

Ювчик Н. О. [1; ORCID ID: 0000-0001-5629-0201],

доктор філософії, доцент,

Срібний М. В. [2; ORCID ID: 0000-0001-7809-8448],

провідний науковий співробітник

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

²Інститут сільського господарства Західного Полісся НААН, с. Шубків,

Рівненська обл.

ВЕРТИКАЛЬНІ ФЕРМИ ЯК ІННОВАЦІЙНИЙ НАПРЯМ СТАЛОГО СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Сільськогосподарський сектор переживає трансформацію, зумовлену інноваційними технологіями, спрямованими на підвищення сталості виробництва продуктів харчування. Одним з ключових досягнень є вертикальне землеробство – спосіб вирощування рослин в закритому контрольованому середовищі. У статті розглянуто сучасний стан розвитку вертикальних ферм як інноваційної технології контрольованого агровиробництва. Проаналізовано основні технологічні підходи, принципи функціонування вертикальних агросистем, їх переваги та недоліки. Особливу увагу приділено питанням енергоефективності, ресурсозбереження, екологічної безпеки та перспективам використання вертикального фермерства в умовах урбанізації та змін клімату. Встановлено, що вертикальні ферми забезпечують значне скорочення використання земельних і водних ресурсів, дозволяють отримувати стабільний урожай протягом року та мінімізують негативний вплив на довкілля. Однак практична реалізація цього підходу потребує врахування таких додаткових факторів, як споживання енергії, капітальні інвестиційні та операційні витрати, а також труднощі пов'язані з вирощуванням окремих культур. Незважаючи на це, результати досліджень свідчать про доцільність подальшого розвитку технологій вертикального фермерства для підвищення стійкості сільського господарства та ефективності використання ресурсів.

Ключові слова: вертикальні ферми; енергоефективність; ресурсозбереження; контрольоване середовище; гідропоніка; аеропоніка; сталий розвиток.

Постановка проблеми. За прогнозами соціологів, чисельність населення у 2050 році зросте до 9,7 млрд, при чому більшість населення проживатиме в містах [1]. Такий демографічний зсув вимагатиме впровадження сталих підходів та швидкого виробництва

харчового продовольства. Щоб забезпечити продовольчу безпеку необхідно шукати шляхи та засоби, за допомогою яких місто могло б забезпечити себе повністю, або хоча б частково, продуктами харчування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Постачання продовольства є важливим не тільки на регіональному, а і на міжнародному рівні, що призвело до різкого збільшення вантажоперевезень і, як наслідок, заподіяння екологічної шкоди навколишньому середовищу [2]. Крім того на сьогодні сучасне землеробство стикається з низкою викликів, таких як зміна клімату, значні викиди парникових газів, деградація ґрунтів і виснаження викопних ресурсів, що ускладнює його стійкий розвиток. На додаток до окреслених аспектів, породжуються нові фактори спричинені повномасштабною російською агресією, що призводить до руйнівних наслідків для традиційного сільського господарства. Тому без сумніву, ці аспекти суттєво впливають на традиційні сільськогосподарські практики, підкреслюючи нагальну потребу в інноваційних та ресурсозберігаючих рішеннях, які мають змогу ефективно забезпечувати сучасні потреби. Одним із таких рішень є вертикальне фермерство – спосіб вирощування рослин в закритому контрольованому середовищі [3], що максимізує виробництво на одиницю площі та не потребує використання земельних ресурсів сільськогосподарського призначення, що робить його особливо ефективним у містах з обмеженим простором [4]. Вертикальне фермерство є стратегічним напрямом майбутнього агровиробництва, що поєднує технологічність, сталість і міську інтеграцію. Для України це не лише можливість забезпечити продовольчу безпеку, а й шанс створити нову нішу високотехнологічного агробізнесу, здатного працювати навіть у кризових умовах.

Мета дослідження. Метою дослідження є аналіз вертикальних ферм як інноваційного напрямку сталого сільського господарства, визначення їхніх переваг, обмежень та перспектив впровадження в Україні.

Виклад основного матеріалу. Вертикальне фермерство – це революційний підхід до вирощування сільськогосподарських культур з контрольованим середовищем, яке вважається лідером у сфері ефективного використання ресурсів [5]. Воно базується на

використанні вертикальних площин у висотних спорудах, теплицях, контейнерах або спеціальних приміщеннях для розміщення рослин у кілька ярусів, що дозволяє максимізувати продуктивність на обмеженій площі.

Автором концепції та терміну **«вертикальні ферми»** вважається професор Колумбійського університету Діксон Деспом'єр. Технології вертикального фермерства почали розробляти близько 15 років тому, а практичне застосування вони знайшли у США, Канаді, Швеції, Японії та низці інших розвинених країн північної півкулі, а також в Австралії, яка має значні пустельні території, починаючи з 2012 року. Яскравим прикладом успішної реалізації проекту вертикального фермерства є американська компанія «AeroFarms», де для цілорічного виробництва продукції тут використовується технологія аеропоніки та освітлення фітолампами, що дозволяє забезпечити більш швидкий цикл вирощування та отримати більший урожай, ніж при інших видах вирощування.

Україна теж долучилася до впровадження даного прогресивного напрямку виробництва. Однією з найбільш успішних прикладів реалізації вертикального фермерства в Україні є компанія Green Future. Завдяки численним експериментам, ферма розробила найпродуктивнішу в Україні систему гідропоніки, що дозволило збільшити виробництво зелені з 1,5 до 3 кг на м² [6].

Вертикальні ферми в порівнянні з традиційними методами вирощування сільськогосподарської продукції мають певні переваги. Завдяки підтримці певного температурного і атмосферного мікроклімату всередині ферми, вирощувати необхідні культури і збирати урожай можна надійно цілий рік [7]. Використання LED-освітлення дозволяє регулювати спектральний склад світла залежно від потреб культури, що значно підвищує енергоефективність вертикальних ферм [8]. Дослідження свідчать, що оптимізація світлового спектра здатна підвищувати фотосинтетичну активність рослин і покращувати якість продукції. У дослідженні Meinus та ін. [9] підкреслюється важливість вирощування рослин у закритих приміщеннях із штучним освітленням. Оснащення вертикальних ферм вітровими і сонячними установками зробить їх повністю енергетично незалежними.

Завдяки замкнутим системам вертикальні ферми споживають на порядок менше води – до 90–95% менше, що є критично важливим у регіонах із дефіцитом води [10]. Це досягається завдяки застосуванню точних систем зрошення, таких як гідропоніка та

аeropоніка, впровадженню технологій рециркуляції води та створенню контрольованого середовища, яке мінімізує втрати через випаровування [11]. Однією з головних переваг вертикальних ферм є надзвичайно висока ефективність використання площі. За даними досліджень, урожайність салату у вертикальних фермах може становити 60–105 кг/м² на рік, що суттєво перевищує показники традиційного землеробства.

Вирощування рослин за даною технологією дозволять зменшити або повністю відмовитися від застосування гербіцидів, пестицидів та добрив, забезпечивши населення натуральною органічною продукцією [12]. До того ж це не потребує застосування тракторів, комбайнів та іншої сільськогосподарської техніки. Готова продукція також не потребує перевезень на далеку відстань. Все це допоможе знизити транспортні витрати і скоротити споживання енергоресурсів, що також безпосередньо знижуватиме обсяги викидів парникових газів, пов'язаних із перевезенням продуктів харчування [13].

Сучасні технології, такі як автоматизація, штучний інтелект, інтернет речей і робототехніка, активно впроваджуються у вертикальне фермерство. Одним із найважливіших аспектів автоматизації у вертикальному сільському господарстві є значне підвищення ефективності (скорочення ручної праці та прискорення сільськогосподарських процесів), що призводить до загального зростання сільськогосподарського сектору [14]. Ключовими елементами автоматизації є системи зрошення, клімат-контроль, моніторинг вологості ґрунту та використання роботів або дронів для внесення пестицидів. Впровадження роботів на базі штучного інтелекту та дронів допоможе зменшити споживання води та пестицидів, а також зберегти родючість ґрунту, що в кінцевому підсумку підвищить врожайність та якість продукції [12].

Інтернет речей (IoT) використовується для підключення різних пристроїв у господарстві для збору та обробки даних, що дозволяє точно контролювати умови вирощування та вчасно реагувати на зміни. Впровадження машинного навчання в сільському господарстві, а зокрема у вертикальному землеробстві, призвело до використання розумних датчиків та виконавчих механізмів. Як результат, відбувається постійна еволюція технологій, що дозволяє автоматизувати агропроцеси на дедалі вищих рівнях, що веде до

кращої продуктивності та підвищеної прогнозованості врожаю [15]. Все це дозволяє не тільки контролювати процеси в режимі реального часу, а й оптимізувати витрати, прогнозувати врожайність і приймати ефективні управлінські рішення.

Вертикальні ферми сприяють розвитку урбаністичного землеробства, у великих містах їх можна розташовувати на дахах будинків, у підвалах або окремих спорудах. Це має особливе значення, адже воно дозволяє постачати якісні сільськогосподарські товари, зберігаючи їх високу поживну цінність та мінімізуючи втрати – проблеми, які зазвичай виникають під час транспортування на далекі відстані або під час тривалого зберігання. Це також дозволяє зменшити викиди парникових газів [16]. Окрім цього, розташування ферм у межах міських ландшафтів також сприяє створенню нових робочих місць, що диверсифікує структуру міської економіки. У більшості урбанізованих регіонів світу високотехнологічні вентильовані теплиці здатні конкурувати з вертикальними фермами за рівнем енергоспоживання. Знання про це є фундаментальними для енергетичної оцінки різних автоматизованих систем землеробства [17].

Проте, перехід до вертикального фермерства є комплексним і довготривалим процесом, що потребує теоретичного та практичного доопрацювання. Цей підхід, хоча й має значний потенціал, стикається з низкою обмежень. Першочерговими проблемами є високі капітальні витрати через необхідність складного обладнання і технологій. Наприклад, будівництво вертикальних ферм коштує від 1000 до 4000 євро/м², що значно перевищує вартість спорудження теплиць (100–300 євро/м²) та угідь відкритого ґрунту (0,5–50 євро/м²) [18]. На етапі експлуатації вертикальні господарства стикаються з додатковими економічними викликами у сфері енергоспоживання [19]. Зокрема, значна частка операційних затрат припадає на освітлення та клімат-контроль – в середньому 40% та 38% відповідно [20]. В свою чергу, це також спричиняє значні викиди парникових газів та виснаження природних систем, пов'язаних із використанням викопних ресурсів на забезпечення подібних енергетичних проблем [21]. Коли ж вертикальні ферми працюють на відновлюваних джерелах енергії таких як вітер або фотоелектричні установки, для встановлення цих енергетичних систем потрібна значна кількість земельного простору [22].

Серед інших труднощів можна виокремити такі: через високу залежність від технологій рослини можуть зазнати серйозної шкоди у

разі відключення електроенергії або несправності системи зрошення [23]; а також необхідність точного моніторингу – системи вегетаційного вирощування, зокрема гідропоніка, аеропоніка та аквапоніка, потребують ретельного контролю управління живленням, обприскування пестицидами та зрошення рослин [24].

Наразі найпоширенішими рослинами, що вирощуються у вертикальних фермах є мікро- та листова зелень, що пояснюється їх коротким циклом росту, високою ринковою вартістю та здатністю швидко адаптуватися до контрольованих середовищ [25]. Також за даною технологією вирощуються ягоди, фрукти та овочі, лікарські рослини, квіти, а також канабіс. Ці рослини становлять лише 2,1% (32,8 мільйона гектарів) від світової земельної площі, відведеної для споживчого аграрного виробництва [26]. Тож, перспективи подальшого розширення цього списку залежать від розвитку технологій, генетичної адаптації рослин та оптимізації економічних моделей.

Отже, практична реалізація цього підходу потребуватиме врахування таких додаткових факторів, як споживання енергії, капітальні інвестиційні та операційні витрати, а також труднощі пов'язані з вирощуванням окремих культур. Незважаючи на це, результати дослідження свідчать про доцільність подальшого розвитку технологій вертикального фермерства для підвищення стійкості сільського господарства та ефективності використання ресурсів.

Висновки. Вертикальне фермерство – не просто тренд, а відповідь на глобальні виклики: урбанізацію, зміну клімату та дефіцит ресурсів. Завдяки ефективному використанню простору і води, цей підхід має потенціал забезпечити міста свіжими продуктами безпосередньо на місці. Хоча технологія потребує значних інвестицій і досвіду, її перспективність очевидна. З кожним роком зростає кількість проєктів, що демонструють, як аграрне майбутнє може бути вертикальним – чистим, розумним і екологічним. Водночас залишаються актуальними питання підвищення енергоефективності, оптимізації технологічних процесів та економічної доцільності впровадження таких систем, що потребує подальших наукових досліджень.

1. UN DESA: United Nations Department of Economic and Social Affairs, World population projected to reach 9.6 billion by 2050. UN Dep. Econ. Soc. Aff. 2013. URL: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/un-report-world-population-projected-to-reach-9-6-billion-by-2050.html>. (дата звернення: 15.03.2026). 2. Бандач І. О., Нівін І. С. Міські фермерські утворення. Світові тенденції та перспективи розвитку в Україні. *Архітектурний вісник КНУБА*. 2018. № 16. С. 200–205. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/3025>. (дата звернення: 15.03.2026). 3. Vertical Farming – ATTRA – *Sustainable Agriculture*. URL: <https://attra.ncat.org/publication/vertical-farming>. (дата звернення: 15.03.2026). 4. Sowmya C., Anand M., Indu Rani C. et al. Recent developments and inventive approaches in vertical farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2024. № 8. P. 1400787. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1400787>. 5. Lubna F. A., Lewus D. C., Shelford T. J., Both A. J. What you may not realize about vertical farming. *Horticulturae*. 2022. Vol. 8(4). P. 322. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040322>. 6. Агроновини. Вертикальне фермерство в Україні: наскільки прибутковий цей бізнес. AgroPortal.ua. URL: <https://agroportal.ua/publishing/idei-dlya-biznesa/vertikalne-fermerstvo-v-ukrajini-naskilki-pributkoviy-cey-bizes>. (дата звернення: 15.03.2026). 7. Kobayashi Y., Kotilainen T., Carmona-García G., Leip A., Tuomisto H. L. Vertical farming: a trade-off between land area need for crops and for renewable energy production. *J. Cleaner Production*. 2022. Vol. 379 (1). P. 134507. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.134507. 8. Aborujilah A. Towards Sustainable Vertical Farming: A Systematic Review of Energy Return on Investment Efficiency and Optimization Strategies. *Sustainability*. 2025. № 17(18). P. 1–16. DOI: <https://ideas.repec.org/a/gam/jsusta/v17y2025i18p8142-d1746346.html>. (дата звернення: 15.03.2026). 9. Meinusch N., Kramer S., Körner O., Wiese J., Seick I., Beblek A., Berges R., et al. Integrated cycles for urban biomass as a strategy to promote a CO₂-neutral society: A feasibility study. *Sustainability*. 2021. Vol. 13(17). P. 9505. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13179505>. 10. Barbosa G., Gadelha F., Kublik N., Proctor A., Reichelm L., Weissinger E., Wohlleb G., Halden R. Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2015. № 12. P. 6879–6891. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph120606879>. 11. Rajaseger G., Chan K. L., Yee Tan K. et al. Hydroponics: current trends in sustainable crop production. *Bioinformation*. 2023. № 19 (9). P. 925–938. DOI: <https://doi.org/10.6026/97320630019925>. 12. Talaviya T., Shah D., Patel N., Yagnik H., Shah M. Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artif Intell Agric*. 2020. № 4. P. 58–73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.04.002>. 13. Kilgore G. Truck CO₂ Emissions Per Km Calculator: Find Semi Truck Carbon Footprint. 2024. URL: <https://8billiontrees.com/carbon-offsets-credits/carbon-ecologicalfootprint-calculators/truck-co2-emissions-per-km-calculator>. (дата звернення: 15.03.2026). 14. Kanjilal D., Singh D., Reddy R., Mathew J. Smart farm: extending automation to the farm level. *Int J Sci Technol Res*. 2014. № 3(7). P. 109–113. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Smart-Farm%3A-Extending-Automation-To-The-Farm-Level-Kanjilal-Singh>. (дата звернення: 15.03.2026). 15. Tageldin A., Adly D., Mostafa H., Mohammed H. S. Applying machine learning technology in the prediction of crop infestation with cotton leafworm in greenhouse. *BioRxiv*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1101/2020.09.17.301168>. 16. Kodmany Al. K. The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City. *Buildings*. 2018. Vol. 8(2).

P. 24. DOI: <https://doi.org/10.3390/buldings8020024/>. **17.** Weidner T., Yang A., Hamm M. W. Energy optimisation of plant factories and greenhouses for different climatic conditions. *Energy Convers Manag.* 2021. Vol. 243(10170). P. 114336. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114336>. **18.** Silverman K. The Sustainability and Scalability of Controlled Environment Agriculture. 2021. URL: <https://weekly.regeneration.works/p/-the-sustainability-and-scalability>. (дата звернення: 15.03.2026). **19.** Zhang Y., Kacira M. Comparison of energy use efficiency of greenhouse and indoor plant factory system. *Eur. J. Hortic. Sci.* 2020. № 85. P. 310–320. DOI: <https://doi.org/10.17660/eJHS.2020/85.5.23>. **20.** Zeidler C., Schubert D., Vrakking V. Vertical Farm 2.0: Designing an Economically Feasible Vertical Farm – A combined European Endeavor for Sustainable Urban Agriculture. *Vert. Farming.* 2017. URL: <https://www.researchgate.net/publication/321427717>. (дата звернення: 15.03.2026). **21.** Orsini F., Pennisi G. Sustainable use of resources in plant factories with artificial lighting (PFALs). *Eur. J. Hortic. Sci.* 2020. № 85. P. 297–309. DOI: <https://doi.org/10.17660/eJHS.2020/85.5.1>. **22.** Cossu M., Tiloca M. T., Cossu A., Deligios P. A., Pala T., Ledda L. Increasing the agricultural sustainability of closed agrivoltaic systems with the integration of vertical farming: a case study on baby-leaf lettuce. *Appl. Energy.* 2023. № 344. P. 121278. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121278>. **23.** Ibrahim H. A layered IoT architecture for greenhouse monitoring and remote control. *SN Appl. Sci.* 2019. Vol. 1 (3). DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0227-8>. **24.** Giua C., Materia V. C., Camanzi L. Smart farming technologies adoption: which factors play a role in the digital transition? *Technol. Soc.* 2022. № 68. P. 101869. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101869>. **25.** Vertical farming technologies by iFarm. URL: <https://ifarm.fi/technologie>. (дата звернення: 15.03.2026). **26.** Global agricultural land use by major crop type. URL: <https://ourworldindata.org/grapher/global-agricultural-land-use-by-major-crop-type>. (дата звернення: 15.03.2026).

REFERENCES:

1. UN DESA: United Nations Department of Economic and Social Affairs, World population projected to reach 9.6 billion by 2050. UN Dep. Econ. Soc. Aff. 2013. URL: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/un-report-world-population-projected-to-reach-9-6-billion-by-2050.html>. (дата звернення: 15.03.2026).
2. Бандач І. О., Нівін І. С. Міські фермерські утворення. Світові тенденції та перспективи розвитку в Україні. *Архітектурний вісник КНУБА*. 2018. № 16. С. 200–205. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/3025>. (дата звернення: 15.03.2026).
3. Vertical Farming – ATTRA – Sustainable Agriculture. URL: <https://attra.ncat.org/publication/vertical-farming>. (дата звернення: 15.03.2026).
4. Sowmya C., Anand M., Indu Rani C. et al. Recent developments and inventive approaches in vertical farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems.* 2024. № 8. P. 1400787. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1400787>.
5. Lubna F. A., Lewus D. C., Shelford T. J., Both A. J. What you may not realize about vertical farming. *Horticulturae.* 2022. Vol. 8(4). P. 322. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040322>.
6. Ahronovyny. Vertykalne

fermerstvo v Ukraini: naskilky prybutkovyi tsei biznes. AgroPortal.ua. URL: <https://agroportal.ua/publishing/idei-dlya-biznesa/vertikalne-fermerstvo-v-ukrajini-naskilki-pributkoviy-cey-bizes>. (data zvernennia: 15.03.2026). **7.** Kobayashi Y., Kotilainen T., Carmona-García G., Leip A., Tuomisto H. L. Vertical farming: a trade-off between land area need for crops and for renewable energy production. *J. Cleaner Production*. 2022. Vol. 379 (1). P. 134507. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.134507. **8.** Aborujilah A. Towards Sustainable Vertical Farming: A Systematic Review of Energy Return on Investment Efficiency and Optimization Strategies. *Sustainability*. 2025. № 17(18). P. 1–16. DOI: <https://ideas.repec.org/a/gam/jsusta/v17y2025i18p8142-d1746346.html>. (data zvernennia: 15.03.2026). **9.** Meinusch N., Kramer S., Körner O., Wiese J., Seick I., Beblek A., Berges R., et al. Integrated cycles for urban biomass as a strategy to promote a CO₂-neutral society: A feasibility study. *Sustainability*. 2021. Vol. 13(17). P. 9505. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13179505>. **10.** Barbosa G., Gadelha F., Kublik N., Proctor A., Reichelm L., Weissinger E., Wohlleb G., Halden R. Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods. *Int. J. Environ. Res. Public. Health*. 2015. № 12. P. 6879–6891. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph120606879>. **11.** Rajaseger G., Chan K. L., Yee Tan K. et al. Hydroponics: current trends in sustainable crop production. *Bioinformation*. 2023. № 19 (9). P. 925–938. DOI: <https://doi.org/10.6026/97320630019925>. **12.** Talaviya T., Shah D., Patel N., Yagnik H., Shah M. Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artif Intell Agric*. 2020. № 4. P. 58–73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.04.002>. **13.** Kilgore G. Truck CO₂ Emissions Per Km Calculator: Find Semi Truck Carbon Footprint. 2024. URL: <https://8billiontrees.com/carbon-offsets-credits/carbon-ecologicalfootprint-calculators/truck-co2-emissions-per-km-calculator>. (data zvernennia: 15.03.2026). **14.** Kanjilal D., Singh D., Reddy R., Mathew J. Smart farm: extending automation to the farm level. *Int J Sci Technol Res*. 2014. № 3(7). P. 109–113. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Smart-Farm%3A-Extending-Automation-To-The-Farm-Level-Kanjilal-Singh>. (data zvernennia: 15.04.2026). **15.** Tageldin A., Adly D., Mostafa H., Mohammed H. S. Applying machine learning technology in the prediction of crop infestation with cotton leafworm in greenhouse. *BioRxiv*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1101/2020.09.17.301168>. **16.** Kodmany Al. K. The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City. *Buildings*. 2018. Vol. 8(2). P. 24. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings8020024/>. **17.** Weidner T., Yang A., Hamm M. W. Energy optimisation of plant factories and greenhouses for different climatic conditions. *Energy Convers Manag*. 2021. Vol. 243(10170). P. 114336. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114336>. **18.** Silverman K. The Sustainability and Scalability of Controlled Environment Agriculture. 2021. URL: <https://weekly.regeneration.works/p/-the-sustainability-and-scalability>. (data zvernennia: 15.03.2026). **19.** Zhang Y., Kacira M. Comparison of energy use efficiency of greenhouse and indoor plant factory system. *Eur. J. Hort. Sci*. 2020. № 85. P. 310–320. DOI: <https://doi.org/10.17660/eJHS.2020/85.5.23>. **20.** Zeidler C., Schubert D., Vrakking V. Vertical Farm 2.0: Designing an Economically Feasible Vertical Farm – A combined European Endeavor for Sustainable Urban Agriculture. *Vert. Farming*. 2017. URL: <https://www.researchgate.net/publication/321427717>. (data zvernennia: 15.03.2026). **21.** Orsini F., Pennisi G. Sustainable use of resources in plant factories with artificial lighting (PFALs). *Eur. J. Hort. Sci*. 2020. № 85. P. 297–309. DOI:

<https://doi.org/10.17660/eJHS.2020/85.5.1>. **22.** Cossu M., Tiloca M. T., Cossu A., Deligios P. A., Pala T., Ledda L. Increasing the agricultural sustainability of closed agrivoltaic systems with the integration of vertical farming: a case study on baby-leaf lettuce. *Appl Energy*. 2023. № 344. P. 121278. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121278>. **23.** Ibrahim H. A layered IoT architecture for greenhouse monitoring and remote control. *SN Appl. Sci.* 2019. Vol. 1 (3). DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0227-8>. **24.** Giua C., Materia V. C., Camanzi L. Smart farming technologies adoption: which factors play a role in the digital transition? *Technol. Soc.* 2022. № 68. P. 101869. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101869>. **25.** Vertical farming technologies by iFarm. URL: <https://ifarm.fi/technologie>. (data zvernennia: 15.03.2026). **26.** Global agricultural land use by major crop type. URL: <https://ourworldindata.org/grapher/global-agricultural-land-use-by-major-crop-type>. (data zvernennia: 15.03.2026).

Yuvchyk N. O. [1; ORCID ID: 0000-0001-5629-0201],
Ph.D., Associate Professor,
Sribnyi M. V. [2; ORCID ID: 0000-0001-7809-8448],
Leading Researcher

¹*National University of Water and Environmental Engineering, Rivne*

²*Institute of Agriculture of the Western Polissia of the NAAS, Shubkiv village,
Rivne region*

VERTICAL FARMS AS AN INNOVATIVE APPROACH TO SUSTAINABLE AGRICULTURE

The agricultural sector is undergoing a transformation driven by innovative technologies aimed at improving the sustainability of food production. One of the key developments is vertical farming – a method of growing plants in a closed, controlled environment. This article examines the current state of development of vertical farms as an innovative technology for controlled agricultural production, which maximises output per unit of area and does not require the use of agricultural land, making it particularly effective in cities where space is limited. It analyses the main technological approaches, the principles of operation of vertical agricultural systems, and their advantages and disadvantages. Particular attention is paid to issues of energy efficiency, resource conservation, environmental safety, and the prospects for the use of vertical farming in the context of urbanisation and climate change. It has been established that vertical farms significantly reduce the use of land and water resources, enable a stable harvest

throughout the year, and minimise the negative impact on the environment. However, the practical implementation of this approach requires consideration of additional factors such as energy consumption, capital investment and operating costs, as well as the difficulties associated with growing certain crops and maintaining technological systems. In addition, vertical farms require constant monitoring of irrigation and lighting systems to ensure efficient production. Despite this, research findings indicate the advisability of further developing vertical farming technologies to enhance the sustainability of agriculture and the efficiency of resource use. Vertical farming is a strategic direction for the future of agricultural production, combining technological efficiency, sustainability and urban integration. For Ukraine, this is not only an opportunity to ensure food security, but also a chance to create a new niche in high-tech agribusiness, capable of operating even in times of crisis.

Keywords: vertical farms; energy efficiency; resource conservation; controlled environment; hydroponics; aeroponics; sustainable development.

Отримано / Received: 22.03.2026
Прийнято до друку / Accepted: 22.04.2026
Опубліковано / Published: 29.05.2026

