МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Якимчук Назар Сергійович

УДК 631.331:633.63

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Удосконалення технологічного процесу вирощування полуниці з розробкою спеціальних грабель

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Якимчук Н.С.

Керівник роботи
Білецький В.Р.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Якимчук Назар Сергійович. Удосконалення технологічного процесу вирощування полуниці з розробкою спеціальних грабель.– *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

Кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню технологічного процесу вирощування полуниці з розробкою спеціальних грабель для обробітку рядків насаджень. У роботі проаналізовано сучасні технології вирощування полуниці у відкритому ґрунті та в умовах захищеного ґрунту, визначено їх переваги, недоліки та особливості застосування. Розглянуто стан виробництва полуниці в Україні та світі, площі насаджень, рівень урожайності й основні тенденції розвитку галузі. Особливу увагу приділено питанням механізації технологічних операцій, оскільки значна частина робіт під час вирощування полуниці все ще потребує великих затрат ручної праці. Для умов господарства розроблено технологію вирощування полуниці на площі 50 га із застосуванням сучасної техніки, БПЛА-моніторингу полів та роботизованих засобів боротьби з бур’янами. Складено технологічну карту вирощування культури та графік завантаження машинно-тракторного парку протягом виробничого сезону. У конструктивній частині обґрунтовано будову спеціальних грабель, призначених для згрібання відмерлого листя з рядків полуниці та переміщення його в міжряддя без пошкодження рослин. Запропоновані технічні й технологічні рішення спрямовані на зменшення затрат ручної праці, підвищення продуктивності виконання операцій, поліпшення фітосанітарного стану насаджень і загальної ефективності виробництва полуниці.

Ключові слова: полуниця, технологія вирощування, механізація, спеціальні граблі, БПЛА-моніторинг, роботизована боротьба з бур’янами.

ANNOTATION

Nazar Serhiyovych Yakymchuk. Improvements to the strawberry cultivation process through the development of specialised rakes. *– Qualification work on the rights of the manuscript*.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

This thesis is devoted to improving the technological process of strawberry cultivation through the development of specialised rakes for tilling the rows of strawberry plants. The thesis analyses modern technologies for growing strawberries in open fields and under protected conditions, identifying their advantages, disadvantages and specific applications. The current state of strawberry production in Ukraine and worldwide is examined, including the area under cultivation, yield levels and the main trends in the sector’s development. Particular attention is paid to the mechanisation of cultivation operations, as a significant proportion of the work involved in strawberry cultivation still requires a great deal of manual labour. A strawberry cultivation technology has been developed for farm conditions covering an area of 50 ha, utilising modern machinery, UAV field monitoring and robotic weed control systems. A cultivation flowchart and a schedule for utilising the machinery and tractor fleet throughout the growing season have been drawn up. The design section justifies the construction of specialised rakes designed to rake dead leaves from strawberry rows and move them into the inter-rows without damaging the plants. The proposed technical and technological solutions are aimed at reducing manual labour costs, increasing the productivity of operations, improving the phytosanitary condition of the plantations and the overall efficiency of strawberry production.

Keywords: strawberries, cultivation technology, mechanisation, specialised rakes, UAV monitoring, robotic weed control.

ЗМІСТ

ВСТУП……..……5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ПОЛУНИЦІ……..……9
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ПОЛУНИЦІ……16
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СПЕЦІАЛЬНИХ ГРАБЕЛЬ ДЛЯ ОБРОБІТКУ РЯДКІВ ПОЛУНИЦІ……..29
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……..…….……43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….……..…..46

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Полуниця, або суниця садова, є однією з найбільш поширених і цінних ягідних культур, яка користується стабільним попитом серед населення та має важливе значення для розвитку ягідництва в Україні. Її плоди відзначаються високими смаковими якостями, значним вмістом вітамінів, органічних кислот, мінеральних речовин і біологічно активних сполук. Завдяки ранньому достиганню, високій урожайності та можливості вирощування як у відкритому ґрунті, так і в умовах захищеного ґрунту, полуниця є перспективною культурою для фермерських, садівничих і спеціалізованих ягідних господарств.

Водночас технологічний процес вирощування полуниці є досить трудомістким. Значна частина операцій, зокрема догляд за насадженнями, боротьба з бур’янами, видалення старого листя, контроль фітосанітарного стану та збирання врожаю, потребує значних затрат ручної праці. Особливо складними є операції, пов’язані з доглядом за рядками рослин, оскільки при їх виконанні необхідно забезпечити високу якість обробітку та не допустити пошкодження розеток, листкового апарату і кореневої системи. У сучасних умовах, коли зростає вартість робочої сили, пального, засобів захисту рослин та експлуатації техніки, підвищення рівня механізації вирощування полуниці набуває особливої актуальності.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю удосконалення технологічного процесу вирощування полуниці шляхом впровадження сучасних засобів механізації, роботизації та цифрового моніторингу полів. Одним із важливих завдань є зменшення частки ручної праці під час догляду за насадженнями, зокрема при згрібанні та видаленні відмерлого листя з рядків. Наявні технічні засоби не завжди пристосовані до роботи на плантаціях полуниці, оскільки можуть пошкоджувати рослини, ущільнювати ґрунт у зоні рядка або не забезпечувати належної якості

виконання операції. Тому розробка спеціальних грабель для обробітку рядків полуниці є доцільною і практично важливою.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності технологічного процесу вирощування полуниці шляхом обґрунтування сучасної механізованої технології та розробки спеціальних грабель для догляду за рядками насаджень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання:**

– проаналізувати існуючі технології вирощування полуниці у відкритому ґрунті та в теплицях;

– дослідити стан виробництва полуниці в Україні та світі, а також рівень механізації основних технологічних операцій;

– розробити технологію вирощування полуниці для площі 50 га з урахуванням сучасних технічних засобів;

– скласти технологічну карту вирощування полуниці та графік завантаження техніки;

– передбачити використання БПЛА для моніторингу стану насаджень і робота для механізованої боротьби з бур’янами;

– обґрунтувати конструкцію спеціальних грабель для згрібання відмерлого листя з рядків полуниці;

– виконати необхідні конструктивні розрахунки основних вузлів і деталей розробленого знаряддя;

– оцінити практичну доцільність запропонованих технологічних і конструктивних рішень.

Об’єктом дослідження є технологічний процес вирощування полуниці в умовах спеціалізованого ягідного господарства.

Предметом дослідження є механізовані операції догляду за насадженнями полуниці, технологічна карта вирощування культури та конструктивні параметри спеціальних грабель для обробітку рядків.

У процесі виконання роботи використано аналітичний, розрахунковий, порівняльний і графічний методи дослідження. Аналітичний метод застосовано для вивчення існуючих технологій вирощування полуниці та технічних засобів для догляду за насадженнями. Розрахунковий метод використано під час складання технологічної карти, визначення потреби в техніці та обґрунтування параметрів розроблених грабель. Порівняльний метод дав змогу оцінити переваги запропонованих рішень порівняно з традиційними способами виконання операцій. Графічний метод використано для побудови схем, таблиць, діаграм і графіків завантаження техніки.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. . Білецький В.Р., **Якимчук Н.С.** Перспективи промислового вирощування полуниці в україні в умовах змін клімату та ринку. Збірник тез XII Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». 29 квітня 2026 року. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК. 2026. С. 150-153.

2. Білецький В.Р., Федорчук А.О., **Якимчук Н.С.** Технологічні аспекти вирощування полуниці. VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Запоріжжя: ТДАТУ. URL: https://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/bileckyj_26.pdf (дата звернення 07.06.2026).

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонована технологія вирощування полуниці на площі 50 га дозволяє більш раціонально організувати виконання основних виробничих операцій, зменшити затрати ручної праці, підвищити продуктивність машинно-тракторного парку та поліпшити якість догляду за насадженнями. Використання БПЛА забезпечує оперативний контроль стану рослин, виявлення проблемних ділянок поля та своєчасне прийняття технологічних рішень. Застосування робота для боротьби з бур’янами сприяє зменшенню потреби в ручному прополюванні та

скороченню використання хімічних засобів. Розроблені спеціальні граблі дають змогу механізувати процес згрібання відмерлого листя з рядків полуниці, покращити фітосанітарний стан насаджень і забезпечити виконання операції в оптимальні агротехнічні строки.

Отже, удосконалення технологічного процесу вирощування полуниці на основі сучасної техніки, цифрового моніторингу, роботизованих засобів догляду та спеціального знаряддя для обробітку рядків є важливим напрямом підвищення ефективності ягідного виробництва. Запропоновані в роботі рішення спрямовані на підвищення продуктивності праці, зниження виробничих витрат, поліпшення якості догляду за рослинами та забезпечення стабільного одержання високого врожаю полуниці.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновку та списку використаних джерел з 24 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 48 сторінок комп’ютерного тексту, містить 14 рисунків, 9 таблиць та 3 додатки

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ПОЛУНИЦІ

1.1. Значення культури та вимоги до технології вирощування

Полуниця, або суниця садова, належить до найбільш цінних ягідних культур завдяки ранньому достиганню, високій споживчій цінності, придатності до свіжого ринку та переробки. Для виробника ця культура є привабливою через швидке повернення вкладень, але водночас вона потребує точного дотримання строків виконання польових операцій, якісного садивного матеріалу, стабільного водозабезпечення, захисту від бур'янів, хвороб і шкідників. Особливістю насаджень є невелика висота рослин, розміщення генеративних органів поблизу поверхні ґрунту та висока чутливість кореневої системи до перезволоження, ущільнення і механічного пошкодження.

Сучасні технології вирощування полуниці можна поділити на дві великі групи: технології відкритого ґрунту та технології захищеного ґрунту. У першій групі переважають грядкові або стрічкові посадки з мульчуванням, краплинним зрошенням і використанням агроволокна чи плівки. У другій групі застосовують тунелі, теплиці, стелажні системи, субстратні мішки або жолоби з фертигацією. Вибір технології визначається розміром господарства, цільовим ринком, доступністю робочої сили, вартістю енергоносіїв, кліматичними ризиками та необхідністю подовження періоду плодоношення.

1.2. Технології вирощування полуниці у відкритому ґрунті

Традиційна технологія відкритого ґрунту ґрунтується на закладанні плантації на рівній поверхні або невисоких грядах із шириною міжрядь 0,7-1,0 м. Вона є відносно дешевою, не потребує складного обладнання і тому поширена в невеликих фермерських та особистих господарствах. Її недоліками є значна залежність від погодних умов, високі витрати ручної праці на прополювання, видалення вусів, очищення рядків від старого листя та збирання

врожаю. У перезволожені роки зростає небезпека сірої гнилі, а в посушливі періоди без зрошення різко знижується маса ягід.

Інтенсивніша технологія передбачає формування піднятих гряд, укладання краплинної стрічки та мульчувальної плівки або агроволокна. Таке рішення зменшує забур'яненість, стабілізує вологість ґрунту, полегшує збирання ягід і дає змогу вносити добрива через систему краплинного зрошення. За даними виробничих рекомендацій з пластикультури, однорічна грядкова система забезпечує вищу товарну врожайність, краще стримування хвороб і можливість отримати урожай через 7-8 місяців після садіння, тоді як маточна рядкова система потребує близько 12 місяців до повної віддачі [6].

Таблиця 1.1 - Порівняння основних технологій вирощування полуниці

Показник	Традиційний рядковий спосіб	Гряди з мульчею	Низькі/високі тунелі	Теплиця/стелажі
Капітальні витрати	Низькі	Середні	Середні/високі	Високі
Контроль вологи і живлення	Обмежений	Добрий за краплинного поливу	Добрий	Дуже високий
Залежність від погоди	Висока	Середня	Нижча	Найнижча
Механізація догляду	Часткова	Вища	Часткова, залежить від ширини проходів	Вища для поливу й клімату, нижча для збирання
Основні недоліки	Бур'яни, забруднення ягід, втрати від дощу	Вартість плівки, утилізація матеріалів	Потреба у вентиляції та контролі вологості	Висока вартість споруд і енергії

Для умов України найбільш реалістичним напрямом підвищення ефективності відкритого ґрунту є поєднання грядкової технології, краплинного зрошення, мульчування, сортування саджанців за якістю та механізованого виконання допоміжних операцій. Саме допоміжні операції, зокрема очищення рядків від відмерлого листя, часто залишаються ручними і створюють потребу у спеціалізованих робочих органах, які не пошкоджують розетки рослин.

1.3. Технології вирощування полуниці у теплицях і захищеному ґрунті

Захищений ґрунт охоплює низькі тунелі, високі тунелі, плівкові теплиці, скляні теплиці та субстратні стелажні системи. Тунелі захищають рослини від дощу, весняних приморозків і частини хвороб плодів. Огляд досліджень із захищеного вирощування показав, що в середньому товарна врожайність під тунелями була приблизно на 34% вищою, а загальна врожайність - на 30% вищою, ніж у відкритому ґрунті [7]. Водночас ефективність тунелів залежить від вентиляції, освітленості, сорту та вологості повітря.

Тепличні технології дають змогу отримувати продукцію раніше або поза основним сезоном. Рослини можуть вирощуватися у торф'яних або кокосових мішках, касетах, жолобах і на стелажах. Перевагою таких систем є контрольоване живлення через фертигацію, менший контакт ягід із ґрунтом, зручніші умови праці та можливість точніше регулювати мікроклімат. У технологіях із піднятим розміщенням рослин ягоди звисають униз, краще провітрюються, їх легше збирати, а ризик сірої гнилі зменшується завдяки сухішій поверхні плодів [8].

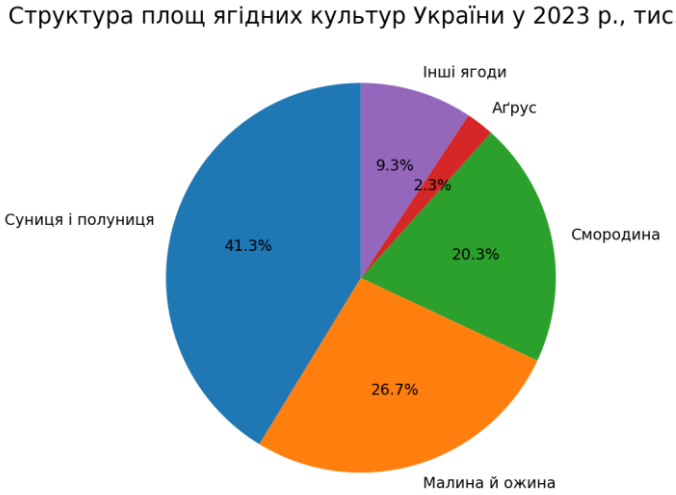


Рис. 1.1. Частка суниці та полуниці у структурі площ ягідних культур України у 2023 р.

Недоліками теплиць є висока вартість споруд, потреба у кваліфікованому персоналі, витрати на субстрати, систему живлення, вентиляцію, обігрів або

охолодження. За недостатньої вентиляції можливе перегрівання рослин і зниження врожайності; за високої вологості зростає ризик розвитку окремих хвороб. Тому захищений ґрунт доцільний передусім у господарствах, що працюють з ранньою продукцією, стабільними каналами збуту або високою ціною реалізації.

1.4. Площі вирощування полуниці в Україні та світі

В Україні суниця та полуниця залишаються найбільшою ягідною культурою за площею насаджень. За даними Державної служби статистики, узагальненими у профільних публікаціях, у 2023 році під ягідними культурами було 17,2 тис. га, з яких 7,1 тис. га, або 41,8%, припадало саме на суницю та полуницю [1]. Протягом 2013-2023 років площа цієї культури скоротилася з 9,2 до 7,1 тис. га. Основними причинами є воєнні ризики, втрата частини виробничих територій, дефіцит сертифікованих саджанців, нестача робочої сили та висока собівартість ручних операцій.

Таблиця 1.2 – Динаміка площі, валового збору та урожайності суниці/полуниці в Україні

Рік	Площа, тис. га	Валовий збір, тис. ц	Урожайність, ц/га
2013	9.2	706.9	82.7
2014	8.7	668.6	81.1
2015	8.6	640.3	78.2
2016	8.0	619.3	77.0
2017	8.2	550.4	68.6
2018	8.3	623.3	77.1
2019	8.2	626.2	77.0
2020	8.6	551.7	67.9
2021	8.3	622.5	77.3
2022	7.1	543.1	74.8
2023	7.1	533.8	76.7

Валовий збір суниці та полуниці у 2023 році становив 533,8 тис. ц, тобто близько 53,4 тис. т. Порівняно з 2013 роком це менше приблизно на чверть, тоді як урожайність знизилася з 82,7 до 76,7 ц/га. Окремо слід враховувати, що значна частина офіційної статистики в умовах війни є неповною: частина

територій не охоплюється спостереженням або дані не оприлюднюються з міркувань конфіденційності [1, 2].

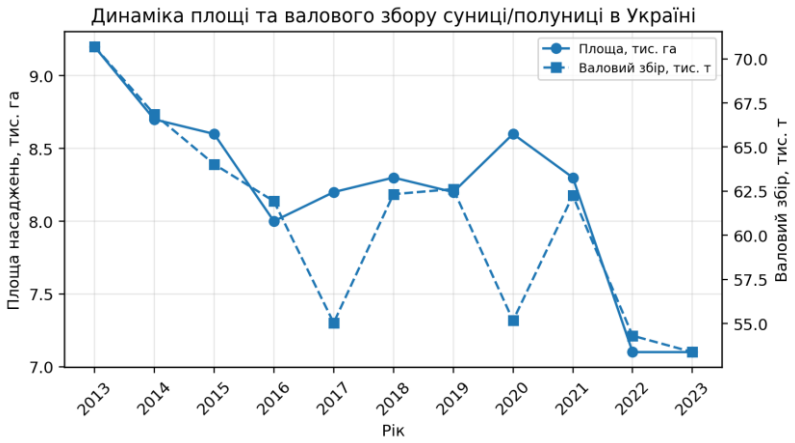


Рис. 1.2. Динаміка площі та валового збору суниці/полуниці в Україні у 2013-2023 рр.

У світовому виробництві полуниця займає сотні тисяч гектарів. За ринковою оцінкою IndexBox, у 2023 році світова зібрана площа становила близько 394 тис. га, а інша оцінка цього ж джерела для оновленого огляду ринку визначає максимум 2023 року на рівні близько 435 тис. га [4]. Різниця між оцінками пояснюється оновленням баз даних та методики ринкового агрегування, тому для дипломного аналізу доцільно використовувати інтервал 0,39-0,44 млн га. Найбільші площі традиційно зосереджені у Китаї, Польщі, Росії, США, Мексиці, Туреччині, Німеччині та Єгипті. Дані FAOSTAT публікуються за показниками площі збирання, урожайності та виробництва [3].

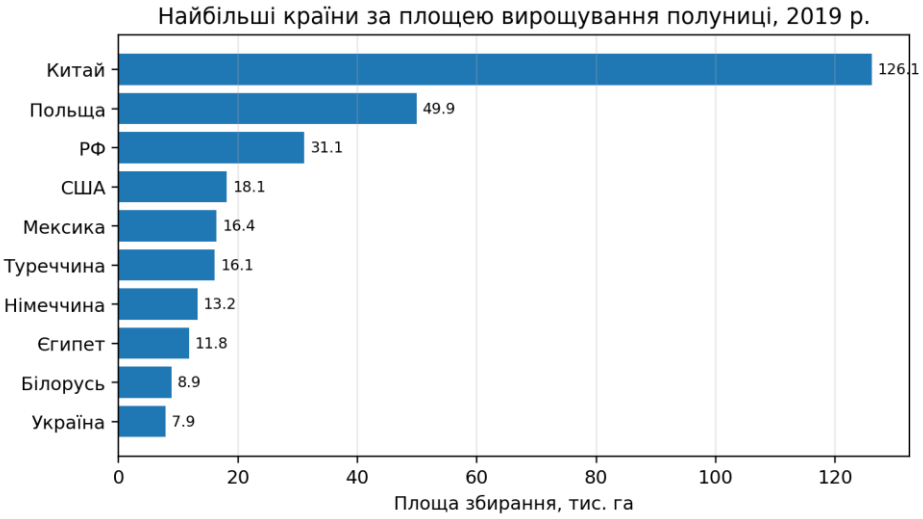


Рис. 1.3. Найбільші країни за площею вирощування полуниці у 2019 р.

1.5. Рівень механізації технологічного процесу

Рівень механізації вирощування полуниці є нерівномірним. Підготовка ґрунту, основний і передпосівний обробіток, формування гряд, укладання плівки та краплинної стрічки, внесення добрив, обприскування і міжрядний обробіток можуть виконуватися машинно-тракторними агрегатами. У більших господарствах застосовують грядоутворювачі, мульчоукладачі, саджалки розсади, обприскувачі, косарки для листя, міжрядні культиватори та транспортні платформи. Проте операції, що безпосередньо виконуються у зоні рядка, мають нижчий рівень механізації через небезпеку травмування рослин.

Найбільш трудомістким етапом залишається збирання врожаю. Ягода достигає нерівномірно, потребує багаторазового проходу, ручного сортування та обережного укладання в тару. Роботизоване збирання і системи комп’ютерного зору розвиваються, але у більшості господарств вони ще не замінюють ручну працю. Тому механізація допоміжних операцій, які не потребують вибіркового відокремлення ягід, є практичнішим резервом зниження трудових витрат.

Таблиця 1.3 – Оцінка механізації основних операцій вирощування полуниці

Операція	Можливі машини та засоби	Рівень механізації	Проблемні місця
Підготовка ґрунту	Плуги, дискові борони, фрези, культиватори	Високий	Ущільнення ґрунту, потреба у вирівнюванні
Формування гряд і мульчування	Грядоутворювачі, мульчоукладачі, укладачі краплинної стрічки	Високий/ середній	Вартість плівки та налаштування агрегатів
Садіння	Ручне або механізоване садіння розсади	Середній	Потрібна однакова якість саджанців
Полив і живлення	Краплинне зрошення, фертигаційні вузли	Високий	Контроль води, фільтрація, рівномірність тиску
Захист рослин	Штангові, вентиляторні, ранцеві обприскувачі	Середній/високий	Точність у вузьких міжряддях
Догляд у рядку	Щіткові, пальцеві, пружинні робочі органи, спеціальні граблі	Низький/середній	Ризик пошкодження розеток
Збирання ягід	Ручне збирання, транспортні платформи, роботи-допоміжники	Низький	Делікатність ягід і вибіркове достигання

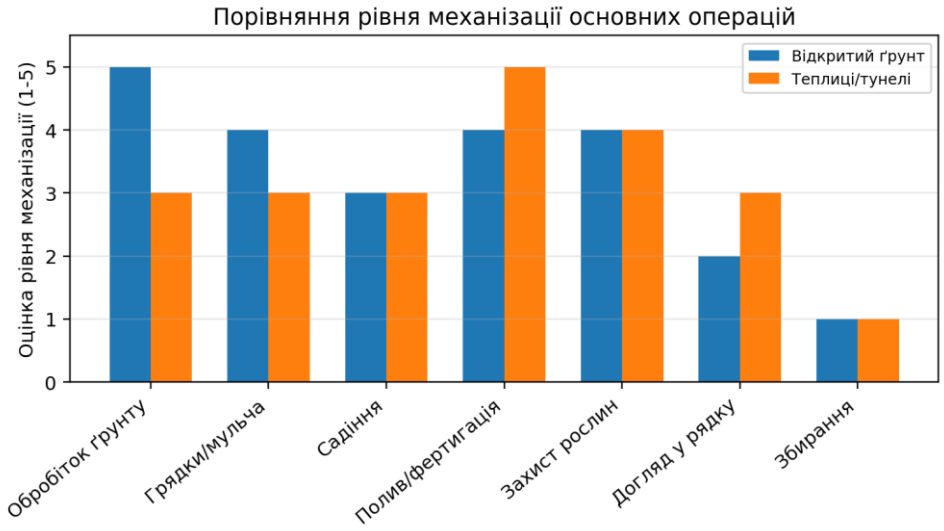


Рис. 1.4. Узагальнена оцінка рівня механізації технологічних операцій вирощування полуниці.

Висновки по розділу

Аналіз існуючих технологій показує, що вирощування полуниці розвивається у двох напрямах: удосконалення інтенсивних систем відкритого ґрунту та розширення захищеного вирощування. Відкритий ґрунт залишається доступнішим і придатним для більшості українських господарств, але він вразливий до погодних ризиків і потребує значних витрат ручної праці. Захищений ґрунт дає змогу підвищити врожайність, якість ягід і тривалість сезону, однак потребує значних інвестицій та ретельного керування мікрокліматом. Статистичні дані свідчать, що в Україні площі під суницею та полуницею скорочуються, хоча культура зберігає провідне місце у структурі ягідників. Найменш механізованими залишаються операції в зоні рядка, зокрема очищення насаджень від старого листя і збирання врожаю. Тому розробка спеціальних грабель для обробітку рядка є обґрунтованою, оскільки вона спрямована на зменшення ручної праці, своєчасне виконання догляду за насадженнями та зниження ризику пошкодження рослин.

РОЗДІЛ 2
ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ПОЛУНИЦІ

2.1. Вихідні умови проектування технологічного процесу

Проектування технології вирощування полуниці виконується для спеціалізованого ягідного господарства з площею промислових насаджень 50 га. У роботі культуру доцільно розглядати як суницю садову, що у виробничій практиці часто називається полуницею. Основне завдання розділу полягає у формуванні такої системи польових робіт, яка забезпечує своєчасне виконання операцій, зменшує частку ручної праці у догляді за насадженням і створює умови для стабільної врожайності за рахунок краплинного зрошення, точного моніторингу та механізованого очищення рядків.

Для проекту прийнято вирощування полуниці у відкритому ґрунті на грядах із краплинним зрошенням і мульчувальною плівкою. Така схема є найбільш поширеною для товарного ягідництва, оскільки дає змогу поєднати збереження вологи, зменшення забур’яненості, чистоту ягід під час збирання і можливість виконання міжрядних робіт малогабаритною технікою. Водночас технологія доповнюється роботизованою боротьбою з бур’янами та регулярним обстеженням поля за допомогою БПЛА.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи передбачено спеціальні граблі для згрібання старого листя з рядка у міжряддя. Тому у технологічній карті ці граблі включаються у дві ключові операції: весняне очищення насаджень від відмерлого листя та післязбиральне видалення листкових решток після скошування. Це дозволяє зменшити трудомісткість ручного згрібання, прискорити санітарне очищення поля і знизити запас інфекційного початку та шкідників у насадженні.

Прийнята схема садіння 0,70 х 0,28 м забезпечує достатню густоту рослин та залишає міжряддя для проходу малогабаритної техніки. За такої схеми загальна довжина рядків на 1 га становить близько 14,3 км, а на 50 га - понад 714 км. Саме тому особливого значення набувають операції, які зменшують

ручні проходи по рядках: механічне прополювання роботом, БПЛА-контроль проблемних зон та застосування спеціальних грабель для видалення старого листя.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для проектування технології на площі 50 га

Показник	Прийняте значення	Пояснення
Площа насаджень	50 га	Єдина виробнича ділянка або кілька полів із загальною площею 50 га
Система вирощування	Відкритий ґрунт, гряди, краплинне зрошення, мульчувальна плівка	Основна промислова технологія для товарної ягоди
Схема садіння	0,70 х 0,28 м	Відповідає роботі техніки у міжряддях 0,7 м
Густота рослин	приблизно 51 тис. рослин/га	10000/(0,70*0,28)
Потреба в розсаді	2,55 млн шт.; з резервом 2,68 млн шт.	Резерв 5 % на підсаджування
Краплинна стрічка	приблизно 714 км без резерву	10000/0,70 = 14286 м/га
Планова врожайність	18 т/га	Для розрахунку навантаження транспорту і збиральних робіт
Плановий валовий збір	900 т	50 га * 18 т/га

2.2. Обґрунтування системи вирощування полуниці

Промислова технологія вирощування полуниці має враховувати біологічні особливості культури: поверхневе розміщення кореневої системи, високу чутливість до нестачі вологи, потребу в доброму повітряному режимі ґрунту, значну залежність якості ягід від чистоти міжрядь і санітарного стану листкового апарату. Тому у проекті передбачено поєднання ґрунтозахисних та високопродуктивних операцій, а також точне регулювання поливу і живлення.

На підготовчому етапі поле очищують від післяжнивних решток, проводять агрохімічне обстеження, вносять органічні добрива, виконують глибоке розпушування та передсадивну культивацію. Глибоке розпушування включено до технології тому, що полуниця негативно реагує на ущільнений підорний шар: погіршується відведення надлишкової води, зменшується об’єм активної кореневої зони і зростає ризик вимокання. Перед садінням формується вирівняна гряда, на яку одночасно укладається краплинна стрічка і мульчувальна плівка.

Краплинне зрошення у запропонованій технології виконує дві функції: забезпечує рівномірне зволоження кореневої зони та використовується для фертигації. Порівняно з дощуванням така система зменшує зволоження листя і ягід, що позитивно впливає на фітосанітарний стан насадження. Для контролю режиму поливу передбачено використання датчиків вологості ґрунту та карт стану рослин, сформованих за результатами БПЛА-обльотів.

Мульчувальна плівка обмежує проростання бур'янів у рядку, зберігає вологу і зменшує забруднення ягід ґрунтом. Проте в міжряддях бур'яни продовжують розвиватися, особливо після поливів і опадів. Тому для механізованої боротьби з ними до технології включено роботизовану платформу, яка виконує повторні проходи у міжряддях із малим тиском на ґрунт. Робот працює за цифровою картою поля, орієнтується по рядках і може обробляти ділянки вибірково, коли проблема виявлена БПЛА.

Таблиця 2.2 – Порівняння традиційної та проектної технології вирощування полуниці

Елемент технології	Традиційне виконання	Запропоноване виконання	Очікуваний ефект
Моніторинг стану насаджень	Періодичний ручний огляд поля	Планові польоти БПЛА, ортофотоплани, карти стресу	Швидше виявлення нерівномірного поливу, випадів, осередків хвороб і бур'янів
Боротьба з бур'янами	Ручне прополювання та міжрядна культивація трактором	Роботизована механічна прополка у міжряддях	Зменшення ручної праці та ущільнення ґрунту
Санітарне очищення рядків	Ручні граблі та вивезення листя бригадами	Спеціальні граблі, що згрібають листя у міжряддя	Скорочення строків весняного і післязбирального догляду
Полив і живлення	Полив за календарем або візуальною оцінкою	Краплинне зрошення, фертигація, контроль вологості	Економія води і добрив, рівномірність росту
Організація робіт	Рішення приймаються після огляду всієї площі	Роботи плануються за технологічною картою та цифровими спостереженнями	Зменшення простоїв і концентрація техніки у критичні строки

Схема технологічного процесу показує, що БПЛА у проектній технології не є окремою допоміжною операцією, а виконує роль інформаційного елемента

системи керування. Дані обльотів використовують для встановлення ділянок із пересиханням, перезволоженням, нерівномірним розвитком рослин, появою бур’янів або пошкодженнями після заморозків. Після цього оператор коригує графік поливу, захисту рослин, роботу робота-прополювача або потребу у ручному огляді окремих зон.



Рис. 2.1. Структурна схема проектної технології вирощування полуниці.

2.3. Підбір машинно-тракторних агрегатів та спеціальних засобів.

Підбір техніки для площі 50 га виконано з урахуванням двох вимог. По-перше, енергоємні операції основного обробітку ґрунту повинні виконуватися швидко, до настання оптимального строку формування грядок. По-друге, догляд за насадженнями потребує легких, маневрових і точних машин, які не пошкоджують рядки, не ущільнюють ґрунт у зоні кореневої системи та можуть працювати з невеликою шириною міжрядь.

Основні ґрунтообробні операції доцільно виконувати трактором потужністю 140-160 к.с., оскільки глибоке розпушування і внесення органічних добрив вимагають значного тягового зусилля. Для передсадивної культивації, обприскування, транспортування тари, роботи з причепами і обслуговування системи зрошення передбачено трактори класу 80-90 к.с. Окремо виділено два малогабаритні трактори Т-25А зі спеціальними граблями, оскільки їхня мала маса і вузькі шини краще відповідають умовам руху у міжряддях полуниці.

Спеціальні граблі застосовуються як санітарний агрегат. Їх робочі органи не повинні розпушувати ґрунт як культиватор, а мають акуратно підняти і перемістити старе листя з рядка у міжряддя. Після формування валка листкові рештки вивозять з поля. Для технологічної карти прийнято дві однакові секції грабель, що працюють агрегатовано з тракторами Т-25А. Це забезпечує виконання операції на 50 га у стислі агротехнічні строки.

Таблиця 2.3 – Склад техніки та обладнання для проектної технології на 50 га

Машина або обладнання	Основне призначення	Кількість	Обґрунтування використання
Трактор тягового класу 1,4 (80-90 к.с.)	Дискування, культивація, обприскування, транспортні роботи	2	Універсальний агрегат для більшості робіт у міжряддях і на краю поля
Трактор 140-160 к.с.	Глибоке розпушування, оранка, внесення органічних добрив	1	Потрібний для енергоємних операцій основного обробітку ґрунту
Дискова борона 3,0-3,5 м	Лущення стерні та подрібнення решток	1	Робота після попередника і перед оранкою
Глибокорозпушувач 3 м	Розущільнення ґрунту на 35-40 см	1	Покращує водопроникність і розвиток кореневої системи
Розкидач органічних добрив 8-10 т	Внесення компосту або перепрілого гною	1	Норма прийнята 25 т/га
Грядкоутворювач із укладачем краплинної стрічки та плівки	Формування грядок, укладання стрічки і мульчі	1	Забезпечує одночасне виконання трьох операцій
Саджалка розсади суниці	Висаджування розсади у підготовлену грядку	1	Продуктивність залежить від кількості посадкових місць і подачі розсади
Обприскувач штанговий 800-1200 л	Захист рослин та листкове підживлення	1	Використовується за даними моніторингу і прогнозу погоди
Роботизована платформа для механічного прополювання	Міжрядний обробіток і підрізання бур’янів	2	Працює повторними проходами з невеликою швидкістю та високою точністю
БПЛА з RGB/мультиспектральною камерою	Моніторинг сходів, стресів, забур’яненості, зон поливу	1 комплект	Політ 1 раз на 10-14 діб і додатково після стресових факторів
Спеціальні граблі до Т-25А	Згрібання старого листя з рядка у міжряддя	2	Прийняті за конструкцією третього розділу: рух у міжрядді 0,7 м, робочі секції на базі бруса КОН-2,8
Причепи та польові платформи	Перевезення розсади, тари, ягід, листкових решток	3	Зменшують простої збирачів і забезпечують своєчасне вивезення продукції

БПЛА прийнято як мобільний засіб контролю. Один комплект із камерою видимого діапазону та, за потреби, мультиспектральним модулем забезпечує

обліт 50 га за 2-3 години з урахуванням підготовки, заміни акумуляторів і первинної обробки даних. Отримані карти не замінюють агрономічний огляд, але значно звужують зони детальної перевірки.

Роботизовану платформу доцільно використовувати не одноразово, а системно протягом періоду активного росту бур'янів. Невелика продуктивність одного робота компенсується точністю обробітку, можливістю працювати у повторних проходах і зменшенням залучення сезонних працівників для прополювання. У проекті прийнято два роботи-прополювачі, що дає змогу розподілити роботу між полями або паралельно виконувати прополювання різних кварталів плантації.

2.4. Технологічна карта вирощування полуниці на площі 50 га

Технологічна карта розроблена для виробничого циклу закладання та догляду за промисловою плантацією полуниці площею 50 га. У карті поєднано традиційні операції підготовки ґрунту, садіння, поливу і захисту рослин із сучасними елементами точного землеробства: БПЛА-моніторингом, роботизованою боротьбою з бур'янами та спеціальними граблями для санітарного очищення рядків. Норми продуктивності прийнято як орієнтовні проектні величини, що можуть уточнюватися залежно від конфігурації поля, рельєфу, стану ґрунту, марки машин і організації роботи.

За даними технологічної карти найбільше навантаження припадає на період підготовки поля і садіння, а також на період плодоношення. У серпні одночасно виконуються остаточна підготовка ґрунту, формування грядок, укладання краплинної стрічки, мульчування і садіння. Цей період є критичним, оскільки запізнення з будь-якою операцією зміщує строки укорінення рослин. У весняно-літній період найбільше часу займають роботизоване прополювання, полив, захист рослин, збирання врожаю та транспортування ягід.

Таблиця 2.4 – Технологічна карта вирощування полуниці на площі 50 га

№	Операція	Строк	Обсяг	Агрегат / обладнання	К-сть	Продуктивність	Затрати часу	Паливо / енергія	Примітка
1	Агрохімічне обстеження ґрунту, відбір зразків	VII	50 га	БПЛА + ручний відбір проб	1	25 га/год	2,0	-	Створення карти неоднорідності поля
2	Лущення стерні після попередника	VII	50 га	Трактор 80 к.с. + дискова борона 3,2 м	1	2,5 га/год	20,0	350 л	Перший протибур’яновий захід
3	Внесення органічних добрив, 25 т/га	VII-VIII	1250 т	Трактор 150 к.с. + розкидач 10 т	1	35 т/год	35,7	280 л	Використовують компост або перепрілий гній
4	Глибоке розпушування на 35-40 см	VIII	50 га	Трактор 150 к.с. + глибокорозпушувач	1	1,4 га/год	35,7	900 л	Руйнування ущільненого шару
5	Оранка або глибоке чизелювання з вирівнюванням	VIII	50 га	Трактор 150 к.с. + плуг/чизель	1	1,2 га/год	41,7	850 л	Закладання добрив і підготовка орного шару
6	Передсадивна культивація та планування поверхні	VIII	100 га	Трактор 80 к.с. + культиватор 4 м	1	3,0 га/год	33,3	450 л	Два проходи для дрібногрудкуватого шару
7	Формування грядок, укладання краплинної стрічки і мульчувальної плівки	VIII	50 га	Трактор 80 к.с. + грядкоутворювач-мульчувач	1	0,8 га/год	62,5	500 л	Стрічка орієнтовно 714 км без резерву
8	Монтаж насосно-фільтрувального вузла та магістралей	VIII	50 га	Бригада + фронтальний навантажувач	1	5 га/зміну	80,0 люд.-год	60 л	Промивання системи перед садінням
9	Садіння розсади за схемою 0,70 х 0,28 м	VIII-IX	2,55 млн рослин	Трактор 80 к.с. + саджалка розсади	1	0,45 га/год	111,1	600 л	З резервом потрібно близько 2,68 млн рослин
10	Післясадивний полив і укорінення	VIII-IX	50 га	Краплинна система + фертигаційний вузол	1	50 га/цикл	20,0 люд.-год	ел. енергія	Контроль рівномірності зволоження
11	БПЛА-моніторинг приживлюваності	IX	50 га	БПЛА RGB/NDVI	1	25 га/год	2,0	акум.	Виявлення пропусків, пересихання і перезволоження
12	Роботизоване механічне прополювання восени	IX-X	150 га	2 роботи-прополювачі	2	0,75 га/год	200,0	ел. енергія	Три проходи з інтервалом 12-15 діб
13	Осінній захист рослин та листкове підживлення	IX-X	150 га	Трактор 80 к.с. + обприскувач 1000 л	1	10 га/год	15,0	180 л	За результатами огляду і моніторингу
14	Весняне згрібання відмерлого листя спеціальними граблями	III	50 га	2 агрегати Т-25А + спеціальні граблі	2	0,85 га/год	58,8	240 л	Листя переміщується з рядка у міжряддя
15	Вивезення листкових решток з поля	III	50 га	Трактор 80 к.с. + причіп	1	4 га/год	12,5	80 л	Зниження запасу інфекції і шкідників
16	Весняне внесення добрив через краплинну систему	IV-VI	50 га х 12 циклів	Фертигаційний вузол	1	50 га/цикл	36,0 люд.-год	ел. енергія	Дози уточнюють за фазами розвитку
17	Роботизована боротьба з бур’янами у продуктивний період	IV-VII	300 га	2 роботи-прополювачі	2	0,75 га/год	400,0	ел. енергія	Шість проходів; робота припиняється по мокрому ґрунту
18	Періодичний БПЛА-моніторинг стану насаджень	IV-VII	500 га	БПЛА RGB/NDVI	1	25 га/год	20,0	акум.	10 планових польотів по 50 га
19	Захист рослин від хвороб і шкідників	IV-VI	400 га	Трактор 80 к.с. + обприскувач	1	10 га/год	40,0	450 л	8 обробок, лише за потреби і регламентом
20	Краплинне зрошення	IV-VII	50 га х 35 циклів	Насосна станція + фільтри	1	50 га/цикл	70,0 люд.-год	ел. енергія	Полив за показниками вологості
21	Збирання ягід і польове сортування	V-VI	900 т	Ручне збирання + польові платформи	3 платф.	0,12 т/люд.-год	7500 люд.-год	120 л	Розрахункова урожайність 18 т/га
22	Вивезення продукції до пункту охолодження	V-VI	900 т	Трактор 80 к.с. + причепи/малогабаритні авто	3	6 т/год	150,0	650 л	Вивезення в день збирання
23	Післязбиральне скошування зайвого листя	VII	50 га	Трактор 80 к.с. + роторна косарка	1	2,0 га/год	25,0	180 л	Не пошкоджувати точки росту
24	Післязбиральне згрібання листя спеціальними граблями	VII	50 га	2 агрегати Т-25А + спеціальні граблі	2	0,85 га/год	58,8	240 л	Формування валків у міжряддях
25	Післязбиральний БПЛА-контроль і планування ремонтних робіт	VII	50 га	БПЛА + оглядові маршрути	1	25 га/год	2,0	акум.	Оцінка випадів, стресових зон і забур’яненості

Для визначення потреби в техніці використано залежність T = F/W, де T - затрати агрегато-годин, F – обсяг робіт, W – експлуатаційна продуктивність агрегату. Якщо операція виконується кількома однаковими агрегатами, то календарна тривалість зменшується пропорційно їх кількості, але загальна кількість агрегато-годин залишається показником завантаження машин. Наприклад, для весняного згрібання листя на 50 га двома агрегатами зі спеціальними граблями при продуктивності 0,85 га/год на один агрегат календарна тривалість становить 50/(0,85*2) = 29,4 год, або близько 4 робочих днів за 8-годинної зміни.

2.5. Графік завантаження техніки

Графік завантаження техніки потрібний для перевірки реальності прийнятої технології. Він показує, у які місяці окремі машини працюють найбільш інтенсивно, де можуть виникати простої та чи достатньо одного агрегату для виконання операцій у межах агротехнічного строку. Для площі 50 га найбільш завантаженими є серпень, травень і червень. Серпень пов’язаний із закладанням плантації, а травень-червень - із доглядом, захистом рослин, збиранням і транспортуванням урожаю.

Таблиця 2.5 – Зведений місячний графік завантаження основних технічних засобів, агрегато-год.

Місяць	Трактор 150 к.с.	Трактор 80 к.с.	Робот-прополювач	БПЛА	Спец. граблі	Транспорт	Разом
VII	18	16	0	2	0	5	41
VIII	46	44	0	4	0	12	106
IX	0	20	60	4	0	8	92
X	0	8	35	2	0	6	51
III	0	18	0	2	59	4	83
IV	0	14	60	3	0	5	82
V	0	10	100	5	0	35	150
VI	0	12	105	6	0	70	193
VII*	0	20	40	3	59	20	142

Особливістю проектної технології є те, що частина навантаження переноситься з ручної праці на спеціалізовані засоби: роботи-прополювачі та спеціальні граблі. Роботи працюють багато годин, але виконують операції з невисокою швидкістю та високою точністю. Спеціальні граблі, навпаки, застосовуються короткими інтенсивними періодами - навесні та після збирання

врожаю. БПЛА має незначну частку у загальних агрегато-годинах, але суттєво впливає на прийняття рішень.

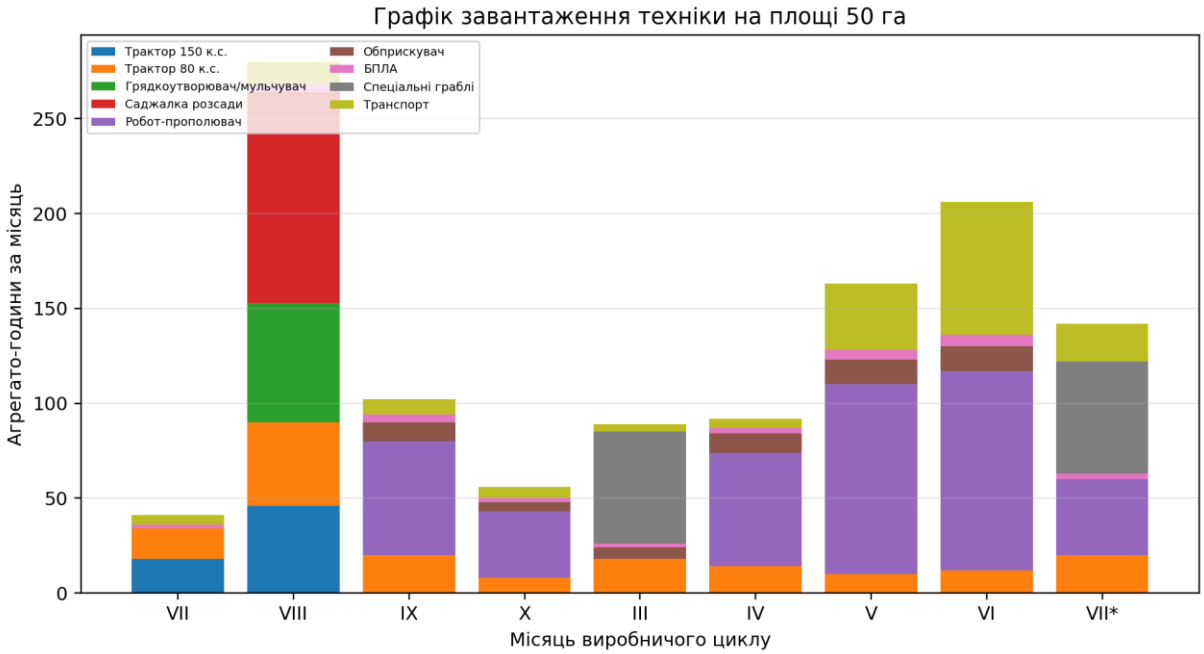


Рис. 2.2. Графік завантаження техніки за місяцями виробничого циклу.

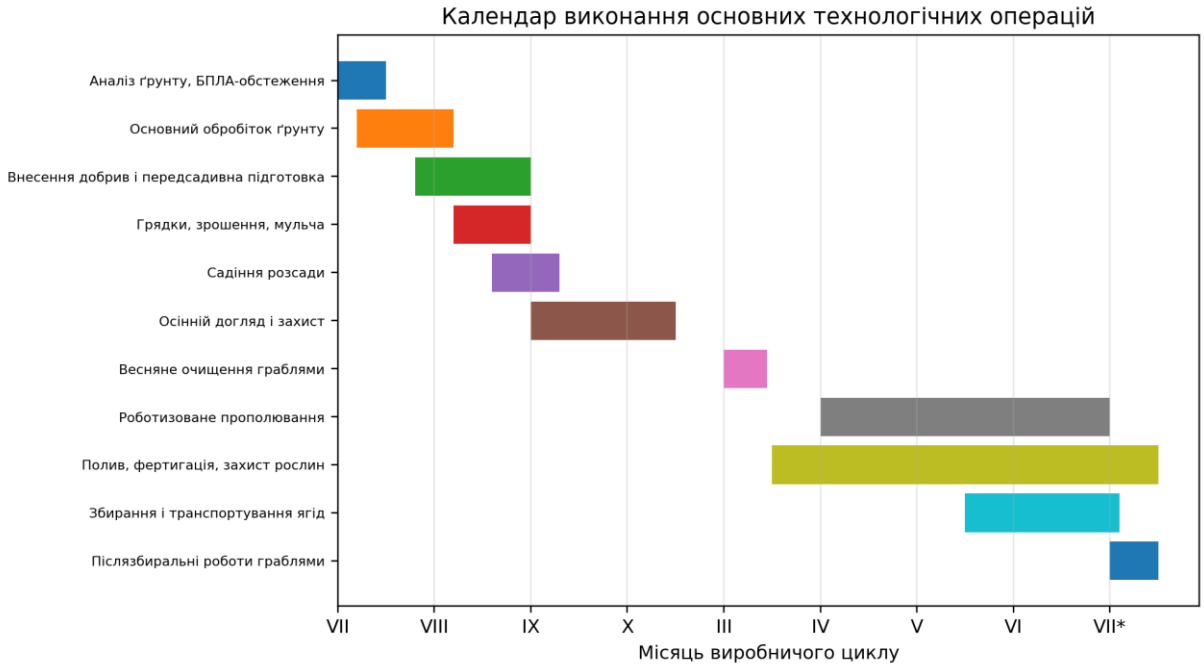


Рис. 2.3. Календарний графік виконання основних технологічних операцій.

Із графіка видно, що серпень має максимальне навантаження через концентрацію операцій із підготовки поля, укладання зрошення та садіння. Для зменшення ризику запізнення доцільно завчасно підготувати систему

краплинного зрошення, забезпечити доставку розсади частинами, а також організувати роботу саджалки у дві зміни. У травні-червні головним обмежувальним фактором є не стільки тракторна техніка, скільки кількість працівників на збиранні та швидкість вивезення ягід до пункту охолодження.

Застосування БПЛА дозволяє не оглядати всю площу вручну після кожного поливу або погодного стресу. Оператор отримує карту поля, на якій виділені зони слабкого розвитку рослин, пересихання, забур'яненості чи пошкодження. Після цього робот-прополювач може бути спрямований на пріоритетні квартали, а агроном перевіряє лише проблемні ділянки. Такий підхід підвищує оперативність догляду за насадженням і зменшує витрати часу на контроль.

2.6. Організація виконання основних операцій

Підготовка ґрунту починається після збирання попередника. Першим проходом дискова борона подрібнює рослинні рештки і провокує проростання бур'янів. Після цього вносять органічні добрива та виконують глибоке розпушування. Таке поєднання операцій створює пухкий, водопроникний шар, у якому коренева система полуниці може швидко розвиватися. Передсадивна культивація виконується двічі, щоб сформувати вирівняну поверхню без великих грудок, небезпечних для якісного укладання плівки.

Формування грядок, укладання краплинної стрічки і мульчувальної плівки бажано виконувати єдиним комбінованим агрегатом. Це зменшує кількість проходів по полю, забезпечує правильне взаємне розташування стрічки і рядка, а також прискорює підготовку площі до садіння. Перед запуском саджалки обов'язково перевіряють герметичність і пропускну здатність стрічок, промивають магістральні лінії та регулюють тиск у системі.

Садіння розсади є однією з найбільш відповідальних операцій. Глибина садіння повинна забезпечувати розміщення кореневої шийки на рівні поверхні ґрунту, без заглиблення точки росту і без оголення коренів. Після садіння проводиться полив для кращого контакту кореневої системи з ґрунтом. БПЛА-

обліт через 7-10 днів після садіння дозволяє оцінити рівномірність приживлення, виявити ділянки з підсушуванням або механічними пошкодженнями та організувати підсаджування.

Роботизовану боротьбу з бур’янами планують не за принципом одноразового знищення великої маси бур’янів, а як профілактичну систему повторних проходів. Найкращий ефект досягається, коли робот працює по молодих бур’янах, що перебувають у фазі проростків. У цей період механічне підрізання потребує менше енергії, менше травмує ґрунт і не створює великих рослинних решток у міжряддях. За вологої погоди проходи переносять, щоб не допустити налипання ґрунту на робочі органи і повторного укорінення підрізаних бур’янів.

Захист рослин у технологічній карті поданий як блок планових і коригувальних обробок. Фактична кількість обприскувань повинна визначатися фітосанітарним станом насаджень, прогнозом погоди, фазою розвитку культури та строками очікування перед збиранням. БПЛА не встановлює діагноз хвороби, але допомагає швидко знайти осередки стресу, які потім перевіряються агрономом на місці. Це дає змогу уникати зайвих суцільних обробок і своєчасно реагувати на локальні проблеми.

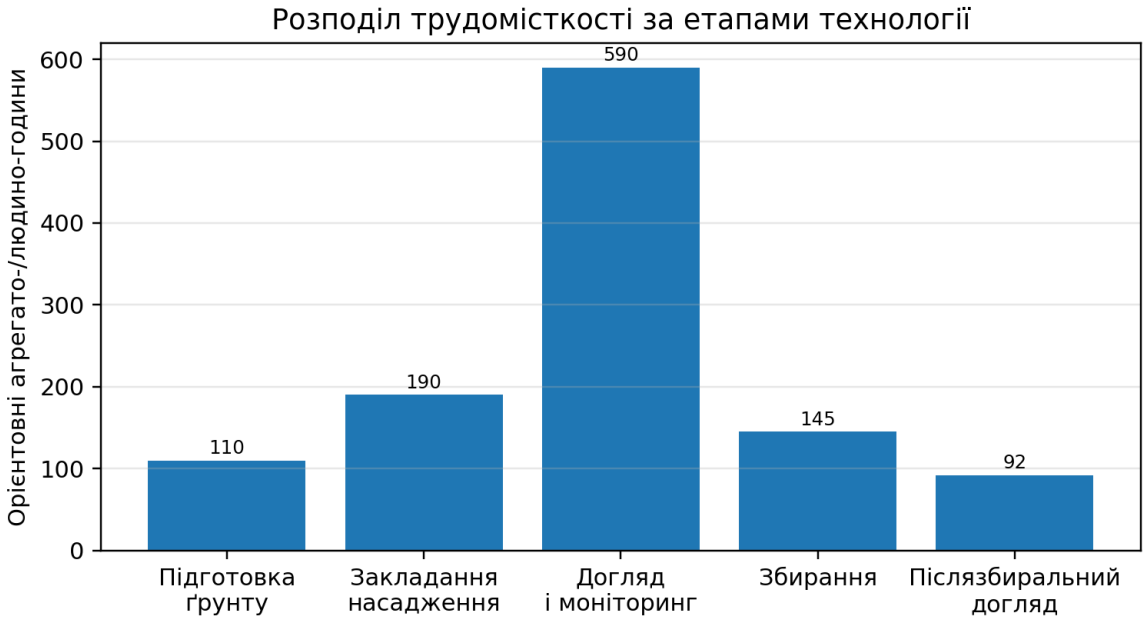


Рис.2.4. Орієнтовна структура трудомісткості проектної технології

Весняне використання спеціальних грабель проводиться після підсихання ґрунту, коли відмерле листя легко відокремлюється і не утворює липких грудок. Перед початком роботи регулюють висоту робочих органів, щоб пальці грабель згрібали листкову масу, але не виривали молоді розетки. Рух трактора здійснюється у міжрядді. Листя переміщується у валок, після чого його вивозять за межі насадження або компостують у спеціально відведеному місці.

Післязбиральне скошування листя і повторне згрібання граблями виконують за потреби, коли насадження має значну масу старого або ураженого листя. Такий прийом покращує провітрювання рядка, зменшує зимуючий запас шкідників і полегшує подальший догляд. Водночас висоту скошування необхідно контролювати, щоб не пошкодити точки росту, інакше рослини гірше відновлюватимуться після плодоношення.

2.7. Очікувані результати впровадження проектної технології

Запропонована технологія спрямована не лише на одержання врожаю, а й на підвищення керованості виробничого процесу. На площі 50 га навіть невелике запізнення з поливом, прополюванням або очищенням рядків призводить до значних втрат, тому технологічна карта повинна розглядатися як календарний план використання машин, працівників і цифрових засобів контролю. Найбільш важливими організаційними елементами є своєчасна підготовка поля, узгодження доставки розсади, готовність системи зрошення, резервування транспорту на період збирання і регулярний БПЛА-моніторинг.

Впровадження спеціальних грабель дозволяє механізувати операцію, яка у традиційній технології часто виконується вручну. Для площі 50 га ручне згрібання старого листя потребувало б значної кількості сезонних працівників і тривало б довше, ніж допустимо у стислі весняні строки. Використання двох агрегатів Т-25А зі спеціальними граблями дає змогу виконати очищення за кілька робочих днів і своєчасно перейти до підживлення, захисту рослин і підготовки насадження до плодоношення.

Роботизована боротьба з бур’янами має найбільший ефект у період, коли мульчувальна плівка вже обмежує бур’яни в рядку, але міжряддя залишаються відкритими. У такій ситуації робот працює як точний міжрядний агрегат, що зменшує залежність господарства від ручної прополки. БПЛА-моніторинг підвищує ефективність цієї роботи, оскільки дозволяє направляти робот у зони з найбільшою забур’яненістю або контролювати якість проходів після виконання операції.

Загалом проектна технологія поєднує класичні агротехнічні вимоги до вирощування полуниці з сучасними засобами механізації та цифрового контролю. Вона може бути рекомендована для господарств, які мають товарні площі ягідників і прагнуть зменшити ручну працю на операціях догляду. Найбільш доцільним є її впровадження на рівних полях із стабільним водозабезпеченням, можливістю прокладання краплинного зрошення і достатньою шириною міжрядь для роботи малогабаритної техніки.

Висновки по розділу

Для площі 50 га обґрунтовано технологію вирощування полуниці у відкритому ґрунті на грядах із краплинним зрошенням і мульчувальною плівкою. Прийнята схема садіння 0,70 х 0,28 м забезпечує густоту близько 51 тис. рослин/га та створює умови для роботи техніки у міжряддях. Розроблено технологічну карту, що охоплює підготовку ґрунту, формування грядок, садіння, полив, фертигацію, захист рослин, БПЛА-моніторинг, роботизоване прополювання, збирання врожаю та післязбиральний догляд. У технологію включено спеціальні граблі, розроблені у третьому розділі, для весняного та післязбирального згрібання листя з рядка у міжряддя. Це підвищує рівень механізації санітарного догляду за насадженням. Запропоновано використання БПЛА як інформаційного елемента технології. Регулярний моніторинг дає змогу швидко виявляти проблемні ділянки, уточнювати строки поливу, захисту рослин і роботи робота-прополювача.

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СПЕЦІАЛЬНИХ ГРАБЕЛЬ ДЛЯ ОБРОБІТКУ РЯДКІВ ПОЛУНИЦІ

3.1. Аналіз наявних конструкцій грабель і причин їх обмеженого використання на насадженнях полуниці

Полуниця, або суниця садова, належить до культур, у яких листковий апарат зберігає важливу роль протягом усього року. У рослини формується літнє та зимове листя. Літнє листя наприкінці вегетаційного періоду поступово втрачає функціональність і замінюється зимовим, яке зберігається до початку наступного літа. Навесні відмерла листкова маса повинна бути видалена, оскільки вона перешкоджає нормальному розвитку молодих розеток і може бути місцем накопичення збудників хвороб та шкідників.

Практика вирощування полуниці передбачає обов’язкове очищення рядків від старого листя. Восени після завершення плодоношення відмерлу або зайву листкову масу скошують, збирають і виносять за межі поля для подальшого знищення. Подібна операція виконується і у весняний період, коли з рядків видаляють зимове листя. Такий агротехнічний прийом сприяє оздоровленню насаджень, зменшенню інфекційного фону та покращенню умов для росту нових листків і квітконосів [13, 15, 16].

У багатьох господарствах очищення рядків досі здійснюється ручним способом. Працівники за допомогою ручних грабель обережно витягують сухе листя з рослинного рядка, переміщують його у міжряддя, а потім збирають і завантажують у транспортні засоби. Перевагою такого способу є висока акуратність виконання робіт, однак він потребує значних затрат праці. Особливо відчутною ця проблема стає на великих площах, коли операцію необхідно виконати у стислий агротехнічний строк.

Господарства, що спеціалізуються на промисловому вирощуванні полуниці, намагаються замінити ручну працю машинною. Для цього інколи використовують серійні граблі, призначені для заготівлі сіна. Проте такі

машини створені для інших умов роботи і не враховують біологічні особливості полуничних насаджень, малу висоту рослин, вузькі міжряддя та потребу працювати без пошкодження розеток [15, 16, 17].

Поперечні граблі мають пружинні пальці, які добре працюють під час згрібання сіна, але на полуничних плантаціях їх застосування ускладнюється необхідністю руху агрегату поперек рядків. За такого руху колеса трактора і робочі пальці можуть травмувати рослини, зміщувати ґрунт у зоні рядка та ущільнювати його саме там, де розміщена основна частина кореневої системи.

Колісно-пальцеві та роторні граблі також не можна вважати раціональним рішенням для даної операції. Вони мають значну робочу ширину, потребують певної висоти валка і не забезпечують точного копіювання поверхні рядка. У результаті можливі пропуски листя, надмірне заглиблення пальців або пошкодження молодих рослин.

Отже, для обробітку рядків полуниці доцільно застосувати спеціальний пристрій, який рухається разом із трактором у міжряддях, захоплює старе листя безпосередньо з рядка і спрямовує його в міжряддя. Саме така схема дає змогу зменшити ручну працю, не порушуючи структуру насаджень.

3.2. Обґрунтування конструктивної схеми спеціальних грабель

Порівняння можливих робочих органів показує, що для делікатного очищення рядків найбільш придатними є пальцеві граблини. Пружинний палець має достатню еластичність, завдяки чому може відводити сухе листя і водночас зменшує небезпеку механічного пошкодження живих частин рослини. Тому основним елементом запропонованої конструкції прийнято граблину з пружинними пальцями.

Робоча граблина повинна не тільки захоплювати відмерле листя, а й переміщувати його вбік, формуючи валок у міжрядді. Для цього її встановлюють під кутом до напрямку руху агрегату. За такого розміщення рослинні рештки після контакту з пальцями переміщуються вздовж напрямного щитка і виносяться із зони рядка.

Важливою умовою є здатність секції копіювати нерівності поверхні. Посадки полуниці часто мають незначні гребені, западини, локальні ущільнення ґрунту або залишки мульчувального матеріалу. Жорстке кріплення граблини у таких умовах може призвести до заглиблення пальців і пошкодження розеток. Тому робочу секцію доцільно встановлювати на паралелограмній підвісці з опорним колесом.

Компоновка агрегату повинна відповідати параметрам схеми садіння. Для насаджень полуниці ширина міжрядь зазвичай становить 0,6–0,9 м, а ширина самого рядка – близько 0,3–0,4 м. У прийнятих умовах міжряддя дорівнює 0,7 м, що дає змогу використовувати трактор Т-25А. Цей трактор має невелику масу, порівняно вузькі шини, достатню маневровість і може рухатися в міжряддях без суттєвого ущільнення ґрунту в зоні кореневої системи.

Крім агротехнічної відповідності, вибір трактора Т-25А пояснюється економічними міркуваннями. Машина є відносно простою в обслуговуванні, має невелику витрату пального і може використовуватися не лише у великих садівничих підприємствах, а й у фермерських господарствах. Отже, запропоновані граблі мають бути нескладними за конструкцією, придатними до агрегатування з поширеним трактором і здатними виконувати операцію без значних витрат.

3.3. Конструкція і технологічний процес роботи розроблених грабель

Запропонований агрегат складається з енергетичного засобу, несучого бруса з начіпним пристроєм та робочих секцій. Як база використовується трактор Т-25А, а для встановлення секцій застосовується брус із системою навіски, конструктивно подібний до елементів культиватора КОН-2,8. До бруса кріпляться спеціальні секції, які виконують основну операцію – вичісування старого листя з рядка і його відведення у міжряддя.

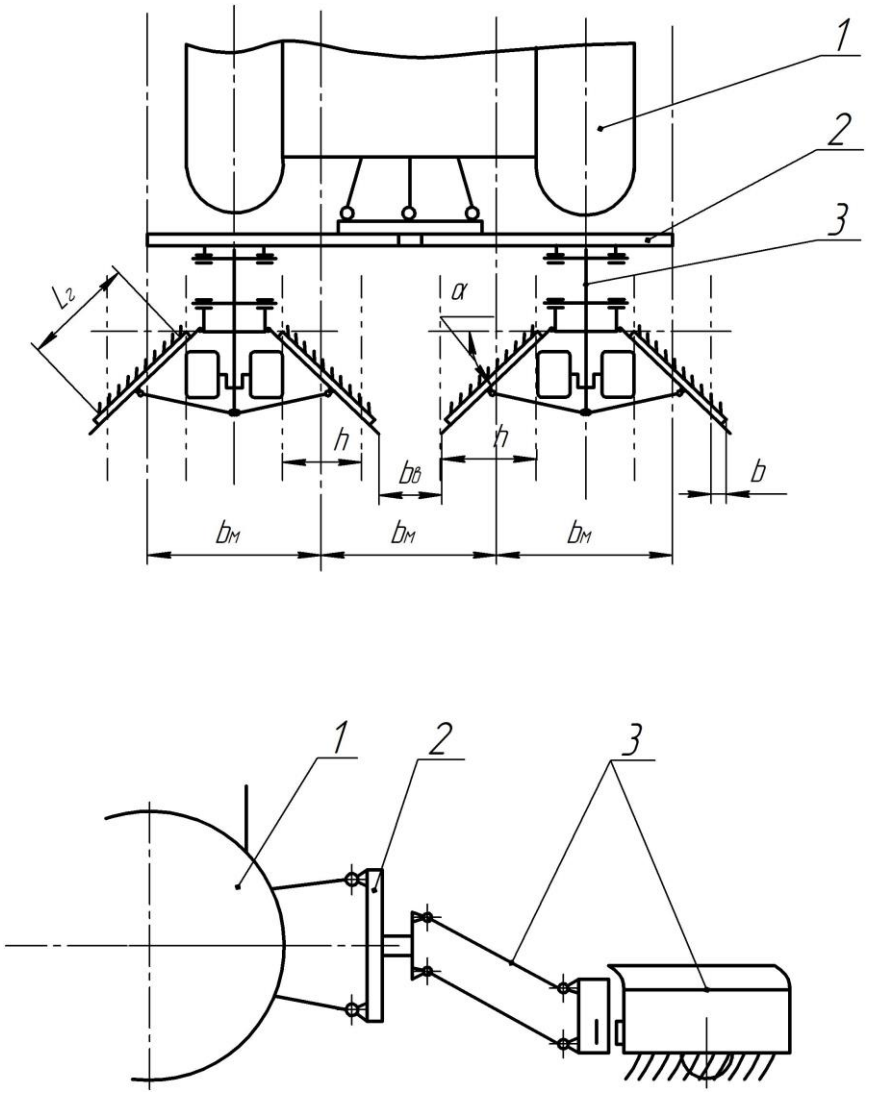


Рис. 3.1. Загальна схема агрегату: 1 – трактор Т-25А; 2 – брус із системою начіпки; 3 – робочі секції.

Кожна робоча секція має паралелограмну підвіску, опорне колесо та дві граблини – праву і ліву. Граблини розташовані під кутом до осі відповідного рядка. Таке взаємне положення забезпечує одночасне захоплення листя і його бокове зміщення. Одна секція обробляє два рядки, а встановлення двох секцій на рамі культиватора дозволяє за один прохід очистити чотири рядки полуниці.

Граблина складається з несучої пластини, напрямного щитка та пружинних пальців. Пальці кріпляться до пластини і формують робочу гребінку. Під час руху вони входять у шар старого листя, піднімають його і подають до щитка. Оскільки щиток розміщений під кутом, рослинна маса зміщується вздовж нього до міжряддя та укладається у валок.

Перед початком роботи тракторист установлює агрегат у міжряддя і опускає раму до контакту опорних коліс секцій із поверхнею ґрунту. Паралелограмна підвіска при цьому повинна залишатися рухомою, щоб секція могла реагувати на зміну висоти рядка. Завдяки такій схемі пальці працюють у потрібній зоні, не заглиблюючись надмірно і не травмуючи розетки.

Налаштування агрегату полягає у встановленні взаємного положення граблин і опорного колеса. Для регулювання використовують перестановку брусків під пальцями та зміну положення кривошипа опорного колеса. Після послаблення хомута вісь кривошипа повертають у потрібне положення, піднімаючи або опускаючи колесо. Це дозволяє адаптувати секцію до висоти рослин, стану ґрунту і кількості листкових решток.

Під час переведення агрегату в транспортне положення переміщення паралелограмної підвіски обмежується спеціальним болтом, установленим на нижній балці. Крім того, у конструкції передбачена опора, яка утримує граблину під заданим кутом і сприймає частину опору, що виникає під час переміщення листя.

3.4. Інженерний розрахунок запропонованої конструкції

3.4.1. Визначення основних конструктивних параметрів граблин

Розрахунок робочого органа виконується з урахуванням параметрів насадження: ширина міжряддя становить bм = 0,7 м, ширина рядка h = 0,4 м, а висота молодих листків у розетці приймається приблизно 0,08 м. Граблина повинна охоплювати рядок із невеликим перекриттям, але не займати весь простір міжряддя, оскільки в ньому має формуватися валок зібраного листя.

Необхідну ширину захвату однієї граблини визначаємо з умови перекриття рядка з двох боків:

$$B_р = h + 2b, \tag{3.1}$$

де $B_р$ – потрібна ширина захвату граблини, м; h – ширина рядка полуниці, м; b – величина перекриття, м.

$$B_р = 0,40 + 2 \cdot 0,05 = 0,50 \text{ м}.$$

Для забезпечення бокового переміщення листя граблину необхідно встановити під кутом α до напряму руху. Кут повинен бути більшим за кут тертя листя по металу. Для даних умов кут тертя приймається φ = 28°, тому для розрахунку обираємо α = 40°. За такого значення виконується умова α > φ, а листя може ковзати вздовж щитка.

Довжину граблини визначаємо з геометричних співвідношень, які враховують ширину міжряддя, ширину рядка, перекриття та відстань між осями обертання правої і лівої граблин однієї секції:

$$b_в = b_м - h - 2b; \quad L = (b_м - b_в/2 - l_1/2) / \cos\alpha, \tag{3.2}$$

де $b_в$ – ширина валка, що формується у міжрядді, м; L – повна довжина граблини, м; l_1 – відстань між осями правої та лівої граблини секції, м. За конструктивними міркуваннями l_1 = 0,091 м.

Після підстановки першого співвідношення у друге одержуємо розрахункову формулу:

$$L = (b_м + h + 2_b - l1) / (2\cos\alpha). \tag{3.3}$$

$$L = (0{,}70 + 0{,}40 + 2\cdot0{,}05 - 0{,}091) / (2\cdot\cos40°) = 0{,}724 \text{ м}.$$

За результатами розрахунку приймаємо повну довжину граблини L = 720 мм. Робоча частина, на якій розташовані пружинні пальці, визначається окремо:

$$L_г = (h + 2b) / \cos\alpha = (0{,}40 + 2\cdot0{,}05) / \cos40° = 0{,}653 \text{ м}. \tag{3.4}$$

Оскільки крайні пальці також беруть участь у захопленні листя, активну довжину граблини приймаємо $L_г$ = 0,65 м. Це значення забезпечує повне очищення рядка і залишає достатній простір у міжрядді для укладання валка.

Наступним етапом є визначення параметрів механізму обмеження ходу паралелограмної підвіски. Такий механізм потрібний для фіксації секції у транспортному положенні і для запобігання надмірному переміщенню балок під час піднімання агрегату.

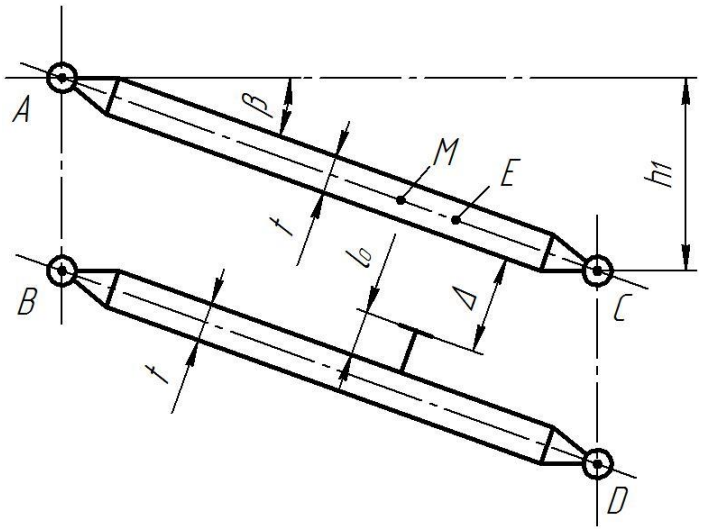


Рис. 3.2. Розрахункова схема механізму обмеження ходу паралелограмної підвіски

Під час роботи балка паралелограмного механізму повертається навколо осі A, а точка C переміщується по вертикалі. Залежність кута β від переміщення h1 записуємо так:

$$\beta = \arcsin(h_1 / |AC|), \tag{3.5}$$

де h_1 – вертикальне переміщення точки C, м; |AC| – довжина балки між осями шарнірів A і C, м.

З іншого боку, кут β пов’язаний із положенням обмежувального болта:

$$\beta = \arccos((t + l_0 + \Delta) / |AB|), \tag{3.6}$$

де t – товщина балки; l_0 – висота встановлення опорного болта; Δ – зазор між болтом і верхньою балкою.

Звідси можна отримати співвідношення для вибору регулювальних параметрів:

$$h_1 = |AC| \cdot \sin\beta, \tag{3.7}$$

$$l_0 + \Delta = |AB| \cdot \cos\beta - t. \tag{3.8}$$

Для подальших обчислень приймаємо |AC| = 0,40 м; |AB| = 0,12 м; t = 0,04 м. Розрахунок виконуємо для характерних положень підвіски.

Отримані значення показують, що мінімальна довжина обмежувального болта повинна становити близько 94 мм, а висота його встановлення – l_0 = 54 мм. За таких параметрів підвіска зберігає робочу рухомість під час копіювання поверхні, але надійно фіксується при підніманні агрегату.

Таблиця 3.1 – Розрахункові значення

Положення механізму	h_1, м	β, град	$l_0 + \Delta$, м
Робоче положення	0,10	14,5	0,076
Мінімальне переміщення	0	0	0,080
Максимальне робоче переміщення	0,20	30,0	0,0639
Упор у болт, $\Delta = 0$	0,25	38,7	0,0536

3.4.2. Визначення навантажень, що діють на секцію, та перевірка основних елементів

Для силового аналізу розглянемо розміщення граблини відносно рядка та схему дії навантажень на робочий орган. Опір переміщенню листя приймаємо як рівномірно розподілене навантаження q, прикладене до активної частини граблини.

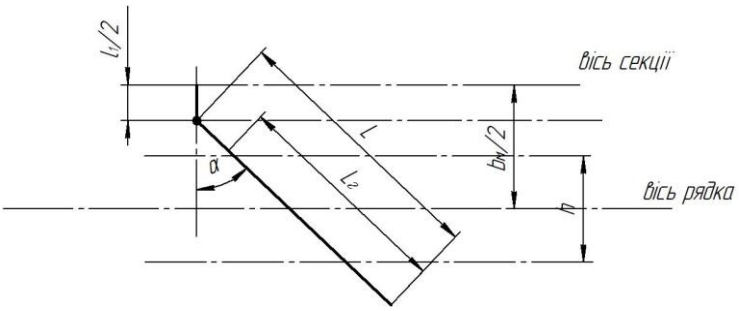


Рис. 3.3. Схема положення граблини відносно рядка полуниці.

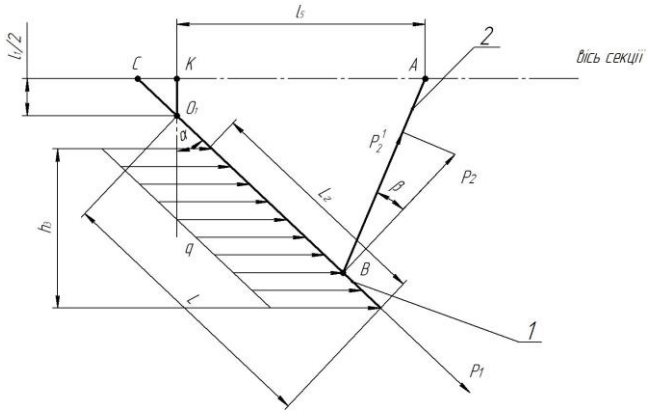


Рис. 3.4. Схема дії сил на граблину

Оскільки граблина розташована під кутом до напряму руху, сила опору розкладається на дві складові. Поздовжня складова сприймається пальцем кріплення граблини до підвіски, а поперечна створює згинальний момент відносно осі О1. Для розрахунку приймаємо q = 0,9 кН/м, $L_г$ = 0,65 м, L = 0,72 м, α = 40°.

$$P_1 = L_г \cdot q \cdot \sin\alpha, \tag{3.9}$$

$$M_{зг} = Lг \cdot q \cdot \cos\alpha \cdot (L - L_г/2). \tag{3.10}$$

$$P_1 = 0{,}65 \cdot 0{,}9 \cdot \sin 40° = 0{,}38 \text{ кН};$$

$$M_{зг} = 0{,}65 \cdot 0{,}9 \cdot \cos 40° \cdot (0{,}72 - 0{,}65/2) = 0{,}18 \text{ кН·м}.$$

Опорна балка, що утримує граблину, працює як стиснутий стержень значної гнучкості. Тому її перевірку виконуємо за формулою Ейлера. Критична сила втрати стійкості визначається виразом:

$$P_{кр} = \pi^2 \cdot E \cdot J / l_{пр}^2, \tag{3.11}$$

де E – модуль поздовжньої пружності матеріалу; J – мінімальний осьовий момент інерції поперечного перерізу; lпр – приведена довжина стержня.

$$l_{пр} = \nu \cdot l, \tag{3.12}$$

Для прийнятої схеми кріплення коефіцієнт приведення ν = 1. Під час проектного розрахунку зручно спочатку визначити потрібний момент інерції перерізу, а потім перейти до діаметра круглого стержня:

$$J = P2^1 \cdot lв^2 / (\pi^2 \cdot E). \tag{3.13}$$

Сила, яка діє на стержень опори, визначається з умови рівноваги граблини:

$$P2^1 = (M_{зг} / l_з) \cdot \cos\beta, \tag{3.14}$$

де lз – відстань від осі обертання граблини до точки кріплення опорного стержня, lз = 0,61 м; β – кут між напрямком сили та віссю стержня.

Кут β визначаємо за геометрією трикутника ABC. За теоремою косинусів:

$$\angle CBA = \arccos((CB^2 + BA^2 - AC^2) / (2 \cdot CB \cdot BA)). \tag{3.15}$$

Довжини сторін трикутника виражаються через прийняті конструктивні розміри:

$$|AC| = lз + |CK|; \quad |CB| = lз + |O1C|, \tag{3.16}$$

$$|CK| = |O_1K| \cdot tg\alpha = (l_1/2) \cdot tg\alpha; \quad |CO_1| = l_1/(2\cos\alpha). \tag{3.17}$$

$$|BA| = \sqrt{(CB^2 + AC^2 - 2 \cdot CB \cdot AC \cdot \cos(90° - \alpha))}. \tag{3.18}$$

Після підстановки значень одержуємо довжину опорного стержня lв = 0,619 м і кут β = 40,3°. Тоді розрахункова сила становить:

$$P2^1 = (0{,}18 / 0{,}61) \cdot \cos 40{,}3° = 0{,}225 \text{ кН}.$$

$$J = (0{,}225 \cdot 10^3 \cdot 0{,}619^2) / (3{,}14^2 \cdot 2 \cdot 10^{11}) = 4{,}3675 \cdot 10^{-11} \text{ м}^4.$$

Для суцільного круглого стержня осьовий момент інерції дорівнює $J = \pi d^4/64$, тому діаметр визначаємо за формулою:

$$d = \sqrt[4]{(64J / \pi)}. \quad (3.21)$$

$$d = \sqrt[4]{(64 \cdot 4{,}3675 \cdot 10^{-11} / 3{,}14)} = 0{,}0055 \text{ м}.$$

З урахуванням запасу міцності та технологічної зручності виготовлення приймаємо діаметр стержня d = 12 мм.

Додатково перевіряємо стержень за гнучкістю. Мінімальний радіус інерції круглого перерізу:

$$i = d/4 = 12/4 = 3 \text{ мм}.$$

$$\lambda = l_{пр} / i = 619 / 3 = 206. \quad (3.22)$$

Оскільки λ перевищує допустиму гнучкість для сталі 45, перевірку виконуємо за формулою Ейлера:

$$\sigma_{кр} = \pi^2 \cdot E / \lambda^2 = 3{,}14^2 \cdot 2 \cdot 10^5 / 206^2 = 46{,}46 \text{ МПа}. \quad (3.23)$$

Отримане напруження не перевищує допустимого для сталі 45, тому прийнятий діаметр опорного стержня забезпечує працездатність вузла.

3.4.3. Розрахунок пальця кріплення граблини до секції

Палець кріплення сприймає поздовжню складову сили опору Р1, а також момент від ваги граблини. Його робота подібна до роботи пальця шарнірного з’єднання, який навантажується зрізом і зминанням у місцях контакту зі щоками скоби.

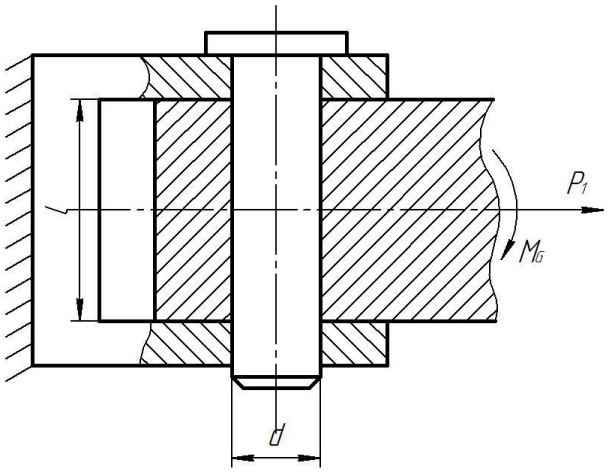


Рис. 3.5. Розрахункова схема пальця кріплення граблини.

Момент від ваги граблини визначаємо як:

$$M = G \cdot L/2, \quad (3.24)$$

де G – вага граблини, кН. За прийнятого значення G = 0,5 кН та довжини L = 0,72 м маємо:

$$M_G = 0{,}5 \cdot 0{,}72/2 = 0{,}18 \text{ кН·м}.$$

Сумарна сила, яка зумовлює зріз пальця, враховує дію сили P1 і моменту MG:

$$P = P1 + MG / l, \quad (3.26)$$

де l – внутрішня відстань між вухами скоби, l = 0,045 м.

$$P = 380 + 180/0{,}045 = 4380 \text{ Н}.$$

Розрахунок діаметра пальця виконуємо за допустимим напруженням зрізу:

$$[\tau_з] = P / (n \cdot \pi d^2/4), \quad (3.25)$$

де $[\tau_з]$ – допустиме напруження зрізу для сталі 45, $[\tau_з]$ = 60 МПа; n – кількість площин зрізу.

$$d = \sqrt{(4P / (n \cdot \pi \cdot [\tau_з]))}. \quad (3.27)$$

$$d = \sqrt{(4 \cdot 4380 / (2 \cdot 3{,}14 \cdot 60 \cdot 10^6))} = 0{,}0068 \text{ м}.$$

Розрахунковий діаметр є невеликим, однак для підвищення довговічності, зручності виготовлення і забезпечення запасу міцності приймаємо d = 20 мм. Перевірка за напруженнями зминання для сталі 45 з допустимим значенням $[\sigma_{зм}]$ = 100 МПа показує, що умова міцності виконується.

3.4.4. Розрахунок клемового з’єднання кривошипа опорного колеса

Положення опорного колеса секції регулюється кривошипом. Після встановлення потрібної висоти кривошип фіксується клемовим з’єднанням. Утримання забезпечується силою тертя між віссю кривошипа і вкладнями, яка виникає після затягування гайок скоби.

Найбільш несприятливим є положення, коли вісь OO1 розміщена горизонтально. У цьому випадку вага секції створює максимальний момент відносно осі затиску. Для розрахунку приймаємо вагу секції Gc = 0,6 кН і довжину важеля l = 0,2 м.

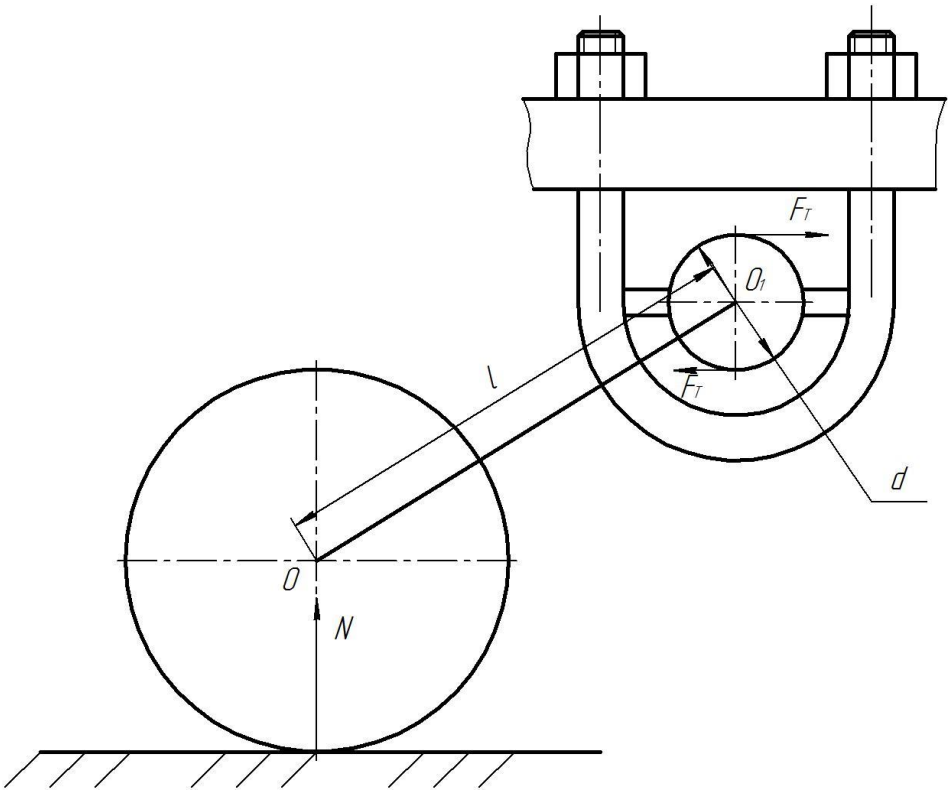


Рис. 3.6. Схема розрахунку клемового з'єднання кривошипа опорного колеса.

$$M_{кр} = N \cdot l, \tag{3.29}$$

$$M_{кр} = 600 \cdot 0{,}2 = 120 \text{ Н·м}.$$

Необхідна сила тертя, яка повинна утримувати кривошип від провертання, визначається за виразом:

$$F_т = M_{кр} / (d/2), \tag{3.30}$$

де d – діаметр осі кривошипа, d = 0,038 м.

$$Fт = 120 / (0{,}038/2) = 6315{,}8 \text{ Н}.$$

Сила затягування одного болта клемового з'єднання становить:

$$P_{бол} = F_т / (n \cdot f), \tag{3.31}$$

де n = 2 – кількість болтів; f = 0,15 – коефіцієнт тертя сталі по сталі.

$$P_{бол} = 6315{,}8 / (0{,}15 \cdot 2) = 21052 \text{ Н}.$$

Діаметр стержня скоби визначаємо з умови міцності на розтяг:

$$d1 = \sqrt{(4P_{бол} / (\pi[\sigma_р]))}, \tag{3.32}$$

де $[\sigma_р]$ – допустиме напруження розтягу для сталі 45, [σр] = 180 МПа.

$$d_1 = \sqrt{(4 \cdot 21052 / (3{,}14 \cdot 180 \cdot 10^6))} = 0{,}0112 \text{ м}.$$

Приймаємо діаметр дроту скоби d1 = 12 мм. Після вибору діаметра необхідно перевірити різьбу на зріз і зминання.

$$\tau_{зр} = P / (\pi \cdot d2 \cdot z \cdot k \cdot S) \leq [\tau_c], \quad (3.33)$$

$$\sigma_{зм} = 4P / (\pi \cdot (d1^2 - d2^2) \cdot z) \leq [\sigma_{зм}], \quad (3.34)$$

де $\tau_{зр}$ – розрахункове напруження зрізу різьби; $\sigma_{зм}$ – напруження зминання між витками; z – кількість витків, що сприймають навантаження; k = 0,88 – коефіцієнт повноти різьби; d_2 – внутрішній діаметр різьби М12; d_1 – зовнішній діаметр різьби; $[\tau_c]$ = 80 МПа; $[\sigma_{зм}]$ = 120 МПа.

$$\tau_{зр} = 21052 / (3{,}14 \cdot 0{,}0101 \cdot 5{,}71 \cdot 0{,}88 \cdot 0{,}00175) = 75 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{зм} = 4 \cdot 21052 / (3{,}14 \cdot (0{,}012^2 - 0{,}0101^2) \cdot 5{,}71) = 111{,}8 \text{ МПа}.$$

Оскільки $\tau_{зр} < [\tau c]$ і σзм < $[\sigma_{зм}]$, різьбове з'єднання має достатню міцність і може бути використане у конструкції.

Висновок по розділу

У розділі виконано обґрунтування конструкції спеціальних грабель для механізованого очищення рядків полуниці від старого листя. Встановлено, що серійні граблі для заготівлі сіна не забезпечують потрібної точності роботи на полуничних насадженнях, оскільки можуть пошкоджувати рослини, ущільнювати ґрунт у зоні рядка і не пристосовані до вузьких міжрядь.

Запропоновано конструктивну схему агрегату на базі трактора Т-25А із використанням бруса, подібного до бруса культиватора КОН-2,8, та спеціальних робочих секцій. Кожна секція має дві граблини з пружинними пальцями, установлені під кутом до напряму руху, що забезпечує згрібання листя з рядка і його переміщення у міжряддя.

Розрахунками визначено основні параметри робочого органа: ширина захвату граблини становить 0,50 м, повна довжина – 720 мм, активна довжина з розміщенням пружинних пальців – 0,65 м, а прийнятий кут установлення граблини до напряму руху – 40°. Також обґрунтовано параметри обмежувального болта паралелограмної підвіски, опорного стержня, пальця кріплення граблини та клемового з'єднання кривошипа опорного колеса.

Перевірочні розрахунки підтвердили, що прийняті розміри основних деталей забезпечують необхідний запас міцності. Отже, запропонована конструкція може зменшити потребу в ручній праці, підвищити продуктивність догляду за насадженнями полуниці та забезпечити більш якісне видалення рослинних решток із зони рядка.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто актуальне питання підвищення ефективності виробництва ягідної продукції шляхом удосконалення технології вирощування полуниці, впровадження сучасних засобів механізації, цифрового моніторингу та розробки спеціального знаряддя для догляду за рядками насаджень. Полуниця є однією з найцінніших ягідних культур, яка має високий попит на внутрішньому і зовнішньому ринках, однак її вирощування залишається досить трудомістким, особливо під час виконання операцій догляду за рослинами, боротьби з бур'янами, видалення старого листя та підтримання належного фітосанітарного стану плантації.

У першому розділі було проаналізовано існуючі технології вирощування полуниці у відкритому ґрунті та в умовах захищеного ґрунту. Встановлено, що технологія відкритого ґрунту є найбільш поширеною завдяки порівняно нижчим капітальним витратам, можливості вирощування культури на значних площах і застосуванню традиційної сільськогосподарської техніки. Водночас така технологія значною мірою залежить від погодних умов, потребує ретельного догляду за ґрунтом, системи поливу, захисту рослин та своєчасного виконання агротехнічних операцій. Тепличне вирощування полуниці забезпечує більш стабільне отримання врожаю, подовження періоду плодоношення і вищу якість продукції, проте вимагає значних інвестицій у споруди, системи мікроклімату, краплинного зрошення, живлення та енергозабезпечення.

Аналіз площ, зайнятих під полуницею в Україні та світі, показав, що ягідництво залишається перспективним напрямом аграрного виробництва. В Україні полуниця займає важливе місце у структурі ягідних культур, однак рівень механізації її вирощування ще недостатній. Найбільш механізованими є операції підготовки ґрунту, внесення добрив, формування гряд, укладання плівки, зрошення та частково захист рослин. Разом із тим такі роботи, як прополювання, видалення відмерлого листя, догляд за рядками та збирання

врожаю, часто виконуються вручну або з частковим використанням допоміжних засобів. Це знижує продуктивність праці, збільшує собівартість продукції та ускладнює виконання робіт у стислі агротехнічні строки.

У другому розділі було спроєктовано технологію вирощування полуниці на площі 50 га. Для умов господарства складено технологічну карту, у якій передбачено виконання основних операцій: підготовку ґрунту, внесення добрив, формування гряд, укладання краплинної стрічки, садіння розсади, догляд за насадженнями, моніторинг стану поля, боротьбу з бур'янами, захист рослин, полив, збирання врожаю та післязбиральний догляд. Запропонована технологія передбачає використання сучасної техніки, БПЛА для контролю стану насаджень і роботизованого агрегату для механізованої боротьби з бур'янами. Складений графік завантаження техніки дав змогу визначити періоди найбільш інтенсивного використання машинно-тракторного парку та раціонально розподілити технічні засоби протягом виробничого сезону.

У третьому розділі обґрунтовано конструкцію спеціальних грабель для обробітку рядків полуниці. Необхідність їх розробки зумовлена тим, що існуючі граблі загального призначення не повністю відповідають вимогам роботи на полуничних плантаціях, оскільки можуть пошкоджувати рослини, ущільнювати ґрунт у зоні рядків або не забезпечувати якісного переміщення рослинних решток у міжряддя. Запропоновані граблі призначені для згрібання відмерлого листя з рядків і переміщення його в міжряддя з подальшим вивезенням або знищенням. Конструкція робочих секцій забезпечує копіювання поверхні поля, зменшує ризик пошкодження розеток полуниці та дозволяє виконувати операцію більш продуктивно порівняно з ручним способом.

Розрахунки основних конструктивних параметрів підтвердили працездатність запропонованого знаряддя. Було визначено ширину захвату, кут встановлення граблини, довжину робочої частини, параметри паралелограмної підвіски, сили, що діють на робочі органи, а також виконано перевірку основних вузлів і елементів кріплення на міцність. Прийняті конструктивні

рішення забезпечують надійну роботу грабель у міжряддях полуниці та дають змогу якісно виконувати операцію очищення рядків від старого листя.

Отже, запропоноване удосконалення технологічного процесу вирощування полуниці є технічно доцільним і практично важливим. Використання БПЛА, роботизованих засобів боротьби з бур’янами та спеціальних грабель для догляду за рядками дозволяє підвищити рівень механізації виробництва, скоротити затрати ручної праці, поліпшити фітосанітарний стан насаджень, зменшити втрати врожаю і забезпечити більш раціональне використання техніки. Результати роботи можуть бути використані у фермерських і спеціалізованих ягідних господарствах для підвищення ефективності вирощування полуниці на промисловій основі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна служба статистики України. Площі, валові збори та урожайність сільськогосподарських культур. URL: https://stat.gov.ua/uk/releases/ploshchi-valovi-zbory-ta-urozhaynist-silskohospodarskykh-kultur-14 (дата звернення: 4.06.2026).

2. Міністерство економіки України. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні. URL: https://me.gov.ua/Documents/Detail/c5e26c83-ac95-43b8-8d53-a5f8f907099f?lang=uk-UA&title=DerzhavniiRestrSortiv-PridatnikhDliaPoshirenniaVUkraini (дата звернення: 4.06.2026).

3. Український інститут експертизи сортів рослин. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні. URL: https://sops.gov.ua/derzavnij-reestr (дата звернення: 24.06.2026).

4. Деякі елементи сучасних технологій вирощування суниці. Пропозиція. 2022. URL: https://propozitsiya.com/articles/tekhnolohiyi-vyroshchuvannya/deyaki-elementy-suchasnykh-tekhnolohiy-vyroshchuvannya (дата звернення: 4.06.2026).

5. Інтенсивна суниця. AgroTimes. URL: https://agrotimes.ua/article/intensivna-sunicya/ (дата звернення: 24.06.2026).

6. Вирощування суниці садової в ПП «Деметра Агро». AgroTimes. 2021. URL: https://agrotimes.ua/interview/vyroshhuvannya-sunyczi-sadovoyi-v-pp-demetra-agro/ (дата звернення: 4.06.2026).

7. Полуничний бізнес: альтернативи захищеному ґрунту немає. Пропозиція. 2021. URL: https://propozitsiya.com/articles/tekhnolohiyi-vyroshchuvannya/polunychnyy-biznes-alternatyvy-zakhyshchenomu-gruntu-nemaye (дата звернення: 4.06.2026).

8. Хвороби та шкідники суниці. Пропозиція. URL: https://propozitsiya.com/articles/tekhnolohiyi-vyroshchuvannya/khvoroby-ta-shkidnyky-sunytsi (дата звернення: 4.06.2026).

9. Заєць М. Л. Кінематичний аналіз і технологічний розрахунок ґрунтообробної фрези/ М. Л. Заєць, А. В. Фомович //Збірник тез доповідей науково-практичної конференції І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 18 січня 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 54-57.

10. Під суницю потрібно зробити чотири висіви сидератів. AgroTimes. 2025. URL: https://agrotimes.ua/ovochi-sad/pid-sunyczyu-potribno-zrobyty-chotyry-vysivy-syderativ/ (дата звернення: 4.06.2026).

11. Борак К.В., Савченко В.М., Корнійчук Ю.М. Робототехнічні засоби в рослинництві. Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–18 жовтня 2025 року). Київ. НУБІП України. С. 589-601.

12. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.

13. FAOSTAT. Crops and livestock products: strawberries. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL (дата звернення: 4.06.2026).

14. Hoffmann M. Southern Regional Strawberry Plasticulture Production Guide. Arkansas Cooperative Extension Service, 2024. URL: https://www.uaex.uada.edu/farm-ranch/crops-commercial-horticulture/horticulture/commercial-fruit-production/AG-645%20Strawberry%20Plasticulture%202024_draft_HFM.pdf (дата звернення: 4.06.2026).

15. Menzel C. M. A review of strawberry under protected cultivation: yields are higher under tunnels than in the open field. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 2025. Vol. 100, № 3. P. 286–313. DOI: https://doi.org/10.1080/14620316.2024.2449026.

16. Kaiser C., Ernst M. High Tunnel Strawberries. University of Kentucky Center for Crop Diversification, 2024. URL:

https://ccd.uky.edu/sites/default/files/2024-11/ccd-cp-061_high-tunnel-strawberries_0.pdf (дата звернення: 4.06.2026).

17. Rowley D., Black B., Drost D., Feuz D. High Tunnel Strawberry Production. Sustainable Agriculture Research and Education. URL: https://www.sare.org/wp-content/uploads/High-Tunnel-Strawberry-Production.pdf (дата звернення: 4.06.2026).

18. O'Dell C. Hill System Plastic Mulched Strawberry Production Guide for Colder Areas. Virginia Cooperative Extension. URL: https://smallfruits.org/files/2019/06/ODell_text.pdf (дата звернення: 24.06.2026).

19. Defterli S. G., Chen L., Li C. Review of robotic technology for strawberry production. University of Nebraska – Lincoln Digital Commons. URL: https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1579&context=biosysengfacpub (дата звернення: 4.06.2026).

20. Peng C., Vougioukas S. G., Slaughter D. C., Fei Z., Arikapudi R. A strawberry harvest-aiding system with crop-transport co-robots: design, development, and field evaluation. arXiv. 2021. URL: https://arxiv.org/abs/2107.13063 (дата звернення: 4.06.2026).

21. Parsa S., Debnath B., Arshad Khan M., Ghalamzan E. Autonomous Strawberry Picking Robotic System (Robofruit). arXiv. 2023. URL: https://arxiv.org/abs/2301.03947 (дата звернення: 24.06.2026).

22. Hou L., Lu W., Wang Y., Peng C., Fei Z. Strawberry Robotic Operation Interface: An Open-Source Device for Collecting Dexterous Manipulation Data in Robotic Strawberry Farming. arXiv. 2025. URL: https://arxiv.org/abs/2501.16717 (дата звернення: 4.06.2026).

23. Singh R. Robust real-time strawberry maturity detection using UAV imagery and deep learning. PubMed Central. 2025. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12516899/ (дата звернення: 4.06.2026).

24. Producing strawberries in tunnels and glasshouses. Agriculture and Horticulture Development Board. URL: https://archive.ahdb.org.uk/knowledge-

library/producing-strawberries-in-tunnels-and-glasshouses (дата звернення: 4.06.2026).