

УДК 628.1:502.131.1(569.4)(477)

## ІННОВАЦІЙНІ ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ ІЗРАЇЛЮ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ В УМОВАХ ДЕФІЦИТУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

**В. В. Сав'як**

здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, 2 курс,  
спеціальність «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології»,  
навчально-науковий інститут енергетики, автоматики та водного господарства  
Науковий керівник – к.т.н., доцент С. М. Козишкурт

*Національний університет водного господарства та природокористування,  
м. Рівне, Україна*

**У статті досліджено глобальний дефіцит прісної води та його вплив на продовольчу безпеку, зокрема в аграрному секторі. На прикладі Ізраїлю проаналізовано ефективні технології водокористування: краплинне зрошення, опріснення морської води, повторне використання очищених стічних вод і цифрові системи моніторингу. Визначено напрями адаптації цих рішень для України та запропоновано практичні механізми підвищення водної безпеки.**

**Ключові слова:** водні ресурси, водний дефіцит, краплинне зрошення, опріснення, повторне використання води, Ізраїль, продовольча безпека.

**The article examines the global freshwater deficit and its impact on food security, particularly in the agricultural sector. Using Israel as a case study, the study analyzes effective water management technologies, including drip irrigation, seawater desalination, reuse of treated wastewater, and digital monitoring systems. Directions for adapting these solutions to Ukraine are identified, and practical mechanisms for enhancing water security are proposed.**  
**Keywords:** water resources, water deficit, drip irrigation, desalination, wastewater reuse, Israel, food security.

Дефіцит водних ресурсів у світі посилюється на фоні змін клімату, урбанізації та зростання потреб аграрного виробництва. За даними FAO, глобальне водоспоживання збільшилося більш ніж у шість разів протягом останнього століття, а темпи його зростання випереджають приріст населення [1]. Організація економічного співробітництва та розвитку (OECD) прогнозує зростання світового попиту на воду на 55% до 2050 року [2]. Подібні тенденції загострюють конкуренцію за ресурси між аграрним, енергетичним та комунальним секторами.

Сільське господарство залишається основним користувачем води, забезпечуючи близько 70% глобального водозабору. Ця статистика є стабільною протягом останніх десятиліть [1; 3]. В умовах зростання водного стресу агросектор стає найбільш уразливим, оскільки навіть скорочення поливної норми на 10% може призвести до втрати майже 30% урожаю в посушливих регіонах [3].

Узагальнені дані щодо динаміки глобального водного дефіциту наведено в табл. 1.

Одним із найуспішніших прикладів адаптації до водного дефіциту є Ізраїль – країна з природними запасами прісної води менше 300 м<sup>3</sup> на особу на рік. Завдяки інноваційним технологіям, ефективному управлінню та централізованій водній політиці країна досягла високого рівня водної та продовольчої безпеки. Масштабне застосування краплинного зрошення, опріснення морської води, повторного використання очищених стоків і цифрових

систем моніторингу забезпечило стабільність аграрного виробництва навіть у найбільш посушливих регіонах [4–6].

Таблиця 1

Динаміка основних глобальних показників водного дефіциту (за даними [1–3])

Показник	2000 р.	2020 р.	Прогноз 2050 р.
Світове водоспоживання, км <sup>3</sup> /рік	≈ 3600	≈ 4000	≈ 5500
Частка сільського господарства у глобальному водозаборі, %	69	70	72
Населення в регіонах дефіциту води, млрд осіб	2,4	3,6	4,8
Країни з високим водним стресом	35	понад 50	понад 60

Для України, яка стикається з деградацією меліоративної інфраструктури, зменшенням природного стоку та посиленням аридизації клімату, досвід Ізраїлю має значний практичний інтерес. За оцінками Світового банку, понад 70% українських зрошувальних систем перебувають у критичному стані [7]. Упровадження сучасних водозберігаючих технологій може істотно підвищити ефективність аграрного виробництва та зменшити навантаження на річкові басейни.

**Метою дослідження** є аналіз інноваційних водних технологій та управлінських підходів Ізраїлю й оцінка можливостей їх адаптації для забезпечення продовольчої безпеки України в умовах дефіциту водних ресурсів.

**Сільське господарство є найбільш вразливим сектором** економіки щодо нестачі води, оскільки залежить від стабільного водопостачання в критичні фази розвитку культур. За оцінками FAO, навіть короткочасне зменшення доступної води під час вегетації може призвести до істотних втрат урожайності, особливо для культур із високою чутливістю до водного стресу – овочевих, плодкових, технічних культур та рису [1; 3].

Дефіцит води впливає не лише на обсяги виробництва, але й на загальну економічну стабільність аграрного сектору. Зменшення водозабезпечення призводить до:

- погіршення показників урожайності на 10–50% залежно від культури та фази росту;
- підвищення ризику деградації ґрунтів (засолення, ущільнення, зменшення вмісту органічної речовини);
- зростання витрат на меліорацію, енергозабезпечення та оптимізацію поливу;
- посилення конкуренції між регіонами та секторами за доступ до водних ресурсів;
- скорочення частки цінної та експортної продукції.

За оцінками IPCC, зниження поливної норми на 20% може спричинити до 40% втрат урожаю овочевих культур та до 30% втрат зернових [8].

Порівняння впливу водного дефіциту на основні аграрні культури наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Орієнтовні втрати врожайності основних культур залежно від рівня водного дефіциту (за даними [1; 3; 8])

Рівень водного дефіциту	Зернові культури	Овочеві культури	Кукурудза	Соняшник	Плодові насадження
5–10%	3–7%	5–12%	5–10%	4–8%	3–6%
10–20%	8–15%	12–25%	10–18%	8–15%	10–18%
20–30%	15–30%	25–40%	18–35%	15–28%	18–30%
понад 30%	30–50%	40–60%	35–55%	28–45%	30–50%

**Ізраїль належить до країн** із найрозвиненішими технологіями у сфері управління водними ресурсами. Незважаючи на обмежені природні запаси прісної води та посушливий клімат, країна забезпечує стабільне водопостачання всіх секторів економіки та підтримує високопродуктивне сільське господарство. Успіх ізраїльської водної моделі ґрунтується на поєднанні технологічних інновацій, ефективного державного регулювання та комплексного підходу до водозбереження. Основними складовими цієї моделі є впровадження краплинного зрошення, опріснення морської води, повторне використання очищених стічних вод та цифровізація управління водними системами [4–6; 9–11; 12].

Краплинне зрошення, винайдене та впроваджене ізраїльською компанією Netafim у 1960-х роках, стало ключовою технологією підвищення водної ефективності у сільському господарстві. Система дозволяє подавати воду безпосередньо в кореневу зону рослин, мінімізуючи випаровування та втрати на фільтрацію. За даними Міністерства сільського господарства Ізраїлю, застосування краплинного поливу зменшує водоспоживання на 30–40% порівняно з традиційними методами та підвищує врожайність на 15–25% залежно від культури [4; 9; 10]. Точна подача води також знижує ризики засолення ґрунтів, що критично для посушливих регіонів.

Другим стратегічним напрямом є опріснення морської води. Ізраїль входить до трійки світових лідерів за обсягами виробництва опрісненої води. П'ять великих заводів зворотного осмосу на узбережжі Середземного моря забезпечують близько 75% потреб населення у питній воді [5; 12]. Завод Sorek має потужність 624 тис. м<sup>3</sup>/добу, що робить його одним із найбільших у світі. Використання опріснення дозволило країні повністю усунути коливання водопостачання, спричинені змінами рівня озера Кінерет та нестабільністю природного стоку.

Важливою складовою моделі є повторне використання очищених стічних вод. За даними ОЕСД, Ізраїль повторно використовує близько 87% очищених стоків, що є найвищим показником у світі [6]. Основна частина цієї води спрямовується на потреби сільського господарства. Найбільша інфраструктурна система (канал «Шафдан») забезпечує транспортування очищених вод у південні райони країни для зрошення цитрусових, овочевих та зернових культур. Ця практика суттєво скорочує забір прісної води з природних джерел і підвищує загальну водну безпеку держави [6; 11; 12].

Цифровізація водного сектору забезпечує ефективність управління ресурсами. У сільському господарстві застосовуються датчики вологості ґрунту, дистанційні системи моніторингу, алгоритми планування поливу та автоматизоване регулювання водоподачі. Такі системи забезпечують точне дозування води, швидке реагування на зміни погодних умов і зниження енергетичних витрат. На рівні держави функціонує централізована цифрова платформа контролю водного балансу, що дозволяє в режимі реального часу відстежувати обсяги водозабору, споживання та передачі між регіонами [4; 6; 10; 11].

Узагальнене порівняння основних інноваційних рішень Ізраїлю наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Основні інноваційні водні технології Ізраїлю (узагальнено за [4–6; 9–11; 12])

Технологія / підхід	Позитивний ефект	Вплив на аграрний сектор
Краплинне зрошення	на 30...40% зменшення водоспоживання; на 15...25% підвищення врожайності	підвищення продуктивності та стабільності врожаю
Опріснення морської води	до 75% потреб населення покриваються опрісненням	зменшення конкуренції за прісну воду між секторами
Повторне використання стічних вод	87% очищених стоків спрямовується на зрошення	зменшення навантаження на природні водні джерела

продовження табл. 3

Цифрові системи управління	оптимізація подачі води, економія енергії	точний полив і запобігання перевитратам води
----------------------------	---	--

**Аналіз ізраїльської моделі** управління водними ресурсами свідчить, що більшість технологічних та організаційних рішень можуть бути релевантними для українських умов, особливо для південних регіонів із дефіцитом води. Водночас адаптація потребує врахування національних особливостей, таких як територіальний розподіл ресурсів, стан інфраструктури, фінансові можливості та правове регулювання.

Передумовами для впровадження таких рішень є значний аграрний потенціал України, наявні меліоративні мережі та досвід реалізації регіональних проєктів, що створює базу для модернізації. Зростання кліматичної посушливості у півдні та на сході країни підвищує економічну доцільність водозберігаючих технологій, а науковці можуть підтримати адаптацію технологій і проведення пілотних випробувань.

Водночас існують обмеження та ризики, зокрема високі початкові інвестиції у модернізацію інфраструктури, відсутність єдиного управління водними ресурсами та регіональна нерівномірність. Ці фактори ускладнюють впровадження єдиних підходів по всій Україні.

Пріоритетні напрями впровадження включають модернізацію частини традиційних дощувальних систем на краплинні або точні, розвиток локальних і регіональних систем доочищення стоків для поливу технічних і кормових культур, встановлення малих і середніх опріснювальних установок на морському узбережжі з використанням відновлюваних джерел енергії, а також впровадження датчикових мереж і платформ для моніторингу вологості ґрунту та водного балансу в реальному часі. Важливим є також формування державної підтримки у вигляді субсидій та пільг для фермерів, що переходять на точні системи поливу.

Для поступової адаптації доцільна покрокова стратегія: оцінка потенціалу регіону (ресурсний і інфраструктурний аудит), відбір і запуск пілотних проєктів із чіткими показниками ефективності (економія води, зміна врожайності, рентабельність), аналіз результатів і вдосконалення технологій та моделей управління, а також масштабування успішних рішень через державно-приватні ініціативи та кредитно-грантові механізми.

У табл. 4 подано узагальнене порівняння умов та потенціалу адаптації.

Таблиця 4

Порівняльна характеристика умов та потенціалу адаптації

Показник	Україна (в середньому)	Ізраїль	Потенціал адаптації
Водозабезпеченість, м <sup>3</sup> /особу/рік	1 000–1 200, (<500 на Півдні)	<300	високий у південних регіонах
Стан зрошувальних систем	60–70% зношені	сучасні, модернізовані	високий (потреба інвестицій)
Частка краплинного зрошення	≈10–12%	>75%	дуже високий
Повторне використання стоків	≈2–3%	≈85%	дуже високий (локальні системи)
Рівень цифровізації	низький	високий	високий (поетапно)
Фінансова спроможність місцевих громад	обмежена	вища (державно-приватне партнерство)	середня – потребує держпідтримки

Адаптація ізраїльських технологій до українських умов потребує комплексного підходу, що поєднує технічні, організаційні, економічні, цифрові та освітні заходи. Технологічно пріоритетним є оновлення зрошувальних систем у регіонах із дефіцитом води, впровадження краплинного та інших точних методів поливу, розвиток локальних систем доочищення стічних вод і малих опріснювальних установок з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Організаційно важливе удосконалення управління водними ресурсами, створення умов для державно-приватного партнерства та впровадження басейнового принципу управління водами.

Економічні механізми включають субсидії, пільгове кредитування, грантові програми та диференційовану тарифну політику, що стимулюють економне водокористування. Цифровізація та моніторинг передбачають створення платформ для відстеження водного балансу в режимі реального часу, використання датчиків вологості ґрунту та автоматизованих систем поливу. Освітній компонент полягає у підготовці фахівців, розширенні співпраці між науковими установами, університетами та виробниками обладнання, а також у створенні демонстраційних полігонів для випробування нових систем.

**Аналіз показав**, що Ізраїль сформував ефективну модель управління водними ресурсами, яка поєднує технологічні інновації, раціональну політику та організаційну узгодженість. Краплинне зрошення, використання опрісненої та повторно очищеної води та цифрові платформи забезпечують стабільність водопостачання та підвищують продуктивність аграрного сектору навіть за хронічного дефіциту води.

Багато рішень ізраїльської моделі релевантні для України, особливо для південних регіонів із дефіцитом водних ресурсів та застарілою меліоративною інфраструктурою. Пріоритетними є впровадження точних систем зрошення, локальних технологій повторного використання стоків, цифровий моніторинг та розвиток управління водними ресурсами на басейновому рівні.

Реалізація таких заходів сприятиме підвищенню ефективності водокористування, зміцненню продовольчої безпеки та формуванню більш стійких аграрних систем. Адаптація ізраїльського досвіду може стати важливим інструментом модернізації водного сектору України та підвищення його стійкості до кліматичних змін.

1. FAO. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture. Managing Systems at Risk. Rome : FAO, 2021.
2. OECD. Water Security for Sustainable Growth: Economic Analysis and Policy Recommendations. Paris : OECD Publishing, 2022.
3. Molden D., et al. Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London : Earthscan, 2007.
4. Drip Irrigation in Israel – Efficiency and Yield Benefits / Ministry of Agriculture of Israel. Jerusalem, 2023.
5. Israel Water Authority. Desalination in Israel: Status and Perspectives. Jerusalem, 2023.
6. OECD. Water Governance in Israel: Reuse and Efficiency Policies. Paris: OECD Publishing, 2022.
7. World Bank. Irrigation in Ukraine: Status and Development Prospects. Washington, DC: World Bank, 2022.
8. IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge : Cambridge University Press, 2022.
9. Netafim Ltd. Innovations in Drip Irrigation. *Global Case Studies*. Tel Aviv, 2023.
10. Shani U., et al. Precision Agriculture and Water Management in Israel. *Agricultural Water Management*. 2023. Vol. 275. P. 108060.
11. Tal A., et al. Reuse of Treated Wastewater for Agriculture in Israel: Technologies and Outcomes. *Water Policy*. 2023. Vol. 25(4). P. 567–584.
12. CFACT. Israel Innovating for a Water-Starved Planet, 2024.