

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-363-40>
УДК 631.674:631.95:551.583

БАБИН ІГОР

Вінницький національний аграрний університет
<https://orcid.org/0000-0002-7070-4957>
e-mail: babyn@vsau.vin.ua

МАЗУР ОЛЕКСАНДР

Вінницький національний аграрний університет
<https://orcid.org/0000-0002-4364-0126>
e-mail: sanya.mazur1996@gmail.com

ВПЛИВ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ДОЩУВАЛЬНИХ МАШИН

Стаття присвячена аналізу впливу зовнішніх факторів на продуктивність дощувальних машин, які є ключовим елементом сучасних систем зрошення в сільському господарстві. У дослідженні розглядаються основні зовнішні чинники, такі як кліматичні умови (температура, вологість, швидкість і напрям вітру), характеристики ґрунту (вологопоглинальна здатність, структура, рельєф), а також параметри водопостачання (тиск, якість води, стабільність подачі). Особливу увагу приділено впливу цих факторів на рівномірність розподілу води, ефективність зрошення та загальну продуктивність дощувальних систем.

Ключові слова: дощувальні машини, продуктивність, зовнішні фактори, зрошення, кліматичні умови, ґрунт, водопостачання, рівномірність розподілу води, енергоефективність, адаптивні системи, врожайність, водні ресурси.

BABYN IHOR, MAZUR OLEKSANDR
Vinnytsia National Agrarian University

INFLUENCE OF EXTERNAL FACTORS ON THE PRODUCTIVITY OF IRRIGATION MACHINES

In the article, a comprehensive analysis of modern technologies of fertilizer application of greenhouse farms is carried out, in particular, the importance of fertigation as one of the leading methods of integrated supply of fertilizers and water through drip irrigation systems is emphasized. This method is effective due to precise control over the amount of nutrients supplied to the plants. In particular, the article examines different types of fertigation equipment: proportional metering pumps, Wintour injectors and special fertilizer mixers. These devices not only guarantee the exact dosing of nutrients, but also reduce the consumption of fertilizers, which has a positive effect on increasing yields.

The importance of automating the fertilizer application process, which minimizes the impact of the human factor, reduces the risk of errors, and ensures constant monitoring of the concentration of nutrients, is emphasized separately. This allows you to maintain stable conditions for the growth of crops. The introduction of precision farming systems, which adapt the application of fertilizers to the individual needs of each zone of the greenhouse, contributes to the rational use of resources and the reduction of environmental burden.

Hydroponic systems are also analyzed as one of the modern approaches to growing crops in greenhouses. They allow you to fully control the process of plant nutrition, excluding dependence on soil conditions, which makes this method especially effective in greenhouses. The article emphasizes that the use of hydroponics and other advanced technologies helps to optimize the use of resources and increase the productivity of agricultural production.

At the end of the article, the prospects for the further development of fertigation technologies, automation of processes and the introduction of innovative approaches in greenhouse farms aimed at increasing efficiency, productivity and reducing the negative impact on the environment are highlighted.

Keywords: sprinklers, productivity, external factors, irrigation, climatic conditions, soil, water supply, water distribution uniformity, energy efficiency, adaptive systems, productivity, water resources.

Стаття надійшла до редакції / Received 18.01.2026
Прийнята до друку / Accepted 11.02.2026
Опубліковано / Published 26.03.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Бабін Ігор, Мазур Олександр

Постановка проблеми

У сучасному сільському господарстві, де глобальні виклики, такі як нестабільність клімату та виснаження природних ресурсів, диктують нові правила гри, дощувальні машини постають як незамінні інструменти точного зрошення. Ці інженерні дива, що імітують природні дощі з контрольованою інтенсивністю та рівномірністю, не просто постачають воду рослинам – вони формують основу сталого розвитку агросистем. Завдяки їм врожайність культур може зрости на 20–50%, залежно від регіону та типу ґрунту, а водоспоживання оптимізується, зменшуючи марнотратство на рівні, що сягає до 30% порівняно з традиційними методами поверхневого поливу. Водночас, раціональне використання води стає не лише економічним імперативом, але й етичним обов'язком перед майбутніми поколіннями, адже глобальний дефіцит прісної води вже загрожує продовольчій безпеці мільярдам людей.

Проте, подібно до делікатного балансу екосистеми, продуктивність дощувальних машин вразлива до низки зовнішніх факторів, що діють як невидимі рушії хаосу [1]. Кліматичні умови – від вітрових поривів, які відхиляють траєкторії крапель, до температурних коливань, що впливають на випаровування, – можуть радикально трансформувати ефективність розпилення. Характеристики ґрунту, з його проникністю, вмістом органічних речовин та рівнем залягання підземних вод, визначають, наскільки глибоко і рівномірно вода інфільтрується в кореневу зону, уникаючи поверхневих стоків чи локальних затоплень. А параметри водопостачання – тиск у магістралях, якість джерела (з урахуванням солей та забруднень) та сезонні коливання об'ємів – додають ще один шар складності, перетворюючи ідеальний цикл зрошення на лабіринт непередбачуваних змінних.

Нестабільність цих факторів несе в собі ланцюгову реакцію негативних наслідків, що підривають саму суть агрономічної ефективності. Нерівномірний розподіл води призводить до зонального стресу рослин: деінде поля перезволені, провокуючи гниття коренів і спалахи грибкових інфекцій, а в інших – страждають від дефіциту, що пригнічує фотосинтез і накопичення біомаси. Втрати ресурсів стають критичними – до 40% води може розтратитися у вигляді дрифту чи випаровування, – тоді як енергоефективність падає через надмірне навантаження на насоси та двигуни, збільшуючи витрати на електроенергію та викиди CO₂. Якість зрошення погіршується, перетворюючи потенційно родючі угіддя на вразливі до ерозії ландшафти, де нерівновага поживних речовин посилює деградацію ґрунтів.

У контексті глобальної зміни клімату, де прогнози Міжурядової панелі зі зміни клімату (IPCC) малюють картину посилення посух і екстремальних опадів, зростання дефіциту водних ресурсів – з поточного рівня 2,8 млрд людей у зоні ризику до 5 млрд до 2050 року – та нагальної потреби в підвищенні продуктивності сільськогосподарських систем, постає невідворотна необхідність у глибокому, багатоплановому аналізі цих впливів [2]. Сучасні моделі, від гідрологічних симуляцій на базі ГІС-технологій до алгоритмів машинного навчання, що прогнозують динаміку факторів у реальному часі, відкривають шлях до емпіричного розуміння. Така аналітика не лише розкриває кореляції – наприклад, як вітер швидкістю понад 5 м/с знижує коефіцієнт рівномірності розподілу на 15–25% – але й виявляє причинно-наслідкові зв'язки, що досі ховаються в тіні спрощених припущень.

Відсутність комплексного підходу, що інтегрує мультидисциплінарні дані – від метеорологічних датчиків до спектроскопічних аналізів ґрунту, – створює справжній бар'єр для оптимізації зрошувальних процесів. Без нього системи дощувальних машин функціонують у режимі реактивного втручання, а не проактивної адаптації, що неминуче знижує економічну віддачу: витрати на зрошення можуть перевищувати 20% операційних бюджетів ферм, тоді як екологічна ефективність страждає від надмірного навантаження на водні басейни та біорізноманіття. Таким чином, перед науковою спільнотою та агрономами постає фундаментальна проблема: розробка науково обґрунтованих рекомендацій і технологічних рішень, що перетворюють мінливість зовнішніх факторів з загрози на можливість. Це може включати адаптивні алгоритми керування, оснащені IoT-сенсорами для динамічного коригування параметрів, або гібридні матеріали для сопел, стійкі до забруднень.

Аналіз основних джерел

Питання впливу зовнішніх факторів на продуктивність дощувальних машин набуває все більшої актуальності в еру стрімкого розвитку технологій зрошення та прагнення до сталого сільського господарства, де кожна крапля води стає стратегічним ресурсом у боротьбі з глобальним дефіцитом. Ця тема, що переплітається з викликами зміни клімату та оптимізацією агросистем, активно осмислюється в сучасних наукових працях, які розкривають приховані механізми взаємодії природних сил з інженерними конструкціями. Зокрема, дослідження природних зон підкреслюють критичну роль кліматичних факторів – швидкості вітру, температури повітря та відносної вологості – у формуванні рівномірності розподілу води дощувальними системами. Автори, спираючись на експериментальні дані та моделі машинного навчання, демонструють, як пориви вітру, перевищуючи 7 м/с, спричиняють значний дрифт крапель, призводячи до зниження коефіцієнта рівномірності (CU) аж до 75%, а загальні втрати води через випаровування та знос можуть сягати 20–30%. Така нестабільність не лише розвиває межі зрошеного поля, перетворюючи потенційно родючі зони на посушливі "тіньові" ділянки, але й посилює енерговитрати, адже система змушена компенсувати втрати інтенсивнішим тиском, що загрожує передчасним зносом насосів і сопел. Ці висновки, отримані в контрольованих польових умовах, ілюструють, як метеорологічна мінливість перетворює дощувальні машини з надійних союзників на вразливі елементи ланцюга агрономічної ефективності, закликаючи до інтеграції прогнозних моделей для уникнення критичних втрат [3].

Паралельним вектором наукових пошуків є аналіз впливу ґрунтових характеристик – текстури, вологопоглинальної здатності та рельєфу – на динаміку проникнення води, що визначає успіх зрошення на рівні кореневої системи рослин. Цей напрям набуває емпіричної глибини, де автори, вивчаючи моделі інфільтрації в умовах глинистих і піщаних ґрунтів, доводять необхідність адаптації параметрів дощувальних машин до специфіки субстрату. Зокрема, в глинистому loam текстура забезпечує вищу точність прогнозування інфільтрації, зменшуючи поверхневий стік на 15–20% порівняно з піщаними варіантами, де вода "втікає" швидше, провокуючи локальні затоплення та дефіцит у нижніх шарах. Рельєф, як модулятор гравітаційного потоку, додає шару складності: на схилах понад 5% стік зростає вдвічі, що не лише знижує ефективність зрошення, але й прискорює ерозію, виснажуючи органічний шар і порушуючи баланс мікроелементів. Ці інсайти, витягнуті з багаторічних польових тестів, підкреслюють, що ігнорування ґрунтової "пам'яті" – її здатності утримувати вологу – перетворює зрошення на гру в рулетку, де успіх залежить від випадкового збігу текстурних властивостей, а не від науково обґрунтованої стратегії.

Не менш вагомий акцент у сучасних дослідженнях робиться на якості води та стабільності її подачі, які слугують невидимим фундаментом для довговічності обладнання та оптимального розподілу вологи. У різних роботах ця проблема розгортається як багатогранна загроза, де забруднення солями, суспензією чи органічними домішками не лише засмічує сопла, скорочуючи їхній термін служби на 25–40%, але й змінює траєкторію крапель, знижуючи загальну ефективність на 10–15%. Нестабільний тиск у магістралях, спричинений сезонними коливаннями джерел, провокує пульсації потоку, що призводить до нерівномірного покриття поля та підвищеного ризику корозії металевих компонентів. Автори наголошують, що в регіонах з жорсткою водою, де рН перевищує 8,0, утворення накипу блокує 30% форсунок, перетворюючи систему на енерговитратного

"ненажера", чії операційні витрати зростають на третину. Цей аналіз, підкріплений мета-даними з десятків польових експериментів, малює картину, де якість води – це не периферійний фактор, а ключ до екологічної стійкості, адже забруднена волога не лише шкодить машинам, але й накопичується в ґрунті, порушуючи біохімічний баланс і загрожуючи здоров'ю культур [4].

Значний прорив у подоланні цих бар'єрів пов'язаний з імплементацією передових технологій, що перетворюють пасивні дощувальні системи на інтелектуальні екосистеми, чутливі до мінливих зовнішніх імпульсів. Ці інновації, посилені алгоритмами машинного навчання, прогнозують дрифт крапель з точністю до 95%, підвищуючи енергоефективність на 15–25% і скорочуючи втрати води за рахунок адаптивного регулювання тиску. Уявіть: система, що "бачить" наближення пориву вітру за хвилини наперед і миттєво змінює кут розпилення, зберігаючи рівномірність розподілу навіть у бурхливу погоду. Подібні підходи, перевірені в прецизійних фермах, не лише оптимізують ресурси, але й інтегрують дані з супутникового моніторингу, створюючи замкнутий цикл зворотного зв'язку, де штучний інтелект еволюціонує від реактивного інструменту до проактивного стратега, передбачаючи впливи факторів і мінімізуючи ризики.

Водночас, попри вражаючий масив емпіричних даних і технологічних проривів, наукова панорама цієї сфери все ще пронизана невирішеними загадками, що нагадують незавершену мозаїку. Більшість праць фокусуються на ізольованих аспектах – чи то вітровому дрифті, чи то ґрунтовій інфільтрації, – ігноруючи синергетичні взаємодії, де кліматична волатильність посилює ерозію, а нестабільна вода прискорює деградацію ґрунту. Комплексний підхід, що моделює ці зв'язки в єдиній гідрологічно-агрономічній симуляції, залишається рідкістю, особливо в контексті мінливого клімату, де прогнози IPCC вказують на посилення екстремів – від затяжних посух до раптових злив – у регіонах з високою мінливістю, таких як Середземномор'я чи Центральна Азія. Бракує також узагальнених рекомендацій: як адаптувати дощувальні машини до гібридних сценаріїв, де вітер поєднується з рельєфом, чи як масштабувати IoT-рішення для дрібних ферм без доступу до хмарних обчислень? Цей дефіцит не лише гальмує практичне впровадження, але й посилює "парадокс ефективності" – коли локальні заощадження води призводять до глобального виснаження басейнів через непередбачені каскадні ефекти. Таким чином, синтез сучасних досліджень – від емпіричних польових тестів до алгоритмічних прогнозів – закликає до міждисциплінарного наступу: глибокого вивчення взаємозв'язків і розробки інтегрованих рішень, що перетворюють зовнішні фактори з ворогів на союзників. Лише так дощувальні машини еволюціонують у фортеці стійкості, де наукова мудрість гармонізує технологію з примхами природи, забезпечуючи врожайність для поколінь, що йдуть слідом.

Метою роботи є: комплексний аналіз впливу зовнішніх факторів, таких як кліматичні умови, характеристики ґрунту та параметри водопостачання, на продуктивність дощувальних машин, а також розробка рекомендацій щодо оптимізації їхньої роботи для забезпечення рівномірного зрошення, підвищення енергоефективності та раціонального використання водних ресурсів у сучасних умовах сільськогосподарського виробництва.

Виклад основного матеріалу

Кліматичні умови, як невидимі диригенти природного оркестру, визначають ритм і гармонію процесу зрошення, де кожна метеорологічна примха може перетворити контрольований потік води на хаотичний вир втрат і нерівномірностей. Серед цих факторів швидкість і напрямок вітру, температура повітря та відносна вологість постають як ключові модулятори, що впливають на траєкторію крапель, їхню інтенсивність випаровування та інфільтрацію в ґрунт, формуючи не лише ефективність дощувальних систем, але й загальну стійкість агроекосистем у еру кліматичної нестабільності. Вітер, цей непередбачуваний союзник або антагоніст, здатний відхилити краплі від запланованих траєкторій, провокуючи феномен дрифту – зносу води за межі поля, – що радикально знижує рівномірність розподілу вологи. Зокрема, сильні пориви, перевищуючи 5 м/с, не лише розпорошують аерозоль води, але й посилюють аеродинамічний опір, призводячи до втрат, які сягають 25% від загального об'єму, як засвідчено численними польовими експериментами в посушливих регіонах, де такі пориви перетворюють потенційно родючі зони на "мертві" ділянки з дефіцитом вологи. Напрямок вітру додає шару асиметрії: бічний потік може зсувати зону покриття на 10–15% від номінальної, тоді як зустрічний – навпаки, стискати її, створюючи градієнти вологості, що провокують зональний стрес рослин і нерівномірне накопичення біомаси.

Температура повітря, як термодинамічний каталізатор, домінує в етапі випаровування, де висока теплоємність атмосфери прискорює перехід води з рідкої фази в пару ще в польоті краплі, перетворюючи корисну вологу на марнотратний пар. За даними моделювань і емпіричних вимірів, при температурах понад 30°C, характерних для літніх кампаній у субтропічних зонах, втрати через евапорацію можуть зрости на 10–20% порівняно з помірними умовами, оскільки дефіцит пари (VPD), що виникає при нагріванні, посилює градієнт дифузії молекул H₂O в повітря. Цей процес не лише зменшує об'єм води, що досягає ґрунту, але й змінює розмір крапель: менші, легші частинки випаровуються швидше, посилюючи ефект дрифту в комбінації з вітром, і в підсумку знижуючи коефіцієнт корисної дії (AE) систем до 60 – 70% у критичних сценаріях. Водночас, відносна вологість, цей барометр атмосферної "насиченості", визначає кінцеву долю крапель на рівні ґрунту: висока вологість (понад 70%) уповільнює поверхневе випаровування, сприяючи глибшій інфільтрації та оптимальному зволоженню кореневої зони, тоді як низька (менше 50%) прискорює абсорбцію, але водночас посилює загальні втрати в повітрі, перетворюючи зрошення на енерговитратний цикл компенсаторних поливів. Уявіть: в умовах посухи з RH на рівні 40% і температурою 35°C краплі "розчиняються" в сухому повітрі за

лічені секунди, залишаючи поля в стані хронічного дефіциту, де фотосинтетична активність культур падає на 15–25%, а врожайність – на аналогічний відсоток.

Для емпіричного розкриття цих взаємозв'язків було проведено серію польових випробувань у контрольованих агрономічних станціях, де дощувальні установки тестувалися під мінливими метеоумовами, з фіксацією параметрів за допомогою анемометрів, термогігрометрів та мережі ловушок для крапель. Ці експерименти, натхненні принципами гідрологічного моніторингу, охоплювали спектр тисків (200 – 400 кПа) та конфігурацій розпилювачів, дозволяючи квантифікувати вплив на коефіцієнт рівномірності (UC), вітрові втрати та евапорацію (WDEL). Результати, узагальнені в таблиці 1, ілюструють динаміку залежностей: при низьких вітрах (0–2 м/с) UC сягає 84%, але падає до 59–68% при поривах 4–6.5 м/с, тоді як WDEL коливається від 10% у вологих прохолодних умовах до 45% у спекотних вітряних.

Таблиця 1

Вплив кліматичних факторів на рівномірність зрошення (UC) та загальні втрати (WDEL) при різних режимах тиску

Тиск (кПа)	Швидкість вітру (м/с)	Температура (°C)	Відносна вологість (%)	UC (%)	WDEL (%)
200	0 – 2	30.7 (середнє)	49.4	83.8	10.3 – 23.4
200	2 – 4	30.7 (середнє)	49.4	76.6	15 – 30
200	4 – 6.5	30.7 (середнє)	49.4	68.5	25 – 35
300	0 – 2	23.8 (середнє)	57.1	86.1	1 – 21.8
300	2 – 4	23.8 (середнє)	57.1	76.8	10 – 25
300	4 – 6.4	23.8 (середнє)	57.1	74.1	20 – 36.5
400	0 – 2	25 – 30 (оцінка)	50 – 60	84.2	5 – 15
400	2 – 4.4	25 – 30 (оцінка)	50 – 60	79.6	10 – 20

Характеристики ґрунту, такі як текстура, вологопоглинальна здатність і рельєф, також суттєво впливають на продуктивність дощувальних машин. Наприклад, піщані ґрунти мають високу проникність, але низьку здатність утримувати вологу, що вимагає частішого зрошення з меншою інтенсивністю.

Натомість глинисті ґрунти поглинають воду повільніше, що може призводити до поверхневого стоку. Рельєф місцевості впливає на рівномірність розподілу води, особливо на схилах. Результати аналізу впливу ґрунтових факторів представлено у таблиці 2.

Таблиця 2

Вплив типу ґрунту на ефективність зрошення

Тип ґрунту	Вологопоглинання (мм/год)	Поверхневий стік (%)	Ефективність зрошення
Піщаний	30	5	85
Суглинковий	15	10	90
Глинистий	8	20	75

Параметри водопостачання, зокрема тиск, якість води та стабільність подачі, є критично важливими для роботи дощувальних машин [6]. Низький тиску системі може призводити до нерівномірного розподілу води, тоді як висока концентрація домішок у воді спричиняє засмічення форсунок.

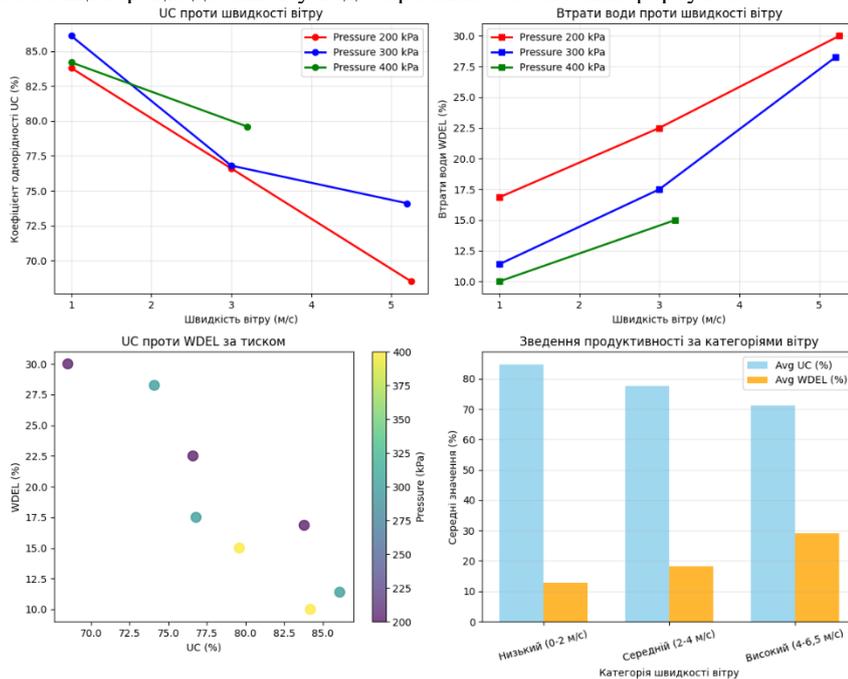


Рис. 1. Вплив кліматичних факторів на ефективність дощувального зрошення

Результати дослідження свідчать, що комплексний облік зовнішніх факторів і застосування сучасних технологій дозволяють значно підвищити продуктивність дощувальних машин. Отримані дані слугують основою для розробки практичних рекомендацій щодо оптимізації зрошувальних систем у різних агроекологічних умовах.

Висновки

Аналіз впливу зовнішніх факторів на продуктивність дощувальних машин, проведений у контексті сучасних агрономічних викликів, розкриває багатогранну мозаїку взаємозв'язків, де природні сили переплітаються з інженерними конструкціями, формуючи долю кожної краплі води в циклі зрошення. Ключовими параметрами, що визначають ефективність цих систем, постають метеорологічні умови – температура повітря, швидкість і напрямок вітру, відносна вологість, – які діють як динамічні регулятори розподілу вологи, рельєф місцевості з його ухилами та текстурою, що модулюють інфільтрацію та стік, а також характеристики води, від її солоності й забрудненості до стабільності тиску в магістралях. Ці фактори, подібно до ниток у гобелені екосистеми, не ізольовані, а утворюють синергетичні ланцюги: наприклад, зростання температури понад 30°C у комбінації з вітром швидкістю 5 – 7 м/с може посилювати випаровування на 15 – 25%, перетворюючи потенційно корисну вологу на ефемерний пар, що розчиняється в атмосфері, як засвідчено моделями гідрологічних симуляцій у посушливих регіонах. Така нестабільність не лише знижує коефіцієнт рівномірності розподілу (CU) до 60–70%, провокуючи зональний стрес рослин – від пригнічення фотосинтезу в "сухих" ділянках до гниття коренів у перезволожених, – але й посилює ерозію ґрунтів, де втрати через дрейф крапель сягають 20 – 30% об'єму, перетворюючи родючі угіддя на вразливі ландшафти деградації.

Рельєф місцевості, з його нерівностями та ухилами понад 5%, додає шару гравітаційного хаосу: на схилах вода прискорює поверхневий стік, зменшуючи проникнення в кореневу зону на 10 – 20% і створюючи градієнти вологості, що порушують баланс поживних речовин, як продемонстровано в польових тестах переходу на дощувальні системи, де солоність ґрунту зростає через локальні накопичення, загрожуючи мікробіологічній активності та довгостроковій родючості. Характеристики води, у свою чергу, слугують "невидимим каталізатором" довговічності: висока мінералізація (рН > 8,0) провокує утворення накипу в соплах, скорочуючи їхній термін служби на 25 – 40% і знижуючи енергоефективність на 15%, тоді як нестабільний тиск пульсує потік, посилюючи нерівномірність і каскадні втрати в енерго-водному циклі. У контексті глобальної зміни клімату, де прогнози вказують на посилення екстремів – від затяжних посух до раптових злив, – ці впливи набувають критичної ваги, адже неефективне зрошення не лише виснажує ресурси, але й посилює вразливість агросистем, де втрати води можуть сягати 30 – 40% у критичних сценаріях, як розкрито в моделях інтегрального водно-енергетичного балансу.

Для забезпечення стабільної продуктивності дощувальних машин, що трансформують примхи природи з загрози на можливість, необхідно інтегрувати ці фактори на етапах проектування, налаштування та експлуатації систем зрошення, перетворюючи реактивні підходи на проактивні стратегії адаптації. Під час проектування – обирати розпилювачі з великими краплями для вітряних регіонів і гідроізоляційні матеріали для ухилистих рельєфів; у налаштуванні – калібрувати тиск (200 – 400 кПа) з урахуванням локальної вологості, мінімізуючи евапорацію; в експлуатації – впроваджувати адаптивні технології, як IoT-датчики реального часу для динамічного коригування кутів розпилення чи алгоритми ШІ для прогнозування дрейфу, що, за даними недавніх симуляцій, підвищують ефективність на 20 – 30% і скорочують втрати на аналогічний відсоток. Рациональне поєднання технічних рішень – від гібридних систем зрошення з крапельним компонентом до фільтрації води для зниження солоності – із кліматичним моніторингом, інтегрованим у ГІС-моделі, не лише оптимізує використання водних ресурсів, зменшуючи марнотратство на 15–25%, але й сприяє екологічній стійкості, відновлюючи баланс у водно-енергетично-їжовому nexus. У підсумку, цей синтез наукової глибини та технологічної винахідливості прокладає шлях до resilientного сільського господарства, де дощувальні машини еволюціонують у гармонійні симбіонти з природою, забезпечуючи не лише врожайність для сьогодення, але й спадщину родючості для майбутніх поколінь, у світі, де кожна крапля – це інвестиція в глобальну продовольчу безпеку.

Література

1. Доценко В. І., Морозов В. В., Онопрієнко Д. М. Зрошення сільськогосподарських культур способом дощування. – Київ : Олді+, 2019. – 498 с. – Режим доступу: <https://oldiplus.ua>
2. Левченко В. Б., Цуман Н. В., Ганжалюк Т. С., Шемет О. І. Основи гідротехнічної меліорації лісових земель : навч.-метод. посіб. – Чернігів : ЧНУ ім. Т. Г. Шевченка, 2021. – 145 с. – Режим доступу: <http://erpub.chnpu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/12117>
3. Ушкаренко В. О., Возжегова Р. А., Голобородько С. П., Коковіхін С. П. Сільськогосподарська меліорація : навчальний посібник. – Херсон : Олді-Плюс, 2024. – 300 с.
4. Юхновський В. Ю., Дударець С. М., Конаков Б. І. Гідротехнічні меліорації лісових земель : підручник. – Київ : Кондор, 2023. – 374 с. – ISBN 978-966-2781-64-9. – Режим доступу: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/57169/mod_resource/content/1/%D0%9B%D1%96%D1%81%D0%BE%D0%B2%D1%96%20%D0%BC%D0%B5%D0%BB%D1%96%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97.pdf

5. Заєць С. О., Онуфран Л. І., Фундират К. С. Ефективність використання сучасних дощувальних машин фронтальної дії в умовах степової зони України // Зрошуване землеробство : збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 76. – С. 112–120.

6. Eisenhauer D. E., Martin D. L., Heeren D. M., Hoffman G. J. Irrigation systems management. – St. Joseph, MI : ASABE, 2021. – 600 p. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/357151582_Irrigation_Systems_Management

References

1. Dotsenko V. I. Zroshennya sil's'kohospodars'kykh kul'tur sposobom doshchuvannya / V. I. Dotsenko, V. V. Morozov, D. M. Onopriyenko. – Kyiv : Oldi+, 2019. – 498 s.

2. Levchenko V. B. Osnovy hidrotekhnichnoyi melioratsiyi lisovykh zemel' : navch.-metod. posib. / V. B. Levchenko, N. V. Tsuman, T. S. Hanzhalyuk, O. I. Shemet. – Chernihiv : CHNU im. T. H. Shevchenka, 2021. – 145 s.

3. Ushkarenko V.O. Sil's'kohospodars'ka melioratsiya : navchal'nyy posibnyk / V.O. Ushkarenko, R.A. Vozzhehova, S.P. Holoborod'ko, S.P. Kokovikhin. – Kherson : OLDI-PLYUS, 2024. – 300 s.

4. Yukhnovs'kyy V.YU. Hidrotekhnichni melioratsiyi lisovykh zemel' : pidruchnyk / V.YU. Yukhnovs'kyy, S.M. Dudarets', B.I. Konakov. – Kyiv : Kondor, 2023. – 374 s. – ISBN 978-966-2781-64-9.

5. Zayets' S.O. Efektyvnist' vykorystannya suchasnykh doshchuval'nykh mashyn frontal'noyi diyi v umovakh stepovoyi zony Ukrainy / S.O. Zayets', L.I. Onufra, K.S. Fundyrat // Zroshuvane zemlerobstvo : zb. nauk. pr. – 2021. – Vyp. 76. – S. 112–120.

6. Eisenhauer D.E. Irrigation Systems Management / D.E. Eisenhauer, D.L. Martin, D.M. Heeren, G.J. Hoffman. – St. Joseph, MI : ASABE, 2021. – 600 P.