регіонах виробництва України.

Таблиця 4 - Орієнтовні сезонні потреби у воді для зрілих плодоносних яблуневих садів у основних регіонах України

Регіон	Сезонне випаровування (мм)	Ефективна кількість опадів (мм)	Чисте зрошення (мм)	Пікова добова кількість опадів (мм/день)
Вінниця (лісостеп)	550	320	230	5,5
Київ (лісостеп)	580	300	280	5,8
Херсон (степ)	740	180	560	7,5
Миколаїв (степ)	710	200	510	7,2
Закарпаття (підкарпатське)	520	420	100	5,2
Львів (західна)	500	400	100	5,0

Сезонна ЕТс розрахована з урахуванням кривих Кс з таблиці 3 та повного покриття кронами; чисте зрошення дорівнює ЕТс мінус ефективна кількість опадів (75 відсотків середньої кількості опадів (75 відсотків середньої кількості опадів))

Значення, наведені в таблиці 5, є вихідними даними для проектних розрахунків; для кожного саду слід розробити індивідуальні значення з урахуванням фактичних

довгострокових метеорологічних даних та локально відкаліброваних значень Кс. Пікова добова потреба є критичним значенням для проектування пропускної здатності системи: система зрошення повинна бути здатна безперервно забезпечувати таку швидкість подачі води з урахуванням простоїв та технічного обслуговування.

7.4. Сади високої щільності порівняно з традиційними

Сучасне яблуневодство поступово переорієнтовується на насадження високої щільності — від 1 500 до 4 000 дерев на гектар на карликових підщепах (в Україні переважно М9, а також М26 і В9), сформованих за системою «тонкого веретена» на шпалері або подібними системами з центральним провідником. Вони мають суттєво інші характеристики управління водопостачанням, ніж традиційні насадження з 200–600 дерев на гектар на напівкарликових або стандартних підщепах.

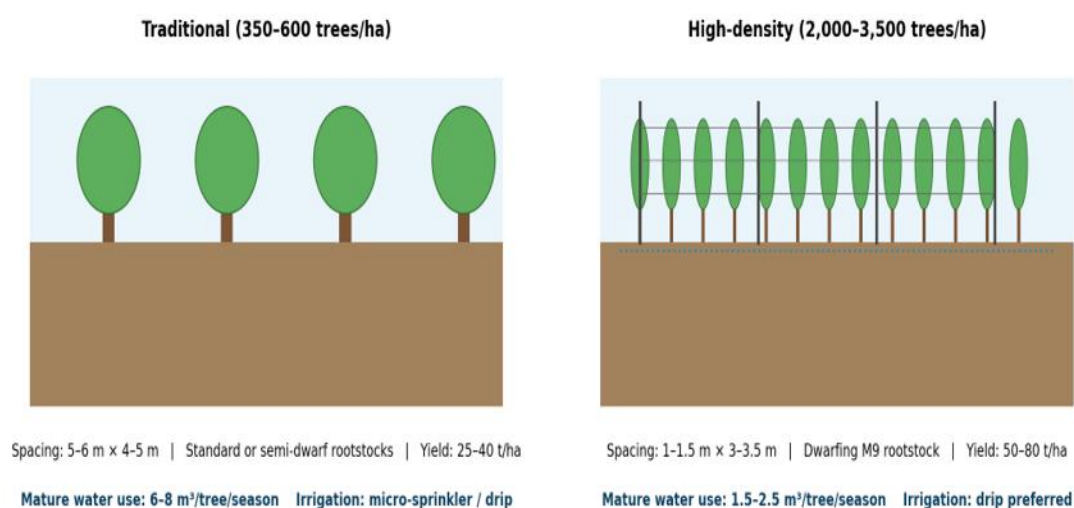


Рисунок 29 - Схематичне порівняння традиційних (ліворуч, ~400 дерев/га на напівкарликових підщепах) та високощільних (праворуч, ~3 000 дерев/га на М9) систем яблуневих садів.

У високощільних садах набагато раніше відбувається збільшення кронного покриття, спостерігається вищий піковий показник Кс та більша схильність до короточасного водного стресу через неглибоку кореневу систему.

Основні відмінності у режимі зрошення між системами високої щільності та традиційними системами включають:

- Більш раннє закриття крони та швидше зростання Кс: сади високої щільності досягають майже зрілого рівня ЕТс на 3–4-му році; традиційним садам для цього потрібно 7–10 років.
- Менш глибока коренева система на карликових підщепах: 60–80 відсотків коренів знаходяться у верхніх 50 см ґрунту, порівняно з розподілом на глибині 30–50 см, що простягається до 1,0–1,5 м у напівкарликових системах.
- Вища чутливість до короточасного водного стресу через обмежений буферний запас вологи в ґрунті в неглибоких зонах кореневої системи. Сади високої

щільності можуть потребувати поливу кожні 1–3 дні в пік сезону; традиційні сади часто можуть обходитися без поливу протягом 7–10 днів.

- Більша придатність для крапельних та мікророзпилювальних систем із частим поливом невеликими обсягами; менша придатність для поверхневого зрошення.
- Вищі пікові значення K_s (до 1,15 для добре доглянутих садів високої щільності) через густішу крону та повне закриття міжряддя.

При проектуванні систем зрошення для садів високої щільності критично важливим фактором є невеликий буферний запас води в ґрунті. Система повинна бути розрахована на поповнення невеликого ефективного об'єму кореневої зони в день пікового попиту та здатна працювати з короткими інтервалами між поливами. Проект, який був би консервативним для традиційного саду, може виявитися недостатнім для насаджень високої щільності на тій самій ділянці.

Розділ 8 – Фертигація

Введення добрив (фертигація) та хімічних засобів захисту рослин (хемигація) через систему зрошення перетворює те, що інакше було б лише системою подачі води, на основний засіб управління поживними речовинами у саду. При правильному виконанні фертигація підвищує ефективність використання поживних речовин на 30–50 відсотків порівняно з розкидним або смуговим внесенням добрив у ґрунт, зменшує трудомісткість та скорочує час реагування на проблеми з живленням. Наразі це є стандартною практикою у всіх нових комерційних яблуневих садах України, обладнаних системою зрошення під тиском.

8.1. Принципи фертигації

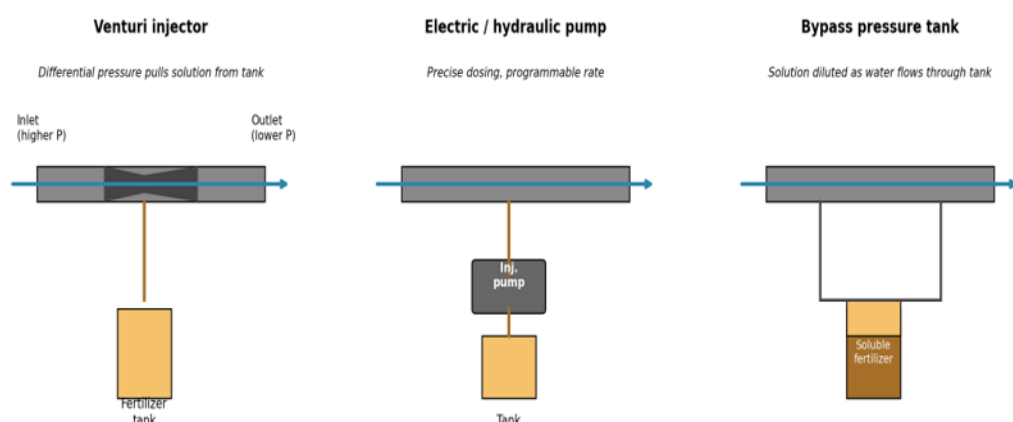


Рисунок 30 - основні методи введення, що використовуються у фертигації яблунь

Три основні методи введення, що використовуються у фертигації яблунь: (а) інжектор Вентурі — простий, без рухомих частин, але з втратою тиску; (б) поршневий або діафрагмовий насос — точний, регульований; (в) байпасний бак — недорогий, але з обмеженим контролем над профілем введення.

Принцип фертигації простий: водорозчинні добрива розчиняються у поливному потоці з контрольованою швидкістю та подаються безпосередньо до кореневої зони під час кожного поливу. Кількість та час внесення поживних речовин можна точно адаптувати до потреб культури, оскільки обидва ці параметри можна змінювати від одного поливу до іншого. У порівнянні з традиційним внесенням добрив у ґрунт фертигація має кілька очевидних переваг:

- Поживні речовини надходять саме туди, де коріння найбільш активне — у зону зволоження емітера або мікророзпилювача, — що зменшує втрати внаслідок вимивання, фіксації в некоренових шарах ґрунту та поглинання бур'янами.
- Часті невеликі внесення (які часто називають «поступовим внесенням») відповідають часовій динаміці потреб культур і знижують ризик втрат через вимивання, особливо азоту на легких ґрунтах та після сильних дощів.

- Внесення здійснюється за допомогою того самого обладнання, що використовується для зрошення, без необхідності проведення окремих польових робіт; це особливо важливо для садів з високою щільністю насаджень та повністю сформованим кроновим покривом, де внесення добрив з поверхні ґрунту стає складним.
- Реакція на діагностичну інформацію, отриману протягом вегетаційного періоду (візуальні симптоми, аналіз листя), є швидкою; коригувальні внесення можна здійснити протягом годин, а не днів.
- Добрива у розчині мають вищу доступність, ніж гранульовані форми, що вносяться на суху поверхню ґрунту.

До обмежень фертигації належать необхідність використання водорозчинних добрив (які є дорожчими за одиницю поживних речовин, ніж добрива сільськогосподарського призначення), необхідність проведення випробувань на сумісність між добривами та з поливною водою (осади можуть забивати розпилювачі), а також необхідність навчання операторів з питань управління поживними речовинами, хімії та обладнання.

8.2. Обладнання для введення поживних речовин

У повсякденному комерційному використанні застосовуються три основні класи обладнання для введення добрив, кожне з яких має свої особливості:

Інжектори Вентурі працюють за принципом Вентурі: звуження в головній трубці створює перепад тиску, який засмоктує концентрований розчин добрив із відкритого резервуара через гнучку всмоктувальну трубку.

Вони прості, надійні, не мають рухомих частин і є недорогими (типові комерційні пристрої коштують від 100 до 400 доларів США). Основним обмеженням є втрата тиску в інжекторі на 20–30 відсотків, що необхідно враховувати при проектуванні системи. Швидкість впорскування можна регулювати, але точно дозувати її досить складно.

Насоси для введення (поршневі, мембранні або перистальтичні) забезпечують точне, регульоване введення, незалежне від тиску в магістралі. Зазвичай вони приводяться в дію електродвигуном або — особливо у великих комерційних системах — самим



Рисунок 31 - Блок введення, виробник VGB

гідравлічним потоком (пропорційне введення, що приводиться в дію водою). Капітальні витрати вищі (зазвичай від 600 до 2 500 доларів США), але швидкість впорскування можна точно встановлювати, регулювати або програмувати протягом усього процесу зрошення. Вони є стандартним вибором для комерційних українських садів площею понад 5 гектарів.

Байпасні резервуари (резервуари з перепадом тиску) — це герметичні резервуари, що містять сухе або концентроване рідке добриво; невеликий потік відводиться від магістральної труби через резервуар, поступово розчиняючи добриво. Вони недорогі, але під час поливу утворюють профіль концентрації, що поступово знижується, і не підходять там, де потрібна точна фертигація. Їхнє використання в сучасних українських комерційних садах обмежується невеликими господарствами та аварійним резервуванням.

Незалежно від методу введення, для безпечної експлуатації необхідні кілька допоміжних компонентів: зворотний клапан між точкою введення та джерелом води для запобігання забрудненню джерела зворотним потоком; вакуумний клапан перед інжектором, щоб гарантувати, що будь-який зворотний потік містить повітря, а не розчин добрив; ізолюючі запірні клапани; а також фільтрація за інжектором, достатня для видалення будь-яких осадів або нерозчинених частинок до того, як вони досягнуть розпилювачів.

8.3. Планування внесення поживних речовин під час зрошення

Типова річна програма фертигації для зрілого плодоносного яблуневого саду в умовах України передбачає внесення приблизно 60–120 кг N/га, 20–40 кг P₂O₅/га, 80–180 кг K₂O/га та 30–60 кг Ca/га, причому внесення хлориду кальцію приурочується до кінцевого періоду розширення плодів для забезпечення їхньої твердості. Магній, сірку та мікроелементи (B, Zn, Fe, Mn) вносять відповідно до результатів аналізу листя та ґрунту.

Часовий графік внесення добрив відповідає сезонним потребам саду:

- Від розпускання бруньок до цвітіння (кінець квітня — середина травня): низькі або помірні дози азоту (10–20 відсотків від загального сезонного обсягу), помірні дози калію, мінімальні дози кальцію та фосфору.
- Від зав'язування плодів до початку клітинного поділу (середина травня — середина червня): пік внесення азоту (25–30 відсотків від загальної кількості), що сприяє росту як плодів, так і пагонів.
- Від клітинного поділу до середини фази розширення плодів (середина червня — початок серпня): продовжується внесення азоту у високих дозах (25–30 відсотків), збільшується калій (40–50 відсотків від загального сезонного обсягу калію), починається внесення кальцію.
- Від кінцевої фази розширення до збору врожаю (серпень — початок вересня): поступове зменшення азоту, підтримка рівнів калію, інтенсивне внесення кальцію, особливо для сортів, схильних до гіркоти (Брамлі, Кокс, Ханікрісп, деякі лінії сорту Гала).
- Післязбиральний період (вересень — опадання листя): помірне внесення азоту (5–10 відсотків від загальної кількості) для підтримки розвитку бруньок та накопичення запасів, подальше внесення кальцію та калію не проводиться.

Стандартною практикою є внесення добрив з поливною водою під час кожного або майже кожного поливу в період активного вегетаційного сезону, причому під час кожного поливу вноситься невелика частка від загального сезонного обсягу. Концентрація розчинених добрив у поливній воді не повинна перевищувати приблизно 1,5 г/л загальної кількості розчинених добрив, щоб уникнути осмотичного стресу на розпилювачах та їх засмічення осадами. Кожен цикл фертигації слід завершувати промиванням чистою водою протягом щонайменше 15 хвилин, щоб видалити всі залишки добрив із бічних трубопроводів та розпилювачів перед вимкненням системи.

8.4. Збільшення вмісту кисню у воді

Розчинений кисень, який зазвичай позначають як DO і вимірюють у міліграмах на літр, — це просто кількість вільного газоподібного кисню, фізично утримуваного у воді. Це не кисень, що міститься всередині самої молекули H_2O , а додатковий O_2 , який потрапив із повітря або з аераційної системи й залишається в розчині. Для зрошення DO є одним із найбільш недооцінених параметрів якості води, оскільки рослини дихають не лише листям, а й корінням.

Коренням потрібен кисень для дихання. Саме дихання надає клітинам коренів енергію для активного перекачування поживних речовин із води в рослину. Коли рівень DO знижується, поглинання поживних речовин сповільнюється, навіть якщо вміст добрив у воді є ідеальним. Садівники часто сприймають це як симптоми дефіциту у культурі, яка, на папері, підживлюється правильно. Справжня проблема полягає не в поживних речовинах, а в кисні.

Вміст розчиненого кисню (DO) у поливній воді також визначає, які мікроорганізми домінують навколо коренів. У воді, багатій киснем, процвітають аеробні та переважно корисні бактерії, які допомагають розкласти органічну речовину, пригнічувати хвороби та підтримувати здорову ризосферу.

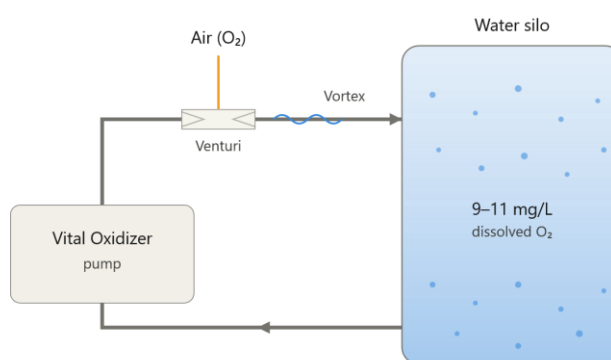


Рисунок 32 - Схематичне зображення Vital Oxidizer

8.5. Хімічне внесення добрив

Хімігація — внесення пестицидів, фунгіцидів або інших хімічних засобів захисту рослин через систему зрошення — має більш обмежене застосування у яблуневих культурах, ніж фертигація. Найпоширенішими методами хімігації є:

- Підкислення зрошувальної води за допомогою сірчаної, азотної або фосфорної кислоти для підтримки рН нижче 6,5 та запобігання осадженню кальцію та бікарбонатів у зрошувальній системі. Це точніше описати як обробку води, ніж як хемоіригацію.
- Введення хлору (у вигляді гіпохлориту натрію) для періодичної шокової обробки з метою боротьби з біоплівкою та бактеріальним слизом у відгалуженнях.
- Внесення ґрунтодіючих інсектицидів та нематоцидів у прикореневу зону; від цієї практики в сучасному українському яблуневому виробництві в основному відмовилися з екологічних міркувань та з метою управління резистентністю.
- Введення розчинних біостимуляторів рослин, гумінових кислот та мікробних інокулянтів — категорія, що набуває поширення, але поки що не стандартизована.

Хімігація вимагає значно суворіших заходів безпеки, ніж фертигація. У випадках застосування пестицидів нормативні вимоги зазвичай включають: подвійний захист від зворотного потоку для захисту джерела води; блокувальний механізм, що автоматично зупиняє введення хімікатів у разі збою потоку зрошувальної води; хімікостійке обладнання для введення; та повне ведення обліку застосувань. Пряме обприскування листя фунгіцидами за допомогою дощовиків, що колись практикувалося в деяких українських садах, більше не рекомендується для сортів, сприйнятливих до бактеріального опіку, через ризик поширення хвороби внаслідок змочування крони.

Розділ 9 – Проектування та монтаж системи

Проектування системи передбачає перетворення агрономічних вимог, визначених у попередніх розділах — пікової добової потреби у воді, характеристик ґрунту, планування саду — у конкретну гідравлічну схему: продуктивність насоса, розміри труб, вибір фільтрів, тип та відстань між розпилювачами, а також послідовність роботи клапанів і зон. Якісне проектування має одночасно

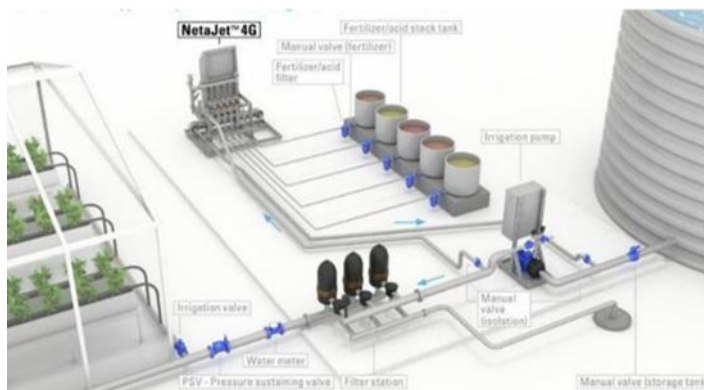


Рисунок 33 - Проект системи зрошення

задовольняти гідравлічні, агрономічні та економічні обмеження, а також передбачати можливість майбутнього технічного обслуговування та розширення.

У цьому розділі викладено основні етапи проектування та наведено практичні рекомендації, що застосовуються при повсякденному комерційному проектуванні в умовах України. Для великих або складних установок рекомендується використовувати спеціалізоване програмне забезпечення для проектування та залучати досвідченого інженера-іригаціоніста; наведена нижче інформація підходить для розуміння таких проектів, для ескізного проектування малих та середніх установок, а також для оцінки пропозицій від постачальників.

9.1. Принципи гідравлічного проектування

Гідравлічне проектування починається з розрахунку пікової добової потреби у воді (мм/день) і передбачає послідовність перетворень для визначення розмірів труб, тиску та витрати води в кожній точці системи. Стандартні етапи такі:

- Розрахувати пікову загальну потребу в поливі: пікову ЕТс, поділену на передбачуваний коефіцієнт ефективності (наприклад, 0,92 для поверхневого крапельного поливу). Додати 10–20-відсотковий запас міцності на випадок несприятливих років та простоїв системи.
- Розрахувати витрату в системі на основі загальної потреби та бажаної тривалості роботи на добу. Зазвичай при проектуванні передбачається пікова тривалість роботи від 16 до 20 годин на добу; вища цифра залишає мало запасу на випадок поломки та технічного обслуговування.
- Розділіть сад на гідравлічні зони, кожна з яких працює як окрема одиниця, таким чином, щоб загальний потік у будь-який момент часу відповідав витраті системи. Кількість зон залежить від розміру ділянки, рельєфу та сорту культури; менші та більш численні зони забезпечують більшу гнучкість експлуатації за рахунок вищих витрат.
- Розраховуйте розміри головної труби, підвідних трубопроводів та відгалужень виходячи з витрати, яку вони повинні пропускати, при цьому втрати тиску повинні

залишатися в межах проектних обмежень. Типові допустимі втрати становлять 10 відсотків робочого тиску в головній трубі, 5 відсотків — у підвідних трубопроводах та 10 відсотків — у відгалуженнях, що відповідає загальній рівномірності (коефіцієнт рівномірності Крістіансена) приблизно 90 відсотків.

- Вибирайте крапельниці за необхідною швидкістю подачі та відстанню між ними. Об'єм, що зволожується, повинен охоплювати активну зону коренів; на піщаних ґрунтах це означає меншу відстань між крапельницями або використання мікророзпилювачів.
- Визначте насос і двигун: загальний динамічний напір дорівнює статичному підйому плюс втрати в трубопроводі плюс необхідний робочий тиск на розпилювачах (зазвичай від 100 до 150 кПа для крапельного зрошення та від 100 до 250 кПа для мікророзпилювачів); продуктивність насоса дорівнює витраті системи.
- Визначте систему фільтрації: тип та продуктивність залежно від якості води та чутливості розпилювачів.

Практичний приклад проектування для ділянки площею 10 га в центральній Україні з піковим значенням ЕТс 6 мм/день, крапельною системою з ККД 92 %, що працює 18 годин на добу, демонструє взаємодію цих етапів. Загальна добова потреба становить $6 / 0,92 \times 1,15 = 7,5$ мм, що дорівнює $750 \text{ м}^3/\text{день}$ для 10 га; розподілена на 18 годин, це становить приблизно 11,6 л/с або $42 \text{ м}^3/\text{год}$. При послідовному функціонуванні 4 гідравлічних зон кожна зона площею 2,5 га повинна забезпечувати ті самі $42 \text{ м}^3/\text{год}$. При типовій витраті крапельної системи 1,5 л/год на один розпилювач з інтервалом 0,5 м це визначає конкретні розміри труб, які проектувальник потім перевіряє на відповідність граничним значенням втрат тиску.

9.2. Вимоги до насоса та системи фільтрації

Насосна та фільтраційна лінія є серцем системи зрошення. Вибір насоса визначається витратою системи, загальним динамічним напором (TDH), доступним джерелом живлення та варіативністю попиту в різних робочих зонах. Для більшості комерційних українських яблуневих садів стандартом є електричні відцентрові насоси, безпосередньо з'єднані з трифазними двигунами, а також занурювальні насоси, якщо джерелом води є глибока свердловина, та поверхневі насоси для неглибоких свердловин, ставків або річок.



Mobile pomsystem

Рисунок 34 - Мобільна насосна система

Продуктивність насоса повинна відповідати найбільшій витраті в одній зоні з урахуванням запасу від 5 до 10 відсотків на підвищення тиску у фільтрі та поступовий знос. Приводи з регульованою частотою (VFD) на двигуні насоса все частіше



застосовуються в нових українських установках: вони дозволяють підлаштовувати швидкість обертання насоса до фактичного витрати в зоні, зменшуючи споживання енергії на 20–40 відсотків порівняно з режимом роботи з фіксованою швидкістю та дроселюванням, а також забезпечують плавний пуск, що зменшує гідравлічний удар і подовжує термін експлуатації обладнання.

Фільтрація має вирішальне значення для крапельних та мікророзпилювальних систем і є найпоширенішою причиною помилок у зрошенні, яких можна уникнути. Вибір фільтра залежить від джерела води та чутливості розпилювачів:

Рисунок 35 - Водофільтрувальна установка

- Поверхневі води (ставки, річки, канали): зазвичай вимагають фільтрації на піщаному наповнювачі як первинного етапу (пропускна здатність від 50 до 100 мкм), з подальшою фільтрацією через сито або диски для тонкого очищення (80–130 меш, що еквівалентно 110–180 мкм).
- Підземні води зі свердловин: зазвичай для типових крапельних розпилювачів потрібна лише сітчаста або дискова фільтрація (130–200 меш), за винятком випадків, коли вміст заліза, марганцю або біологічна активність є значними.
- Крапельні емітери з дуже малими отворами (менше 1 л/год): потребують більш тонкої фільтрації (200 меш або дрібніше); більші емітери та мікророзпилювачі допускають грубішу фільтрацію.

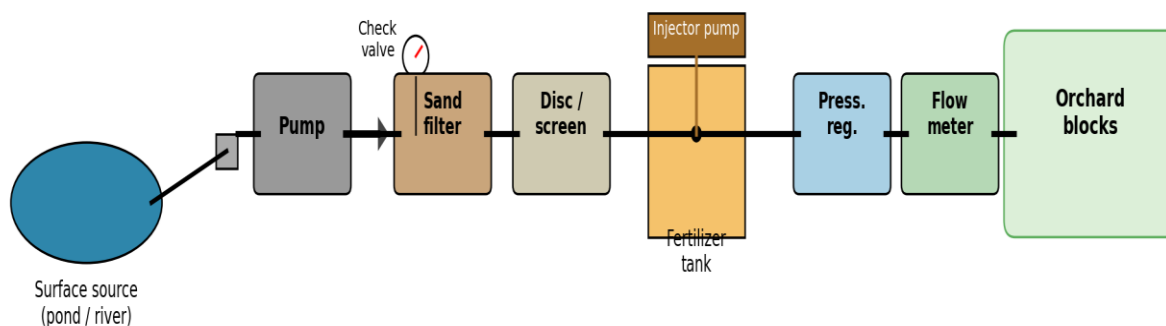


Рисунок 36 - Схема типової насосно-фільтрувальної лінії для системи крапельного зрошення яблуневого саду

(1) вхідний решітчастий фільтр, (2) первинний насос, (3) піщаний або гідроциклонний фільтр для уловлювання крупних твердих частинок, (4) точка введення добрив, (5)

вторинний решітчастий або дисковий фільтр для тонкої фільтрації, (6) регулятор тиску, (7) витратомір, (8) головний запірний клапан на полі.

Розмір піщаних фільтрів визначається витратою води та її якістю; типова продуктивність становить від 30 до 50 м³/год на один фільтрувальний резервуар, а в більших системах паралельно експлуатуються кілька резервуарів. Вони потребують зворотного промивання — у сучасних установках це відбувається автоматично — коли перепад тиску на фільтрі перевищує приблизно 0,5 бара. Дискові та сітчасті фільтри також піддаються зворотному промиванню і мають нижче енергоспоживання, ніж піщані фільтри; вони підходять для випадків, коли біологічне навантаження є низьким.

9.3. Розташування труб та відстань між крапельницями

Схема прокладення трубопроводів типового українського комерційного яблуневого саду з крапельним зрошенням складається з:

- Головної магістралі від насосної станції до саду, розрахованої на повний потік системи та виготовленої з поліетилену (PE) або поліхлорвінілу (PVC), стійких до тиску (зазвичай діаметром від 90 до 160 мм, залежно від витрати).
- Відгалуження, що проходять перпендикулярно до рядів дерев, кожне з яких обслуговує одну гідравлічну зону (зазвичай діаметром від 63 до 110 мм).
- Бічних ліній, що проходять уздовж кожного ряду дерев, з вбудованими або прикріпленими крапельницями (зазвичай 16–20 мм).
- Опціональні лінії промивання на дальньому кінці кожного ряду, що з'єднують усі бічні лінії в зоні зі спільним промивним клапаном.

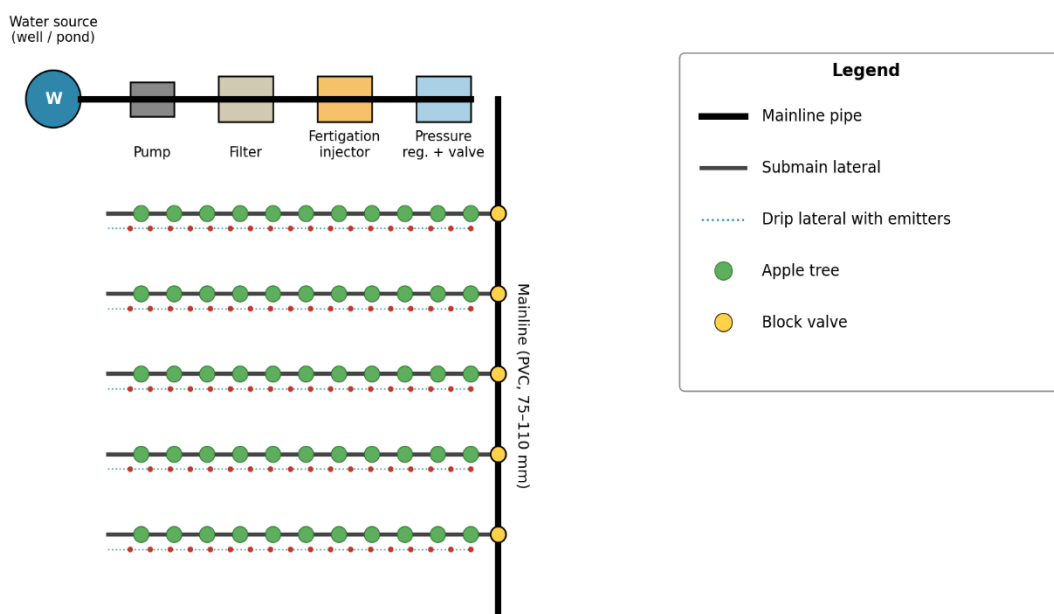


Рисунок 37 - План типової схеми крапельного зрошення для яблуневого саду

Магістральна лінія (товста чорна лінія), підмагістральні лінії, що обслуговують кожен блок (середня товщина), бічні лінії вздовж кожного ряду дерев (тонка лінія) з емітерами, розміщеними вздовж бічних ліній. Гідравлічні зони розмежовуються за допомогою

зонових клапанів; кожна зона працює як самостійна одиниця за запрограмованим графіком.

Відстань між емітерами залежить від типу ґрунту та щільності насадження. Для садів високої щільності на середніх ґрунтах можна використовувати одну бічну лінію на кожен ряд дерев з емітерами, розташованими на відстані від 0,4 до 0,5 м (зазвичай 2 м). Для традиційних садів з меншою щільністю посадки більш доцільним може бути використання двох бічних відгалужень на ряд (по одному з кожного боку стовбура) або декількох розпилювачів, зосереджених поблизу кожного дерева. Стандартним є використання до 4 розпилювачів на дерево при відстані між деревами від 1,2 до 2,0 м. На піщаних ґрунтах необхідні менші відстані (від 0,3 до 0,4 м) для перекриття зон зволоження. На важких ґрунтах — більші відстані (від 0,6 до 0,75 м).

Емітери з компенсацією тиску настійно рекомендуються для всіх установок, за винятком найменших і найрівніших. Вони забезпечують рівномірну подачу води в широкому діапазоні тиску (зазвичай від 80 до 350 кПа), автоматично компенсуючи перепади висоти та втрати на тертя вздовж бічних ліній. Незначні додаткові витрати (від 5 до 10 відсотків від загальної вартості бічних ліній) окупаються завдяки вищій рівномірності поливу та меншому навантаженню на систему під час експлуатації.

9.4. Регулювання тиску та автоматизація

Для забезпечення рівномірного розпилення робочий тиск на розпилювачі має контролюватися. Регулятори тиску встановлюються на початку кожної гідравлічної зони для обмеження вхідного тиску до проектного значення (зазвичай від 100 до 200 кПа). Самоочисні моделі з вбудованими манометрами дедалі частіше використовуються в комерційних системах України та значно спрощують експлуатацію.

Автоматизація швидко розвивається: сучасна комерційна система зрошення яблуневих садів зазвичай включає програмований контролер (ПЛК або спеціалізований контролер зрошення), який керує електромагнітними клапанами за заздалегідь запрограмованим графіком, отримуючи дані від датчиків вологості ґрунту, витратомірів та реле тиску. Дистанційне керування через мережі GSM або LoRaWAN дозволяє оператору контролювати та налаштовувати систему зі смартфона, включаючи аварійне відключення у разі виявлення аномалій витрати або тиску. Капітальні витрати є помірними (від 1 500 до 4 000 доларів США для типової установки площею 10–50 га) і окупаються за рахунок скорочення витрат на робочу силу та підвищення надійності.

9.5. Кращі практики монтажу

Незалежно від конструкції, довгострокова ефективність системи залежить від якості монтажу. До типових проблем під час монтажу, які можуть серйозно погіршити результати навіть добре спроектованої системи, належать:

- Недостатня глибина траншеї для підземних трубопроводів, що призводить до механічних пошкоджень під час обробітку ґрунту та морозного здимання в холодні зими.

- Недостатньо очищені або з'єднані труби, що призводить до потрапляння сміття в систему, яке згодом забиває розпилювачі.
- Несумісні фітинги (різні виробники, різні номінальні тиски), що призводять до несправностей у місцях з'єднання.
- Недостатнє промивання нових труб перед введенням в експлуатацію, що залишає виробничі залишки, які руйнують фільтри та розпилювачі вже в перші тижні роботи.
- Недостатня кількість повітряних клапанів та клапанів скидання тиску у найвищих точках та на виході з насоса.
- Неправильне маркування клапанів або його відсутність, що ускладнює подальше усунення несправностей.

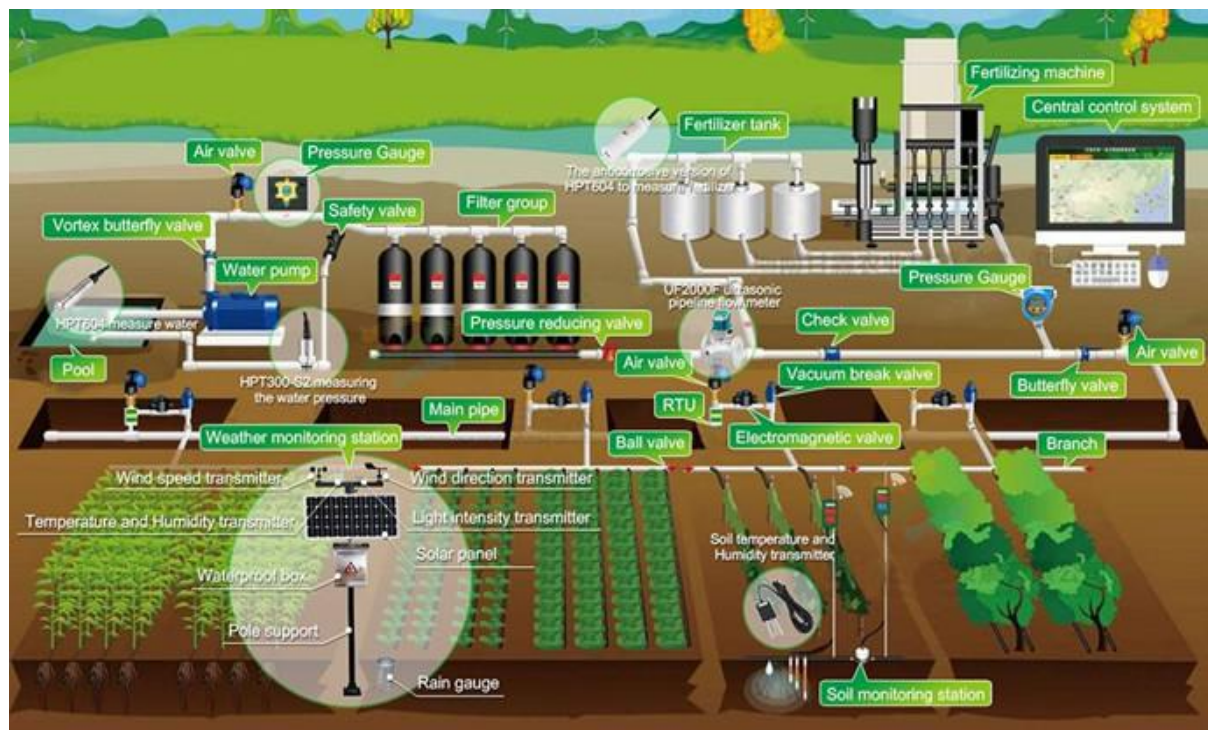


Рисунок 38 - Крайні практики монтажу

Стандартна практика монтажу системи крапельного зрошення на комерційному яблуневому саду в Україні включає: розмітку ділянки перед монтажем та перевірку геометрії рядів дерев; риття траншей для підземних магістралей на глибині від 0,6 до 1,0 м (нижче лінії промерзання); випробування під тиском усіх підземних труб перед засипанням; ретельне промивання всієї мережі магістральних та підмагістральних трубопроводів із розрахунковою швидкістю потоку; введення фільтрів у експлуатацію з контрольованим збільшенням витрати протягом першої години; а також 30-денний огляд після монтажу для виявлення та усунення будь-яких дефектів у рамках гарантійного обслуговування.

Розділ 10 – Експлуатація, технічне обслуговування та усунення несправностей

Більшість систем зрошення виходять з ладу не через конструктивні недоліки, а через нехтування технічним обслуговуванням. Правильно спроектована крапельна система має термін експлуатації від 12 до 20 років; та сама система без регулярного догляду може прийти в непридатний стан вже через 3–5 років. У цьому розділі викладено стандартні методи експлуатації та технічного обслуговування, що захищають інвестиції, а також запропоновано системний підхід до вирішення типових проблем.

10.1. Регулярні перевірки системи

Добре організована система зрошення комерційного яблуневого саду в Україні має письмову програму технічного обслуговування з щоденними, щотижневими, щомісячними та щорічними завданнями. Основні пункти типової програми такі:

Щодня протягом поливного сезону:

- Перевіряйте насос і двигун на наявність незвичайних шумів, вібрації або витоків; перевіряйте робочий тиск на нагнітанні насоса.
- Перевіряйте перепад тиску у фільтрі та проводьте зворотне промивання, якщо він перевищує задане значення.
- Перевіряти, чи запрограмований цикл зрошення пройшов як передбачалося; перевіряти журнал роботи клапанів.
- Щодня обходити по черзі по одному блоку, щоб виявити витoki, відсутні розпилювачі та пошкоджені бічні трубопроводи.

Щотижня:

- Зчитуйте та фіксуйте дані датчиків вологості ґрунту та кількості опадів; порівнюйте їх із планом поливу.
- Перевіряйте тиск на вході на початку кожної гідравлічної зони та порівнюйте його з проектними значеннями.
- Перевірте інжектор на правильність роботи; порівняйте журнал фертигації з планом внесення поживних речовин.
- Проходьте кожен блок щонайменше один раз на тиждень у період пікового попиту; перевіряйте рівномірність зволоження.

Щомісяця:

- Промийте кожну бічну гілку, відкривши кінцеву заглушку та запустивши систему на 1–2 хвилини, доки вода не стане прозорою.
- Розберіть, огляньте та очистіть вибірку емітерів (зазвичай 1 відсоток від загальної кількості), щоб на ранній стадії виявити будь-які тенденції до засмічення.
- Перевіряйте точність витратоміра; фіксуйте сумарне споживання води.
- Перевіряйте всі реле тиску, сигналізацію та автоматичні системи відключення.

Щорічно (до та після сезону):

- Повний огляд системи, включаючи розбирання насоса та технічне обслуговування двигуна.
- Заміна будь-яких відгалужень або фітингів, що мають ознаки деградації під впливом УФ-випромінювання, механічних пошкоджень або постійних витоків.
- Обробка відгалужень кислотою (див. розділ 10.2) для видалення мінеральних відкладень.
- Калібрування датчиків вологості ґрунту та метеостанції.
- Аналіз даних про роботу та ефективність зрошення за попередній сезон.

10.2. Запобігання та усунення засмічення

Забивання крапельних емітерів є найпоширенішою експлуатаційною проблемою. Воно прогресує поступово, часто залишаючись непоміченим, доки в ураженій зоні не проявиться зниження врожайності або візуальні ознаки стресу; до моменту, коли проблема стане серйозною, уражені емітери можуть бути безповоротно забиті. Існує три категорії забивання: фізичне (взвішені тверді частинки), хімічне (мінеральні осади) та біологічне (водорості, бактерії, слиз), і кожна з них вимагає різних заходів щодо запобігання та усунення.

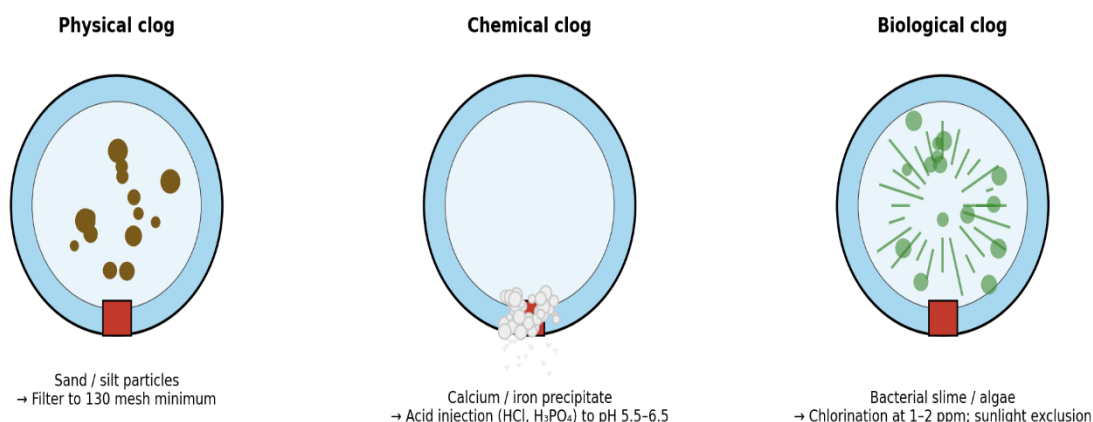


Рисунок 39 - Три категорії засмічення крапельних емітерів

(а) фізичне — зважені частинки, що вимагають вдосконалення фільтрації та промивання; (б) хімічне — мінеральний наліт (переважно карбонат кальцію), що вимагає підкислення; (в) біологічне — водорості та бактеріальний слиз, що вимагають хлорування та застосування біоцидів.

Фізичне засмічення спричиняється піском, мулом, органічними залишками або фільтрувальним матеріалом, що пройшов за фільтром. Для запобігання необхідні: фільтрація, розмір якої відповідає джерелу води (Розділ 9); регулярне промивання бічних трубопроводів; та оперативне реагування на будь-яке збільшення перепаду тиску у фільтрі. Усунення здійснюється механічним шляхом: зворотне промивання фільтра, промивання бічних трубопроводів із високою швидкістю, а також — у разі засмічення окремих крапельниць — фізичне очищення або заміна.

Хімічне засмічення спричиняється осадженням карбонату кальцію (найпоширенішого в українських водах), фосфату кальцію (від фертигації), оксиду заліза та оксиду марганцю. Для запобігання необхідні: аналіз води на етапі проектування; введення кислоти для підтримання рН нижче 6,5 (зазвичай сірчана або фосфорна кислота для регулярної

обробки, азотна кислота для періодичної імпульсної обробки); а також уникнення несумісних комбінацій добрив. Лікування сформованого мінерального засмічення здійснюється за допомогою імпульсної обробки кислотою: розчин кислоти (зазвичай з рН 2–3) циркулює по системі протягом 30–60 хвилин, після чого систему ретельно промивають чистою водою. Зазвичай це операція, що проводиться після закінчення сезону.

Біологічне засмічення спричиняється водоростями, бактеріальним слизом та комплексами залізобактерій, характерними для деяких підземних вод. Для його запобігання необхідно захищати воду в наземних резервуарах та водосховищах від доступу світла; проводити періодичну шоківу обробку хлором (зазвичай 5–10 ppm вільного хлору протягом 30–60 хвилин, після чого проводити промивання); а також уникати тривалих періодів застою. Підкислення також пригнічує ріст бактерій і допомагає запобігати біологічному засміченню. Лікування сформованого біологічного засмічення здійснюється за допомогою імпульсної обробки хлором у вищій концентрації (від 20 до 50 ppm) з подальшим повним промиванням.

10.3. Зимовий сезон

Українські зими можуть спричинити замерзання води в зрошувальних трубах, що призводить до пошкоджень внаслідок розширення. Тому підготовка до зими є критично важливим завданням перед настанням зими в усіх садівничих регіонах. Правильна послідовність підготовки до зими включає:

- Провести останній полив сезону («зимовий полив»), зазвичай у середині жовтня, щоб домогтися польової вологоємності ґрунту до настання заморозків. Це захищає коріння від висихання під час циклів замерзання-відтавання.
- Ввести кислоту в систему, щоб під час останнього поливу підтримувати рН на рівні від 5,5 до 6,0, а потім коротко прополоскати трубопроводи, щоб очистити їх, не видаляючи залишків кислоти, яка пригнічує біологічну активність протягом зими.
- Злийте воду з системи. Відкрийте всі промивні клапани, зливні клапани та заглушки на кінцях відгалужень; видаліть воду з найнижчих точок, а також із насоса та фільтрувальних вузлів. Для відгалужень та магістралей, де повне зливання під дією сили тяжіння неможливе, рекомендується продування стисненим повітрям.
- Зніміть і зберігайте в приміщенні всі компоненти, що легко пошкоджуються: регулятори тиску, витратоміри, електромагнітні клапани, контролери, датчики. Накрийте та захистіть насос і двигун від обмерзання та пошкодження тваринами.
- Огляньте та задокументуйте стан системи для весняного запуску.

Поверхневі крапельні бокові відгалуження зазвичай залишають на місці на зиму. Вони витримують помірне замерзання, якщо повністю злиті. Основними зимовими ризиками є механічні пошкодження від гризунів, зайців (які гризуть пластик) та випадкові пошкодження під час обрізки в період спокою. Рекомендується провести огляд наприкінці зими, щоб виявити та усунути такі пошкодження перед весняним запуском.

10.4. Поширені проблеми та їх вирішення

У таблиці 6 наведено перелік типових проблем із зрошенням, їхні ймовірні причини та рекомендовані заходи — це короткий довідник з усунення несправностей для

керівників садівничих господарств. Більшість проблем мають кілька можливих причин; рекомендується проводити систематичне дослідження у зазначеному порядку.

Таблиця 5 - Матриця усунення типових проблем із зрошенням яблуневих садів

Симптом	Ймовірна причина	Рекомендовані заходи
Низький тиск на голові зони	Зношення насоса / витік у трубопроводі / закритий клапан	Перевірити продуктивність насоса, перевірити на наявність витоків, перевірити клапани
Високий тиск на голові зони	Закритий клапан на виході / замулений регулятор	Перевірте роботу клапанів зони та регулятора тиску
Мокрі плями на блоках	Витік у підземній магістралі / розрив бічної гілки	Визначте місце витoku шляхом огляду або відстеження потоку
Сухі дерева посередині ряду	Забиті емітери / пошкоджена бічна гілка	Промийте відгалуження, замініть крапельниці або ділянку
Дерева на кінці ряду перебувають у стресовому стані	Занадто велика довжина бічних трубопроводів / недостатнє промивання	Перевірити рівномірність, регулярно промивати, розглянути можливість використання розпилювачів типу РС
Швидке засмічення фільтра	Погіршилася якість води у джерелі / цвітіння водоростей	Проведіть аналіз води, встановіть попередній фільтр або затінення
Розпилювачі капають після вимкнення	Відсутні зворотні клапани / відсутні розпилювачі з захистом від зливу	Встановіть зворотні клапани, замініть розпилювачі на такі, що запобігають зливу
Рівномірне пожовтіння, незважаючи на полив	Перезволоження / хвороба коренів	Перевірте дренаж, викопайте яму, оцініть стан коренів
Сольові кірки на поверхні ґрунту	Солонa вода / недостатнє вимивання	Проведіть аналіз води, заплануйте зрошення для вимивання солей
З роками продуктивність крапельниць знижується	Мінеральні відкладення / біологічні нальоти	Щорічна обробка кислотою та хлором

Розділ 11 – Збереження води та сталий розвиток

Вода для зрошення є обмеженим ресурсом на більшій частині території України, де спостерігається зростаюча конкуренція з боку міських, промислових та екосистемних потреб, і все частіше підпадає під регуляторні обмеження. Зміна



Рисунок 40 - Водозбірний басейн

клімату впливає як на пропозицію (кількість опадів, річковий стік), так і на попит (евапотранспірація) у водному балансі. Тому довгострокова економічна рентабельність виробництва яблук вимагає не лише ефективного проектування та експлуатації систем зрошення, а й більш широкого підходу до управління водними ресурсами садів — збору дощової води, зменшення випаровування, повторного використання дренажних вод та адаптації до мінливих кліматичних умов.

11.1. Показники ефективності використання води (WUE)

Ефективність використання води (WUE) можна визначати на кількох рівнях, і плутанина між цими визначеннями спричинила чимало непорозумінь у дискусіях щодо зрошення:

- Ефективність подачі: частка води, що виходить із джерела та досягає кореневої зони (типові значення наведено в таблиці 5).
- Водопродуктивність культури: кількість плодів у кілограмах, вироблених на кубічний метр спожитої води. Типові значення для українських яблук становлять від 8 до 12 кг/м³ для зрошуваних комерційних садів.
- Економічна продуктивність води: грошова вартість плодів, вироблених на кубічний метр води. Значною мірою залежить від ціни та сорту; типовий діапазон становить від 5 до 25 доларів США/м³ для сортів преміум-класу.
- Ефективність системи: співвідношення корисного використання води (транспірація, продуктивне випаровування з ґрунту, потреби у вимиванні) до загального обсягу поданої води.

Покращення будь-якого з цих показників є обґрунтованою метою збереження водних ресурсів. Найбільші вигоди зазвичай досягаються за рахунок підвищення продуктивності води для сільськогосподарських культур — завдяки кращому узгодженню зрошення з фактичною потребою, стратегіям регульованого дефіциту та вдосконаленому управлінню ґрунтом у садах — а не за рахунок поступового підвищення ефективності подачі води. Незначне підвищення коефіцієнта використання води (WUE) на 5 відсотків у основних регіонах України, що виробляють яблука, дозволило б

заощадити воду, обсяг якої можна порівняти з річним водним бюджетом невеликого регіону.

11.2. Мульчування та покривні культури

Випаровування з ґрунту може становити від 20 до 40 відсотків загального евапотранспірату (ET) у молодому яблуневому саду або саду з відкритою кроною. Зменшення цього випаровування є найдоступнішим методом економії води. Мульчування органічними матеріалами (соломою, корою, тріскою) під деревами на глибину від 5 до 10 см зменшує випаровування з ґрунту на 30–50 % у період пікового попиту та надає додаткові переваги: краще утримання вологи в ґрунті між поливами, пригнічення бур'янів, поступове вивільнення поживних речовин, поліпшення структури ґрунту та зменшення температурних екстремумів, що сприяє активності коренів. Синтетичні мульчі (ткані поліпропіленові мати) забезпечують аналогічне зменшення випаровування, мають довший термін експлуатації та забезпечують повне придушення бур'янів, але коштують дорожче і не мають переваг органічних матеріалів.

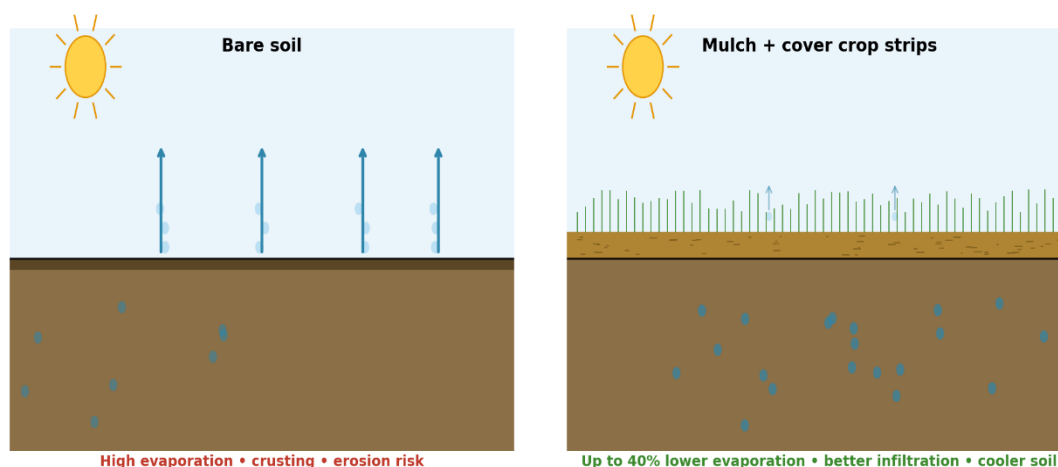


Рисунок 41 - Порівняння ґрунту без мульчі (ліворуч) та мульчованого ґрунту з покривними культурами (праворуч) у садах

Мульчування зменшує випаровування з ґрунту на 30–50 відсотків у періоди пікового евапотранспірації; правильно доглянуті покривні культури в проходах між рядами дерев дають численні переваги, але під час активного росту конкурують з деревами за воду.

Ситуація з покривними культурами в проходах між рядами дерев є більш складною. Постійні трав'яні покриви стабілізують ґрунт, покращують прохідність, забезпечують середовище існування для корисних комах та зменшують вимивання поживних речовин, але під час вегетаційного періоду вони конкурують з деревами за воду — що є особливо шкідливим наприкінці весни та на початку літа в посушливі роки. Найкраща практика для українських умов з обмеженим водопостачанням — це скошений трав'яний покрив, якому дозволяють рости лише помірно, стримуючи його частим скошуванням у піковий період евапотранспірації та залишаючи зрошувальну смугу вільною (зазвичай шириною від 1,0 до 1,5 м). Покривні культури, вирощені як зимовий сидерат (зернова жито, вика, гірчиця) та заорювані перед початком основного вегетаційного періоду, можуть збагачувати ґрунт органічною речовиною та покращувати його структуру, не конкуруючи за поливну воду. Це нова практика в українських комерційних садах, яка зараз оцінюється в рамках регіональних дослідів.

11.3. Збір та повторне використання дощової води

У разі обмеженого природного водопостачання збір дощової води та талої снігової води з водозбірної площі саду та прилеглих будівель може суттєво збільшити запаси води для зрошення. Для саду площею 50 га у центральній Україні річна кількість опадів, що становить приблизно 550 мм, відповідає загальному об'єму води 275 000 м³; навіть збір 5–10 відсотків цієї кількості у накопичувальному ставку забезпечить корисний додатковий запас води на посушливі періоди. При проектуванні водозбірної системи слід враховувати площу водозбору, коефіцієнт стоку (зазвичай від 0,2 до 0,4 для садових ділянок, вкритих рослинністю), місткість водосховища (залежить від мінливості та потреб у зрошенні) та якість води (уловлювання осаду, біологічна очистка).

Повторне використання дренажної води є технічно можливим там, де природний або штучний дренаж утворює стоки, придатні для збору, але накопичення солоності протягом декількох циклів необхідно ретельно контролювати. В українських умовах повторне використання є найбільш доцільним у випадках, коли дренажні води з теплиць або сховищ можуть доповнювати водопостачання саду, а не при рециркуляції самих дренажних вод саду. Попереднє техніко-економічне обґрунтування завжди має включати повний аналіз якості води та розрахунок сольового балансу для запропонованої схеми повторного використання.

11.4. Дренаж

Дренаж — це часто недооцінюване доповнення до зрошення. Яблуні не переносять тривалого перезволоження, і зрошувальні системи, що працюють без належного дренажу, зрештою призведуть до перезволоження принаймні частини саду. Основні аспекти, що слід враховувати щодо дренажу:

- Природний дренаж: оцінюється за характером утворення калюж після дощу, шляхом викопування оглядових ям та моніторингу рівня ґрунтових вод. Якщо природний дренаж є задовільним (падіння рівня води на 50 см за 24 години під час випробування в ямі, відсутність завислого рівня ґрунтових вод у зоні кореневої системи), встановлювати дренажну систему не потрібно.



Рисунок 42 – Схематичне зображення дренажу

- Поверхневий дренаж: контурне вирівнювання, водостоки та відвідні канали відводять надлишок поверхневої води під час сильних дощів; це є необхідним на рівнинних ділянках, схильних до утворення калюж.
- Підземний дренаж: дренажні труби на глибині від 0,8 до 1,2 м з інтервалом 15–25 м є стандартним рішенням для важких ґрунтів, де рівень ґрунтових вод під час вологих періодів наближається до зони кореневої системи. Широко використовуються сучасні перфоровані дренажні труби з ПВХ з геотекстильною оболонкою.

- Технічне обслуговування дренажу: дренажні труби потребують періодичного огляду (випускний отвір має бути працездатним і не заблокованим осадами або рослинністю) та періодичного промивання.

Прогнози щодо зміни клімату для України вказують на те, що літні опади можуть стати менш частими, але більш інтенсивними. Пропускна здатність дренажу слід розраховувати з урахуванням прогнозованих проектних подій, а не історичних середніх значень, особливо у нових системах, які, як очікується, працюватимуть 20 або більше років.

11.5. Адаптація до зміни клімату

Клімат українських регіонів, де вирощують яблука, помітно змінюється. У лісостепових та степових регіонах за останні 50 років середньорічна температура підвищилася приблизно на 1,5–2,0 °C, причому найбільше підвищення спостерігалось взимку та на початку весни; загальна кількість опадів змінилася незначно, але їх розподіл став більш мінливим: довші посушливі періоди перемежуються з більш інтенсивними опадами. Прогнози на найближчі 30 років вказують на подальше потепління на 1–2 °C та подальшу зміну розподілу опадів.

Це має значні наслідки для зрошення яблуневих садів:

- Зростання ЕТо (екологічного споживання води) у вегетаційний період (за оцінками, на 5–15 відсотків протягом наступних 30 років), що збільшить потребу в зрошенні.
- Більш мінливі опади, що підвищує значення зрошення як буферного фактора та зміщує баланс у бік систем з більшою пропускну здатністю та більшою гнучкістю.
- Раніше розпускання бруньок та цвітіння, що збільшує ризик пізніх весняних заморозків у деяких регіонах та потенційно змінює терміни пікового попиту на воду.
- Вищі літні температури, що збільшують ризик сонячних опіків та гіркоти плодів, а також підвищують цінність дощувальних систем охолодження у насадженнях преміум-класу.
- Можливі зміни у придатних для вирощування регіонах: деякі південні степові регіони стануть малопридатними без розширення зрошення, а деякі північні регіони — більш продуктивними.

Стратегії адаптації для системи зрошення включають: проектування нових установок з урахуванням прогнозованого попиту через 15–20 років, а не поточних показників; інвестиції в гнучку автоматизацію, здатну швидко реагувати на мінливі умови; розширення об'ємів водосховищ для компенсації дедалі більшої мінливості постачання; а також чітке впровадження стратегій збереження води (RDI, мульчування, покривні культури) як основних практик, а не як заходів у надзвичайних ситуаціях.

Розділ 12 – Економічні та регуляторні аспекти

Зрошення є значною капітальною інвестицією та постійною експлуатаційною витратою. Рішення про встановлення або модернізацію системи має ґрунтуватися на ґрунтовному економічному аналізі, що враховує як витрати, так і вигоди у грошовому вираженні протягом усього терміну експлуатації саду. У цьому розділі викладено основні економічні міркування та досить детально розглянуто питання енергоспоживання — зазвичай найбільшої окремої статті експлуатаційних витрат.

12.1. Аналіз витрат і вигод систем зрошення

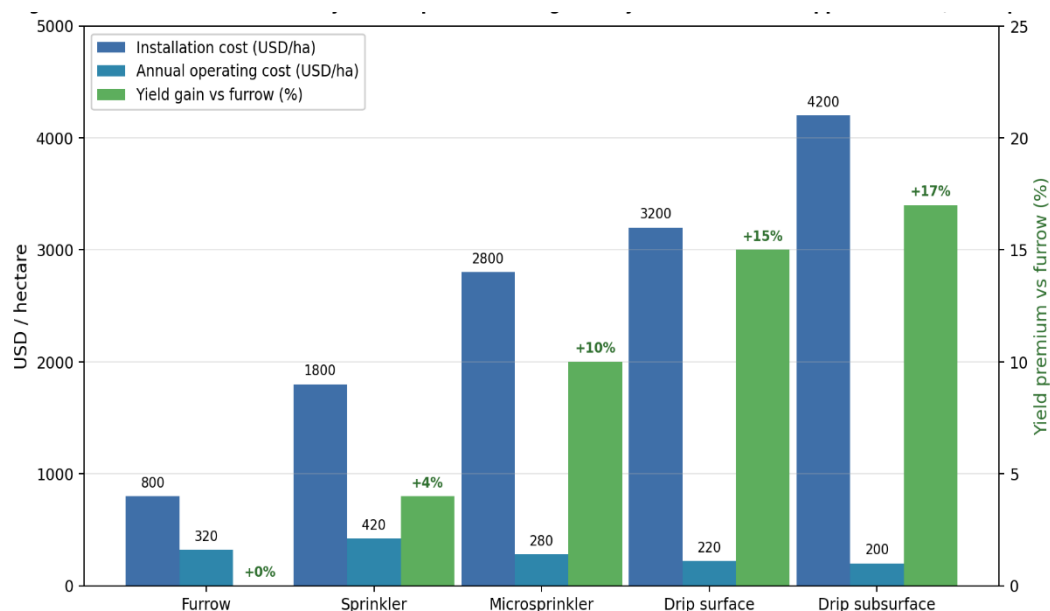


Рисунок 43 - Орієнтовні економічні показники на гектар для основних систем зрошення в Україні

Стандартний аналіз витрат і вигод для системи зрошення яблуневих садів враховує:

- Капітальні інвестиції: насос, фільтр, магістральні трубопроводи, відгалуження, бічні трубопроводи, розпилювачі, система управління, витрати на монтаж. Типові значення для комерційної крапельної системи площею 10 га в Україні за умов 2023 року коливаються від 35 000 до 55 000 доларів США, або від 3 500 до 5 500 доларів США/га. Системи мікрозрошення та навісні системи захисту від заморозків додають по 1 000–3 000 доларів США/га кожна.
- Щорічні експлуатаційні витрати: енергія, вода (у разі її оплати), технічне обслуговування та ремонт (зазвичай від 3 до 6 відсотків від капітальних витрат щорічно), фільтрувальні матеріали та витратні матеріали, а також робоча сила для експлуатації та технічного обслуговування (зазвичай від 5 до 15 годин на гектар на рік).
- Щорічні вигоди: додатковий урожай порівняно з богарним землеробством (зазвичай від 15 до 40 т/га додаткових плодів у комерційних умовах України, залежно від регіону та сорту), покращення якості плодів (розмір, колір, вміст сухої

речовини, термін зберігання), зменшення дворічного плодоношення та зниження ризиків у посушливі роки.

- Непрямі вигоди: ефективність фертигації, захист від заморозків (де це доречно), можливість посадки з високою щільністю, яка без зрошення була б ненадійною. Термін окупності для нових комерційних систем зрошення в українському яблуневому виробництві зазвичай становить від 3 до 6 років для крапельних систем на відповідних ділянках, від 4 до 8 років для мікророзпилювачів та довше для надземних систем, цінність яких значною мірою зумовлена захистом від заморозків у конкретні роки. Ці показники окупності дуже чутливі до місцевих ринкових цін та сорту вирощуваних яблук; преміум-сорт для експорту в свіжому вигляді зазвичай окупаються швидше, ніж сорти промислового призначення.

Переваги, пов'язані з ризиками, слід враховувати в аналізі, але їх часто не беруть до уваги, оскільки їх важче оцінити кількісно. У посушливий рік без зрошення втрати врожаю зазвичай становлять від 40 до 70 відсотків в умовах української степу та від 15 до 30 відсотків у лісостепу. Уникнуті втрати в такі роки становлять значну частину загальної вигоди від зрошення, і аналіз, що враховує ризики, включає їх.

12.2. Використання енергії та витрати на перекачування

Споживання енергії є основною експлуатаційною витратою систем напірного зрошення, і на нього найбільше впливає потужність насоса, необхідна для подачі води з проектною витратою та напором. Основна залежність така:

Потужність насоса (кВт) = (Дебіт (л/с) × Сумарний динамічний напір (м) × 9,81) / (1000 × ККД насоса)

Для типової крапельної системи площею 10 га з піковим витратою 12 л/с та загальним динамічним напором 50 м (що включає 30 м статичного підйому, 10 м втрат на тертя та 10 м необхідного робочого тиску) при ККД насоса 70 відсотків необхідна потужність на валу становить приблизно 8,4 кВт. При ККД електродвигуна 90 відсотків споживання електроенергії становить приблизно 9,3 кВт. За повний сезон, що становить 800 годин роботи, загальне споживання енергії становить приблизно 7 500 кВт·год, або 750 кВт·год на гектар.

За українськими тарифами на електроенергію для сільського господарства на 2023 рік (які значно варіюються залежно від регіону та часу доби) це становить приблизно від 100 до 200 доларів США на гектар на рік лише на витрати на електроенергію. Дизельне насосне обладнання є в кілька разів дорожчим за кВт·год і використовується переважно як резервне або там, де підключення до електромережі недоступне.

Стратегії зниження енергоспоживання в системах зрошення включають:

- Підбір насоса до системи: вибір насоса, пік ККД якого збігається з фактичною робочою точкою; насоси, що мають занадто велику або занадто малу потужність, марнують енергію протягом усього терміну експлуатації.
- Частотно-регульовані приводи (ЧРП): дозволяють адаптувати швидкість насоса до фактичного попиту, забезпечуючи економію енергії від 20 до 40 відсотків порівняно з режимом роботи з обмеженням потужності.

- Експлуатація залежно від часу доби: перенесення поливу на години поза піковим навантаженням, коли діють диференційовані тарифи на електроенергію.
- Зниження тиску: будь-яке зниження робочого тиску, що не порушує рівномірність зрошення, пропорційно зменшує споживання енергії; розпилювачі з компенсацією тиску та конструкції, що працюють під низьким тиском, економлять енергію протягом усього терміну експлуатації.
- Інтеграція сонячних фотоелектричних систем: стає дедалі доцільнішою в українських умовах для денного зрошення, особливо там, де пік зрошення збігається з високим рівнем виробництва сонячної енергії.

Плата за воду, де вона застосовується, варіюється залежно від регіону та джерела води. За поверхневу воду з державних гідротехнічних мереж може стягуватися об'ємна плата; за підземну воду з приватних свердловин зазвичай потрібно лише отримати дозвіл на видобуток та, можливо, дотримуватися квоти на річний обсяг водозабору. Нормативно-правова база щодо водокористування в українському сільському господарстві суттєво змінилася за останнє десятиліття, тому перед будь-яким новим встановленням рекомендується провести аналіз поточних зобов'язань.

Загалом, загальні річні витрати на зрошення в українському яблуневому саду площею 10 га, що зрошується крапельним методом, зазвичай становлять від 600 до 1 500 доларів США/га (енергія, вода, технічне обслуговування та робоча сила разом), при цьому додатковий валовий прибуток становить від 4 000 до 12 000 доларів США/га завдяки підвищенню врожайності та якості зрошуваних культур. Ці прибутки є безперечно привабливими за будь-якого реалістичного сценарію, але для їх досягнення необхідні компетентне проектування, експлуатація та технічне обслуговування.

Додаток

У додатках до цього розділу зібрано таблиці перерахунку, довідкові значення K_s , рекомендації щодо якості води, робочий аркуш для проектування та глосарій термінів для безпосереднього використання в польових умовах.

Додаток А — Перерахунок одиниць вимірювання та корисні константи

Перерахунок одиниць вимірювання, що зазвичай використовуються в іригаційній діяльності:

Таблиця А.1 — Поширені перетворення одиниць вимірювання, що використовуються в розрахунках зрошення.

Від	До	Помножити на
мм води на га	м ³ на га	10
мм води на га	л на м ²	1
м ³ на год	л за секунду	0,278
л за секунду	м ³ на год	3,6
кПа (тиск)	м водяного стовпа	0,102
м водяного стовпа	кПа	9,81
бар	кПа	100
пси	кПа	6,895
гектар	м ²	10 000
га-мм	м ³	10
Вт·год	Дж	3 600
кВт·год	МДж	3,6
МДж/м ² /день (випромінювання)	мм/день (еквівалент ЕТ)	0,408

Корисні фізичні константи та емпіричні правила:

- Прихована теплота випаровування води при 20 °C: 2,45 МДж/кг.
- Густина води при 20 °C: 998 кг/м³.
- Питома теплоємність води: 4,186 кДж/кг/°C.
- Наближене перетворення радіації: 1 МДж/м²/день дає еквівалент ЕТ 0,408 мм/день.
- Наближене перетворення температури: ЕТо зростає приблизно на 5–7 відсотків на кожне підвищення середньої температури на 1 °C.
- 1 атм = 101,3 кПа = 1,013 бар = 10,33 м водяного стовпа = 14,7 фунтів на квадратний дюйм.

Додаток Б — Короткий довідник коефіцієнтів врожайності яблук (K_s)

Рекомендовані значення Кс за стадіями росту та віком саду, узагальнені з розділу 4 для швидкого довідкового використання. Ці значення передбачають крапельне або мікророзпилювальне зрошення, голі або злегка мульчовані смуги дерев та доглянуті трав'яні проміжки.

Таблиця Б.1 — Довідкова таблиця Кс для яблуні за віком саду та кількістю днів після розпускання бруньок, умови України.

Кількість днів після розпускання бруньок	Стадія	Y1	Y2	3-й рік	Y4	Y5+
0–25	Розпускання бруньок/цвітіння	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
25–55	Опадання пелюсток/зав'язування плодів	0,35	0,50	0,65	0,75	0,85
55–95	Клітинний поділ	0,40	0,55	0,75	0,90	1,05
95–135	Розширення клітин	0,45	0,60	0,80	1,00	1,15
135–165	Перед збиранням врожаю	0,40	0,55	0,75	0,90	1,05
165+	Післязбиральні роботи	0,30	0,40	0,50	0,55	0,65

Додаток С — Рекомендації щодо якості води для зрошення

Стандартні рекомендації щодо оцінки якості поливної води для яблуні в умовах України, узагальнені на основі даних ФАО та регіональних джерел. Ці значення є орієнтовними; їх можна коригувати з урахуванням конкретних умов ділянки.

Таблиця С.1 — Рекомендації щодо якості поливної води для яблук, адаптовані на основі даних ФАО та регіональних джерел.

Параметр	Без обмежень	Незначне–помірне	Сильне
Електропровідність (дС/м)	< 0,7	0,7–1,5	> 1,5
Коефіцієнт адсорбції натрію (SAR)	< 3	3–9	> 9
Хлориди (мг/л)	< 140	140–350	> 350
Натрій (мг/л)	< 70	70–200	> 200
Бор (мг/л)	< 0,5	0,5–2,0	> 2,0
Бікарбонат (мг/л)	< 90	90–520	> 520
Залізо (мг/л)	< 0,2	0,2–1,5	> 1,5
pH	6,5–8,4	< 6,5 або > 8,4	екстремальний
Вміст зважених речовин (мг/л)	< 50	50–100	> 100

Додаток Д — Робочий аркуш для проектування крапельної системи

Наведені нижче кроки робочого аркуша дозволяють на основі агрономічних даних розробити базовий проект системи крапельного зрошення. Він призначений для попереднього проектування та оцінки пропозицій постачальників; остаточне проектування слід виконувати за допомогою каліброваного програмного забезпечення та перевіряти досвідченим інженером-іригаційником.

Крок 1 — Дані про ділянку та агрономічні показники:

- Площа саду (га): _____
- Відстань між деревами (м × м): _____
- Кількість дерев на гектар: _____
- Пікове місячне ЕТо (з таблиці 4.1, мм/день): _____
- Пікове значення Кс (з таблиці 4.2, безрозмірне): _____
- Пікове значення ЕТс = ЕТо × Кс (мм/день): _____

Крок 2 — Розрахунок розмірів системи:

- Ефективність подачі (зазвичай 0,92 для крапельного зрошення): _____
- Пікова загальна потреба = ЕТс / коефіцієнт ефективності × коефіцієнт безпеки (1,15) (мм/день): _____
- Щоденний загальний об'єм = загальний піковий попит × площа × 10 (м³/день на га × га): _____
- Кількість годин роботи на добу (зазвичай 16–18): _____
- Дебіт системи = добовий об'єм / кількість годин (м³/год): _____
- Перерахувати в л/с = м³/год × 0,278: _____

Крок 3 — Планування зон:

- Кількість гідравлічних зон (зазвичай 3–6): _____
- Потік на зону = потік системи / кількість зон: _____
- Площа на зону = загальна площа / кількість зон: _____

Крок 4 — Проектування бічних трубопроводів:

- Тип розпилювача та продуктивність (л/год): _____
- Відстань між розпилювачами (м): _____
- Кількість розпилювачів на одне дерево: _____
- Об'єм на дерево за годину = витрата розпилювача × кількість розпилювачів на дерево (л/год): _____
- Об'єм на дерево на добу = вищезазначене × кількість годин роботи (л/добу): _____

Крок 5 — Насос і фільтрація:

- Необхідна продуктивність насоса (л/с): за даними кроку 2
- Загальний динамічний напір = статичний підйом + тертя + тиск на розпилювачі (м): _____
- Потужність насоса (кВт) = витрата (л/с) × загальний динамічний напір (м) × 9,81 / (1000 × ККД): _____
- Тип фільтра (пісочний / дисковий / ситовий): _____

- Ступінь фільтрації (око / мікрон): _____

Додаток Е — Глосарій термінів

- Доступна вода (AW): Вода в ґрунті, що знаходиться в діапазоні від польової вологості до точки постійного в'янення і доступна для поглинання рослинами.
- Коефіцієнт культури (Kc): безрозмірне відношення, яке коригує еталонну евапотранспірацію з урахуванням конкретної культури та стадії її росту.
- Евапотранспірація культури (ETc): Сукупна втрата води внаслідок випаровування з ґрунту та транспірації рослин у конкретній культурі за певних умов.
- Дефіцитне зрошення: стратегія подачі води в обсязі, меншому за повну ETc, що застосовується сезонно або на певних стадіях росту з метою економії води або підвищення якості продукції.
- Крапельне зрошення: система зрошення під тиском, що подає воду з низькою швидкістю через емітери, розміщені поблизу кореневої зони рослин.
- Ефективна кількість опадів: Частина загальної кількості опадів, яка сприяє водопостачанню сільськогосподарських культур, з урахуванням стоку, глибокого просочування та перехоплення кронами рослин.
- Емітер: Пристрій, що подає воду з зрошувальної гілки з контрольованою низькою швидкістю.
- Евапотранспірація (ET): Сукупний процес випаровування з поверхні ґрунту та транспірації рослин.
- Фертигація: внесення добрив, розчинених у поливній воді.
- Польова вологості (FC): Вміст води в ґрунті після припинення вільного дренажу, зазвичай через 24–48 годин після повного зволоження.
- Гідравлічна зона: Підрозділ зрошувальної системи, що експлуатується як єдиний блок, зазвичай з одним клапаном та визначеною швидкістю потоку.
- Мікророзпилювач: невеликий розпилювач, що розподіляє воду по колу або сектором, зазвичай працює під низьким тиском із радіусом змочування від 1,5 до 3 м.
- Розпилювач із компенсацією тиску: розпилювач, призначений для підтримання постійної витрати в діапазоні робочих тисків, що використовується для забезпечення рівномірності зрошення на схилах або довгих відгалуженнях.
- Еталонна евапотранспірація (ETo): Швидкість евапотранспірації з гіпотетичної еталонної трав'яної поверхні, що використовується як кліматичний показник потреби у воді.
- Регульоване дефіцитне зрошення (RDI): стратегія контрольованого дефіцитного зрошення, що застосовується під час певних фаз росту, стійких до стресу.
- Водяний потенціал стебла (Ψ_{stem}): Показник водного стану рослини, що виражається в МПа, причому більш від'ємні значення вказують на більший водний стрес.
- Підповерхневе крапельне зрошення (SDI): крапельне зрошення з бічними трубопроводами, закопаними під поверхнею ґрунту.
- Тензіометр: прилад для вимірювання матричного потенціалу ґрунту, що виражається в центибарах або кілопаскалях.
- Транспірація: втрата водяної пари рослинами, головним чином через прорихи листя.

- Ефективність використання води (WUE): Показник співвідношення врожаю (урожайності або вартості) до витрат води.
- Точка в'янення (WP): Вміст води в ґрунті, при якому рослини більше не можуть поглинати воду і остаточно в'януть; зазвичай це відповідає матричному потенціалу $-1,5$ МПа.

Література:

Наведені нижче джерела містять додаткову інформацію щодо технічних, агрономічних та управлінських аспектів зрошення яблуневих садів, що розглядаються в цьому посібнику. Джерела згруповані за темами та включають стандартні міжнародні довідники, регіональну українську та східноєвропейську технічну літературу, а також вибрані наукові праці, що мають безпосереднє практичне значення.

Ferree, D.C., та Warrington, I.J. (ред.). «Яблука: ботаніка, виробництво та використання». CABI Publishing, Уоллінгфорд, Велика Британія. Всебічний багатоавторський довідник, що охоплює всі аспекти виробництва яблук, включаючи детальні розділи про водний режим та зрошення.

Джексон, Дж. Е. «Біологія яблук та груш». Cambridge University Press, Кембридж. Стандартне довідкове видання з фізіології, росту та репродуктивної біології яблуні, що надає біологічне підґрунтя для рішень щодо водного режиму, які обговорюються в розділах 2 та 6.

Робінсон, Т.Л. та ін. Система вирощування яблук «Tall Spindle». New York Fruit Quarterly. Технічні основи сучасних систем вирощування яблук високої щільності, на які посилається розділ 7.

Аллен, Р.Г., Перейра, Л.С., Раес, Д. та Сміт, М. «Евапотранспірація сільськогосподарських культур — Керівництво з розрахунку потреби культур у воді». Документ ФАО з іригації та дренажу № 56, ФАО, Рим. Міжнародне стандартне довідкове видання щодо рівняння Пенмана-Монтейта ФАО та методології коефіцієнтів культур, що використовуються у всьому розділі 4.

Келлер, Дж. та Бліснер, Р.Д. «Спринклерне та крапельне зрошення». Blackburn Press, Колдуелл, Нью-Джерсі. Стандартний інженерний довідник з проектування систем зрошення під тиском, включаючи крапельні та спринклерні установки, як описано в розділі 9.

Lamm, F.R., Ayars, J.E., та Nakayama, F.S. (ред.). Мікрозрошення для рослинництва: проектування, експлуатація та управління. Elsevier. Вичерпний довідник з теорії та практики крапельного та мікророзпилювального зрошення.

Перейра, Л.С., Кордері, І. та Іаковідес, І. Боротьба з дефіцитом води: вирішення викликів. Springer. У книзі розглядаються стратегії збереження води, зокрема дефіцитне зрошення, додаткове зрошення та повторне використання води — матеріал, на який посилається 11-й розділ.

Лаксо, А.Н. Яблуня. У: Шаффер, Б. та Андерсен, П.К. (ред.). «Довідник з екологічної фізіології плодових культур», т. 1: «Культури помірного клімату». CRC Press. Основне довідкове видання щодо водного обміну яблуні та фізіології стресу, що лежить в основі розділу 2.

Мпеласока, Б.С., Бехбудіан, М.Х. та Міллс, Т.М. Водні процеси, фотосинтез, ріст, врожайність та розмір плодів яблука сорту «Брейберн»: реакції на дефіцитне зрошення та на врожайне навантаження. «Journal of Horticultural Science and Biotechnology».

Широко цитоване дослідження регульованого дефіцитного зрошення яблуні, на яке посилається у розділі 6.

Наор, А. Планування зрошення та оцінка водного стану дерев у листяних садах. «Horticultural Reviews». Всебічний огляд водного потенціалу стебла та інших рослинних показників, що використовуються при плануванні зрошення.

Ромащенко, М.І. та ін. Зрошення в Україні: останні тенденції та перспективи. Інститут водних проблем та меліорації, Київ. Огляд стану та тенденцій розвитку зрошувальної інфраструктури в Україні, включаючи степові регіони, що розглядаються у цьому посібнику.

Тараріко, Ю.О. та ін. Адаптивні системи сільськогосподарського виробництва для України. Національна академія аграрних наук України, Київ. Розглядає адаптацію конкретних культур, зокрема управління водними ресурсами, для основних виробничих регіонів України.

Український гідрометеорологічний центр. Кліматичний кадастр України. Джерело кліматичних даних, узагальнених у розділі 4 та таблиці 4.1.

Кондратенко, П.В., та Черевко, І.В. (ред.). Виробництво яблук в Україні: практичний посібник. Інститут садівництва Національної академії аграрних наук, Київ. Містить регіональні рекомендації щодо виробництва яблук, зокрема щодо вибору ділянки, сорту та управління садом.

Кафкафі, У. та Тарчицький, Дж. Фертигація: інструмент ефективного управління добривами та водою. Міжнародна асоціація виробників добрив (IFA), Париж, та Міжнародний інститут калію (IPI), Хорген. Вичерпне довідкове видання щодо принципів, обладнання та технології фертигації, на яке посилається розділ 8.

Нільсен, Г. Г. та Нільсен, Д. Потреби яблуні в поживних речовинах. У: «Яблука: ботаніка, виробництво та використання» (див. вище). Містить інформацію про потреби в поживних речовинах, на яку посилається розділ 8.3.

Іглесіас, А. та Гарроте, Л. Стратегії адаптації систем управління водними ресурсами в сільському господарстві в умовах зміни клімату в Європі. «Управління водними ресурсами в сільському господарстві». Огляд шляхів адаптації в європейському масштабі для зрошуваного землеробства, зокрема для садових культур.

Олесен, Дж. Е. та ін. Вплив зміни клімату на європейські системи рослинництва та їх адаптація до нього. «European Journal of Agronomy». Включає яблука до переліку культур, що аналізуються з точки зору адаптації до кліматичних змін у Східній та Центральній Європі.

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>

