

В.М. Мартишко¹^[0000-0002-9846-7455], Ю.О. Гуменюк¹^[0000-0003-2463-1950], О.П. Деркач¹^[0000-0002-6881-3521],
Г.А. Герасимчук²^[0000-0002-1348-4927]

Національний університет біоресурсів та природокористування України¹
Луцький національний технічний університет²

МЕХАНІЗАЦІЯ І АВТОМАТИЗАЦІЯ САДІВНИЦТВА: ШЛЯХ ДО СТАЛОГО ТА ЕФЕКТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА

Питання механізації та автоматизації є надзвичайно актуальними в контексті впровадження інноваційних технологій у садівництві. Застосування сучасних рішень спрямоване на досягнення максимальної врожайності, високої якості плодів та значного зниження витрат ручної праці. Використання спеціалізованих машин та автоматизованих систем дозволяє оптимізувати технологічні ресурси, мінімізувати вплив людини на навколишнє середовище та зменшити ризики для здоров'я працівників. Сучасні машини для догляду за лісосмугами мають модульну конструкцію, що дозволяє адаптувати робочі органи до конкретних умов. Для захисту стовбурів дерев агрегати оснащені електрогідролічним механізмом відхилення, а активні компоненти живляться від гідравлічної системи трактора або автономного силового агрегату. Виробники пропонують моделі з переднім, заднім або середнім навісним обладнанням. Вітчизняні виробники вже активно впроваджують ці світові стандарти у власному виробництві. Результати досліджень підтверджують світову тенденцію переходу від традиційних методів механізації до інноваційних систем, заснованих на принципах автоматизації. Більшість процесів у садах зараз автоматизовані: самохідні шасі з автopilотом працюють автономно, а системи зрошення керуються дистанційно. Сільськогосподарські дрони використовуються для захисту рослин, а збір врожаю здійснюється за допомогою інтелектуально керованих комбайнів. Важливим кроком до впровадження сільськогосподарських дронів у садівництві буде можливість їх інтеграції в ширші системи автоматизації та покращення прийняття рішень, такі як метеостанції та системи зрошення та фертигації. Ключовими елементами цього процесу є моніторинг та IoT-рішення на основі датчиків вологості ґрунту та систем сканування крони. Технології диференційованого внесення добрив та засобів захисту рослин впроваджуються з урахуванням мінливості насаджень, тоді як глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS/GPS) забезпечують автономне пілотування обладнання між рядами. Автори узагальнюють світові тенденції механізації садівничої галузі та обґрунтовують пріоритетні напрямки використання автоматизованих систем у садівництві. Дослідження показало, що садівництво перебуває на ранніх стадіях трансформації, зумовленої поступовим переходом від механізованих до автоматизованих технологій. Це сприяє підвищенню ефективності виробництва та сталому розвитку галузі.

Ключові слова: садівнича галузь, механізація, автоматизація, роботизація, перспективи розвитку.

V.M. Martyshko, Yu.O. Gumenyuk, O.P. Derkach, H.A. Herasymchuk

MECHANIZATION AND AUTOMATION OF HORTICULTURE: THE PATH TO SUSTAINABLE AND EFFICIENT PRODUCTION

The issues of mechanization and automation are highly relevant in the context of introducing innovative technologies in horticulture. The application of modern solutions is aimed at achieving maximum yields, high-quality fruit, and a significant reduction in manual labor costs. The use of specialized machines and automated systems allows for the optimization of technological resources, minimization of human impact on the environment, and reduction of health risks for workers. Modern machines for maintaining tree-line strips feature a modular design, allowing working components to be adapted to specific conditions. To protect tree trunks, the units are equipped with an electro-hydraulic deflection mechanism, and the active components are powered by the tractor's hydraulic system or an autonomous power unit. Manufacturers offer models with front, rear, or mid-mount hitches. Domestic manufacturers are already actively implementing these global standards in their own production. Research results confirm the global trend of transitioning from traditional mechanization methods to innovative systems based on automation principles. Most orchard processes are now automated: self-propelled chassis with autopilot operate autonomously, and irrigation systems are controlled remotely. Agricultural drones are used for plant protection, and harvesting is carried out by intelligently controlled combines. An important step toward the adoption of agricultural drones in horticulture will be the ability to integrate them into broader automation systems and improve decision-making, such as weather stations and irrigation and fertigation systems. Key elements of this process include monitoring and IoT solutions based on soil moisture sensors and canopy scanning systems. Technologies for the differentiated application of fertilizers and plant protection products are implemented taking into account the variability of plantings, while global navigation satellite systems (GNSS/GPS) ensure autonomous piloting of equipment between rows. The authors summarize global trends in the mechanization of the horticulture industry and justify priority areas for the use of automated systems in horticulture. The study found that horticulture is in the early stages of a transformation driven by a gradual shift from mechanized to automated technologies. This contributes to increased production efficiency and the sustainable development of the industry.

Keywords: horticulture industry, mechanization, automation, robotization, development prospects.

Стан питання та постановка проблеми. Садівництво – це стратегічна галузь, що посідає ключове місце в агропромисловому комплексі України. За останнє десятиліття вітчизняний сектор садівництва продемонстрував суттєвий прогрес, забезпечуючи внутрішні потреби країни і стати стабільним експортера фруктової продукції на ринки ЄС [9]. Розвиток галузі неможливий без

© В.М. Мартишко, Ю.О. Гуменюк, О.П. Деркач, Г.А. Герасимчук

впровадження передових технологій та інноваційних методів. Одним із визначальних чинників трансформації садівництва є механізація та автоматизація технологічних процесів, які сприяють нарощуванню обсягів виробництва, повному задоволенню попиту на плодово-ягідну продукцію на внутрішньому ринку та розширенню експортного потенціалу [8].

Висока частка ручної праці, постійне зростання її вартості, а також гострий сезонний дефіцит кадрів актуалізують потребу в інноваційних підходах. Перехід від ручної праці до високотехнологічних рішень є не просто ознакою прогресу, а об'єктивною необхідністю, зумовленою браком робочої сили та жорсткими вимогами екологічної безпеки. У цьому контексті все більшої актуальності набуває впровадження автоматизованих та роботизованих систем, що відповідають викликам сучасності.

Питанням механізації та автоматизації процесів у садівництві присвячено праці низки провідних вітчизняних учених. Зокрема, технологічні та технічні аспекти механізації галузі висвітлено в дослідженнях [10, 11, 12]. Проблематика автоматизації та роботизації виробничих процесів знайшла відображення в роботах [13, 14, 15].

Попри наявні напрацювання, у вітчизняній науковій літературі залишаються недостатньо розкритими – як у теоретичному, так і в прикладному аспектах – питання інтенсифікації садівництва, передусім у контексті адаптації галузі до сучасних умов господарювання. Водночас сучасні зарубіжні публікації, зокрема праці [25, 26] широко висвітлюють поступове запровадження в садівництві інтелектуальних систем керування та роботизованих комплексів.

Особлива увага в дослідженнях авторів [31, 28] приділяється застосуванню агродронів при збиранні плодів, зрошенню садів, моніторингу та обприскування насаджень, що є ключовим чинником цифрової трансформації сучасного садівництва.

Впровадження інноваційних систем у практику сучасного садівництва відбувається одночасно з моніторингом поточного стану технічного забезпечення і комплексного аналізу роботизованих комплексів для наскрізної автоматизації технологій вирощування плодкових культур. До базових технологій цього напрямку належить застосування автономних мобільних платформ, здатних виконувати широкий спектр операцій: від садіння та зрошення до прецизійного захисту рослин і збирання врожаю з мінімальними пошкодженнями.

На відміну від рослинництва, садівництво потребує вузькоспеціалізованих технічних рішень. Це зумовлено специфікою агрофізичних параметрів насаджень: обмеженими міжряддями, різноманітністю структури крон дерев, а також підвищеними вимогами до збереження цілісності плодів під час механічного впливу.

Протягом останнього десятиліття в аграрному секторі України відбувся значний прогрес у сферах автоматизації та роботизації на засадах впровадження концепції точного землеробства. Цифрові інструменти – зокрема штучний інтелект (ШІ), Інтернет речей (IoT) та хмарні системи підтримки прийняття рішень – сприяють розробці та впровадженню дедалі складніших і високопродуктивних машин. Позитивний досвід трансформацій у суміжних галузях агропромислового комплексу створює передумови для активного застосування в садівництві сталих агротехнологій [16].

Зазначене актуалізує розробку науково обґрунтованих підходів до впровадження інновацій, що враховують специфіку галузі та стратегію розвитку цифровізації садівництва.

Мета дослідження – узагальнити світові тенденції механізації галузі та обґрунтувати напрямки використання автоматизованих систем у садівництві.

Матеріали та методи. У процесі дослідження використано комплекс наукових методів, зокрема: абстрактно-логічний – для узагальнення теоретичних і методичних засад; монографічний – при опрацюванні емпіричної бази. Джерельну основу дослідження склали матеріали наукових конференцій, спеціалізована література та актуальні відкриті дані мережі Інтернет.

Результати дослідження та обговорення. Рівень механізації садівництва в Україні не відповідає вимогам сучасних технологій. Ми маємо високі показники при оброботці ґрунту (в тому числі при догляді за насадженнями) – 90...95 %, хімічному захисті – 90 %, де можна адаптувати техніку загального призначення, і критично низькі при догляді за кроною – 25% і збиранні врожаю – 10 % [3].

В інтенсивних садах шпалерного типу рівень механізації вищий, проте автоматизація (використання систем без участі людини) впроваджується повільно через високу вартість впровадження. Окремі систем автоматизації (наприклад, роботи-збирачі) все ще знаходяться на стадії прототипів або тестування навіть у країнах ЄС та США [24].

Окремі господарства уже використовують високо механізовані системи з елементами автоматизації. Інтегровані датчики оптимізують обробіток ґрунту, полив та живлення рослин, що заощаджує ресурси і зменшує екологічне навантаження. Проте галузь потребує масштабування цифрових рішень.

В Україні питаннями механізації та автоматизації садівництва займаються профільні наукові установи, а також вітчизняні компанії-виробники спеціалізованої техніки. До провідних підприємств галузі належать: ПП «Агрореммаш-Плюс» (м. Кропивницький) – розробляє та виготовляє техніку для обрізування, обприскування, а також мульчування садів і виноградників; АТ «Ельворті» (м. Кропивницький) та ТОВ «Промінь» (м. Біла Церква) – спеціалізуються на виробництві сучасних ґрунтообробних машин; ТОВ «Львівсільмаш» – зосереджує діяльність на випуску високо ефективних садових обприскувачів.

На сьогодні в Україні власне серійне виробництво спеціалізованих садових тракторів відсутнє. Малі фермерські господарства переважно використовують універсальні китайські міні-трактори: вони приваблюють доступною ціною та компактністю, проте не є вузькоспеціалізованими машинами для професійного садівництва. Натомість великі агропідприємства віддають перевагу тракторам провідних світових брендів, обираючи моделі, що спеціально адаптовані для складних умов у садах і виноградниках. Лідерами на ринку спеціалізованих тракторів є такі серії: CLAAS NEXOS (Німеччина); Massey Ferguson (серія 3, США); New Holland (серія T4, США/Італія); Landini (серія Rex, Італія). Ці машини поєднують у собі, специфічні габарити та сучасні системи для ефективної роботи в садах і виноградниках.

Садовий трактор відрізняється від моделей загального призначення. Обмежений простір для маневрування диктує специфічні вимоги до габаритів: компактність дозволяє техніці працювати в міжряддях, не травмуючи гілки та плоди.

Конструкція таких тракторів оптимізована для роботи в обмеженому просторі: вони мають коротку колісну базу, мінімальну ширину колії та низьку габаритну висоту. Це зумовлює використання коліс невеликого діаметра та компактної кабіни.

У садівництві, де ширина міжрядь у середньому становить 3 м, використовують стандартні вузькоколісні моделі. У виноградарстві, де міжряддя можуть бути меншими за 1,5 м, застосовують спеціалізовані модифікації завширшки трохи більше ніж 1 м. Обмеження по висоті зазвичай складає 2,3–2,4 м, що дозволяє техніці вільно проходити під кронами дерев та виноградними шпалерами.

Окремі моделі оснащуються кріслом та кермом, що повертаються на 180°. Це дозволяє оператору ефективно працювати в режимі «задом-наперед», забезпечуючи зручний огляд начіпного обладнання. Для роботи з пестицидами трактор обов'язково обладнується герметичною кабіною з системою фільтрації повітря (категорії 4), що захищає від хімічних парів та аерозолів.

З огляду на різноманітність сучасного обладнання, трактор повинен мати універсальну задню начіпку. Для максимальної продуктивності бажана наявність передньої начіпки та переднього ВВП – це дозволяє використовувати комбіновані агрегати та виконувати кілька операцій за один прохід. Для стабільної роботи приводних знарядь необхідна висока продуктивність гідравліки (насос від 60 л/хв) та обов'язкова наявність системи охолодження оливи.

Трактори фірма *CLAAS* серії *NEXOS* випускає в 4^х варіантах: F, FB1, VL і VE, з мінімальною загальною шириною 1,46; 1,40; 1,26 і 1,00 м. Трактори оснащені двигунами потужністю від 65 до 106 к.с. Механічна трансмісія (16/16) та електрогідравлічне керування дозволяють маневрувати з радіусом розвороту від 3,06 м [21].

New Holland T4 та Massey Ferguson (серія 3) мають аналогічні конструктивні параметри та в обов'язковому порядку оснащуються системами фільтрації кабіни для захисту оператора під час хімічного обприскування насаджень.

Перспективними напрямками розвитку галузі є впровадження електротракторів та гібридних силових установок, що поєднують екологічність із високою ефективністю. Дослідження підтверджують, що електродвигуни на 30 – 40 % ефективніші за дизельні аналоги [7]. Прикладом такої інновації є італійський трактор Landini Rex4 Full-Hybrid, оснащений комбінованим електродвигуном-генератором з номінальною потужністю 50 кВт. У суто електричному режимі ця модель здатна працювати до 2 годин без підзарядки. Паралельно зростає роль автономних машин: завдяки GPS-навігації, сенсорам та штучному інтелекту вони функціонують без участі оператора, що мінімізує вплив людського фактора та гарантує високу точність обробітки садів.

До найбільш поширених механізованих та частково автоматизованих технологічних процесів в садівництві відносяться: обробіток ґрунту – де використовують дискові борони, культиватори, фрези косарки та мульчувачі з автоматичними пристроями керування; хімічний захист – в основному, вентиляторні обприскувачі; догляд за кроною – автоматизовані контурні обрізувачі дерев і кущів; збирання врожаю – спеціалізовані комбайни і плодозбирні платформи; зрошення (автоматичний полив) – системи краплинного або спринклерного поливу з автоматичними клапанами, які керуються таймерами, датчиками вологості або погодними даними.

Ключовою перевагою новітньої техніки є її модульна (секційна) конструкція. Вона дозволяє оперативно адаптувати агрегат до конкретних агротехнічних умов шляхом швидкої заміни робочих органів. Провідні світові виробники пропонують широку лінійку такого обладнання для комплексного вирішення завдань догляду за садами.

Найширший асортимент садових машин виробляють італійські компанії: SICMA S.p.A., Calderoni, GEO, Ideal S.r.l., Irrimec S.r.l. та N.Blosi. Значну нішу на ринку займають іспанська компанія ID David, данська Hardi, а також польські виробники Śleza та Weremczuk FMR, які спеціалізуються на техніці для ягідників і захисту рослин. У сегменті цифрових технологій провідну роль відіграє китайська компанія XAG – світовий лідер у виробництві безпілотних систем, зокрема агродронів та автономних наземних роботів.

Для догляду за ґрунтом зразком універсальної модульної техніки є культиватор PRO-2 (рис.1) від SICMA S.p.A. (Італія). Він призначений для обробітку ґрунту в ягідниках, виноградниках та інтенсивних садах із міжряддями 1,75–3,8 м [29].



Рис. 1. Культиватор SICMA PRO-2

Залежно від обраної технології утримання ґрунту, агрегат може комплектуватися різними змінними модулями: поворотними лапами для підрізання та вичісування бур'янів; секціями з горизонтальними ножами або вертикальними фрезами, а також поворотним тримером для скошування трави.

Для зрошення садів використовують машини та системи як вітчизняного, так і іноземного виробництва, в основі яких інновації технологічні рішення, що забезпечують мінімізацію негативного впливу ерозії ґрунту та втрат води.

Краплинне зрошення вважається найефективнішим методом поливу для садів завдяки точній подачі води безпосередньо до кореневої системи. Це забезпечує понад 90–95% ефективності використання ресурсів. Споживання води зменшується на 30–50% порівняно з традиційним дощуванням [17]. Вода подається малими порціями, що мінімізує випаровування та стікання. Рослини отримують вологу рівномірно, що сприяє глибокому розвитку коренів. Система дозволяє автоматизувати процес, заощаджуючи час та витрати на оплату праці. У виробництві обладнання для систем крапельного поливу компанія «Іррігатор Україна», що є дочірнім підприємством ізраїльської корпорації Metzer, є одним зі світових лідерів поливу [6].

Для зрошення розсадників і ягідників частіше використовують дощувальні машини барабанного типу з імпульсними спринклерами, що імітують природний дощ. Перевагами таких машин є мобільність і маневреність, що дозволяє оперативно переміщувати установку між окремими кварталами або секторами саду залежно від потреби у волозі. Барабанні машини здатні зрошувати кути та краї ділянок, досягаючи майже 100% покриття площі. Зразком таких систем є зрошувачі італійського виробництва компанії IRRIME [5].

Сучасні сади все частіше переходять на автоматизоване керування, що мінімізує людський фактор та оптимізує ресурси. Це не лише економія води, а й необхідний мікроклімат для рослин.

Особливе місце посідають «розумні» системи з можливістю дистанційного керування, адаптуючись до довкілля завдяки технічному оснащенню: датчики вологості, вимірюють стан ґрунту в реальному часі й активують полив тільки за потреби; метеостанції, аналізують прогноз погоди та автоматично скасовують сеанс під час дощу чи сильного вітру; мобільні додатки, дають змогу налаштовувати графіки та отримувати звіти про роботу системи з будь-якої точки світу [28].

Для хімічного захисту садів та ягідників вентиляторні обприскувачі залишаються базовим рішенням, їхня головна перевага – здатність створювати потужний повітряний потік, який забезпечує глибоке проникнення робочого розчину навіть у густу крону дерев. Завдяки робочому тиску до 10 бар досягається дрібнодисперсне розпилення, що гарантує рівномірне покриття всієї листової поверхні.

На ринку України представлена техніка як світових лідерів: IDEAL (Італія), Viscar (Німеччина), VAB Vamps NV (Бельгія), так і перевірених вітчизняних, зокрема ТОВ «Львівсільмаш». Використання європейських комплектуючих (насосів) у вітчизняних машинах дозволяє поєднати доступну вартість агрегату з високою якістю захисту рослин [20].

Для хімічного захисту пальметних садів застосовують тунельні обприскувачі. Конструкція таких машин складається з опорної рами, однієї або кількох закритих камер та системи рециркуляції робочого розчину. Завдяки закритому типу камер пестициди не потрапляють за межі зони обробки, оскільки рослини під час обприскування перебувають безпосередньо всередині тунелю [22].

Кожна камера обладнана вертикальними сталевими колекторами, розміщеними на протилежних стінках. На них встановлено від 5 до 10 форсунок, які розпилюють рідину, утворюючи дрібнодисперсний туман. Це гарантує рівномірне та якісне покриття листя і плодів.

Головною особливістю тунельних обприскувачів є система повторного використання розчину. Рідина, що не осіла на рослинах, збирається і повертається назад у бак. Ефективність рециркуляції залежить від фази вегетації: навесні, коли листя ще мало, відсоток повернення розчину до 70%; у літній період цей показник знижується до 20%. Переваги тунельних обприскувачів – можливість роботи у вітряну погоду та при прямому сонячному світлі, економія пестицидів на 50 – 70% та мінімальний вплив на довкілля.

На практиці господарства переходять від простих вентиляторних обприскувачів на користь систем з ISOBUS-сумісністю, які дозволяють керувати всіма функціями машини через стандартний (єдиний) термінал трактора.

Використання *GPS-навігації* у поєднанні з системами супутникового моніторингу дозволяє дистанційно керувати процесом застосування пестицидів на основі точних технологічних показників з використанням самохідних роботів або агродронів. Завдяки дисплею бортового комп'ютера оператор в режимі реального часу може контролювати ключові параметри: робочий тиск у системі, поточну та загальну витрату робочої рідини, робочу швидкість агрегату, оброблену площу та час роботи.

Особливо ефективним є застосування агродронів (рис.2) та автономних тракторів для точкового внесення пестицидів, що дозволяє точно визначати маршрут руху агрегатів і вносити пестициди виключно в тих зонах, де вони необхідні, мінімізувати їх вплив на довкілля та ризики для здоров'я людей [1].

На відміну від польових культур у садівництві, попит на агродрони-обприскувачі лише починає формуватися. Це зумовлено тим, що традиційні підходи в садівництві змінюються повільніше, ніж у рослинництві, а методи захисту багаторічних насаджень суттєво відрізняються від обробки польових культур.

Додаток до XAG має функцію автоматичного планування маршруту, залежно від форми та розміру саду, виявляє на віддалі до 80 метрів і обминає перешкоди. Однією з ключових переваг агродрона-обприскувача є його здатність здійснювати обліт саду з метою створення робочої карти [23].

Використання безпілотних рішень порівняно з традиційною технікою дозволяє до 90% економії пального та до 30% – пестицидів, оперативно виявляти осередки поширення шкідників і хвороб. За прогнозами фахівців, до 2028 року частка використання агродронів для внесення ЗЗР в українському садівництві сягне 20–25%, що стане значним успіхом.

Догляд за кроною – одна з найтрудомісткіших операцій у садівництві. Для детального обрізування використовують ручні, пневматичні або акумуляторні інструменти: ножівки, секатори та сучкорізи. Порівняно з пневматичними моделями, що потребують компресора, акумуляторні інструменти є значно зручнішими у використанні.



Рис. 2. Агродрон-обприскувач XAG P100 PRO

Для детального обрізування крон плодових дерев застосовують садові платформи, що забезпечують стабільний доступ до верхнього ярусу (на висоті 3,5 – 5,0 м) та створюють безпечні й комфортні умови праці. На українському ринку представлені причіпні моделі вітчизняного виробництва від ГК «Брацлав» і ТОВ «Агромаш-Калина», а також продукція фірми Agromasina S.A. (Молдова). Найбільш досконалою вважається універсальна самохідна італійська платформа Zip 30 фірми Blosi (рис. 3, а).

Використання такої техніки в поєднанні з пневматичним або акумуляторним інструментом дозволяє підвищити продуктивність у 1,5–2 рази та скоротити трудовитрати на 25–40%. Окрім економічного ефекту, робота із використанням платформи гарантує стабільну якість зрізу на всій висоті дерева та мінімізує зайві переміщення працівників у міжряддях [27].



Рис. 3. Самохідні садові платформи Zip 30 фірми Blosi: а) – для детального обрізування крон плодових дерев; б) – для збиранні плодів

Контурне обрізування – це дієвий спосіб мінімізувати ручну працю та пришвидшити догляд за садом. Найчастіше для цього використовують дискові обрізувачі з гідравлічним приводом. Це універсальне націпне обладнання, що сумісне з тракторами чи телескопічними навантажувачами. На українському ринку популярною моделлю такого типу є садовий обрізувач ОСК–9 від ТОВ «СИНТЕЗ АГРО».

Проте дискові системи мають недолік: вони часто не дорізають тонкі гілки, відхиляючи їх замість чистого зрізу, що пошкоджує кору. Для уникнення цієї проблеми, краще обирати машини зі зворотно-поступальним рухом ножів (принцип сегментно-пальцевої косарки). Прикладом такої техніки є італійський обрізувач FAMA SKR 250, який працює з гілками діаметром до 3 см («FAMA – fabbrica macchine»).

Оптимальною стратегією сьогодні є комбінована схема обрізування: контурний обрізувач виконує близько 80% робіт, формуючи верхню та бічні площини, а працівники з акумуляторними секаторами лише завершують процес, проріджуючи внутрішню частину крони. Такий підхід скорочує витрати часу на 50–70% порівняно з ручною роботою.

У перспективі інтенсивні сади проектуватимуть як «плодові стіни», адаптовані під повну автоматизацію. Це дозволить впровадити системи машинного зору, які скануватимуть дерево в реальному часі, поки штучний інтелект миттєво прийматиме рішення щодо зрізу кожної окремої гілки.

Збирання плодів – це ключовий етап у садівництві, оскільки частка витрат на цей процес становить від 15% до 40% у загальній структурі собівартості вирощування. Ефективність збирання врожаю забезпечується використанням спеціальних машин, які підбирають відповідно до біологічних особливостей культури і схем вирощування.

Застосування плодозбиральних платформ є загальноприйнятим технологічним стандартом у сучасних інтенсивних насадженнях зерняткових культур, що забезпечує високу якість плодів для реалізації у свіжому вигляді. Вони полегшують ручну працю, дозволяючи зручне переміщення збирачів на висоту, знімати плоди на різній висоті, та автоматично транспортувати плоди в контейнери, мінімізуючи механічні пошкодження.

Самохідна платформа Zip 30 фірми Blosi (рис. 3, б) дозволяє збирати плоди вручну на висоті до 4 метрів, має автоматичне вирівнювання на схилах, автоматизує логістику при збиранні та наповненні контейнерів. Платформу обслуговує ланка із 6 працівників, що забезпечує продуктивність на рівні 200...250 кг/год кожного. Платформа комплектується причепом для автоматизованого розвантаження контейнерів наповнених плодами [18].

Самохідна напівавтоматична платформа Frumaco Tescnofruit CF 105 (Італія) призначена для збирання плодів у садах із міжряддями від 3,0 до 3,9 м (рис. 4). Конструкція з чотирма бічними платформами дозволяє збирати врожай одночасно на трьох рівнях з кронами дерев заввишки до 3,6 м (рис. 4, а). Процес знімання плодів здійснюється вручну, проте їхнє подальше транспортування та заповнення контейнерів автоматизовано за допомогою спеціалізованих напівавтоматичних транспортерів.

Для роботи з контейнерами (встановлення, переміщення та розвантаження заповнених місткостей) передбачено спеціальний причіп (рис. 4, б). Самохідна платформа Tescnofruit CF 105 розрахована на групу до 6 осіб, а її продуктивність сягає 200–250 кг/год на кожного працівника [19].



Рис. 4. Самохідна садова платформа Frumaco Tescnofruit CF 105: а) – загальний вигляд; б) – процес переміщення і наповнення контейнерів плодами.

Плодозбиральні машини вібраційної дії, які працюють за принципом зупинки біля кожного дерева, актуальні переважно в садах старого типу. Продуктивність таких машин мала через низький коефіцієнт використання робочого часу через маневрування, позиціонування робочих органів щодо штамба та переїзди між деревами. Такі машини є найбільш ефективними для збирання кісточкових культур, плоди яких призначені для подальшої промислової переробки. Для збирання зерняткових плодів їх робота обмежена.

Потокові ягодозбиральні комбайни (для смородини, малини, агрусу) забезпечують високу продуктивність, максимальну повноту знімання врожаю та належний рівень чистоти зібраних ягід. Завдяки безперервному руху вздовж рядів та системам інтенсивного очищення від домішок (листя, гілок), ці машини забезпечують збір продукції як для промислової переробки (замороження, соки), так і для свіжого споживання.

Причіпний ягодозбиральний комбайн KAREN Weremczuk Agromachines (Польща) (рис. 5) призначений для збирання лохини, малини, ожини та жимолості [4].

Комбайн причіпний, оснащений двома вертикальними струшувачами з регульованою частотою струшування (рис. 5, а).

Завдяки цьому повнота збирання ягід досить висока при задовільній якості. Втрати струшених плодів мінімальні завдяки системі герметизації, що складається з кришок та уловлювачів.

У світі стає дедалі актуальнішим впровадження автономних машин і роботів, здатних збирати врожай без участі людини. Завдяки автономній навігації (GPS), штучному інтелекту (AI) та

сучасному апаратному забезпеченню роботи-збирачі самостійно пересуваються міжряддями садів і здійснюють вибіркове збирання плодів».

В університеті Монаша (Австралія) створили робота Apple Harvester для сканування садів і виявлення плодів. Під час роботи він аналізує колір і розмір кожного яблука, а також орієнтацію та розташування гілок. Робот знімає плоди за допомогою м'якого захвату чотирма «пальцями» з вакуумним приводом (рис.6, а). Це забезпечує мінімальне пошкодження врожаю та самого дерева, розпізнавати та збирати понад 90% плодів у радіусі 1,2 м, а на збирання одного яблука система витрачає менше ніж 7 секунд [24].



Рис. 5. Причіпний ягодозбиральний комбайн KAREN: а) – загальний вигляд в роботі; б) – сортування та очищення від сміття в комбайні

Компанія Tevel Aerobotics Technologies (Ізраїль) розробила платформу зі штучним інтелектом для збирання плодів допомогою «присосок» встановлених на штангах (рис.6, в, з). Система збору врожаю складається з 8 Flying Autonomous Robots (літаючі автономні роботи), встановлених на наземній платформі Darwin Harvesting Group (рис.6, б). При збиранні плодів дрони переміщуються серед гілок і вибирають тільки зрілі плоди без ознак пошкоджень. Збір врожаю відбувається без участі людей на всіх етапах [2].

Захоплення яблук дронами здійснюється вакуумною «присоскою» (рис.6, в), що мінімізує пошкодження плодів. Зняті яблука дрони укладають на стрічку платформи, а далі плоди потрапляють у контейнери. За інформацією розробників, літаючі роботи збирають понад 90% яблук в полі зору своєї камери, на відстані до 1,2 м із пошкодження менше ніж 6%.

Дротове живлення від платформи дає можливість літаючим дронам-збирачам працювати до тих пір, поки сама платформа отримує живлення. Якщо платформу заживити силовим кабелем, робота може тривати навіть у темний час доби [24].

Впровадження роботизованих систем збирання плодів в Україні у найближчій перспективі є малоімовірним через низку чинників: неадаптованість схем садіння та формування крон вітчизняних садів технічним вимогам обладнання, дефіцит інвестиційного капіталу та тривалий термін окупності такої техніки.

У перспективі автоматизація та роботизація садівництва ґрунтуватимуться на принципах точного землеробства з урахуванням галузевої специфіки. Ключовими компонентами цього процесу є: комплексний моніторинг та IoT-рішення – використання сенсорів вологості ґрунту, датчиків сканування крони та інших інтелектуальних пристроїв для збору даних у реальному часі; технології диференційованого внесення поживних речовин та засобів захисту рослин, що адаптуються до варіативності насаджень; глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS/GPS) для забезпечення проектування садів, цифрового картографування та автономного пілотування техніки в міжряддях.

Висновок. В результаті дослідження встановлено, що садівництво перебуває на початковому етапі трансформації, зумовленої поступовим переходом від механізованих до автоматизованих технологій. Це сприяє підвищенню ефективності виробництва і сталому розвитку галузі.

З'ясовано, причини недостатнього використання машин і автоматизованих систем, визначено фактори, що гальмують їх впровадження, та шляхи подолання цих перешкод. Визначено основні напрями механізації, автоматизації та модернізації технологій у садівництві.

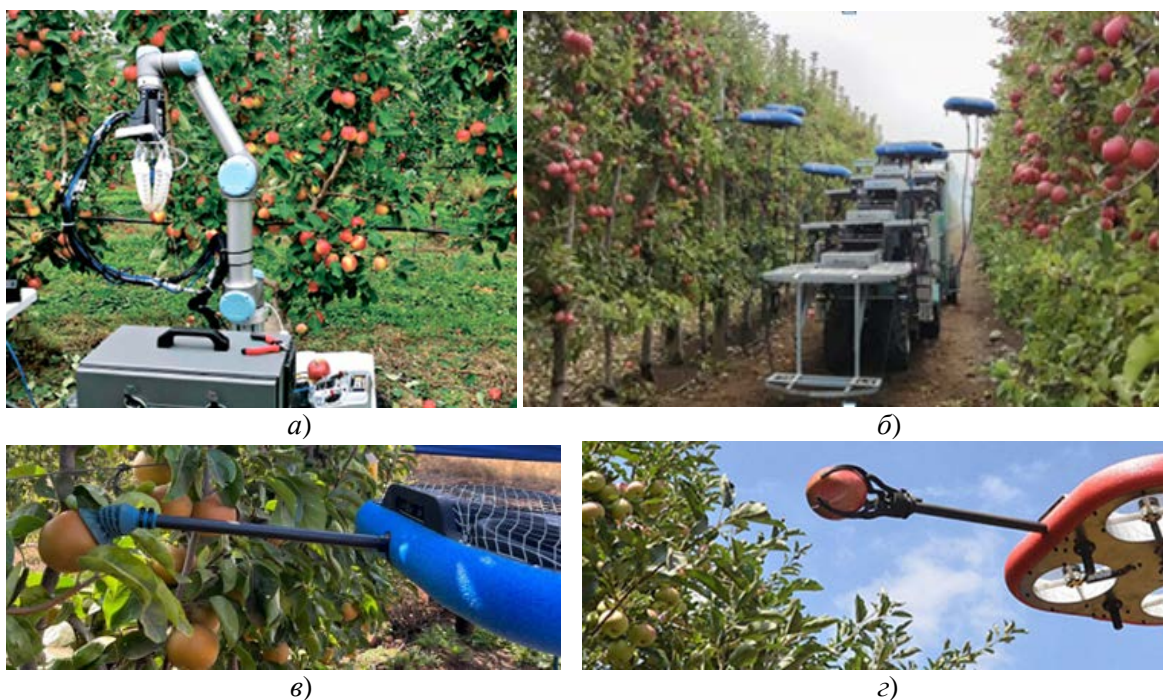


Рис. 6. Роботизовані платформи для збирання плодів: а) – платформа із захватами «пальцями» і пневматичним приводом; б) – платформа з літаючими роботами; в) – захоплення «присосками»; з) – захоплення за принципом роботи кисті руки.

Використання робототехніки та штучного інтелекту підтвердило значний потенціал для підвищення продуктивності та мінімізації втрат у садівництві. Завдяки методам точного землеробства вдалося оптимізувати розподіл ресурсів (води, добрив і засобів захисту), що забезпечило зростання врожайності. Для масштабного впровадження цих інновацій критично важливою є подальша синергія між розробниками технологій та фахівцями галузі.

Список використаних джерел:

1. Васильковська К.В., Андрієнко О.О., Шепілова Т.П.(2023) Ефективність агродронів в системі точного землеробства. Аграрні інновації (*The effectiveness of agricultural drones in precision farming. Agricultural innovations*). Вип. 16. С. 13-18. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov>. (дата звернення: 2023.17.2).
2. Журнал АГРОНОМ 28 листопада 2020. Tevel Aerobotics Technologies розробила літаючих роботів для збору фруктів. <https://www.agronom.com.ua/tevel-aerobotics-technologies-rozroblyala-litayuchyh-robotiv-dlya-zboru-fruktiv/>.
3. Комарова Н.В. Скрипник Л. Р., Камінецька О. В., Крупа Н. М. (2025). Сталій розвиток садівництва в Україні: екологічні та економічні аспекти (*Sustainable development of horticulture in Ukraine: environmental and economic aspects*). *Агросвіт*. № 4. С. 91–97. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.4.91>.
4. Комбайн KAREN – найбільш ефективне рішення для механізованого збирання ягід (2024) *The KAREN harvester is the most efficient solution for mechanized berry harvesting*). Журнал «Ягідник» 4 липня 2024 року. <https://www.jagodnik.info/kombajn-karen-najbilsh-efektyvne-rishennya-dlya-mehanizovanogo-zbyrannya-yagid/>.
5. Компанії IRRIME (*Irrimec*, <https://www.irrimec.com>).
6. Крапельне зрошення для садів та виноградників. Компанія «Ірригатор Україна». <https://irrigator.ua/kapelnoe-oroshenie-dlya-sadov/>
7. Мілаєва І. І., Мілаєв О. І.(2020). Історія розвитку, перспективи застосування електромобільної техніки (*The History of Development and Future Prospects for Electric Vehicle Technology*). Праці ТДАТУ 2020 р. Вип. 20, Т. 4. с. 239-245. DOI: 10.31388/2078-0877-2020-20-4-239-246
8. Мірзоева Т. В., Жарун О., В., Коротєєв М. А. (2025). Обґрунтування перспектив розвитку садівництва в Україні з урахуванням притаманних йому ризиків (*Justification of the prospects for the*

development of horticulture in Ukraine, taking into account the risks inherent in it). Журнал «Сталій розвиток економіки» № 2 (53). DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-53-17>.

9. Слепцова Л. П. (2025). Стан розвитку садівництва в Україні (*The state of horticulture development in Ukraine*). Вісник аграрної науки, № 11 (872), <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202511-08>

10. Славінський В.О. (2008). Особливості поверхневого обробітку ґрунту в садах за інтенсивною технологією із застосуванням крапельного зрошення (*Features of surface soil cultivation in orchards using intensive technology with drip irrigation*). Техніка АПК. №9, 10. С. 37–38.

11. Привалов І. С., Тимошок І. В., Соколов В. О., Майбенко М. І., Петренко С.О. (2015). Нові машини для галузі садівництва України (*New machines for the horticulture industry in Ukraine*). Садівництво, 209-216.

12. Тимошок І.В. (2016). Технології догляду за ґрунтом у садах (*Soil care technologies in orchards*). Журнал «Агробізнес Сьогодні» виноград» 29 грудня. <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1252-tekhnologii-dohliadu-za-gruntom-u-sadakh.html>.

13. Опришко О.О., Ромашук О.М., Цицюрський Ю.Л. (2025). Робототехнічні комплекси і системи: Навчальний посібник (Robotic complexes and systems: Textbook) / Київ: НУБіП України, 256 с.

14. Савченко О.А. (2025). Використання безпілотних літальних апаратів у моніторингу сільськогосподарських земель (Use of unmanned aerial vehicles in monitoring agricultural land). *Збірник статей II Всеукраїнської науково-практичної конференції Полтавського державного університету*. Полтава 17 квітня. С. 201 – 203.

15. Осіпов М.Ю., Рудь А.В. (2024). Інноваційні підходи до управління агрономічними процесами з використанням робототехніки та штучного інтелекту (*Innovative approaches to managing agronomic processes using robotics and artificial intelligence*). *Технічні науки. Випуск 4(45)*. С. 81. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-4.11>.

16. Поляков О. (2021). Штучний інтелект в агровиробництві. Інноваційні розробки в аграрній сфері. Молодь і технічний прогрес в АПВ (*Artificial intelligence in agricultural production. Innovative developments in the agricultural sector. Young people and technological progress in agricultural production*).: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Том 2. Харків: ХНТУСГ, С. 408-409. <https://khntusg.com.ua/wp-content/uploads>

17. Ромашенко М.І., Рокачинський А.М., Корюненко А.Т. (2015) Краплинне зрошення: Навчальний посібник (Drip irrigation: Textbook) / та ін. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 300 с.

18. Садова платформа N.BLOSI (Італія). <https://www.nblo.si.com>

19. Самохідні садова платформа Frumaco Tecnofruit CF 105 компанії ProduceTech (The Frumaco Tecnofruit CF 105 self-propelled orchard platform from ProduceTech) <https://producetech.com/en/products/cf105-1051-110-tecnofruit-harvesting-platform/>

20. Сушко І. (2002). Світові тенденції розвитку машин для хімічного захисту рослин (*Global trends in the development of machinery for chemical plant protection*)// Ж.Пропозиція.–№ 6–С. 95–99.

21. Трактори Садові. Компанія CLAAS. <https://www.claas.com/en-gb/press/press-releases/2025-11-09-nexos-2-cmatic>.

22. Тунельний обприскувач для виноградників економить засоби захисту рослин та паливо на 40% (*The tunnel sprayer for vineyards reduces the use of pesticides and fuel by 40%*). ПП «Агрореммаш-Плюс. <https://www.agroremmash-plus.com>.

23. Хаблук С. (2023). Мультиспектральний аналіз садів дронами (*Multispectral analysis of orchards using drones*) Медіа-ресурс GrowHow.in.ua 23 червня. <https://www.growhow.in.ua/multyspektralnyy-analiz-sadiv-dronamy-dlia-proridzhuvannia-tsvitinnia/>.

24. Apple Harvester 3 збирає яблуко за 7 секунд. Журнал AgroTimes 20 травня 2021 р. <https://www.ukrinform.ua/rubric-yakisne-zhyttia/3236469-v-avstralii-rozrobili-robotu-akij-moze-zbirati-odne-abluko-za-7-sekund.html>.

25. Das, R.; Bhat, S.; Katuria, S.; Singh, R.; Chhabra, G.; Malik, P. (2023) Technological advances in horticulture 4.0 based on artificial intelligence and the Internet of Things. In Proceedings of IEEE Devices for Integrated Circuit (DevIC). Kalyani, India, April 7–8.

26. Kaur, B., Dimri, S., Singh, J., et al. (2023). Analysis of harvesting tools and equipment for horticultural crops: from then to now, Journal of Agricultural and Food Research. 14, <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100814>.

27. Miranda Sazo, M., DeMaree, A., and Robinson, T. 2010. The Platform Factor – Labor Positioning Machines Producing Good Results for NY Apple Industry. NY Fruit Quarterly 18(2): 5–9. <https://nyshs.org/wp-content/uploads/2017/05/Wells-Pages-35-38-NYFQ-spring-book-2017.pdf>

28. Obaidin, K., Yusef, B. et al. (2022). A Review of Intelligent Irrigation Systems Using the Internet of Things, *Energy Nexus*. 7, <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100124>, 100124.

29. SICMA S.p.A. 2025. Міжрядний культиватор для виноградників та садів (*Inter-row cultivator for vineyards and orchards*). Компанія. <https://sicma.it/wp-content/schede-prodotti/interfilari/eng/Interfilare-Gruppo-Erpice-Rotante-Scheda-Prodotta.pdf>

30. Tevel Aerobotics Technologies розробила літаючі роботи для збирання фруктів. <https://www.agronom.com.ua/tevel-aerobotics-technologies-rozrobyla-litayuchyh-robotiv-dlya-zboru-fruktiv/>.

31. Zhou H., Wang H., Au W., Kang H., and Chen K. (2022). Intelligent robots for fruit harvesting: recent developments and future challenges, *Precision Agriculture.*, № 5, 1856–1907. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09913-3>

Дата надходження статті до видання: 02.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.03.2026

Дата оприлюднення 14.04.2026