

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Кравченко Артем Юрійович

УДК 631.3:633.521:631.51

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування комплексу машин для вирощування льону з
модернізацією культиватора для передпосівного обробітку
грунту**

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
_____ Кравченко А.Ю.

Керівник роботи

Грудой Р.С.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Кравченко Артем Юрійович. Обґрунтування комплексу машин для вирощування льону з модернізацією культиватора для передпосівного обробітку ґрунту. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання обґрунтування комплексу машин для вирощування льону з модернізацією культиватора для передпосівного обробітку ґрунту. Проаналізовано сучасний стан технологій вирощування льону, динаміку його посівних площ в Україні та світі, а також основні чинники, що впливають на ефективність виробництва цієї культури. Особливу увагу приділено умовам вирощування льону в зоні Полісся Житомирської області, де важливе значення мають якісна підготовка ґрунту, збереження вологи та рівномірність загортання насіння. У роботі розроблено технологію вирощування льону на площі 150 га із застосуванням сучасного машинно-тракторного парку. Складено технологічну карту виконання основних виробничих операцій, графік завантаження техніки та обґрунтовано використання БПЛА для моніторингу посівів і обприскування. У конструктивній частині запропоновано модернізацію культиватора для передпосівного обробітку ґрунту, що спрямована на підвищення якості вирівнювання поверхні поля та створення сприятливих умов для проростання льону. Запропоновані рішення дають змогу підвищити продуктивність технологічного процесу, знизити витрати праці, покращити якість польових робіт і забезпечити більш раціональне використання технічних засобів. Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження розробленої технології та модернізованого культиватора в аграрних підприємствах зони Полісся.

Ключові слова: льон, передпосівний обробіток ґрунту, культиватор, комплекс машин, технологічна карта, БПЛА.

ANNOTATION

Artem Yuriyovych Kravchenko. Justification for a set of machinery for growing flax, including the modernisation of a cultivator for pre-sowing soil preparation. – 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 examines the rationale for a range of machinery for flax cultivation, including the modernisation of a cultivator for pre-sowing soil preparation. It analyses the current state of flax cultivation technologies, trends in flax-sown areas in Ukraine and worldwide, as well as the main factors influencing the efficiency of this crop's production. Particular attention is paid to the conditions for growing flax in the Polissya region of Zhytomyr Oblast, where high-quality soil preparation, moisture retention and uniform seed placement are of paramount importance. The study developed a flax cultivation technology for an area of 150 ha using a modern fleet of machinery and tractors. A technological chart for carrying out the main production operations and a schedule for the deployment of machinery were drawn up, and the use of UAVs for crop monitoring and spraying was justified. The design section proposes the modernisation of a cultivator for pre-sowing soil preparation, aimed at improving the quality of field surface levelling and creating favourable conditions for flax germination. The proposed solutions make it possible to increase the productivity of the technological process, reduce labour costs, improve the quality of field work and ensure a more rational use of technical resources. The practical significance of this work lies in the possibility of implementing the developed technology and the modernised cultivator in agricultural enterprises in the Polissya region.

Keywords: flax, pre-sowing soil cultivation, cultivator, machinery complex, technological chart, UAV.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ЛЬОНУ.....	8
1.1. Господарське значення льону та передумови розвитку технологій.....	8
1.2. Динаміка посівних площ льону в Україні та світі.....	9
1.3. Аналіз технологічних операцій вирощування льону.....	11
1.4. Рівень механізації процесу вирощування льону.....	12
1.5. Роботизація та використання штучного інтелекту для моніторингу полів.....	14
1.6. Напрямки вдосконалення технологій вирощування льону.....	15
Висновки по розділу.....	16
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЛЬОНУ В УМОВАХ ПОЛІССЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	18
2.1. Вихідні умови проектування технології.....	18
2.2. Агротехнічне обґрунтування технологічних операцій.....	20
2.3. Обґрунтування сучасного парку машин.....	21
2.4. Технологічна карта вирощування льону на площі 150 га.....	24
2.5. Графік завантаження машин і БПЛА.....	25
2.6. Використання БПЛА для моніторингу та обприскування.....	26
2.7. Напрями підвищення ефективності технології.....	27
Висновки по розділу.....	29
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МОДЕРНІЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ ДО КУЛЬТИВАТОРА КПС-4 ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ПІД ЛЬОН.....	30
3.1 Аналіз наявних технічних рішень для вирівнювання ґрунту.....	30
3.2 Призначення, область застосування та вимоги до модернізованого пристрою.....	32
3.3 Розрахунок працездатності та надійності основних елементів.....	34
3.4 Опис конструкції та принцип роботи модернізованого пристрою.....	36
3.5 Регулювання, технічне обслуговування та безпечна експлуатація.....	39
Висновок до конструктивного розділу.....	40
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	44

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Льон є однією з цінних технічних культур, яка має важливе господарське значення для аграрного виробництва України. Його вирощують для одержання насіння, олії, волокна та побічної продукції, що використовується у харчовій, олійно-жировій, текстильній, фармацевтичній, комбікормовій та інших галузях промисловості. В умовах зростання попиту на натуральну сировину, екологічно безпечні матеріали та продукти рослинного походження льон набуває особливої актуальності як культура з високим виробничим і переробним потенціалом.

Одним із перспективних регіонів для вирощування льону є зона Полісся, зокрема Житомирська область. Ґрунтово-кліматичні умови цього регіону загалом сприятливі для формування врожаю льону, проте ефективність його виробництва значною мірою залежить від якості виконання технологічних операцій. Особливе значення має передпосівний обробіток ґрунту, оскільки насіння льону є дрібним, потребує рівномірного загортання на незначну глибину, добре вирівняної поверхні поля та достатньої кількості вологи у посівному шарі. Нерівномірна підготовка ґрунту призводить до зріджених сходів, нерівномірного розвитку рослин, зниження врожайності та погіршення якості продукції.

Сучасне вирощування льону потребує раціонального поєднання агротехнічних заходів, ефективного машинно-тракторного парку та елементів точного землеробства. Важливим напрямом підвищення ефективності технології є використання продуктивних тракторів, комбінованих ґрунтообробних агрегатів, сучасних сівалок, машин для догляду за посівами, а також безпілотних літальних апаратів для моніторингу стану поля й виконання обприскування. Застосування БПЛА дає змогу оперативно оцінювати стан посівів, виявляти проблемні ділянки, контролювати розвиток бур'янів, шкідників і хвороб, а також зменшувати витрати робочої рідини та пестицидів під час захисту рослин.

Разом з тим у багатьох господарствах передпосівна підготовка ґрунту все ще виконується традиційними культиваторами, які не завжди забезпечують

достатнє вирівнювання поверхні поля та створення оптимального посівного ложа. Тому модернізація культиватора для передпосівного обробітку ґрунту є актуальним технічним завданням. Удосконалення конструкції робочих органів і допоміжних пристроїв дає змогу підвищити якість розпушування та вирівнювання ґрунту, зменшити втрати вологи, поліпшити умови проростання насіння льону та підвищити продуктивність агрегату.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в необхідності обґрунтування сучасного комплексу машин для вирощування льону в умовах Полісся Житомирської області та вдосконалення культиватора для передпосівної підготовки ґрунту. Вирішення цього завдання сприятиме підвищенню ефективності механізованих процесів, зниженню виробничих витрат, покращенню якості польових робіт і забезпеченню стабільного врожаю льону.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування комплексу машин для вирощування льону та модернізація культиватора для передпосівного обробітку ґрунту з метою підвищення якості підготовки посівного шару в умовах Полісся Житомирської області.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати існуючі технології вирощування льону та сучасні тенденції розвитку механізації; оцінити особливості вирощування льону в умовах Полісся Житомирської області; розробити технологічну карту вирощування льону на площі 150 га; підібрати сучасний машинно-тракторний парк для виконання основних технологічних операцій; скласти графік завантаження техніки; обґрунтувати використання БПЛА для моніторингу посівів і обприскування; запропонувати модернізацію культиватора для передпосівного обробітку ґрунту; виконати необхідні конструктивні розрахунки та оцінити доцільність запропонованих рішень.

Об'єктом дослідження є технологічний процес вирощування льону в умовах Полісся Житомирської області.

Предметом дослідження є комплекс машин для вирощування льону та модернізований культиватор для передпосівного обробітку ґрунту.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Грудовий Р.С., **Кравченко А.Ю.**, Сорока Б.А. Наукове обґрунтування системи передпосівного обробітку ґрунту під льон-довгунець в умовах різних ґрунтово-кліматичних зон. 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. 198-201.

2. Білецький В.Р., Маліновський О.А., Мельничук М.М., Онуфрієнко О.М., **Кравченко А.Ю.** Технології обробітку ґрунту: види, застосування, переваги й недоліки. VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Запоріжжя: ТДАТУ. URL: https://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/bileckyj_26-2.pdf (дата звернення 07.06.2026).

Практичне значення роботи полягає в розробленні механізованої технології вирощування льону, яка може бути використана в аграрних підприємствах зони Полісся. Запропонований комплекс машин і модернізований культиватор спрямовані на підвищення якості передпосівної підготовки ґрунту, раціональне використання технічних засобів, скорочення витрат праці та підвищення ефективності виробництва льону.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновку та списку використаних джерел з 27 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 48 сторінок комп'ютерного тексту, містить 14 рисунків, 18 таблиць та 3 додатки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ЛЬОНУ

1.1. Господарське значення льону та передумови розвитку технологій

Льон є однією з найдавніших технічних культур, яка використовується для одержання насіння, олії, волокна, кормових та технічних продуктів. У сучасному аграрному виробництві розрізняють дві основні групи: льон олійний, який вирощують переважно для насіння та олії, і льон-довгунець, орієнтований на волокно. Для теми даної кваліфікаційної роботи особливе значення має саме технологія вирощування льону олійного, оскільки вона безпосередньо пов'язана з якістю передпосівного обробітку ґрунту, рівномірністю загортання насіння, дружністю сходів та зменшенням конкуренції з бур'янами.

Агротехнічна особливість льону полягає у порівняно слабкій здатності рослин конкурувати з бур'янами на ранніх етапах розвитку, а також у вимогливості до рівномірного дрібногрудочкуватого посівного ложа. Насіння культури невелике, тому навіть незначна нерівномірність глибини загортання призводить до неоднакових сходів, зрідження посіву та зниження врожайності. Через це передпосівний обробіток ґрунту є одним з ключових елементів технології, а модернізація культиватора має бути спрямована на забезпечення вирівняної поверхні, ущільненого нижнього шару та розпушеного верхнього горизонту.

У світовому виробництві льон поступово переходить із категорії традиційної технічної культури до нішевої високорентабельної культури для спеціалізованих сівозмін. Його значення зростає через попит на рослинні олії з високим вмістом поліненасичених жирних кислот, екологічні волокна, а також можливість використання у харчовій, фармацевтичній і лакофарбовій промисловості. Водночас культура потребує точного дотримання технологічних операцій, що підсилює роль сучасного комплексу машин, цифрового моніторингу та систем підтримки управлінських рішень.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика існуючих технологічних підходів до вирощування льону

Технологічний підхід	Основні ознаки	Переваги	Недоліки
Традиційна інтенсивна технологія	Оранка або глибокий обробіток, суцільна передпосівна культивування, механізована сівба, хімічний захист	Висока керованість процесів, придатність для більшості господарств	Великі витрати пального, ущільнення ґрунту, залежність від якості обробітку
Ресурсозберігаюча технологія	Комбіновані агрегати, мінімізація проходів, локальне внесення добрив, точні норми висіву	Менші витрати енергії, збереження вологи, вища продуктивність	Потребує якісних агрегатів і точного регулювання робочих органів
Технологія точного землеробства	GPS-навігація, карти-завдання, диференційоване внесення, БПЛА-моніторинг	Підвищення точності, економія матеріалів, оперативне виявлення проблем	Потребує цифрової інфраструктури та навченого персоналу
Роботизована технологія	Автономні роботи для моніторингу, міжрядного догляду, точкового внесення препаратів	Зменшення ручної праці, селективний вплив на бур'яни, накопичення даних	Висока вартість, потреба в сервісі, обмеження за погодою та рельєфом

1.2. Динаміка посівних площ льону в Україні та світі

За даними аналітичних узагальнень FAOSTAT, у 2000–2022 рр. світові площі посівів льону олійного зросли з 2,58 до 4,53 млн га, тобто приблизно у 1,8 раза. Така динаміка свідчить про відновлення інтересу до культури, особливо у країнах Європи та Азії, де льон розглядають як перспективну олійну та екологічну культуру. Найбільша концентрація площ спостерігається у групі країн-лідерів: Канаді, Казахстані, Китаї, РФ та США. Частка цих країн у світових посівах зросла з 58,9% у 2000–2005 рр. до 88,3% у 2021–2022 рр., що вказує на посилення спеціалізації виробництва.

Таблиця 1.2 – Світові площі посівів льону олійного за регіонами, млн га

Рік	Азія	Америка	Африка	Європа	Океанія	Світ
2000	1.135	0.878	0.095	0.462	0.011	2.580
2005	0.984	1.185	0.269	0.296	0.011	2.745
2010	0.920	0.571	0.080	0.450	0.009	2.031
2015	1.234	0.851	0.091	0.803	0.008	2.987
2020	1.824	0.518	0.087	1.089	0.009	3.527
2022	1.823	0.440	0.091	2.171	0.009	4.533



Рис. 1.1. Динаміка світових площ посівів льону олійного у 2000–2022 рр.



Рис. 1.2. Динаміка площ посівів льону олійного в Україні у 2000–2022 рр.

В Україні посівні площі льону олійного мають значні коливання. У 2000 р. вони становили близько 20,0 тис. га, у 2015–2016 рр. досягли максимуму 66,7–68,7 тис. га, а у 2019–2020 рр. скоротилися до 16,9–14,0 тис. га. У 2021–2022 рр. площі знову почали відновлюватися і становили 27,6–32,3 тис. га. Для сезону 2022/23 в українських аналітичних матеріалах наводиться площа 33,1 тис. га, що було максимумом за п'ять попередніх сезонів, однак урожайність знизилась до 0,86 т/га. Це підтверджує, що розширення площ саме по собі не гарантує високого результату без удосконалення технології, сортового забезпечення, захисту від бур'янів і якісного передпосівного обробітку.

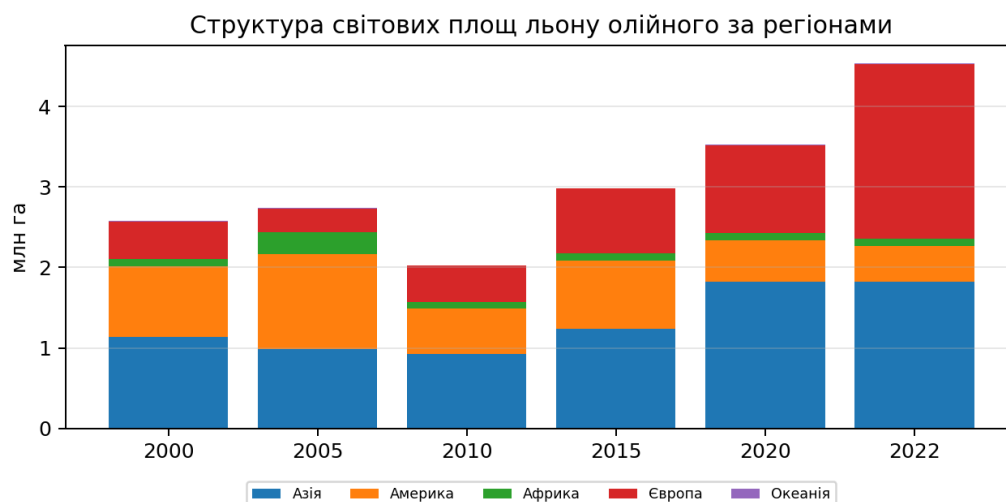


Рис. 1.3. Структура світових площ льону олійного за основними регіонами

Регіональна структура світових площ демонструє істотне зростання ролі Європи: у 2000 р. на неї припадало близько 0,462 млн га, а у 2022 р. – 2,171 млн га. Площа в Азії також залишається значною – понад 1,8 млн га у 2021–2022 рр. Натомість в Америці після високих значень початку 2000-х років відбулося скорочення площ. Для України це створює додаткові ринкові можливості, оскільки попит на льон у країнах ЄС посилюється, а культура може зайняти нішу в північних і західних регіонах, де обмеження вологи й температури менш критичні, ніж у степовій зоні.

1.3. Аналіз технологічних операцій вирощування льону

Технологія вирощування льону включає послідовність операцій: добір попередника, основний обробіток ґрунту, ранньовесняне закриття вологи, передпосівну культивуацію, сівбу, коткування за потреби, догляд за посівами, захист від бур'янів, хвороб і шкідників, збирання та післязбиральну доробку. Найкращими попередниками для льону вважають зернові колосові, зернобобові та культури, які залишають поле чистим від бур'янів. Небажаним є розміщення льону після соняшнику й інших культур, що висушують ґрунт або посилюють засміченість.

Основний обробіток має забезпечити накопичення вологи, знищення бур'янів і створення розпушеного орного шару. У традиційній технології використовують оранку або глибоке рихлення, однак на легких ґрунтах і за

достатньої чистоти поля можливе застосування мінімальної обробки. Передпосівна культивування повинна виконуватися на глибину загортання насіння або трохи глибше, без утворення брил і гребенів. Для льону важливо, щоб поверхня поля була рівною, адже нерівномірність мікрорельєфу погіршує якість сівби, створює різну глибину загортання і ускладнює подальший догляд.

Сівба льону виконується рано навесні, коли ґрунт досягає фізичної стиглості. Запізнення із сівбою часто спричиняє втрату вологи, посилення засміченості та нерівномірні сходи. Норма висіву залежить від напряму використання, сорту, лабораторної схожості й польової придатності насіння. Для олійного льону застосовують звичайний рядковий спосіб сівби, який забезпечує рівномірний розподіл рослин і дає змогу максимально швидко закрити міжряддя.

Таблиця 1.3 – Основні технологічні операції та машинне забезпечення при вирощуванні льону

Операція	Агротехнічна мета	Типові машини	Критичні вимоги
Основний обробіток	Розпушення, заробка решток, накопичення вологи	Плуги, чизелі, глибокорозпушувачі	Не допускати брил і плужної підшви
Передпосівний обробіток	Створення дрібногрудочкуватого посівного ложа	Культиватор КПС-4, комбіновані агрегати, котки	Глибина 4–6 см, рівність поверхні, збереження вологи
Сівба	Рівномірне розміщення насіння	Зернові сівалки, пневматичні сівалки точного висіву	Однакова глибина загортання і норма висіву
Догляд і захист	Обмеження бур'янів, хвороб і шкідників	Обприскувачі, агродрони, роботи-пропюльовачі	Свочасність, мінімальне пошкодження культури
Моніторинг	Виявлення стресу, зрідження, бур'янів	БПЛА, супутникові знімки, польові сенсори	Регулярність обльотів, точна інтерпретація даних
Збирання	Мінімальні втрати насіння/соломи	Зернозбиральні комбайни, жатки, підбирачі	Оптимальна вологість, низький зріз, чисте поле

1.4. Рівень механізації процесу вирощування льону

Переважає частина операцій у технології вирощування льону може бути повністю механізована. Основний та передпосівний обробіток, сівба, внесення добрив, обприскування і збирання виконуються машинно-тракторними

агрегатами. Проте фактичний рівень ефективності залежить не лише від наявності машин, а й від їх відповідності агротехнічним вимогам культури. Особливо це стосується культиваторів для передпосівного обробітку, які повинні не просто розпушити ґрунт, а сформувати рівну поверхню і стабільну глибину посівного ложа.

Найбільш проблемними з погляду механізації залишаються селективне знищення бур'янів у ранніх фазах, оперативна діагностика нерівномірних сходів і точне локальне внесення препаратів. Суцільні обприскування залишаються поширеними, але вони не завжди економічно та екологічно оптимальні. Тому перспективним є перехід до комбінованої моделі: основні польові операції виконуються класичними агрегатами, а моніторинг і частина догляду – роботизованими або цифровими засобами.

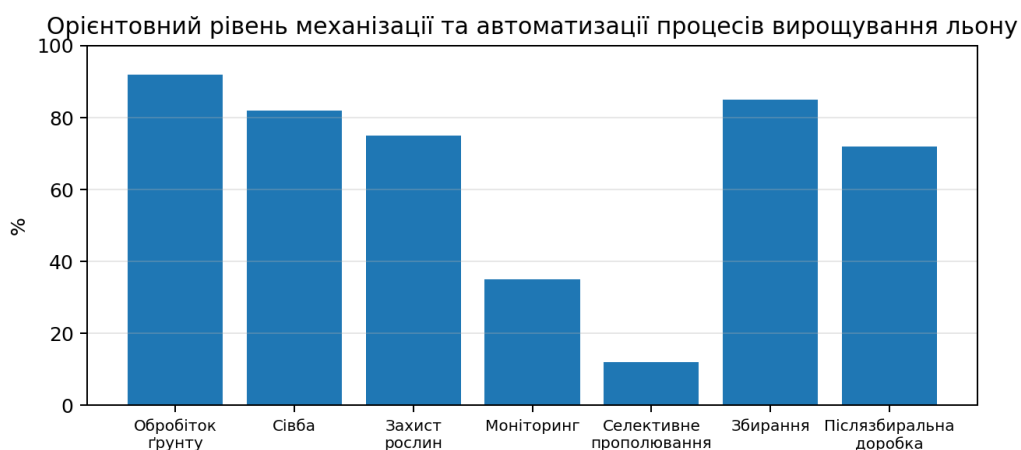


Рис. 1.4. Орієнтовний рівень механізації та автоматизації процесів вирощування льону.

Модернізація культиватора для передпосівного обробітку ґрунту є доцільною з кількох причин. По-перше, вона дає змогу підвищити якість підготовки поля без придбання дорогого нового комбінованого агрегату. По-друге, поліпшення вирівнювання й ущільнення нижнього шару зменшує втрати вологи та забезпечує стабільні умови проростання. По-третє, удосконалений культиватор може бути включений у наявний машинний парк господарства, що знижує капітальні витрати і підвищує економічну ефективність технології.

1.5. Роботизація та використання штучного інтелекту для моніторингу полів

Цифровізація льонарства може розвиватися у двох напрямках: моніторинг стану посівів і роботизоване виконання окремих операцій. Для моніторингу використовують супутникові знімки, БПЛА з RGB- та мультиспектральними камерами, мобільні додатки агронома, метеостанції й датчики вологості ґрунту. Отримані дані можуть оброблятися алгоритмами штучного інтелекту, які визначають неоднорідність посівів, індекси вегетації, локальні зони дефіциту вологи, ділянки засміченості або прояви хвороб.

Дослідження дистанційного зондування демонструють, що супутникові дані Sentinel-1 і машинне навчання здатні забезпечувати картографування типів культур на великих площах із достатньою для управлінських рішень точністю. Практична цінність таких підходів для льону полягає в можливості швидко оцінити рівномірність сходів, виявити стресові ділянки і сформувати карти-завдання для диференційованого внесення добрив або засобів захисту рослин. Для України це особливо важливо, оскільки значна частина господарств працює за умов високих цін на ресурси та логістичних ризиків.

Схема використання штучного інтелекту для моніторингу посівів льону

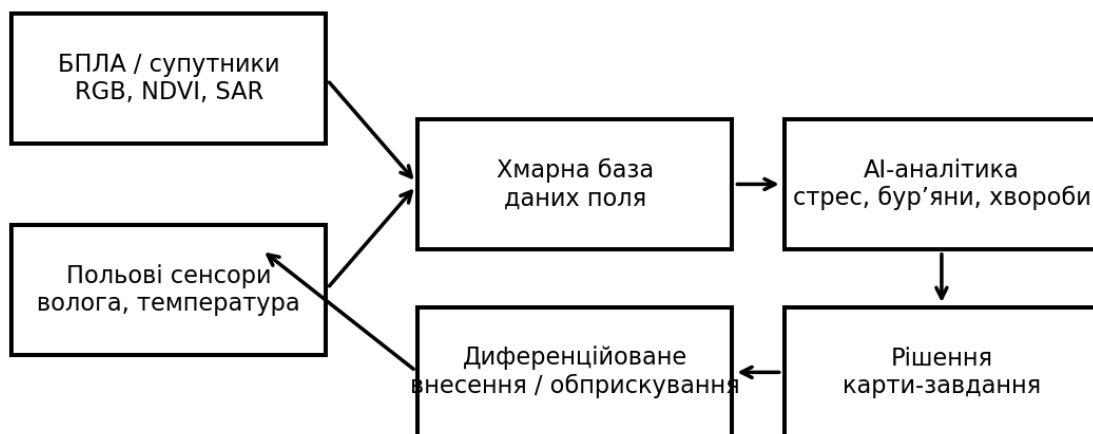


Рис. 1.5. Схема використання штучного інтелекту для моніторингу посівів льону.

Таблиця 1.4 – Можливості роботизації та застосування AI у технології вирощування льону.

Процес	Цифровий/роботизований засіб	Очікуваний ефект	Обмеження впровадження
Моніторинг сходів	БПЛА, супутникові знімки, AI-класифікація	Швидке виявлення зрідження, нерівномірних сходів, перезволоження	Потрібні калібрування та архів польових даних
Контроль бур'янів	Робот-прополувач, камера + алгоритм розпізнавання	Селективне знищення бур'янів, менша витрата гербіцидів	Складність розпізнавання на ранніх фазах
Захист рослин	Агродрон або самохідний обприскувач із картою-завданням	Локальне внесення препаратів і зниження витрат	Обмеження за вітром, нормами внесення та місткістю бака
Агрономічне планування	Система підтримки рішень, прогноз погоди, моделі ризику	Вибір оптимального часу операцій	Залежність від якості прогнозів і даних господарства

1.6. Напрямки вдосконалення технологій вирощування льону

Аналіз існуючих технологій свідчить, що основним резервом підвищення врожайності льону в Україні є не лише розширення площ, а й удосконалення кожної операції в технологічному ланцюгу. Першочерговим напрямком є якісна підготовка посівного ложа. Для цього доцільно модернізувати культиватор для передпосівного обробітку шляхом установлення пристроїв для вирівнювання, подрібнення грудок і часткового ущільнення нижнього шару ґрунту. Таке рішення підвищує рівномірність сходів і зменшує ризик пересихання верхнього горизонту.

Другим напрямком є підвищення точності сівби. Це передбачає використання якісного каліброваного насіння, контроль фактичної норми висіву, застосування маркерів або GPS-навігації для усунення перекриттів і пропусків. Третім напрямком є удосконалення системи захисту від бур'янів, оскільки льон на початкових фазах розвитку має слабку конкурентоспроможність. Тут перспективним є поєднання чистого попередника, якісного передпосівного

обробітку, страхових гербіцидів і роботизованих засобів селективного прополювання.

Четвертим напрямком є цифровий моніторинг посівів. Регулярні обльоти БПЛА дають змогу швидко оцінити густоту рослин, індекс вегетації, локальні стреси та появу бур'янів. Штучний інтелект може використовуватися для порівняння знімків у часі, автоматичного виявлення проблемних зон і формування карт-завдань для обприскування або підживлення. П'ятим напрямком є розвиток післязбиральної логістики та первинної доробки, адже якість насіння і можливість реалізації значною мірою залежать від швидкого очищення, сушіння та зберігання.

Таблиця 1.5 – Основні напрямки вдосконалення технології вирощування льону.

Напрямок	Технічне рішення	Очікуваний результат
Передпосівний обробіток	Модернізований культиватор з вирівнювально-ущільнювальним пристроєм	Рівномірне посівне ложе, дружні сходи, збереження вологи
Сівба	Точне регулювання норми висіву, GPS-контроль проходів	Зменшення пропусків і перекриттів, стабільна густина стояння
Захист від бур'янів	Поєднання гербіцидного захисту та роботизованого прополювання	Зниження конкуренції бур'янів і витрат препаратів
Моніторинг	БПЛА, супутникові знімки, AI-аналітика	Оперативне виявлення проблемних зон поля
Післязбиральна доробка	Очищення, сушіння, контроль вологості та засміченості	Підвищення товарної якості насіння

Висновки по розділу

У результаті аналізу встановлено, що льон є перспективною нішевою технічною культурою, попит на яку підтримується харчовою, олійною, фармацевтичною та екологічною спрямованістю сучасного виробництва. Світові площі посівів льону олійного у 2000–2022 рр. зросли з 2,58 до 4,53 млн га, а в Україні площі мають хвилеподібну динаміку з максимумом у 2015–2016 рр. та відновленням після 2020 р. Основними стримувальними чинниками є

нестабільність ринку, коливання цін, недостатня якість насіння, засміченість посівів і порушення агротехнічних строків.

Найбільш важливою операцією для формування врожаю є передпосівний обробіток ґрунту, оскільки дрібне насіння льону потребує рівномірного посівного ложа і стабільної глибини загортання. Тому модернізація культиватора для передпосівного обробітку є обґрунтованим напрямком удосконалення комплексу машин. Додатковими резервами підвищення ефективності є використання БПЛА, штучного інтелекту для моніторингу, роботизованих засобів боротьби з бур'янами, точного висіву та диференційованого внесення ресурсів. Поєднання механічного удосконалення робочих органів із цифровим контролем поля створює основу для ресурсозберігаючої та конкурентоспроможної технології вирощування льону.

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЛЬОНУ В УМОВАХ ПОЛІССЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Метою розділу є розроблення механізованої технології вирощування льону для умов Полісся Житомирської області на площі 150 га з урахуванням використання модернізованого культиватора для передпосівного обробітку ґрунту, сучасного машинно-тракторного парку, безпілотних літальних апаратів для моніторингу посівів і агродронів для точного внесення засобів захисту рослин. Проектована технологія орієнтована на одержання вирівняних і дружних сходів, зменшення ущільнення ґрунту, скорочення кількості проходів агрегатів по полю та підвищення керованості агротехнічних операцій.

Для Полісся характерні дерново-підзолисті та супіщані ґрунти з підвищеною чутливістю до ущільнення і нестачею доступних елементів живлення. Тому технологія вирощування льону повинна поєднувати якісне вирівнювання верхнього шару ґрунту, точне дотримання глибини загортання насіння, своєчасний контроль бур'янів, шкідників і хвороб, а також мінімізацію пошкодження рослин у період інтенсивного росту. Особливе значення має передпосівний обробіток, оскільки насіння льону дрібне, а його сходи слабо конкурують з бур'янами в початковий період вегетації.

2.1. Вихідні умови проектування технології

Проектування виконано для сільськогосподарського підприємства, розташованого в зоні Полісся Житомирської області. Розрахункова площа посіву льону становить 150 га. Попередником у технології прийнято озимі зернові, після збирання яких залишається достатній проміжок часу для луцення стерні, внесення добрив та основного обробітку ґрунту. Така схема дає змогу підготувати поле з осені, а навесні виконати лише поверхневі операції, необхідні для формування дрібногрудочкуватого посівного шару.

Таблиця 2.1 – Вихідні умови проектування технології вирощування льону

Показник	Значення	Проектне значення/вимога
Зона вирощування	Полісся Житомирської області	помірне зволоження, підвищений ризик перезволоження у весняний період
Площа посіву	150 га	єдиний виробничий масив або 2-3 поля з однаковою технологією
Культура	льон товарного напрямку	рання сівба, рівномірна густота, чисте поле
Попередник	озимі зернові	раннє звільнення поля, можливість якісного осіннього обробітку
Основна вимога до ґрунту	вирівняний, ущільнений нижче насіння та розпушений зверху шар	грудочки переважно до 10 мм; гребені та борозни не більше 3-4 см
Передпосівний обробіток	модернізований КПС-4	глибина 5-8 см, робоча ширина 4 м, продуктивність 6 га/год
Моніторинг	DJI Mavic 3M або аналогічний мультиспектральний БПЛА	3-5 обльотів за сезон, карти NDVI/NDRE, виявлення плям стресу
Обприскування	DJI Agras T50 або аналогічний агродрон	локальні та суцільні внесення, робочий розчин 12-15 л/га

У технології передбачено використання переважно універсальних тракторів потужністю 160-250 к.с., широкозахватних ґрунтообробних і посівних машин, спеціалізованих машин для збирання льону та БПЛА. Для господарства площею 150 га під льон недоцільно формувати надмірно великий парк вузькоспеціалізованих машин, тому частину збиральних операцій можна виконувати власною технікою, а високовартісні машини для теребіння та пресування трести використовувати на умовах кооперації або сервісного договору.

Проектована технологічна схема вирощування льону на площі 150 га



Рис. 2.1. Проектована технологічна схема вирощування льону.

2.2. Агротехнічне обґрунтування технологічних операцій

Льон належить до культур, що висувають високі вимоги до якості підготовки посівного ложа. Дрібне насіння загортають неглибоко, тому нерівності поверхні, великі грудки та пересушений верхній шар ґрунту безпосередньо знижують польову схожість. У зоні Полісся важливо забезпечити не лише розпушування, а й помірне ущільнення нижньої частини посівного шару, щоб насіння отримувало вологу з капілярів ґрунту. Саме тому у технологічній карті передбачено модернізований культиватор КПС-4 з вирівнювально-штанговим пристосуванням, яке виконує розпушування, вирівнювання та часткове ущільнення шару 5-8 см.

Осінній обробіток починається з луцення стерні після попередника. Ця операція провокує проростання падалиці та бур'янів, подрібнює й перемішує рослинні рештки, вирівнює поле перед основним обробітком. У Поліссі важливо не затягувати луцення, оскільки надмірне зволоження восени може скоротити період, придатний для якісної роботи ґрунтообробних агрегатів. Основний обробіток виконується на глибину 20-22 см залежно від щільності ґрунту, забур'яненості й наявності ущільненого шару.

Навесні кількість проходів агрегатів має бути мінімальною. Ранньовесняне боронування закриває вологу, вирівнює поверхню та створює умови для рівномірної роботи культиватора. Передпосівна культивація модернізованим КПС-4 виконується безпосередньо перед сівбою. Після неї рекомендовано коткування, особливо на легких ґрунтах, де необхідне ущільнення посівного ложа. Сівба проводиться у ранні строки, коли ґрунт досягає фізичної стиглості, а загортання насіння можливе на однакову глибину.

Таблиця 2.2 – Основні агротехнічні вимоги до операцій технології

Операція	Агротехнічна вимога	Контроль якості
Основний обробіток	обробіток 20-22 см, без огріхів, із повним підрізанням бур'янів	перевірка глибини у 10-15 точках поля, візуальний контроль гребенів
Передпосівна культивація	глибина 5-8 см; вирівняна поверхня; грудочки до 10 мм	рейка 2 м, вимірювання глибини, огляд ущільненого прошарку

Продовження таблиці 2.2.

Сівба	глибина 1.5-2.5 см; рівномірنا норма висіву; прямолінійність рядків	контроль висіву на пробній ділянці, перевірка фактичної норми
БПЛА-моніторинг	обльоти у фазах сходів, інтенсивного росту, бутонізації та перед збиранням	ортофотоплан, карта NDVI/NDRE, звіт про ділянки стресу
Обприскування агродромом	робота за картою-завданням, контроль вітру, перекриття проходів 10-15 %	журнал польоту, фактична карта внесення, залишок робочого розчину
Збирання	терebinня без зрізання стебла, рівномірне укладання у стрічки	втрати стебел, якість стрічки, рівномірність вилежування

2.3. Обґрунтування сучасного парку машин

Машинно-тракторний парк підібрано за принципом достатньої продуктивності для площі 150 га, можливості виконання робіт у стислий агротехнічний строк і сумісності з цифровими системами землеробства. Для ґрунтообробних і посівних операцій застосовуються трактори тягового класу 3-5 з навігацією, автопілотом, ISOBUS і телематикою. Для передпосівного обробітку основним спеціальним агрегатом є модернізований КПС-4, що забезпечує вирівнювання поля та формування ущільненого прошарку на глибині розміщення насіння.

Перевага запропонованого складу машин полягає у поєднанні універсальних агрегатів з високоточними цифровими засобами. БПЛА для моніторингу виконує аерофотозйомку й мультиспектральне сканування посівів, а агродром виконує внесення засобів захисту рослин без утворення технологічних колій. Це важливо для льону, оскільки культура формує тонке стебло, чутлива до механічного пошкодження й потребує рівномірного стеблостою.

Таблиця 2.3 – Запропонований парк машин для технології вирощування льону

Машина/агрегат	Призначення	Основні параметри	Кількість
CLAAS AXION 850 або аналог	основний обробіток, важкі тягові роботи	230-260 к.с.; GPS-навігація; ISOBUS	1
John Deere 6R 215 / Fendt 724 Vario	сівба, боронування, коткування, транспортні роботи	200-240 к.с.; автопілот; телематика	1
LEMKEN Rubin 10/400	лушення стерні, поверхневий обробіток	ширина 4 м; глибина 5-14 см	1
LEMKEN Juwel 8 або чизельний плуг	основний обробіток ґрунту	4-5 корпусів; 20-25 см	1
Модернізований культиватор КПС-4	передпосівний обробіток і вирівнювання	4 м; 5-8 см; до 15 км/год; 6 га/год	1
AMAZONE Cirrus 6003-2C / HORSCH Pronto 6 DC	вузькорядна сівба льону	6 м; точне дозування дрібного насіння	1
Cambridge Roller 8.2 м	перед- і післяпосівне коткування	8.2 м; кільчасто-шпорові секції	1
DJI Mavic 3M або аналог	моніторинг посівів, індекси NDVI/NDRE	RGB 20 МП; 4 мультиспектральні камери 5 МП	1
DJI Agras T50 або аналог	гербіцидний, фунгіцидний, інсектицидний захист	бак до 40 кг; високопродуктивне обприскування	1
Hyler Falcon FS40 / Union flax puller	терebinня льону та укладання у стрічки	до 5.2 м робочої ширини; спеціальна лляна машина	1 або сервіс
Union / Dehondt flax turner, baler	обертання стрічок, підбирання та пресування трести	спеціалізовані машини для льону	1 або сервіс
MAN TGS / тракторний транспорт	вивезення рулонів та матеріалів	причеми-платформи, маркування партій	2

Модернізований культиватор КПС-4 є ключовою машиною у проєкті, оскільки саме передпосівна культивація визначає якість розміщення насіння льону. Конструктивне рішення із штангово-ланцюговим вирівнювачем дає змогу одночасно розпушувати верхній шар, руйнувати дрібні грудки, вирівнювати поле та ущільнювати прошарок на глибині 5-8 см. Для площі 150 га при продуктивності 6 га/год тривалість виконання операції становить 25 машино-год, тобто близько 3.1 робочої зміни по 8 годин. Це дає можливість виконати обробіток у межах оптимального агротехнічного строку та одразу перейти до сівби.

Таблиця 2.4 – Технологічна карта вирощування льону для площі 150 га

№	Операція	Строк	Агрегат	W, га/год	Кратн.	Год	Дні	ПММ, л	Матеріали/норма
1	Лушення стерні після попередника	серпень-вересень	John Deere 6R 215 + LEMKEN Rubin 10/400	3.4	1	44.1	5.5	1200	дискування 8-10 см; заробка решток
2	Внесення фосфорно-калійних добрив	вересень	Fendt 724 Vario + AMAZONE ZA-TS	18.0	1	8.3	1.0	240	P60K90; розкидання за картою-завданням
3	Основний обробіток ґрунту	вересень-жовтень	CLAAS AXION 850 + LEMKEN Juwel 8	1.8	1	83.3	10.4	3300	оранка або глибоке чизелювання 20-22 см
4	Закриття вологи та ранньовесняне боронування	березень II-III	John Deere 6R 215 + штригельна борона 12 м	8.5	1	17.6	2.2	375	вирівнювання мікрорельєфу, збереження вологи
5	Внесення стартової дози азоту	березень III	Fendt 724 Vario + AMAZONE ZA-TS	18.0	1	8.3	1.0	240	N20-30; точне розкидання по межах поля
6	Передпосівна культивация модернізованим культиватором	березень III - квітень I	MT3-892/John Deere 6R + модернізований КПС-4	6.0	1	25.0	3.1	900	глибина 5-8 см; вирівнювально-штангове пристосування
7	Передпосівне коткування	квітень I	John Deere 6R 215 + Cambridge Roller 8.2 м	6.8	1	22.1	2.8	300	ущільнення посівного ложа, вирівнювання
8	Сівба льону вузькорядним способом	квітень I-II	John Deere 6R 215 + AMAZONE Cirrus 6003-2C	5.5	1	27.3	3.4	720	норма насіння 85-100 кг/га; глибина 1.5-2.5 см
9	Післяпосівне коткування	квітень I-II	John Deere 6R 215 + Cambridge Roller 8.2 м	6.8	1	22.1	2.8	300	покращення контакту насіння з ґрунтом
10	Базове картування поля БПЛА	квітень II	DJI Mavic 3M + RTK база	95.0	1	1.6	0.2	0	ортофотоплан, NDVI/NDRE, контури неоднорідностей
11	Гербіцидне обприскування агродроном	травень I-II	DJI Agras T50	15.0	1	10.0	1.2	0	робочий розчин 12-15 л/га; карта-завдання
12	Моніторинг сходів і забур'яненості БПЛА	травень II-III	DJI Mavic 3M + AI-класифікація	95.0	1	1.6	0.2	0	оцінка густоти, плям бур'янів, стресу
13	Фунгіцидно-інсектицидний захист агродроном	червень I-II	DJI Agras T50	15.0	1	10.0	1.2	0	захист від хвороб та шкідників за порогами шкодочинності
14	Передзбиральне обстеження БПЛА	липень I-II	DJI Mavic 3M	95.0	1	1.6	0.2	0	карта стиглості й забур'яненості
15	Теребіння льону та укладання у стрічки	липень II-III	Hyler Falcon FS40 / Union flax puller	2.5	1	60.0	7.5	1500	збирання у ранньо-жовтій стиглості; збереження довжини волокна
16	Обертання стрічок під час вилежування	липень III - серпень I	Union / Dehondt flax turner	4.0	2	75.0	9.4	1200	2 проходи для рівномірного вилежування трести
17	Підбирання та пресування трести	серпень I-II	Union flax baler + трактор	3.0	1	50.0	6.2	750	формування рулонів; вологість відповідно до вимог переробки
18	Транспортування рулонів до місця зберігання	серпень I-II	MAN TGS + причіп-платформа / тракторний транспорт	5.0	1	30.0	3.8	900	вивезення з поля, маркування партій

2.4. Технологічна карта вирощування льону на площі 150 га

Розрахунок технологічної карти виконано для одного проходу по площі 150 га, якщо інше не зазначено. Потребу в машино-годинах визначали за формулою $T = F \cdot n / W$, де F – площа, га; n – кратність проходів; W – продуктивність агрегату, га/год. Для БПЛА продуктивність прийнята за площею, яку реально обробляють або обстежують за годину польової роботи з урахуванням підготовки, дозаправки та заміни акумуляторів.

Таблиця 2.5 – Узагальнені показники технологічної карти

Показник	Значення
Загальна площа технологічних проходів	2850 га-проходів
Сумарна потреба в машино-годинах	497.9 маш.-год
Сумарна потреба в людино-годинах	527.9 люд.-год
Розрахункова потреба дизельного пального	11925 л
Частка БПЛА-операцій у загальному часі	5.0 %
Потреба часу на передпосівну культивування КПС-4	25.0 маш.-год

За результатами розрахунку найбільше завантаження припадає на операції основного обробітку ґрунту, збирання та післязбиральної роботи зі стрічками льону. Передпосівна культивування займає меншу частку часу, але є технологічно критичною, оскільки від неї залежить рівномірність глибини сівби, польова схожість і вирівняність стеблостою. Використання модернізованого КПС-4 дозволяє скоротити потребу в додаткових вирівнювальних операціях, що зменшує ущільнення ґрунту та витрати пального.

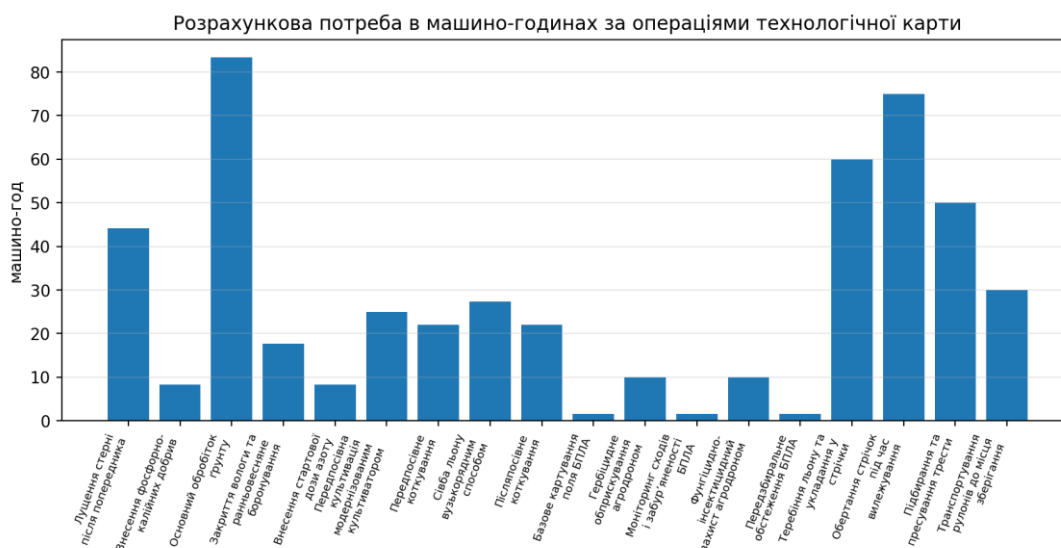


Рис. 2.2. Потреба в машино-годинах за операціями технологічної карти.

Структура завантаження техніки за групами робіт

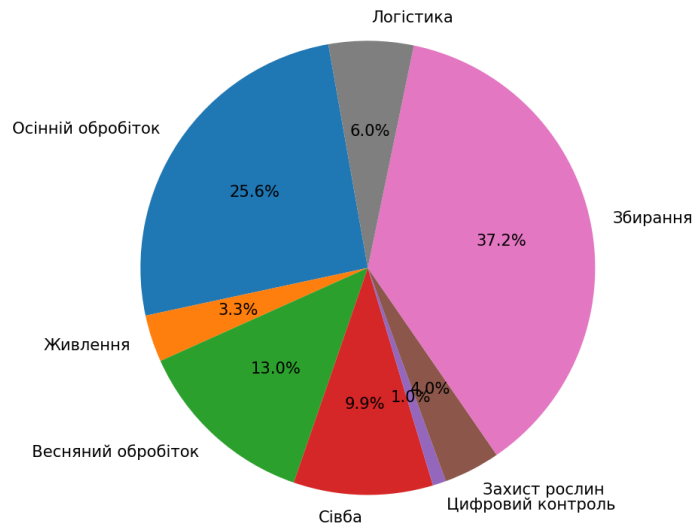


Рис. 2.3. Структура завантаження техніки за групами робіт.

2.5. Графік завантаження машин і БПЛА

Графік завантаження складено з урахуванням агротехнічних строків виконання робіт, фізичної стиглості ґрунту навесні та особливостей досягання льону. Найбільш напруженими є два періоди: весняний блок передпосівних робіт і сівби, а також збиральний блок, що охоплює теревіння, обертання стрічок, пресування та транспортування. Для зменшення ризику зриву строків передбачено один резервний трактор тягового класу 3-4 та можливість сервісного залучення спеціалізованих лляних машин.

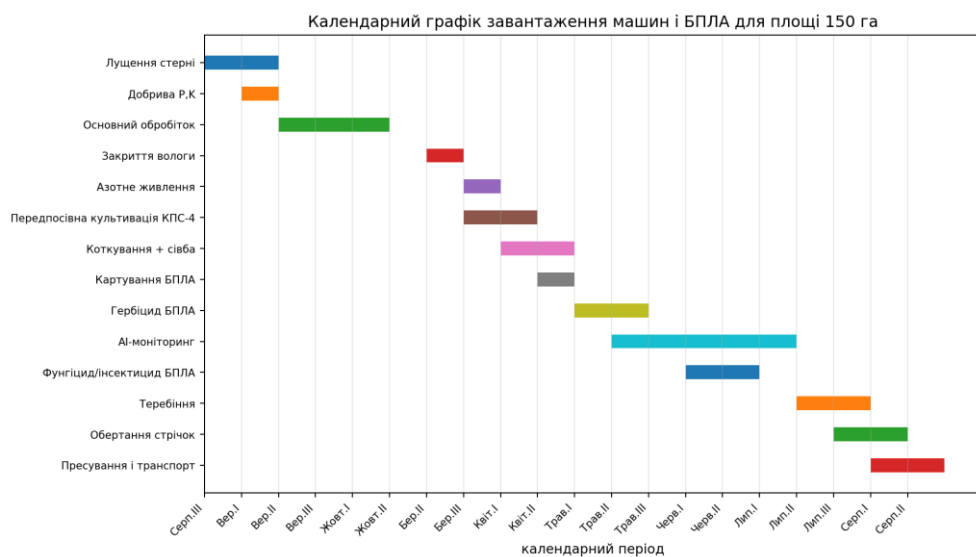


Рис. 2.4. Календарний графік завантаження машин і БПЛА

Таблиця 2.6 – Помісячний графік завантаження техніки

Робота	Серп.- жовт.	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень
Осінній обробіток і добрива	●●●						
Закриття вологи		●					
Передпосівна культивация КПС-4		●	●				
Коткування та сівба			●●				
Моніторинг БПЛА			●	●●	●	●	
Обприскування агродроном				●	●		
Теребіння льону						●●	
Обертання, пресування, транспорт						●	●●

Позначення «●» у таблиці відповідає періоду активного виконання робіт.

У виробничих умовах графік коригується залежно від фактичної вологості ґрунту, опадів, температури, швидкості вітру та готовності поля до проходу агрегатів. Для БПЛА-операцій додатково враховують обмеження за вітром, опадами, видимістю та вимогами безпеки польотів.

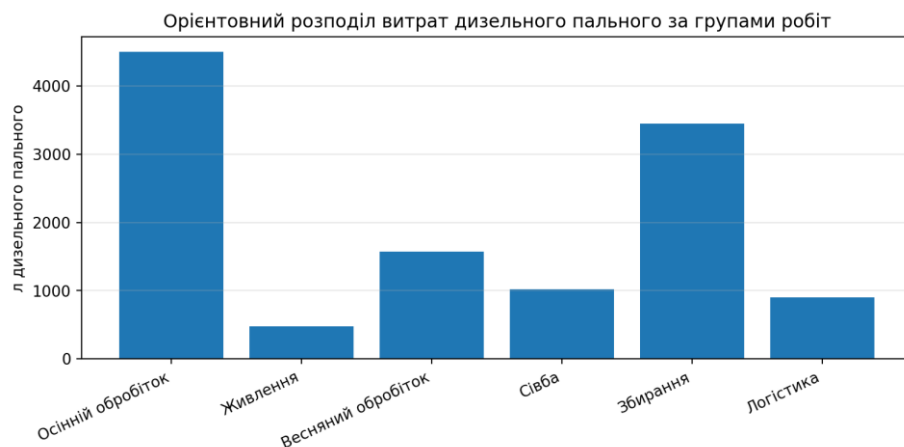


Рис. 2.5. Орієнтовний розподіл витрат дизельного пального за групами робіт

2.6. Використання БПЛА для моніторингу та обприскування

У проектованій технології БПЛА застосовуються не як допоміжний елемент, а як частина цифрового контуру управління посівами. Мультиспектральний дрон виконує базове картування поля після сівби, контроль сходів, виявлення нерівномірності розвитку рослин, плям бур'янів, зон перезволоження та стресу. Отримані знімки обробляються у програмному

забезпеченні для побудови індексів NDVI, NDRE, карт густоти й карт неоднорідності. На основі цих матеріалів агроном приймає рішення щодо локального або суцільного захисту посівів.

Агродрон для обприскування доцільно використовувати на льоні з кількох причин. По-перше, він не формує технологічних колій і не пошкоджує тонке стебло. По-друге, він може працювати по окремих ділянках, визначених за картами БПЛА-моніторингу, що знижує витрати препаратів. По-третє, агродрон зручний для роботи на перезволожених ділянках Полісся, де наземний обприскувач може створювати колії або взагалі не мати доступу до поля.

Цифровий контур моніторингу та точного захисту посівів льону

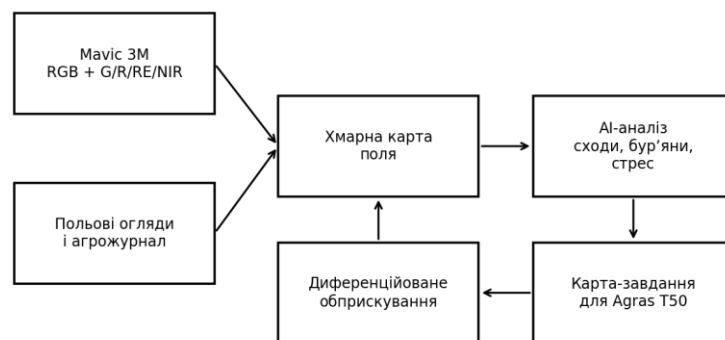


Рис. 2.6. Цифровий контур моніторингу та точного захисту посівів льону

Таблиця 2.7 – Використання БПЛА за фазами розвитку льону

Етап	Завдання БПЛА	Рішення
Після сівби	створення ортофотоплану, уточнення меж поля, контроль якості сівби	уточнення технологічних колій, виділення проблемних зон
Фаза сходів	оцінка рівномірності сходів, виявлення пропусків і кірки	локальне розпушування кірки, корекція плану захисту
Початок інтенсивного росту	пошук плям бур'янів, стресу, перезволоження	карта-завдання для гербіцидного обприскування
Бутонізація - цвітіння	контроль хвороб, шкідників, нерівномірності живлення	фунгіцидно-інсектицидний захист за потреби
Перед збиранням	оцінка стиглості, забур'яненості, вологості ділянок	планування маршруту збиральної техніки

2.7. Напрями підвищення ефективності технології

Проектована технологія є базовою для площі 150 га, однак її ефективність можна підвищувати за рахунок подальшої цифровізації та оптимізації

машинних операцій. Найперше значення має точність передпосівного обробітку. Модернізований культиватор КПС-4 доцільно комплектувати датчиками глибини або простим індикатором положення робочих органів, що дасть змогу фіксувати фактичну глибину культивації в електронному журналі поля. Для агрегаткування з сучасним трактором варто передбачити паралельне водіння, щоб уникнути перекриттів і пропусків.

- впровадження карт агрохімічного обстеження та диференційованого внесення фосфорно-калійних добрив;
- застосування RTK-навігації для обробітку, сівби й польотів БПЛА, що зменшує перекриття на 5-8 %;
- перехід до карт-завдань для агродрона з обробкою лише проблемних зон, визначених за NDVI/NDRE;
- коопераційне використання спеціалізованих машин для теребіння та обробки стрічок льону;
- створення цифрового журналу поля з прив'язкою операцій, витрат матеріалів, погодних умов і результатів моніторингу;
- використання прогнозних моделей хвороб і шкідників, які поєднують дані БПЛА, погоду та історію поля.

Важливим резервом є зменшення кількості проходів наземної техніки в період вегетації. Для цього частину захисних обробок доцільно виконувати агродроном, а рішення про внесення препаратів приймати після аналізу мультиспектральних знімків. У разі локального розвитку бур'янів або хвороб обробляється лише проблемна ділянка, що знижує витрати препарату та зменшує пестицидне навантаження на агроєкосистему.

У технології для 150 га модернізований КПС-4 виконує роль основної машини, що забезпечує якісне посівне ложе. Порівняно з традиційною схемою, де після культивації додатково використовують окремі борони чи вирівнювачі, запропоноване пристосування поєднує кілька функцій в одному проході. Це забезпечує економію часу, зменшення витрат пального та кращі умови для роботи сівалки. Для льону, який формує рівномірний стеблостій лише за умови

дружних сходів, це має безпосередній вплив на урожайність і технологічну якість продукції.

Висновки по розділу

У другому розділі розроблено технологію вирощування льону в умовах Полісся Житомирської області для площі 150 га. Запропонована технологічна карта охоплює осінній та весняний обробіток ґрунту, внесення добрив, передпосівну культивуацію, сівбу, коткування, БПЛА-моніторинг, агродронне обприскування, терebinня, обертання стрічок, пресування та транспортування продукції. Центральним елементом технології є модернізований культиватор КПС-4, який використовується для передпосівного обробітку на глибину 5-8 см і забезпечує вирівнювання поверхні поля та формування якісного посівного ложа.

Для виконання робіт підібрано сучасний парк машин, який поєднує універсальні трактори, широкозахватні ґрунтообробні та посівні агрегати, спеціалізовані машини для збирання льону, мультиспектральний БПЛА і агродрон. Розрахункова потреба в машинному часі для всієї технології становить близько 497.9 машино-год, а орієнтовна потреба дизельного пального для наземних робіт - близько 11925 л. Використання БПЛА дає змогу підвищити точність моніторингу, зменшити пошкодження посівів і перейти від суцільного до диференційованого захисту рослин.

Найбільш напруженими періодами є весняні роботи з підготовки ґрунту та сівби, а також збиральний період. Складений графік завантаження показує, що передпосівну культивуацію на площі 150 га модернізованим КПС-4 можна виконати за 25 машино-год, тобто у стислий агротехнічний строк. Подальше вдосконалення технології доцільно спрямувати на автоматизоване керування глибиною культивуації, впровадження карт-завдань, РТК-навігацію, сервісне використання спеціалізованих лляних машин і створення цифрового журналу поля.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МОДЕРНІЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ ДО КУЛЬТИВАТОРА КПС-4 ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ПІД ЛЬОН

Ефективність вирощування льону значною мірою визначається не лише строками сівби та якістю насіннєвого матеріалу, а й станом верхнього шару ґрунту перед проходом сівалки. Насіння льону дрібне, тому для рівномірного загортання воно потребує щільного насіннєвого ложа, вирівняної поверхні поля, дрібногрудочкуватої структури та достатнього збереження капілярної вологи. Наявність гребенів, великих грудок або нерівномірного ущільнення призводить до різної глибини загортання, зрідження сходів і ускладнює подальший догляд за посівами.

У конструктивній частині роботи запропоновано модернізацію культиватора КПС-4 шляхом встановлення штангово-ланцюгового вирівнювального пристрою. Основне призначення модернізованого вузла полягає у поєднанні розпушування, формування вирівняної поверхні, часткового ущільнення підпосівного шару та руйнування грудок за один прохід агрегату. Таке рішення особливо доцільне для технології вирощування льону, де якість передпосівної підготовки безпосередньо впливає на дружність сходів і рівномірність розвитку рослин.

3.1 Аналіз наявних технічних рішень для вирівнювання ґрунту

У традиційних технологіях передпосівного обробітку після культивації часто застосовують зубові борони, шлейфи або котки. Їх використання дає змогу частково зруйнувати грудки, розпушити поверхню та зменшити хвилястість поля. Однак окреме агрегування таких машин збільшує кількість проходів по полю, підвищує витрати пального, ущільнює ґрунт ходовими системами трактора і збільшує тривалість виконання робіт у напружений передпосівний період.

Найпоширенішими засобами, які можуть працювати разом із культиватором КПС-4, є зубові борони БЗТС-1,0 та БЗСС-1,0. Борона БЗТС-1,0 використовується для поверхневого розпушування, подрібнення грудок, знищення проростків бур'янів і боронування посівів. Її робочі органи утворені системою планок, у місцях перетину яких закріплені квадратні зуби. Розміщення зубів забезпечує формування окремих борозен із міжсліддям близько 49 мм. Борона БЗСС-1,0 має подібну конструктивну схему, але відрізняється масою, тому її дія на ґрунт є дещо м'якшою.

Для обробітку смуги шириною 4 м на культиватор необхідно навішувати чотири секції зубових борін. Таке компонування є простим і доступним, але воно не повністю відповідає вимогам передпосівної підготовки під льон: зуби формують дрібні борозни, а якість поверхневого вирівнювання залежить від вологості ґрунту та швидкості руху. Крім того, борони не створюють рівномірно ущільненого насінневого ложа, що є важливим для дрібнонасінних культур.

Запропонований штангово-ланцюговий пристрій працює інакше. Спочатку штанговий робочий орган, переміщуючись у верхньому шарі ґрунту, частково ущільнює прошарок на глибині 5-8 см, а потім ланцюговий шлейф розподіляє розпушену масу, зменшує гребенистість і остаточно вирівнює мікрорельєф. Унаслідок цього за один прохід утворюється поверхня, придатна для якісної сівби льону з дотриманням рівномірної глибини загортання насіння.

Таблиця 3.1 – Порівняльна оцінка технічних засобів для вирівнювання ґрунту

Показник	БЗТС-1,0	БЗСС-1,0	Модернізований штангово-ланцюговий пристрій
Робоча ширина захвату, м	1,0	1,0	4,0
Продуктивність за годину чистої роботи, га/год	до 4,8	до 4,8	до 6,0
Робоча швидкість, км/год	до 12	до 12	до 15
Глибина дії робочих органів, м	до 0,08	до 0,08	до 0,08
Основний технологічний ефект	розпушування, боронування	легке боронування	вирівнювання, ущільнення ложа, подрібнення грудок
Придатність для підготовки ґрунту під льон	середня	середня	висока
Обслуговуючий персонал, осіб	1	1	1
Питомий тяговий опір, кН/м	0,4-0,7	0,3-0,5	0,2-0,5

З наведеної порівняльної характеристики видно, що модернізований пристрій має більшу ширину захвату та вищу допустиму швидкість роботи. Це дає змогу підвищити продуктивність агрегату без збільшення чисельності обслуговуючого персоналу. Додатковою перевагою є технологічна універсальність: пристрій не лише вирівнює поверхню, а й формує ущільнений прошарок, необхідний для стабільного контакту насіння льону з ґрунтом.

Отже, заміна набору зубових борін на спеціальний штангово-ланцюговий вузол є обґрунтованою з агротехнічної та експлуатаційної точки зору. Вона дозволяє зменшити кількість проходів агрегатів по полю, раціональніше використати тягово-енергетичні можливості трактора та підвищити якість передпосівного обробітку.

3.2 Призначення, область застосування та вимоги до модернізованого пристрою

Розроблений пристрій призначений для встановлення за робочими органами культиватора КПС-4. Він використовується під час передпосівного обробітку ґрунту під льон, а також може застосовуватися в технологіях вирощування інших дрібнонасінних культур, які потребують рівного поля та добре сформованого насінневого ложа. Конструкція навішується позаду рами культиватора і шарнірно з'єднується з гряділями, завдяки чому робочі органи можуть частково копіювати мікрорельєф поверхні.

Особливістю запропонованої модернізації є поєднання двох робочих елементів: штангового органу круглого перерізу та ланцюгового шлейфа. Штанга виконує функцію легкого підповерхневого ущільнення і розподілу ґрунтових частинок, а шлейф додатково розрівнює поверхню, руйнує дрібні гребені та засипає борозенки, що залишаються після лап культиватора. У результаті поле після проходження агрегату має рівномірний мікрорельєф, а верхній шар зберігає достатню пухкість для якісної роботи сівалки.

Пристрій доцільно застосовувати на рівнинних ділянках і на полях із незначним ухилом. За рахунок того, що штанговий робочий орган формує

ущільнений прошарок, а ланцюговий шлейф прикриває його пухким дрібногрудочкуватим ґрунтом, зменшуються втрати вологи з верхнього горизонту. Це є важливою умовою для льону, оскільки культура чутлива до дефіциту вологи в період проростання та формування сходів.

Таблиця 3.2 – Технічна характеристика модернізованого пристрою

Параметр	Значення
Базова машина	культиватор КПС-4
Спосіб агрегування	навісний, позаду рами культиватора
Продуктивність за годину чистої роботи, га/год	до 6,0
Робоча глибина дії, м	до 0,08
Робоча ширина захвату, м	4,0
Кількість секцій, шт.	2
Ширина захвату однієї секції, м	2,0
Габаритні розміри, мм	1200 × 4000 × 400
Орієнтовна маса пристрою, кг	85,7 на одну секцію; 171,4 для двох секцій
Робоча швидкість, км/год	до 15
Транспортна швидкість, км/год	до 20
Питомий тяговий опір, кН/м	0,2-0,5
Обслуговуючий персонал, осіб	1 тракторист

До модернізованого вузла висуваються агротехнічні, технічні та економічні вимоги. Агротехнічні вимоги пов'язані з якістю передпосівної підготовки: відхилення фактичної глибини обробітку від заданої не повинно перевищувати 1 см; переважний розмір грудочок у верхньому шарі має бути не більшим за 10 мм; висота гребенів і глибина борозен після проходу агрегату не повинні перевищувати 4 см. Дотримання цих показників забезпечує рівномірне загортання насіння льону та створює передумови для дружніх сходів.

Технічні вимоги стосуються надійності, простоти монтажу і зручності експлуатації. Конструкція повинна швидко встановлюватися на культиватор КПС-4 без суттєвого переобладнання рами, забезпечувати допустиме відхилення ширини захвату не більше $\pm 2\%$, мати доступні місця змащування, регулювання та огляду. Усі рухомі з'єднання мають працювати без заклинювання, а кріпильні елементи - витримувати змінні навантаження, що виникають у процесі роботи на неоднорідному ґрунтовому фоні.

Економічні вимоги полягають у підвищенні продуктивності агрегату, зменшенні експлуатаційних витрат і можливості виготовлення пристрою в умовах ремонтної майстерні господарства. Використання типового прокату,

зварних з'єднань, стандартних пальців, втулок і кріпильних деталей робить конструкцію ремонтпридатною та не потребує складного спеціалізованого обладнання.

Таблиця 3.3 – Основні вимоги до конструкції

Група вимог	Зміст вимог	Очікуваний результат
Агротехнічні	стабільна глибина, дрібногрудчувата структура, мінімальна гребенистість	рівномірне насінневе ложе під льон
Технічні	просте навішування, надійні шарніри, міцні зварні шви, можливість регулювання	безвідмовна робота в полі та швидке обслуговування
Експлуатаційні	робота на швидкості до 15 км/год, копіювання мікрорельєфу, стійкість ходу	збільшення продуктивності та стабільна якість обробітку
Економічні	мінімум додаткових матеріалів, виготовлення силами майстерні, зменшення кількості проходів	зниження собівартості передпосівного обробітку
Безпека праці	відсутність гострих незахищених елементів у зоні обслуговування, надійна фіксація під час транспортування	безпечна робота механізатора та ремонтного персоналу

3.3 Розрахунок працездатності та надійності основних елементів

Працездатність модернізованого пристрою перевіряється розрахунками найбільш навантажених елементів: зварного вузла кріплення стійки до гряділя, пальця шарнірного з'єднання кронштейна з повідком, маси основних складальних одиниць та тягового опору агрегату. Розрахункова схема приймається з урахуванням того, що на пристрій діє сумарне навантаження від опору ґрунту та власної ваги секції.

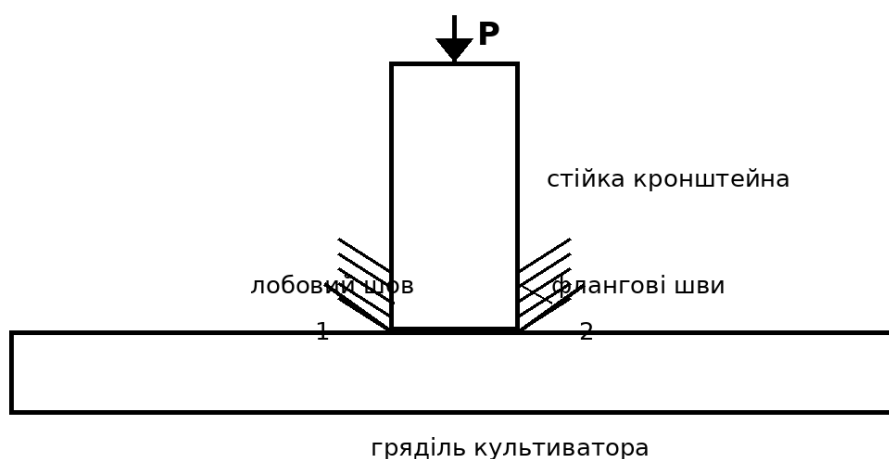


Рис. 3.1. Розрахункова схема зварного вузла кріплення стійки до гряділя.

3.3.1 Перевірка зварного з'єднання

Стійка кронштейна приварюється до гряділя ручним дуговим зварюванням. Для виготовлення стійки й гряділя приймається сталь звичайної якості, а розрахунок виконується для комбінованого шва, до складу якого входять лобова та флангові ділянки. Найбільш небезпечним вважається переріз у зоні переходу стійки до гряділя, де зосереджується дія зовнішнього навантаження.

Сумарну несучу здатність комбінованого зварного з'єднання можна подати як суму несучих здатностей лобового та флангового швів:

$$P = P_{\text{л}} + P_{\text{ф}}, \quad (3.1)$$

де P – допустиме навантаження зварного вузла, Н; $P_{\text{л}}$ – навантаження, яке сприймається лобовим швом, Н; $P_{\text{ф}}$ – навантаження, яке сприймається фланговими швами, Н.

Для лобового шва, напрямленого перпендикулярно до дії сили, розрахункове навантаження визначається залежністю:

$$P_{\text{л}} = [\tau'] \cdot 0,7 \cdot k \cdot l_1, \quad (3.2)$$

де $[\tau']$ – допустиме дотичне напруження в металі шва; k – катет шва; l_1 – довжина лобової ділянки шва. Для сталі приймаємо допустиме напруження на зріз:

$$[\tau'_{\text{доп}}] = 0,65 \cdot [\sigma_{\text{р}}], \quad (3.3)$$

де $[\sigma_{\text{р}}] = 160$ МПа – допустиме напруження розтягу. Тоді:

$$[\tau'_{\text{доп}}] = 0,65 \cdot 160 = 104 \text{ МПа.}$$

На стійку діє зусилля, яке складається з питомого опору ґрунту під час вирівнювання та ваги секції пристрою. Приймаємо $K_v = 400$ Н/м, вагу секції $P_{\text{пр}} = 820$ Н. Тоді загальне навантаження становить:

$$P = 400 + 820 = 1220 \text{ Н.}$$

Флангові шви розташовані паралельно напрямку прикладання сили, тому у валиках шва виникають робочі напруження зрізу. Для них записуємо:

$$P_{\text{ф}} = 2 \cdot [\tau'] \cdot 0,7 \cdot k \cdot l_2, \quad (3.4)$$

де l_2 – довжина флангового шва. Після поєднання складових отримуємо загальний вираз для визначення робочого напруження:

$$P = \tau \cdot 0,7 \cdot k \cdot (2l_1 + l_2), \quad (3.5)$$

$$\tau = P / [0,7 \cdot k \cdot (2l_1 + l_2)]. \quad (3.6)$$

За умов $k = 4$ мм, $l_1 = 40$ мм, $l_2 = 40$ мм розрахункове напруження дорівнює:

$$\tau = 1220 / [0,7 \cdot 4 \cdot (2 \cdot 40 + 40)] = 3,63 \text{ МПа}.$$

Отримане значення значно менше допустимого:

$$\tau = 3,63 \text{ МПа} < [\tau'_{\text{доп}}] = 104 \text{ МПа}. \quad (3.7)$$

Коефіцієнт запасу міцності зварного вузла становить:

$$K_z = [\tau'_{\text{доп}}] / \tau = 104 / 3,63 = 28,65. \quad (3.8)$$

Таким чином, зварне з'єднання має значний запас міцності. Це пояснюється тим, що навантаження від вирівнювального вузла порівняно невелике, а довжина зварних ділянок і прийнятий катет шва забезпечують достатню площу сприймання зусилля. Практично це означає, що за умови якісного виконання швів і відсутності дефектів зварювання вузол може надійно працювати в умовах змінного польового навантаження.

3.4 Опис конструкції та принцип роботи модернізованого пристрою

Конструктивна схема культиватора КПС-4 з установленим штангово-ланцюговим пристроєм подана на рис. 3.2. Вузол монтується за основними лапами культиватора і складається з гряділів, поздовжнього бруса, напрямних штанг, кронштейнів, натискних пружин, поперечного кутника з вушками, стояків, повідків, ланцюгового шлейфа, труби з гачками, башмаків і штангового робочого органу.

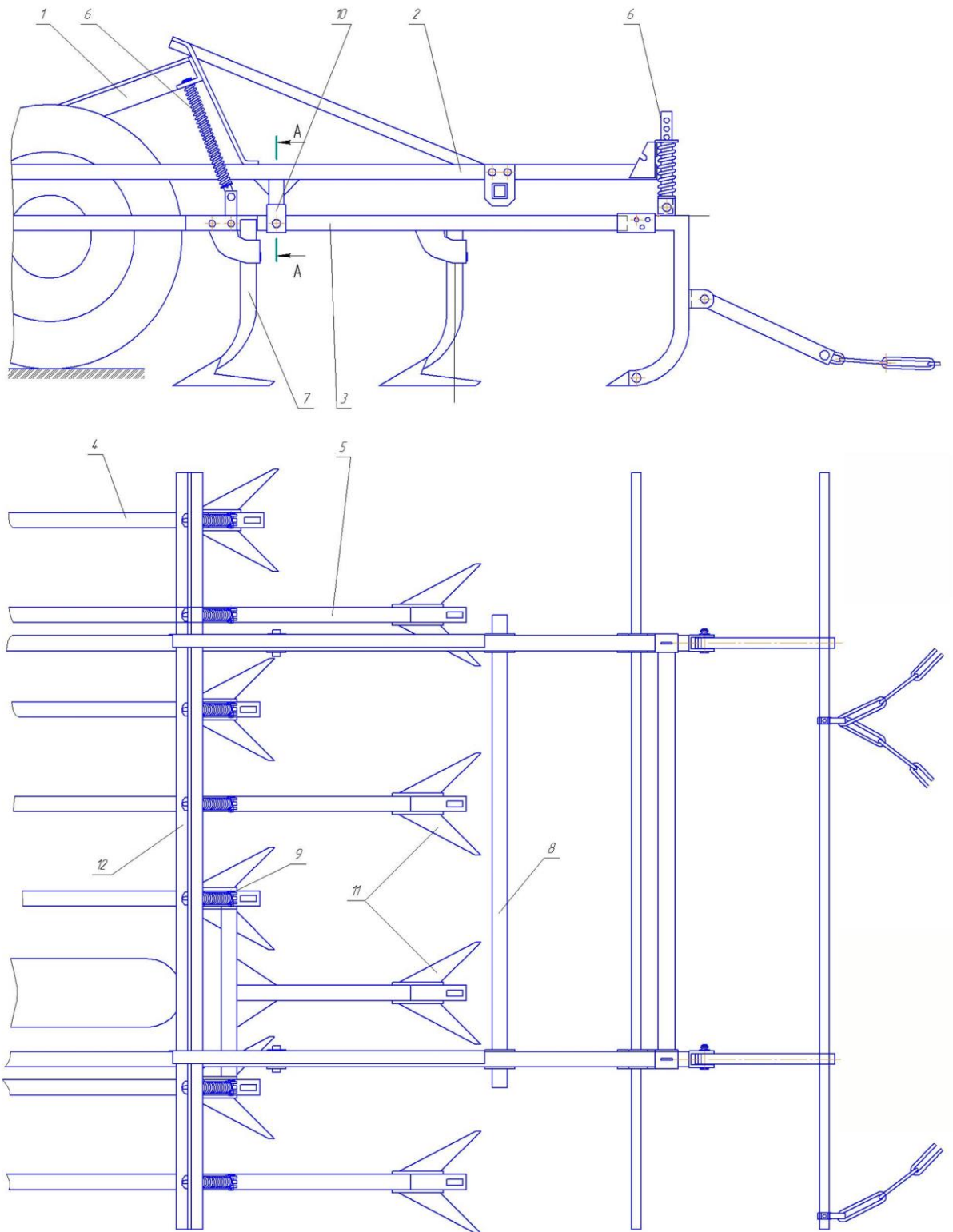


Рис. 3.2. Культиватор КПС-4 із модернізованим пристроєм для вирівнювання ґрунту: 1 – культиватор; 2 – гряділь пристрою; 3 – поздовжній брус; 4 - напрямна штанга; 5 – кронштейн; 6 – натискна пружина; 7 – поперечний кутник з вушками; 8 – стійка; 9 – поводок; 10 – ланцюговий шлейф; 11 – труба; 12 – башмак; 13 – штанговий робочий орган; 14 – лапи культиватора.

Штанговий робочий орган має круглий переріз діаметром 25 мм і встановлюється так, щоб під час руху агрегату він міг вільно обертатися в отворах повідків. Завдяки цьому зменшується налипання ґрунту, стабілізується хід органу й підвищується довговічність опорних поверхонь. До повідків кріпиться поперечна труба діаметром 25 мм, на якій розміщені гачки або хомути для приєднання ланцюгового шлейфа.

Натискні пружини забезпечують притискання робочих елементів до поверхні ґрунту та пом'якшують ударні навантаження, які виникають під час наїзду на грудки або рослинні рештки. Регулюванням попереднього стискання пружин можна змінювати інтенсивність дії пристрою: для легких ґрунтів притиск зменшують, а для щільніших або більш грудкуватих - збільшують.

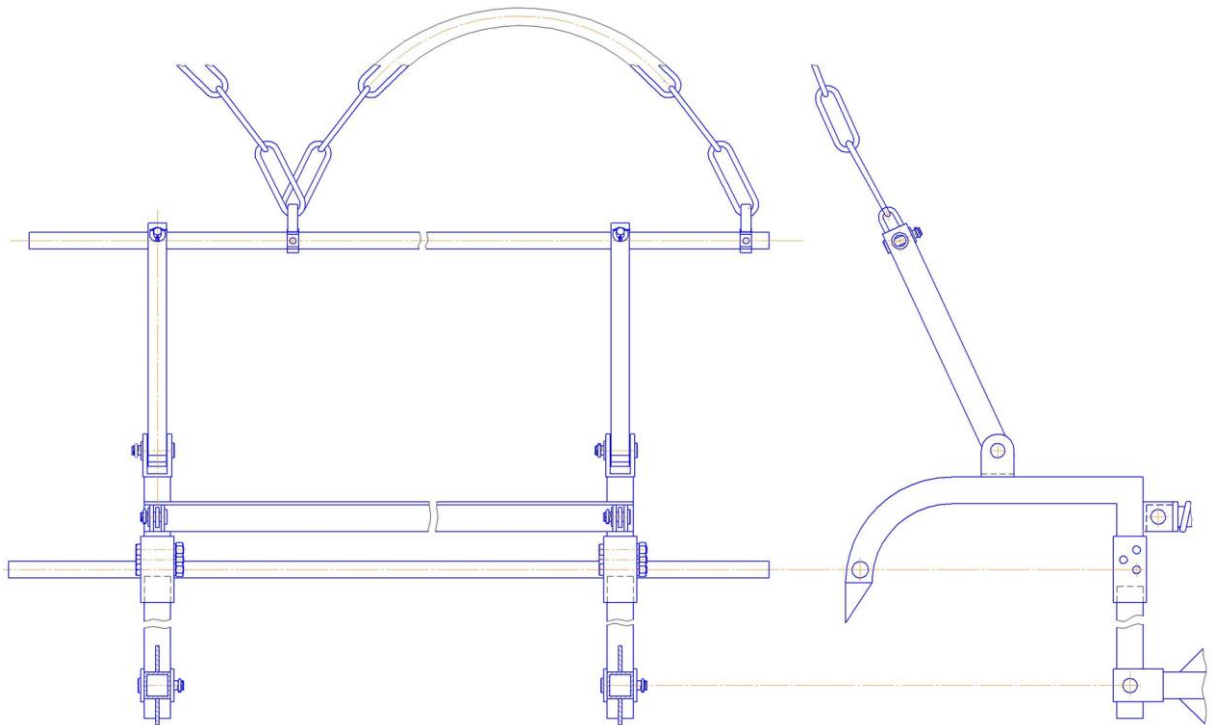


Рис. 3.3. Штангово-ланцюговий вирівнювальний пристрій: 1 – ланцюговий шлейф; 2 – поводок; 3 – гряділь; 4 – поперечний кутник; 5 – штанговий робочий орган; 6 – труба з гачками.

Ланцюговий шлейф складається з трьох частин, кожна з яких має довжину близько 0,4 ширини захвату культиватора. Частини шлейфа набрані з окремих ланок, що забезпечує гнучкість і пристосування до нерівностей поля. Кріплення до поперечної труби здійснюється за допомогою хомутів і гачків,

тому за потреби шлейф можна швидко зняти для ремонту або заміни пошкоджених ланок.

Пристрій виконано у вигляді двох самостійних секцій. Поділ на секції покращує копіювання мікрорельєфу, оскільки кожна частина має власну шарнірну підвіску і менше залежить від положення сусідньої. Правий і лівий поперечні кутники з'єднують лише відповідну пару гряділів, що зменшує жорсткість усієї системи в поперечному напрямку та підвищує рівномірність ходу робочих органів по глибині.

Під час роботи лапи культиватора розпушують ґрунт на задану глибину, після чого штанговий орган підрівнює нижню частину обробленого шару й утворює ущільнене насіннєве ложе. Ланцюговий шлейф переміщує надлишок ґрунту з гребенів у зниження, подрібнює дрібні грудочки, вирівнює борозни й залишає на поверхні пухкий шар, який зменшує випаровування вологи. У результаті поле стає придатним для сівби льону без додаткового проходу борін або котків.

3.5 Регулювання, технічне обслуговування та безпечна експлуатація

Перед початком роботи необхідно перевірити надійність кріплення пристрою до рами культиватора, стан зварних швів, справність шарнірів, цілісність ланцюгового шлейфа та правильність установлення штангового робочого органу. Особливу увагу слід приділяти відсутності тріщин у кронштейнах і вушках, оскільки ці елементи працюють під дією змінних навантажень.

Основними регулюваннями є встановлення глибини ходу культиваторних лап, положення штангового органу відносно поверхні ґрунту та ступінь притискання секцій пружинами. Для підготовки ґрунту під льон доцільно забезпечити глибину передпосівного розпушування до 6-8 см із формуванням рівного ущільненого ложа. Якщо після проходу агрегату залишаються гребені, потрібно збільшити дію шлейфа або зменшити швидкість руху. Якщо поверхня надмірно ущільнюється, притиск пружин слід послабити.

Під час технічного обслуговування очищують робочі органи від налиплого ґрунту та рослинних решток, перевіряють стан ланок шлейфа, пальців, шплінтів і втулок. Ослаблені різьбові з'єднання необхідно підтягувати, зношені ланки або пальці - замінювати. Після завершення польових робіт пристрій очищують, оглядають, за потреби підфарбовують пошкоджені місця та встановлюють на зберігання в сухому приміщенні або під навісом.

Під час агрегування та ремонту забороняється перебувати між трактором і культиватором без надійного зупинення агрегату. Усі регулювальні операції виконуються лише після опускання робочих органів на опору або фіксації їх у безпечному положенні. Під час транспортування секції мають бути закріплені так, щоб унеможливити самовільне опускання або бокове переміщення.

Таблиця 3.4 – Орієнтовна карта регулювання пристрою під час передпосівного обробітку під льон

Умова роботи	Ознака після проходу агрегату	Рекомендоване регулювання
Легкий структурний ґрунт нормальної вологості	поверхня рівна, грудочки дрібні	працювати з мінімальним або середнім притиском пружин
Грудкуватий ґрунт після ранньовесняного обробітку	залишаються гребені та грудки	збільшити притиск шлейфа, зменшити швидкість на 1-2 км/год
Перезволожений ґрунт	налипання на штангу і шлейф	роботу відкласти або зменшити глибину й швидкість
Надмірно сухий ґрунт	пилення, руйнування структури	працювати на помірній швидкості, зменшити агресивність дії шлейфа
Підготовка безпосередньо перед сівбою льону	потрібне рівне насіннєве ложе	встановити глибину 6-8 см і забезпечити рівномірне ущільнення штангою

Висновок до конструктивного розділу

У конструктивному розділі обґрунтовано модернізацію культиватора КПС-4 шляхом встановлення штангово-ланцюгового пристрою для передпосівного обробітку ґрунту під льон. Запропонована конструкція забезпечує поєднання розпушування, вирівнювання, часткового ущільнення насіннєвого ложа та збереження вологи в одному технологічному проході. Порівняно із застосуванням традиційних зубових борін пристрій має більшу

робочу ширину, може працювати на швидкостях до 15 км/год і краще відповідає вимогам підготовки ґрунту під дрібнонасінні культури.

Виконані розрахунки підтвердили працездатність основних елементів конструкції. Напруження у зварному з'єднанні становить 3,63 МПа за допустимого 104 МПа, а коефіцієнт запасу міцності дорівнює 28,65. Напруження зрізу пальця шарнірного з'єднання дорівнює 7,2 МПа, що значно менше допустимого значення 60 МПа; коефіцієнт запасу становить 8,3. Загальна маса двох секцій пристрою становить 171,4 кг, а розрахунковий тяговий опір агрегату - 26,55 кН, що підтверджує можливість практичного застосування запропонованого рішення.

Конструкція може бути виготовлена в умовах ремонтної майстерні господарства з використанням доступного сортового прокату, зварних з'єднань і стандартних кріпильних деталей. Її впровадження дає змогу підвищити якість передпосівної підготовки ґрунту під льон, скоротити кількість проходів по полю, зменшити витрати пального та створити сприятливі умови для рівномірного проростання насіння.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто комплекс питань, пов'язаних із підвищенням ефективності механізованої технології вирощування льону в умовах Полісся Житомирської області. У процесі виконання роботи встановлено, що льон є перспективною технічною культурою, яка має значний виробничий потенціал, однак потребує високої культури землеробства, якісної передпосівної підготовки ґрунту, точного висіву та своєчасного догляду за посівами. Особливо важливим для цієї культури є створення рівного, дрібногрудочкуватого та достатньо ущільненого посівного шару, оскільки насіння льону має невеликі розміри й потребує рівномірного загортання на незначну глибину.

У першому розділі проведено аналіз існуючих технологій вирощування льону, динаміки його посівних площ в Україні та світі, а також сучасного рівня механізації виробничих процесів. Встановлено, що ефективність вирощування льону значною мірою залежить від правильного вибору системи обробітку ґрунту, якісного насіннєвого матеріалу, збалансованого удобрення, своєчасного захисту рослин і використання сучасної техніки. Перспективними напрямками розвитку технології визначено застосування елементів точного землеробства, БПЛА для моніторингу стану посівів, роботизованих засобів для контролю забур'яненості, а також цифрових систем аналізу польових даних із використанням штучного інтелекту.

У другому розділі розроблено технологію вирощування льону для умов Полісся Житомирської області на площі 150 га. Складено технологічну карту, у якій передбачено виконання основних операцій: основний і передпосівний обробіток ґрунту, внесення добрив, сівбу, догляд за посівами, захист рослин, моніторинг поля за допомогою БПЛА та збирання врожаю. Для виконання технологічних операцій підібрано сучасний машинно-тракторний парк, що забезпечує своєчасність робіт, високу продуктивність агрегатів і раціональне використання паливно-мастильних матеріалів. Складений графік завантаження

техніки дає змогу узгодити строки виконання польових робіт і уникнути простоїв машин у найбільш напружені періоди сезону.

У технологічній карті враховано використання модернізованого культиватора для передпосівного обробітку ґрунту, що є важливим елементом удосконалення всієї технології вирощування льону. Його застосування спрямоване на покращення вирівнювання поверхні поля, подрібнення грудок, створення ущільненого посівного ложа та збереження вологи у верхньому шарі ґрунту. Це забезпечує кращі умови для проростання насіння, підвищує рівномірність сходів і сприяє формуванню вирівняного стеблостою.

У конструктивній частині роботи обґрунтовано модернізацію культиватора для передпосівної підготовки ґрунту. Запропоноване пристосування підвищує якість обробітку, дає змогу краще копіювати мікрорельєф поля та забезпечує стабільну роботу робочих органів на заданій глибині. Виконані розрахунки підтвердили працездатність і достатню міцність основних елементів конструкції, що свідчить про можливість її практичного використання в умовах аграрного підприємства.

Використання БПЛА для моніторингу посівів і обприскування є доцільним напрямом удосконалення технології вирощування льону. Такі технічні засоби дають можливість оперативно оцінювати стан рослин, визначати проблемні ділянки поля, контролювати появу бур'янів, шкідників і хвороб, а також виконувати локальне внесення засобів захисту рослин. Це сприяє зменшенню витрат робочої рідини, зниженню ущільнення ґрунту важкою технікою та підвищенню екологічності виробничого процесу.

Отже, запропонований комплекс машин і модернізований культиватор для передпосівного обробітку ґрунту забезпечують підвищення ефективності вирощування льону в умовах Полісся Житомирської області. Реалізація розроблених рішень дає змогу покращити якість польових робіт, скоротити витрати праці, підвищити продуктивність агрегатів і створити сприятливі умови для одержання стабільного врожаю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сільське господарство Житомирської області : статистичний збірник за 2019–2023 роки / Головне управління статистики у Житомирській області. Житомир, 2024. URL: https://www.zt.ukrstat.gov.ua/Publikacii/zbirnyky/zbirn_sg_2023.pdf (дата звернення: 26.06.2026).
2. Державна служба статистики України : офіційний вебсайт. URL: <https://stat.gov.ua/uk> (дата звернення: 26.06.2026).
3. FAOSTAT. Crops and Livestock Products / Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (дата звернення: 26.06.2026).
4. World Food and Agriculture. Statistical Yearbook 2023 / Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome : FAO, 2023. URL: <https://openknowledge.fao.org/bitstreams/28cfd24e-81a9-4ebc-b2b5-4095fe5b1dab/download> (дата звернення: 26.06.2026).
5. Agricultural production statistics 2010–2023 / Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/statistics/highlights-archive/highlights-detail/agricultural-production-statistics-2010-2023/en> (дата звернення: 26.06.2026).
6. Інститут луб'яних культур НААН України : офіційний вебсайт. URL: <https://ibc-naas.com/> (дата звернення: 26.06.2026).
7. Махова Т. В. Удосконалення елементів технології вирощування льону олійного харчового напрямку : дис. ... канд. с.-г. наук. Запоріжжя, 2019. URL: <https://institut-zerna.com/library/mahova/dis.pdf> (дата звернення: 26.06.2026).
8. Ковальов В. Б. Особливості формування врожаю льону олійного на дерново-підзолистих ґрунтах Полісся. Агропромислове виробництво Полісся. 2016. № 9. С. 7–16. URL:

https://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/8253/3/APVP_2016_9_7-16.pdf
(дата звернення: 26.06.2026).

9. Зелінський Ю. А. Урожайність льону олійного залежно від елементів технології вирощування. Аграрні інновації. 2024. URL: <https://agrarian-innovations.izpr.ks.ua/index.php/agrarian/article/view/828> (дата звернення: 26.06.2026).

10. Льон олійний: технологія вирощування, насіння, економіка, поради фахівців. SuperAgronom.com. 2020. URL: <https://superagronom.com/articles/359-lon-oliyniy-tehnologiya-viroschuvannya-nasinnya-ekonomika-poradi-fahivtsiv> (дата звернення: 26.06.2026).

11. Заєць М. Л. Аналіз конструкцій посівних комплексів та умов їх експлуатації Біоенергетичні системи в агропромисловому виробництві : Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи в агропромисловому виробництві», Житомир: ЖНАЕУ, 2018. с. 47-51..

12. Льон. Бібліотека українських підручників. URL: <https://buklib.net/books/30384/> (дата звернення: 26.06.2026).

13. Stavropoulos P., Giannoulis K. D., Bartzialis D., Skoufogianni E. A Mini Review on Flax (*Linum usitatissimum* L.) as a Case Study for the Importance of Crop Management in Agriculture. Plants. 2023. Vol. 12, No. 5. Article 1102. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/5/1102> (дата звернення: 26.06.2026).

14. HORSCH. Avatar SW – Disc seed drills. URL: <https://www.horsch.com/en/products/seeding-technology/disc-seed-drills/avatar-sw> (дата звернення: 26.06.2026).

15. AMAZONE. Catros compact disc harrows. URL: <https://amazone.net/en/products-digital-solutions/agricultural-technology/cultivation/compact-disc-harrows/kompaktscheibeneggen-catros-51906> (дата звернення: 26.06.2026).

16. CLAAS. Combine harvester model series. URL: <https://www.claas.com/en-us/agricultural-machinery/combine-harvesters/series> (дата звернення: 26.06.2026).

17. DJI Agriculture. DJI AGRAS T50. Specifications. URL: <https://ag.dji.com/t50/specs> (дата звернення: 26.06.2026).
18. John Deere. AutoTrac Precision Ag Technology. URL: <https://www.deere.co.uk/en-gb/products-and-solutions/technology-solutions/precision-agriculture-solutions/autotrac-precision-ag-technology-qvvutlrsqumwmq> (дата звернення: 26.06.2026).
19. John Deere. Precision Ag Technology. Guidance Solutions. URL: <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/guidance/> (дата звернення: 26.06.2026).
20. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
21. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.
22. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Проблеми трибології. 2020. № 2. С 34–41.
23. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.
24. 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.
25. Milioto A., Lottes P., Stachniss C. Real-time Semantic Segmentation of Crop and Weed for Precision Agriculture Robots Leveraging Background Knowledge in CNNs. 2017. URL: <https://arxiv.org/abs/1709.06764> (дата звернення: 26.06.2026).

26. Reina G., Milella A., Galati R. Terrain Assessment for Precision Agriculture Using Vehicle Dynamic Modelling. 2021. URL: <https://arxiv.org/abs/2104.06326> (дата звернення: 26.06.2026).

27. Заєць М. Л., Куликівський В. Л. Вплив параметрів дискових сошників на здатність прорізання рослинних решток у системі NO-TILL. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2025. № 3 (130). С. 107–112.