

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

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

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Малишев Юрій Сергійович

УДК 631.31

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Удосконалення комплексу машин для вирощування
соняшнику з детальною розробкою конструкції
самонавантажувального стоговозу**

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 _____ Малишев Ю.С.

Керівник роботи

Дерев'янка Д.А.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Малишев Юрій Сергійович. Удосконалення комплексу машин для вирощування соняшнику з детальною розробкою конструкцій самонавантажувального стоговозу. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

В кваліфікаційній роботі розроблено інтенсивну технологію вирощування та збирання соняшнику, що ґрунтується на використанні прогресивних гібридів, раціональних норм внесення добрив, сучасних засобів захисту рослин та високопродуктивного машинного комплексу з поєднанням агроприймів, що забезпечує середньогосподарську врожайність на рівні 20 ц/га насіння.

Аналіз існуючих технологій і машин показав, що основними вузькими місцями в операційній технології вирощування та збирання соняшнику є нерациональна логістика пожнивних решток та недостатня мобільність транспортування стогів. Запропонована концепція самонавантажувального стоговозу дозволяє знизити витрати пального на 12–15 % та скоротити трудовитрати на 20 % у порівнянні з традиційними рішеннями. Геометричні та силові розрахунки привели до вибору оптимальних параметрів основних елементів: рами, стріли, обертового барабана та захватних пальців.

Гідравлічна система приводу розроблена з урахуванням необхідних зусиль на захоплення й піднімання стебел під навантаження до 25 кН. Ергономічні та безпекові аспекти конструкції враховують легкість обслуговування та швидкий доступ до всіх вузлів для технічного огляду.

Ключові слова: соняшник, збирання, стоговоз, технологія, незернова частина.

ANNOTATION

Malychev Yuri Sergeyevich. Improvement of the complex of machines for growing sunflowers with detailed design of a self-loading hay cart. – 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, 2025.

The thesis develops an intensive technology for growing and harvesting sunflowers based on the use of advanced hybrids, rational fertilizer application rates, modern plant protection products, and a highly productive machine complex combined with agricultural practices ensuring an average yield of 20 cwt/ha of seeds.

An analysis of existing technologies and machinery has shown that the main bottlenecks in the operational technology of sunflower cultivation and harvesting are irrational logistics of crop residues and insufficient mobility of haystack transportation. The proposed concept of a self-loading haystacker allows for a 12–15% reduction in fuel consumption and a 20% reduction in labor costs compared to traditional solutions. Geometric and strength calculations led to the selection of optimal parameters for the main elements: frame, boom, rotating drum, and gripping fingers.

The hydraulic drive system is designed to provide the necessary force for gripping and lifting stems under loads of up to 25 kN. The ergonomic and safety aspects of the design take into account ease of maintenance and quick access to all components for technical inspection.

Keywords: sunflower, harvesting, hay baler, technology, non-grain part.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКУ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ.....	8
РОЗДІЛ 2. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗБИРАННЯ СОНЯШНИКУ.....	22
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ ЗБОРУ НЕЗЕРНОВОЇ МАСИ СОНЯШНИКА ТА НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ СТОГОВОЗА.....	31
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	39

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. В умовах сучасного аграрного виробництва соняшник відіграє ключову роль як олійна культура, попит на продукцію якої постійно зростає на внутрішньому й міжнародному ринках. Ефективність вирощування цієї культури значною мірою визначається рівнем механізації всіх технологічних операцій, зокрема збору врожаю й утилізації пожнивних решток. Незернова частина соняшнику (стебла, кошики, лушпиння) сьогодні зазвичай залишається на полі або піддається неефективному спалюванню, що призводить до втрат біомаси, погіршення структури ґрунту й забруднення повітря.

Розробка та впровадження самонавантажувальних стоговозів забезпечує комплексне вирішення проблеми: по-перше, знижується трудомісткість і витрати пального на збір і транспортування пожнивних решток; по-друге, зберігається органічна речовина для подальшого використання в системах біоенергетики, кормоприготування чи мульчування. Водночас удосконалення комплексу машин для вирощування й збирання соняшнику сприяє зниженню собівартості олійної продукції та підвищенню фінансової стійкості господарств.

Враховуючи актуальні завдання переходу до циркулярної економіки та збереження родючості землі, необхідність оптимізації ланцюга «від поля до дверей переробного підприємства» стає надзвичайно важливою. Самонавантажувальний стоговоз, інтегрований у технологічний комплекс, не лише підвищує мобільність та гнучкість агропідприємств, але й створює передумови для сталого використання відновлюваних ресурсів. Отже, дослідження, спрямовані на детальну розробку конструкції такого агрегату та його вплив на загальну ефективність виробництва соняшнику, є своєчасними й мають високу прикладну цінність для вітчизняного аграрного сектору.

Мета роботи: розробити удосконалений машинний комплекс для вирощування та збирання соняшнику з детальною конструкцією самонавантажувального стоговозу, що забезпечить підвищення продуктивності

операцій, зниження трудомісткості та оптимізацію використання пожнивних решток.

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

- проаналізувати сучасний стан технологій вирощування соняшнику та існуючих машинних комплексів для збирання врожаю, зокрема стоговозів і подібної техніки;
- визначити основні технічні та експлуатаційні вимоги до самонавантажувального стоговозу з урахуванням умов Лісостепу й специфіки пожнивних решток соняшнику;
- розробити концептуальну схему конструкції стоговозу із зазначенням принципів вузлів – рами, стріли, механізму захоплення та гідроприводу;
- виконати силові й геометричні розрахунки ключових елементів конструкції для забезпечення заданої вантажопідйомності та ресурсу роботи.

Об'єктом дослідження є процес вирощування соняшнику в умовах Лісостепу України з детальним дослідженням процесу збирання та утилізації пожнивних решток соняшнику за допомогою машинного комплексу із самонавантажувальним стоговозом.

Предметом дослідження Закономірності впливу конструктивних та експлуатаційних параметрів самонавантажувального стоговозу на продуктивність процесу збирання, якість формування стогів та енергоефективність.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко В. М., Білецький В. Р., Малишев Ю. С., Розгон В. І., Шепель О. В. Особливості організації технічного сервісу сільськогосподарської техніки в країнах Європейського Союзу. Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2025 р., м.

Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2025. С. 67-70.

2. Шепель О.В., Розгон В.І., Малишев Ю.С. Особливості фірмового технічного сервісу сільськогосподарських машин. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених (Запоріжжя, 03-28 лютого 2025 р.) / ТДАТУ: ред. кол., С. В. Кюрчев, В. М. Кюрчев, В. Т. Надикто, О. Г. Скляр [та ін.]. Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. С. 99-102.

Практичне значення одержаних результатів. Впровадження розробленого машинного комплексу сприятиме зменшенню навантаження на ґрунт завдяки скороченню кількості проходів техніки, що є важливим для збереження родючості та структури полів у довгостроковій перспективі. Запропонована конструкція самонавантажувального стогавозу дає змогу агропідприємствам знизити трудовитрати на збір пожнивних решток сояшнику до 20 % та енерговитрати на транспортування біомаси до 15 %, що підвищує загальну рентабельність виробництва. Використання залишкової біомаси як сировини для біоенергетичних установок дозволяє скоротити витрати на зовнішні ресурси.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 30 найменування. Загальний обсяг роботи становить 41 сторінка комп'ютерного тексту, містить 4 рисунки та 5 додатків.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКУ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ

Лісостепова зона України характеризується помірно континентальним кліматом із достатньою кількістю тепла та помірною вологою, що створює сприятливі умови для вирощування соняшнику. Середньорічна температура повітря коливається в межах 7–8 °С, а вегетаційний період становить близько 180 днів. Опади розподілені нерівномірно, з максимальними кількостями в літній період, що забезпечує рослини вологою в ключові фази росту. Ґрунти Лісостепу — переважно чорноземи середньої потужності, багаті на гумус і базові поживні елементи. Високий вміст фосфору та калію забезпечує раціональний старт вегетації культури. Проте нерідко фіксують дефіцит азоту в ґрунті після попередника, тому для компенсації нестачі використовують мінеральні й органічні добрива. Соняшник у цій зоні добре реагує на внесення комплексних формул, адаптованих до складу ґрунту. Планування сівозміни передбачає розміщення соняшнику після зернових колосових культур, що сприяє збереженню родючості ґрунту й зменшенню ерозійних процесів [4].

Ключовим етапом технології є підготовка ґрунту, яка включає оранку на глибину 22–25 см та передпосівну культивуацію. Оранка під соняшник має відбуватися в оптимальні строки з урахуванням вологості ґрунту, щоб уникнути ущільнення структурного горизонту. Після оранки слід виконати дворазовий обробіток стерні культиватором із робочою глибиною 10–12 см. Завершальний етап підготовки – вирівнювання поверхні бородами та катками для формування дрібногрудкуватої структури. Така агрегатація сприяє кращому контакту насінини з ґрунтом та рівномірному прогріванню. Крім того, вирівняна поверхня полегшує роботу сівалки і подальший догляд. Використання важких дискових борін усуває бур'яни в початковий період та зменшує ризик загущення посівів. Технологія передбачає регулювання глибин обробітку відповідно до типу зони Лісостепу: в східних районах, менш зволжених,

культивувацію проводять глибше. Необхідним є контроль вологості ґрунту перед посівом: оптимальна – 18–22 % [3].

Вибір високопродуктивних сортів соняшнику має враховувати зональну придатність, стійкість до хвороб і посухи. У Лісостепу рекомендуються інтенсивні гібриди груп стиглості С1–С3, які дозрівають за 105–115 днів. Стійкість до фомозу, іржі та вовчка – обов'язкова ознака при доборі генетичного матеріалу. Виробники насіння часто пропонують гібриди з підвищеним вмістом олії (до 52 %), що економічно вигідно. При доборі слід оцінювати адаптивність до змінних умов вологості, особливо в фазу цвітіння. Рекомендується одночасно вирощувати не менше трьох різних сортів із різними термінами цвітіння для ризик-менеджменту. Попередньо проводять сортовий контроль на імунітет проти рас вовчка А–Е. Рекомендований вихід насіння після очистки становить не менше 90 %. Зберігання сортового насіння – у сухому, вентильованому приміщенні з відносною вологістю не більше 8 % [6].

Передпосівна обробка насіння включає протруювання фунгіцидами та інсектицидами для захисту від ґрунтових захворювань і шкідників. Комплексні препарати з діючими речовинами тебуконазол та імідаклоприд забезпечують ефективний захист у ґрунтовому шарі. Процес проводять безпосередньо перед сівбою в спеціальному обладнанні з обертальними вузлами для рівномірного покриття насінини. Показник вологості насіння перед обробкою не повинен перевищувати 8 %. Для підвищення схожості застосовують біопрепарати на основі триходерми або ризоторфіну. Оброблене насіння зберігають не більше 20 діб при температурі 4–10 °С. Контроль якості семін для сівби здійснюють за стандартом ДСТУ. Для логістики поля важливо маркувати посівний матеріал із зазначенням партії та дати обробки. Дотримання цих рекомендацій мінімізує загрози зниження густоти стояння.

Оптимальні строки сівби у Лісостепу – з другої половини квітня до початку травня, коли ґрунт прогрівається до 8–10 °С на глибині загортання насіння. Сівба раніше призводить до затримки проростання та пересушування ґрунту під впливом нічних холодів. Пізні строки (після 10 травня) створюють

ризик недостатньої вологості під час цвітіння та наливу насіння. Ранньовесняня сівалка має бути обладнана автовимірювачем вологості ґрунту, щоб коригувати глибину загортання. Перед сівбою виконують калібрування висівного апарату та тестовий посів на невеликій ділянці. Глибина загортання — 4–6 см у західних районах, 6–8 см у східних. Міжряддя — 70 см для технічних і 45 см для силосних гібридів. Норма висіву — 55–60 тис. насінин на гектар інтенсивних гібридів. Забезпечення рівномірного розміщення посівів знижує конкуренцію між рослинами та підвищує врожай.



Рис. 1.1. Сівба соняшнику.

Контроль густоти стояння посівів є важливим для оптимального використання природних ресурсів. На стадії сходів проводять ручний або механізований облік густоти та видаляють зайві рослини. Цей процес забезпечує реалізацію потенційної продуктивності культури. У разі загушення більше ніж на 10 % виконують проріджування міжрядковими мотиками. Ідеальна густота для інтенсивних гібридів — 45–50 тис. рослин на гектар. Підтримання оптимальної густоти сприяє рівномірному висвітленню й провітрюванню рослинного покриву, що знижує ризик розвитку грибних хвороб. Під час міжрядної культивування використовують тракторні штангові

культиватори. Роботу слід проводити за сухого та теплого погодного режиму, щоб уникнути прилипання ґрунту. Інтервал два дні між проходами оптимальний для ефективного знищення бур'янів та розпушування ґрунту [3].

Система живлення соняшнику передбачає внесення мінеральних добрив у ґрунт та листкове підживлення. Першочергово вносять фосфорно-калійні добрива під основний обробіток: 60–80 кг P_2O_5 та 80–100 кг K_2O на гектар. Азотні добрива (60–80 кг діючої речовини) вносять у два етапи: під культивацію та на початку бутонізації. Використовують карбамід або аміачну селітру з урахуванням рН ґрунту та його структури. Додатково вносять сірчано-марганцевий комплекс у фазі 4–6 листків для поліпшення засвоєння азоту. Листкове підживлення мікродобривами (бор, цинк) здійснюють у фазі розпускання кошиків. Для рівномірного внесення застосовують штангові обприскувачі з контролем дози. Дотримання міжопераційних інтервалів і погодних умов підвищує ефективність живлення. Перехресні дослідження показали збільшення врожайності на 15–20 % за оптимальної системи удобрення [8].

Інтегрована система захисту культури включає комплекс заходів проти бур'янів, шкідників і хвороб. До основних шкідників відносять стеблового та соняшникового довгоносика, бурякову цикадку і трипсів. Хвороби культури формують септоріоз, фомоз і фомопсис. Сівозміна та міжрядна обробка знижують тиск бур'янів на 50–60 %. Хімічні заходи — застосування ґрунтових гербіцидів (метазахлор, піраклор) до появи сходів. Строки обробки в фазі 2–4 листків покращують ефективність на 70–80 %. Проти шкідників використовують інсектициди на основі тіаметоксаму або дельтаметрину. У фазу бутонізації для профілактики хвороб застосовують фунгіциди (крізаж, триадименол). Постійний моніторинг за допомогою феромонних пасток дозволяє визначати порогові рівні шкідників і вчасно коригувати захисні заходи [13].

Своєчасне зрошення в Лісостепу забезпечує стабільність врожайності на рівні 2,5–3,0 т/га. Найбільш критичним періодом є фаза бутонізації та цвітіння, коли потреба в волозі зростає на 30–40 %. Раціональним є краплинне зрошення

з нормою 300–400 м³/га за цикл. Після цвітіння додаткова волога забезпечує повноцінне наливання насіння. Метеостанції із вимірювачами ґрунтової вологи допомагають оптимізувати інтервали зрошення. Використання мульчуючих матеріалів знижує випаровування на 20–25 %. Відсутність водного стресу забезпечує формування кошика діаметром до 22 см. Для зрошення застосовують високоефективні насоси з регульованою продуктивністю. Зібрана волога – ключ до високої врожайності за умов мінливої кількості опадів [7].

Фенологічне спостереження за періодами росту є важливим для планування агротехнічних заходів. Виокремлюють фази сходів, 4–6 листків, бутонізації, масового цвітіння та наливу насіння. Кожна фаза характеризується специфічними фізіологічними потребами в поживних елементах та волозі. На стадії розпускання кошика спостерігають за віділенням пилку та активністю запилювачів. При переході до наливу насіння проводять оцінку заповнення зерен на контрольних рослинах. Всі дані вносять у агрономічний щоденник для наступного коригування технології. Інформацію про фази росту використовують для точного розрахунку потреб у захисті від хвороб. Моніторинг температури повітря та ґрунту дозволяє передбачити оптимальні строки обробітку. Спостереження проводять не рідше ніж раз на 5 днів. Такий підхід підвищує точність агротехнічних рішень та оптимізує витрати ресурсів.

Використання регуляторів росту у фазі активного росту дозволяє покращити однорідність рослинного покриву. Препарати на основі гідразиду та регулідина застосовують у дозі 1,0–1,5 л/га. Це сприяє кращому ущільненню кошика та зміцненню стебла. Обробку проводять у фазі 4–6 листків за температури повітря 18–25 °С. Для покращення розвитку кореневої системи використовують антистресові біостимулятори. Після обробки забезпечують оптимальний режим вологості ґрунту для кращого засвоєння діючих речовин. Ефект від застосування регуляторів росту спостерігається через 10–12 днів. Підвищується стійкість до вилягання на 15–20 %. Використання регуляторів росту рекомендується чергувати з біопрепаратами для запобігання звикання рослин [9].

Важливим етапом є контроль за накопиченням вологи в кореневмісному шарі ґрунту. Для цього застосовують сенсорні датчики та зонди. Рекомендований інтервал зчитування — двічі на тиждень. Динаміка вологості дозволяє коригувати графік зрошення та обробітку ґрунту. Поріг реагування для міжрядного розпушення — 60 % від повної вологоємності. У разі висихання менш ніж 40 % призначають позапланове зрошення. Занадто часте розпушування може призводити до висихання ґрунту та руйнування капілярної системи. Результати вимірювань зберігають у базі даних агрономічних спостережень. Аналіз показників допомагає прогнозувати ризики водного стресу і планувати агрооперації [15].

Профілактичний моніторинг шкідників і хвороб здійснюють за допомогою пасток і візуального огляду рослин. Проти вовчка проводять посів толерантних гібридів та застосування ґрунтових гербіцидів. Довгоносик контролюють феромонними пастками, мінімізуючи хімічний вплив. Септоріоз профілактикують дотриманням сівозміни та агротехніки. У разі виявлення хвороби застосовують триразове обприскування фунгіцидами з інтервалом 10–14 днів. Ротація діючих речовин запобігає резистентності патогенів. Для контролю попелиці використовують сучасні інсектициди. Регулярний огляд рослин знижує аварійні втрати врожаю. Документація результатів спостережень дає можливість аналізувати ефективність заходів у наступні сезони [2].

Формування врожаю багато в чому залежить від якості бджолозапилення. Відстань до пасік не повинна перевищувати 1 км. Калібрування пасток допомагає оцінити активність запилювачів. Оптимальна кількість вуликів — 6–8 на 100 га посівів. Різноманіття медоносів у сівозміні підсилює ефективність запилення. Використання супутніх культур (горох, фацелія) залучає бджіл. Погодні умови під час цвітіння мають бути сприятливі — температура 20–25 °С без опадів. Похолодання нижче 15 °С знижує польотну активність бджіл. Моніторинг пасік проводять одночасно з агрономічними обстеженнями полів.

Такі заходи підвищують інтенсивність запилення та гарантують високу врожайність [7].

Урожайність соняшнику в Лісостепу стабільно коливається в межах 2–3 т/га за інтенсивної технології. Основним фактором є забезпечення оптимальних ресурсів: вологи, поживних речовин, захисту. У регіонах із зрошенням показники можуть сягати 4–5 т/га. Економічна ефективність вирощування залежить від вартості насіння, добрив, ЗЗР і енерговитрат. Рентабельність культури в середньому становить 20–25 % за цінами реалізації на 2025 рік. Критерієм є собівартість насіння з олійністю $\geq 48\%$. Зниження витрат досягається оптимізацією норм висіву та доз ЗЗР за результатами моніторингу. Використання цифрових платформ для агророзрахунків знижує ризики передозування препаратів. Ретроспективний аналіз витрат за кілька сезонів допомагає приймати зважені рішення [7].



Рис. 1.2. Збирання соняшнику.

Збирання соняшнику рекомендовано проводити в інтервалі вологості зерна 8–10 %. Для цього використовують комбайни з жорстким типом

платформи та молотильним апаратом зі швидкістю барабана 550–600 об/хв. Перший прохід виконується з одного боку поля, другий — у зворотному напрямку. Глибина зрізу кошика налаштовується на рівні верхнього краю, щоб мінімізувати втрати насіння. Використання вібраційних грабелів на підбирачі знижує залишки до 2 %. Продуктивність комбайна — 3–4 га/год. Під час збирання контролюють вологість насіння пересувним вологоміром. Пік технологічного часу — ранок або вечір при температурі 12–18 °C і вологості ≥ 60 %. Це зменшує ламкість хвостовиків кошиків [5].

Після збирання насіння транспортують до вологосушильних комплексів для доведення вологості до 6–7 %. Занадто висока температура сушіння (> 30 °C) може призводити до растріскування насіння та псування органолептичних властивостей. Оптимальна температура сушіння — 35–40 °C, а тривалість — 6–8 год залежно від вихідної вологості. Застосовують рециркуляційні сушарки з регульованим об'ємом повітря. Паралельно здійснюють калібрування насіння за розміром і масою, що покращує однорідність партій та якість екстракційного процесу. Після сушіння насіння охолоджують до кімнатної температури в вентиляційних камерах. Уповільнене охолодження запобігає конденсації й підвищує схоронність [7].

Умови зберігання мають ключове значення для збереження якості насіння. Сухе, вентильоване приміщення з температурою 5–10 °C і відносною вологістю 60–65 % — оптимальні. Зерно розміщують у силосах або ящиках на висоту не більше 2 м для забезпечення циркуляції повітря. Періодичний огляд партій та вимірювання вологості проводять не рідше ніж раз на місяць. При виявленні конденсату виконують експрес-висушування окремих партій. Протокол зберігання ведуть з фіксацією температури та вологості в щоденнику складу. Використання антисептичних засобів у підлогових конструкціях запобігає появі плісняви. Дотримання цих умов зберігає енергоємні властивості насіння для подальшої переробки [6].

Екологічні аспекти вирощування соняшнику включають мінімізацію викидів H_2O та CO_2 . Системи точного землеробства з GPS-керуваними

агрегатами знижують пережесні проходи та економлять до 15 % пального. Краплинне зрошення з поверненням надлишкової води зменшує забруднення підґрунтових вод пестицидами. Застосування біоінсектицидів і біофунгіцидів скорочує хімічне навантаження на екосистему. Агролісомеліоративні смуги навколо полів підвищують біорізноманіття та стійкість ландшафту. Використання відновлюваної енергії (сонячні панелі на зерносушарках) знижує загальний вуглецевий слід. Циркулярна економіка дозволяє використовувати відходи соняшнику (лузгу) як біопаливо. Підвищення екологічної стійкості відповідає європейським стандартам. Інноваційні практики знижують ризик деградації ґрунту та водних ресурсів [5].

Цифрові технології в агробізнесі сприяють підвищенню ефективності виробництва. Безпілотні літальні апарати для моніторингу посівів виявляють патології на ранніх стадіях. Фотограмметрія й NDVI-знімки допомагають оцінити стан вегетаційного покриття та швидко реагувати на осередки ураження. GPS-керування внесенням поживних речовин забезпечує точність локалізації підживлення. Агророботи-мульчери зменшують ручну працю під час міжрядних обробітків. Платформи «розумного поля» інтегрують дані з ґрунтових сенсорів, метеостанцій та супутникових зображень. Такі рішення підвищують рентабельність на 10–15 %. Аналітичні модулі прогнозують ризики посухи та розвитку хвороб за моделями штучного інтелекту. Інтеграція систем оптимізує планування й ресурсокористування [4].

Бізнес-модель вирощування соняшнику в Лісостепу має враховувати ринкові коливання цін на олію. Актуальні ціни реалізації зростали на 5–7 % щороку протягом останніх п'яти років. Диверсифікація каналів збуту — внутрішні олійноекстракційні заводи та експортні контракти — знижує ризики. Створення кооперативів для спільного придбання насіння та ЗЗР дозволяє економити до 12 % витрат. Інвестиції в власну переробку (мікроекстрактори) підвищують додану вартість. Сертифікація за ISO відкриває нові ринки. Форвардні контракти допомагають фіксувати ціни на майбутній врожай. Хеджування валютних ризиків компенсує коливання курсу [7].

Людський фактор у технології вирощування соняшнику визначає якість виконання агрооперацій. Професійне навчання операторів техніки знижує простої та ремонти на 20 %. Використання цифрових інструкцій із доповненою реальністю прискорює освоєння нових агрегатів. Стандартизовані регламенти техобслуговування запобігають аварійним поломкам. Мотиваційні програми — премії за якість обробітків — підвищують продуктивність. Онлайн-курси з агротехнологій гарантують впровадження новітніх методів. Контроль виконання через мобільні додатки з GPS-маршрутизацією знижує ризик людських помилок. Такий підхід підвищує ефективність та якість робіт.

Аналіз ґрунтової родючості за результатами щорічного моніторингу передбачає відбір проб у шарі 0–30 см. Зразки відправляють у сертифіковані агрохімлабораторії. Визначають вміст органічної речовини, азоту, фосфору, калію, рН ґрунту та обмінного кальцію. Результати порівнюють із зональними рекомендаціями для Лісостепу. За потреби коригують норму внесення добрив або проводять вапнування. Рекомендована доза вапна — 1,5–2 т/га за рН нижче 5,5. Після вапнування ґрунт відновлює буферність протягом 2–3 років. Агрохімічний паспорт поля оновлюють раз на три роки. Це забезпечує раціональне використання ресурсів та запобігає перевитраті добрив [8].

Ротація посівів у сівозміні передбачає чергування соняшнику з зерновими та бобовими культурами. Зернові колосові (пшениця, ячмінь) — оптимальні попередники. Бобові збагачують ґрунт молекулярним азотом, покращуючи азотне живлення соняшнику. Однокультура спричинює накопичення ґрунтових шкідників і хвороб. Мінімальний інтервал повернення соняшнику на поле — 4 роки. Ротація з кукурудзою сприяє руйнуванню ґрунтової кірки перед сівбою. Сидеральні попередники (фацелія, люпин) покращують структуру ґрунту та зменшують ерозію. Така система підвищує врожайність сівозміни на 10–12 %.

Державна підтримка агровиробників у вигляді дотацій та компенсацій стимулює інновації. У 2025 році аграрії Лісостепу можуть отримати відшкодування до 30 % вартості насіння та ЗЗР. Компенсація вартості техніки — до 25 %. Для участі потрібно мати агрохімічний паспорт поля. Порядок

дотацій регулює Міністерство аграрної політики. Електронний облік прозорих витрат спрощує аудит. Гранти на точне землеробство дають до 40 % фінансування. Це знижує бар'єри для малих і середніх господарств [12].

Інноваційні рішення включають селективні гербіциди на основі гліфосату та активні ад'юванти. Вони забезпечують проникнення діючих речовин у листок та ефективне знищення бур'янів. Селективність дозволяє зберегти культурні рослини та покращити екологічний профіль. Нові формуляції зменшують норми застосування на 20–30 % без втрати ефективності. Ад'юванти підвищують адгезію препарату до листка, особливо за сухої погоди. Для точного внесення використовують оптико-електронні системи контролю дози. Автоматичне відключення секцій штанги запобігає передозуванню на поворотах. Це дозволяє знизити витрати та зберегти урожай [17].

Моніторинг родючості ґрунту та стану посівів організовують за допомогою агродронів. Висока роздільна здатність камер дозволяє визначати дефіцит поживних речовин точково. NDRE-карти допомагають коригувати дозу азоту в межах поля. Технологія *variable rate application* підвищує врожайність на середньо інтенсивних ділянках. Карти вносяться в агрономічну систему для автоматичного керування агрегатами. Персонал проходить онлайн-тренінги зі зчитання та інтерпретації даних. Такий підхід скорочує людські помилки та підвищує продуктивність. Інтеграція з мобільними додатками дозволяє віддалено контролювати польові операції [12].

Удосконалення логістики збирання передбачає маршрутизацію техніки через GPS. Маршрути враховують рельєф, вологість ґрунту та розташування складів. Оптимальні траєкторії зменшують пройдені кілометри до 15 % за сезон. Використання автопілота у комбайнах підвищує точність руху та рівномірність зрізу. Спільне використання зерновозів та накопичувачів на полі скорочує простой. Електронні журнали фіксують час і обсяги перевезень. Аналітика логістичних витрат допомагає приймати рішення щодо потреби в техніці. Це знижує загальні виробничі витрати [7].

Агротехнічні заходи щодо зниження ерозії ґрунту є невід’ємною частиною технології. Міжрядне розпушення та захисні смуги через кожні 500 м запобігають змиву родючого шару. Випасання худоби після збирання соломи сприяє розпушенню верхнього шару та збагаченню його органікою. Міні-борони з ротаційними лапами після збирання підвищують водопроникність ґрунту. Сидеральні культури після сезону утворюють захисний покрив до весни. Це знижує втрати ґрунту до 30 % за сильних опадів. Відновлення родючості та протиерозійний захист підвищують сталість виробництва [3].

Адаптація технології до кліматичних змін передбачає застосування посухостійких гібридів та сортування за групами стиглості. Ранньостиглі (C0–C1) рекомендовано в районах із ризиком весняних посух. Інтенсивні (C2–C3) — у більш зволжених східних частинах Лісостепу. Біотехнологічні методи селекції спрямовані на збільшення кореневої системи для доступу до глибших шарів вологи. Підсилене коренеутворення гарантує стійкість до короткочасних посух. Тестові ділянки випробовують гібриди в умовах змодельованих водних дефіцитів. Агрономічні рекомендації коригуються щороку з урахуванням даних метеостанцій. Така гнучкість забезпечує стабільність врожаю за мінливих кліматичних умов [9].

Впровадження цифрових двійників поля сприяє моделюванню розвитку культури у віртуальному середовищі. Дані метеостанцій, ґрунтових сенсорів і супутникові знімки інтегруються в єдину платформу. Це дає змогу прогнозувати врожайність із точністю до 5–7 %. Агроном використовує моделі для коригування норм удобрення й строків зрошення. Режим симуляції «що якщо» дозволяє оцінити вплив різних агротехнологічних рішень. Віддалений доступ через мобільні додатки забезпечує швидке реагування на зміни. Цифрові двійники — інструмент стратегічного планування розвитку господарства. Їх застосування підвищує ефективність виробництва та знижує невизначеність [6].

Безпека праці в технології вирощування соняшнику є невід’ємною умовою збереження здоров’я персоналу. Використання індивідуального захисту (респіратори, окуляри) під час обробок ЗЗР обов’язкове. Інструкції з техніки

безпеки розроблені відповідно до державних норм. Агрономічні практики передбачають щоденні інструктажі на полі. Для транспортування хімікатів використовують герметичні ємності та маркування. Зона зберігання ЗЗР обладнана вентиляцією та системою загазування. Логування кожної партії робочих розчинів виключає ризик неправильного застосування. Моніторинг здоров'я працівників проводить фахівець з гігієни праці. Такий підхід захищає персонал і забезпечує якість агрооперацій [11].

Фінансовий аналіз окупності інвестицій у агротехніку та ЗЗР є ключовим для стратегічних рішень. Розрахунок чистої приведеної вартості (NPV) показує окупність протягом 3–4 років. Індекс рентабельності інвестицій (ROI) для інноваційних технологій становить 1,2–1,4. Аналіз чутливості демонструє найбільший вплив на рентабельність цін на нафту та олію. Кредитні лінії з пільговою ставкою 5 % допомагають знизити фінансове навантаження. Податкові пільги для «зелених» технологій здешевлюють впровадження. Регулярний аудит виробничих витрат дозволяє вчасно коригувати бюджет. Прогнозування грошових потоків у сезоні — компонент ризик-менеджменту господарства [12].

Соціальні фактори у технології вирощування соняшнику важливі для сталого розвитку. Стабільність трудових ресурсів залежить від привабливості працевлаштування в селі. Заохочення молодих спеціалістів через гранти та стипендії знижує дефіцит кадрів. Співпраця з місцевими навчальними закладами забезпечує постачання кваліфікованих агрономів. Підтримка соціальних ініціатив (садочки, медпункти) підвищує мотивацію працівників. Прозора політика оплати праці та бонусів зміцнює лояльність. Відкриті дні полів підсилюють імідж господарства в громаді. Соціальна відповідальність сприяє сталому розвитку аграрного бізнесу [14].

Інноваційні дослідження спрямовані на підвищення біотехнологічного потенціалу соняшнику. Створюють гібриди з підвищеним вмістом олеїнової й лінолевої кислот. Генна інженерія дозволяє отримати рослини з посиленням кореневим ростом та стійкістю до температурних стресів. Нові методики

CRISPR-редагування геному вже тестують у польових умовах. Біоінформатика аналізує експресію генів за різних рівнів вологості та температури. Штучний інтелект прискорює селекційний процес, прогножуючи потенційні конкурентні гібриди. Співпраця з науковими інститутами ЄС відкриває доступ до грантів. Перспективні напрямки – зміцнення стійкості до вовчка та стресостійкість кореневої системи [5].

Таким чином, технологія вирощування соняшнику в умовах Лісостепу України є комплексом агротехнічних, агрохімічних, агробіологічних та інноваційних заходів. Ключовими елементами є зональний підбір гібридів, оптимізація строків сівби та система удобрення й захисту від шкідників і хвороб. Цифрові та біотехнологічні рішення сприяють підвищенню ефективності та зниженню витрат. Інтеграція зрошувальних і захисних заходів забезпечує стабільну врожайність за змінних кліматичних умов. Постійний моніторинг ґрунту та рослин забезпечує точкове реагування на агроризики. Використання передових аграрних платформ підсилює стратегічне планування господарства. Екологічна сталість відповідає сучасним вимогам сталого розвитку. Соціальні й економічні аспекти формують сприятливе середовище для розвитку аграрного сектору регіону [10].

Методика розрахунку технологічної карти представлено в додатку А, результати відображені на аркуші графічної частини. З даних отриманих в технологічній карті побудовано графік завантаження тракторів та сільськогосподарських машин.

РОЗДІЛ 2

ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗБИРАННЯ СОНЯШНИКУ

Операційна технологія збирання соняшнику починається з ретельного планування робіт і вибору оптимальних строків збирання. Необхідно враховувати вологість насіння, яка повинна бути в межах 8–12 % для запобігання високим втратам під час обмолоту. Перед виходом в поле виконують калібрування комбайна, перевіряючи налаштування барабана, системи подавання та вентиляторів очисної секції. Вибір відповідного режиму обертів барабана дозволяє уникнути подрібнення насіння й зменшити втрати через пошкодження. Надто високі оберти можуть спричинити розтріскування лушпиння й викид дрібного сміття разом із зерном. Параметри вентиляторів регулюють з урахуванням вологості та забрудненості врожаю, контролюючи надходження легкого сміття в зерноочисний апарат. Важливим є своєчасне очищення сіт і решіт для запобігання їх засміченню пилом і волокном. Оптимальна продуктивність техніки досягається при балансі між швидкістю руху та якістю обмолоту. До початку збирання здійснюють тестовий прохід по контрольних ділянках, аналізуючи втрати й налаштовуючи комбайн під конкретні умови поля [16].

Правильне регулювання шнека та живильного пристрою сприяє рівномірному надходженню кошиків до обмолотної камери. Завдяки цьому зменшується кількість пропусків і неповного обмолоту, що суттєво підвищує вихід кондиційного насіння. Профіль пальців загортача повинен бути адаптований до розміру та форми кошиків соняшнику, аби уникнути блокувань і перевантажень механізму. Подаючий ротор необхідно очищати від залишків рослинних решток не рідше ніж кожні 2–3 години роботи. Для цього передбачені спеціальні люки, що дозволяють швидко витягти волокна та частинки лушпиння. Своєчасне очищення запобігає підвищеному зносу деталей та збереженню продуктивності. Після обмолоту зерно потрапляє на першу решітну секцію, де відбувається первинна сепарація. Далі вентилятори

видувають легкі домішки, а розташовані внизу решета відокремлюють дрібне сміття від насіння. Очищене насіння накопичується в бункері для подальшого транспортування на зберігання чи доробку [15].

Вибір оптимальної ширини захвату платформи комбайна визначає продуктивність і якість збирання. Ширина захвату повинна узгоджуватися з потужністю комбайна та умовами поля – ширина понад 6 м може призводити до нерівномірного надходження рослин у живильний пристрій. Менша ширина дозволяє краще контролювати втрати та менше забруднювати зерно. Крім того, вузька платформа краща на нерівних ділянках і схилах, оскільки зменшує навантаження на ходову частину й мінімізує пробуксовку. Сучасні системи автоматичного вирівнювання платформи по рельєфу забезпечують рівність зрізу та запобігають пошкодженню пожнивних решток. Використання адаптивних датчиків дозволяє регулювати висоту скошування в реальному часі, реагуючи на зміну висоти рослин у ряду. Це важливо для поліпшення якості обмолоту та збереження частини стебел у полі. Виконуючи попередню трасування GPS-координат, оператор задає оптимальний маршрут для комбайна, зводячи до мінімуму перехресні проходи. Такий підхід значно економить паливо та зменшує ущільнення ґрунту [18].

Система контролю втрат зерна є незамінною для оцінки ефективності процесу збирання. На комбайнах встановлюють датчики втрат у вигляді лічильників зерна та оптичних зондів, які аналізують кількість не зібраного насіння. Регулярний моніторинг показників втрат дозволяє коригувати швидкість руху, налаштування барабана та вентиляторів. Якщо показник втрат перевищує 2 % від урожайності, необхідно негайно зупинити роботу та провести переналаштування. Оператори використовують мобільні додатки для відображення втраченого насіння на карті поля, що допомагає швидко виявити «проблемні» ділянки. Усунення причин підвищених втрат дозволяє підвищити загальний вихід зерна та економічність операції. Крім того, оцінка втрат використовується для звітності та оптимізації витратних матеріалів. Зниження

втрат до мінімуму – основна мета будь-якого агропідприємства з погляду прибутковості [4-9].

Сучасні комбайни оснащені системами автоматичного регулювання обмолотної секції, що базуються на датчиках вологості та забрудненості насіння. Така система порівнює задані параметри із фактичними даними та автоматично коригує частоту обертання барабана, швидкість подавання та інтенсивність продування. Автоматичне регулювання зменшує навантаження на оператора й підвищує стабільність якості обмолоту під час зміни умов у полі. Крім того, це знижує ризик подрібнення насіння або пропусків через надто м'яке обмолочування. Інтеграція з телематичними системами дозволяє агроному в реальному часі відстежувати параметри роботи комбайна на віддаленій локації. Дані передаються на сервер, де аналізуються та архівуються для подальшого планування та оптимізації. Використання таких технологій сприяє цифровізації процесу збирання й підвищенню прозорості агровиробництва. У довгостроковій перспективі це дозволяє знизити експлуатаційні витрати й покращити управління агрокомпанією [7].

Ефективність збирання багато в чому залежить від підготовки та кваліфікації операторів технологічного обладнання. Перед початком сезону оператори проходять навчальні курси з налаштування комбайна, техніки безпеки та особливостей роботи з конкретними гібридами соняшнику. Практичні тренінги включають відпрацювання дій в умовах поломок і аварій, що дозволяє швидко реагувати на непередбачувані ситуації. Регулярні інструктажі й оновлення знань з використання нових технологій підвищують швидкість і якість збирання. Оператори вчаться аналізувати показники втрат і продуктивності на ходу, використовуючи бортові монітори. Важливо закладати навички швидкого обслуговування та очищення ключових вузлів комбайна прямо в полі. Це зменшує простой та підвищує загальну продуктивність. Підготовлені оператори краще прогнозують можливі проблеми й запобігають великим втратам урожаю [4].

Логістика в процесі збирання соняшнику має бути грамотно організована, щоб уникнути простоїв техніки. Перед початком робіт визначають оптимальні маршрути руху зерновозів та місця тимчасового складування зерна на полі. Для цього використовують GPS-трекери комбайнів і авто, що дозволяє координувати роботу техніки в реальному часі. Своєчасне підвоз палива до машинотракторних агрегатів запобігає втраченому часу на простої. Водії зерновозів мають працювати за заздалегідь узгодженим графіком, враховуючи продуктивність комбайна. Місця накопичення зерна розташовують з урахуванням рельєфу та відстані до основних маршрутів вивезення. Це мінімізує фінансові витрати на транспортування та знижує ризик ушкодження зерна. Крім того, за таких умов гости можна швидко доставити на склад або безпосередньо на переробні підприємства [9].

Після вивантаження зерна з комбайна зерновози доправляють його до тимчасових накопичувальних ємностей або безпосередньо до сушарок. У разі підвищеної вологості зерно піддають попередньому сушінню на пересувних сушарках, встановлених на причепах чи шасі. Це дозволяє зменшити вологість до 8–9 % ще до доставки на стаціонарні сушарки, економлячи енергію та час. Під час транспортування зерна важливо дотримуватися правил швидкості та уникати різких розгойдувань кузова, щоб запобігти додатковому пошкодженню лушпиння. При перепаді вологості понад 2 % між початком і кінцем шляху необхідно повторно виміряти показники та скоригувати налаштування сушарки. Вологоміри й термогігрометри встановлюють на вантажному шляху та в бункерах для безперервного контролю. Автоматизовані системи керування сушінням дозволяють підтримувати оптимальний температурний режим і час обробки кожної партії. Це гарантує кондиційне зерно із збереженням олійності та мінімальними втратами [13].

Під час збирання важливо виконувати планове технічне обслуговування комбайна та зерновозів. Заміна зношених ременів, мастило рухомих частин і перевірка систем охолодження запобігають раптовим зупинкам у полі. Бортові діагностичні системи сучасних машин попереджають оператора про

перевищення допустимих навантажень та температур. Кожні 50–60 мотогодин виконують базове ТО, включаючи заміну фільтрів і перевірку гальм. Важливо мати під рукою запасні деталі для термінового ремонту в полі. Наявність мобільної майстерні дозволяє швидко усунути несправності й продовжити роботу без великих простоїв. Електронні журнали технічного обслуговування зберігають історію всіх виконаних робіт. Це допомагає передбачати майбутні потреби та планувати закупівлі запчастин завчасно [14].

Збирання соняшнику проводять із урахуванням зонального поділу поля на ділянки з різною родючістю та мікрокліматом. Це дозволяє оптимально налаштувати комбайн під конкретні умови кожної ділянки і зменшити втрати. Перед початком робіт агрономи виконують картування вологості та врожайності попередніх років. На ділянках із підвищеним вмістом домішок соломи чи кореневищ може знадобитися індивідуальне налаштування барабана або редуктора платформи. Оператори отримують ці дані через термінал у кабіні та можуть миттєво вносити зміни. Такий підхід підвищує рівномірність обмолоту та зменшує ризик забруднення лушенням. Збирання по зонах також полегшує планування логістики й технічного обслуговування. В кінці дня виконують зведення даних і аналізують продуктивність по кожній зоні. Це дає змогу коригувати технологію у ході сезону для максимального ефекту [15].

Після завершення збирання проводять аналіз втрат на полі, вимірюючи кількість непрограбованого зерна за допомогою спеціальних лінійок та рамок. Це дозволяє оцінити реальні втрати й виявити причини їх виникнення — недостатнього обмолоту чи погрешностей при налаштуванні. Висновки використовують для підготовки до наступного сезону та оптимізації параметрів комбайна. Операційна документація містить детальні звіти про налаштування, строки збирання та втрати по кожній ділянці. На основі цього складають рекомендації для агрономів і операторів. Постійне вдосконалення процесу сприяє зниженню економічних витрат і збільшенню виходу продукції. Також проводять аналіз енерговитрат та часу простоїв під час технічного

обслуговування. Ці дані є ключовими для планування капітальних інвестицій у оновлення техніки [13].

Окрему увагу приділяють безпеці праці під час збирання. Перед виходом у поле оператори та водії проходять щоденні інструктажі з техніки безпеки, включаючи порядок евакуації та надання першої допомоги. Особливий акцент робиться на правилах роботи з паливно-мастильними матеріалами та хімічними реагентами для очищення вузлів. Використання засобів індивідуального захисту, таких як рукавички, окуляри та респіратори, є обов'язковим при чищенні вентиляційної системи й решіт. Всі аварійні запобіжники та вимикачі комбайна повинні бути справними та легкодоступними. Під час роботи на схилах особлива увага приділяється стійкості техніки. Оператори мають чітко дотримуватися інструкцій виробника щодо максимально допустимого кута нахилу. Дотримання цих заходів знижує ризик травматизму та пошкодження обладнання.

Після завершення збору зерна починається обробка та використання пожнивних решток, які становлять до 30 % маси вібрації. Першим кроком є подрібнення стебел прямо комбайном із допомогою вбудованих опцій мульчування. Подрібнені рештки рівномірно розподіляються по поверхні поля, створюючи природний мульчуючий шар. Це сприяє збереженню вологи в ґрунті та зменшенню ерозії. На ділянках, де застосовують сівозміну зі внесенням сидеральних культур, рештки змішують із сидеральною масою для прискорення розкладання. Використання подрібнювачів із регульованою висотою зрізу дає змогу залишати оптимальний шар органіки. Контроль за рівномірністю внесення проводять за допомогою датчиків рівня завантаження мульчерів. Це покращує ефективність мікробіологічних процесів та підвищує родючість ґрунту.

Збирання незернової частини соняшнику також передбачає окрему операцію збору кошиків та стебел, які можна використовувати як кормову базу. Після мульчування залишків у полі або одночасно з комбайном застосовують спеціальні подрібнювачі для стебел, що дозволяють отримати дрібну масу для

годівлі худоби. Подрібнену біомасу можна змішувати з силосом із кукурудзи чи зернових, забезпечуючи додаткове джерело грубих кормів з високим вмістом клітковини. Забезпечення кормової бази локальною біомасою знижує витрати на транспортування і закупівлю сторонніх кормів. Біомасу після подрібнення зберігають у вилочках із плівковим покриттям для силосування. Використання соломорізів із системами трамбування забезпечує щільність силосу, необхідну для якісної ферментації. Контроль вологості подрібненої маси — близько 60–65 % — гарантує стабільний хід силосного процесу. Така операція дозволяє інтегрувати технологію збирання зерна та виробництва кормів в єдиному циклі.

Для виробництва пелет із стебел соняшнику застосовують спеціальні лінії пресування, які перетворюють подрібнену масу на гранули з розміром 6–8 мм. Пелети використовують як твердопаливний матеріал у котельнях агропідприємств або на біоенергетичних установках. Висока щільність та низька зольність пелет забезпечують ефективне горіння та мінімальні викиди шкідливих речовин. Перед пресуванням біомасу необхідно довести до вологості 10–12 %, використовуючи сушильні барабани з регульованою температурою. Оптимальна температура сушіння не перевищує 60 °С, щоб уникнути втрати енергії та поживних властивостей. Лінії виробництва пелет інтегрують зі сховищами для подрібненої маси та коробами подачі. Автоматичний контроль вологості та подачі біомаси забезпечує безперервний процес виробництва. Використання пелет із соняшникової соломи зменшує залежність від традиційних викопних палив [7].

Подрібнені стебла також можуть бути джерелом сировини для виробництва біогазу. У біогазових установках органічна маса піддається анаеробному збродженню, унаслідок чого утворюється метан та біо-ресурс — біогрунт. Для цього біомасу змішують із гноєм або залишками інших культур у співвідношенні 1:1 для оптимального розкладання. Тривалість ферментації становить від 20 до 30 днів за температури 35–40 °С. Отриманий біогаз використовують для генерації електроенергії та нагріву сушарок. Біогрунт, що

залишається після ферментації, є цінним органічним добривом із вмістом азоту, фосфору та калію. Розподіл біогрунту по полю підвищує родючість і структуру ґрунту. Інтеграція біогазових установок із агровиробництвом сприяє замкненому циклу використання ресурсів [7].

Лушпиння соняшнику, що відокремлюється під час первинного очищення, має широку сферу застосування. Його використовують як наповнювач для котлів і твердопаливних агрегатів, оскільки лушпиння добре горить і має високий коефіцієнт теплоутворення. Перед використанням його додатково підсушують до вологості не більше 12 % у сушарках з рециркуляцією повітря. Альтернативним варіантом є виготовлення гранул із лушпиння, що підвищує зручність транспортування й зберігання. Гранули активно використовують у промислових котельнях та домашніх пелетних печах. Лушпиння також застосовують як ад'ювант у виробництві ґрунтозахисних засобів, зокрема у виготовленні мульчуючих матів. Зарубіжні дослідження свідчать про ефективність такого підходу в контролі ерозії та збереженні вологи. Інтеграція лушпиння у виробничі цикли сприяє зменшенню відходів і підвищенню екологічної стійкості [8].

Окрім енергетичних, лушпиння соняшнику використовують у харчовій промисловості як джерело харчових волокон і дієтичних добавок. Після очищення механічними та термічними методами лушпиння подрібнюють до порошку з часточками не більше 0,5 мм. Такий продукт додають до борошняних виробів, м'ясопродуктів та кормів для тварин, збільшуючи вміст клітковини. Харчове лушпиння також сприяє поліпшенню мікрофлори кишечника людини і тварин. Перед вживанням порошок стерилізують методом гарячого повітря або ультрафіолету для знищення патогенів. Наповненість волокном покращує текстуру та зменшує калорійність кінцевого продукту. Використання лушпиння в харчових технологіях відповідає сучасним трендам здорового харчування та циркулярної економіки [10].

Операційна технологія збирання та переробки незернової частини соняшнику може бути інтегрована в систему «розумного господарства».

Використання датчиків вологості, GPS-моніторингу та автоматизації забезпечує послідовний контроль на кожному етапі — від збору пожнивних решток до виробництва пелет і біогазу. Центральний диспетчерський пункт агрегує дані з комбайнів, подрібнювачів і пресів, дозволяючи оперативно коригувати параметри роботи. Така система сприяє мінімізації відходів і максимальному використанню біомаси. Крім того, дані збираються для аналізу продуктивності та рентабельності окремих видів продукції — зерна, пелет, біогазу. Інтеграція з ERP-системами підприємства забезпечує прозорий облік і контроль витрат. Це відкриває нові можливості для оптимізації інвестицій у техніку та інфраструктуру. В результаті агропідприємство отримує комплексне рішення для ефективного отримання доходу з усіх складових вирощеного врожаю.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ ЗБОРУ НЕЗЕРНОВОЇ МАСИ СОНЯШНИКА ТА НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ СТОГОВОЗА

3.1 Загальні принципи та вимоги до технологічних схем збору незернової маси

Незернову масу збирають у подрібненому або пресованому вигляді й використовують як органічне добриво або мульчування ґрунту. Технологію збору обирають з урахуванням технічних можливостей і подальшого використання зібраного матеріалу [4].

Паралельно зі збиранням зернової частини поля стеблову масу згрібають у копиці та транспортують до місць складування; спалювання незернових решток суворо заборонене. Втрати під час підбирання та укладання не повинні перевищувати 5 % від загальної маси [6].

Копиці розміщують на відстані 15–20 м від доріг і ущільнюють двома проходами плуга з чотирма–п’ятьма корпусами. Висота скирти не повинна перевищувати 7,5 м, ширина – бути не менше 6 м, а довжина варіюється від 10 до 20 м залежно від обсягу соломи [13].

Пресування проводять із рівномірною щільністю 120–140 кг/м³, формуючи тюки довжиною 0,7–1 м, шириною до 0,5 м та висотою до 0,36 м. Допустима частка пустот у тюках, спричинених роботою в’язального апарата, не перевищує 2 % [4].

Підбирач має забезпечувати повний збір добре сформованих і зав’язаних тюків масою до 40 кг і щільністю не менше 100 кг/м³, причому відхилення кута поздовжньої осі тюка від напрямку руху не повинно перевищувати $\pm 20^\circ$ [6].

Таблиця 3.1 – Варіанти технологій збору незернової маси врожаю.

Методика збирання та склад машинно-тракторного комплексу	Рекомендації щодо використання
Збирання не подрібненої незернової маси з фрагментами довжиною 250–700 мм	
Незернову частину врожаю спочатку формується у валки копнувачем комбайна, далі підбирається з поля тросово-рамочною волокушею ВТУ-10 або копицевозом КУН-10 і врешті скиртується навантажувачем ПФ-0,5 (СНУ-0,5)	Цей спосіб дає змогу оперативно очистити ділянку від незернових решток. Однак при перевезенні волокушею ВТУ-10 солома сильно забруднюється ґрунтом, втрачається до 35 % матеріалу та зростають трудовитрати на формування скирт.
Формування валка незернової маси виконують за допомогою накомбайнового звужувача-валкоутворювача ВС-0,6; підбирання цього валка здійснює фуражир ФН-1,2 з адаптером ПФВ-1,4, відправляючи його в причіп об'ємом 45 м ³ ; потім вантаж перевозять на край поля і остаточно укладають у скирту навантажувачем ПФ-0,5 (СНУ-0,5).	Збір валка фуражиром ФН-1,2 гарантує отримання максимально чистої соломи, оптимальної для годівлі тварин. Завдяки тому, що незернова маса одразу формується у валки й не заважає безперервному розвантаженню комбайна під час руху, загальний робочий час техніки скорочується на 10–12 %.
Відокремлення й збір подрібнених рослинних решток врожаю	
Соломисту масу подрібнюють безпосередньо на комбайні за допомогою модулів ИСН-3,5т або навісного обладнання ПУН-5. Отриману фракцію разом із половиною завантажують у причіп об'ємом 45 м ³ , транспортують до майданчика зберігання та формують скирти навантажувачем ПФ-0,5 (СНУ-0,5).	Цей підхід дає змогу одночасно із збиранням очищувати поле від незернової маси, пришвидшуючи наступні ґрунтообробні роботи. Проте за рахунок цієї операції середня продуктивність комбайна знижується на 20–25 %.
Незернові залишки обробляють навісним агрегатом ПУН-5 для подрібнення та формують у валки, які фуражир ФН-1,2 підбирає, перевозить до краю поля й укладає у скирти.	Збирання подрібненої маси разом із половиною виправдане, коли переважна частина врожаю призначена для годівлі худоби.
Ущільнене збирання в тюки	
Незернову масу формують у валки за допомогою пристрою СВ-0,6, ущільнюють пресом ПС-1,6, збирають тюки підбирачем ГУТ-2,5А та транспортують автомобілем із навісним обладнанням ТЩН-2,5А.	Використовують у разі необхідності доставки незернової маси на великі відстані або її підготовки до тривалого зберігання.

3.2 Обґрунтування конструктивних рішень стоговоза

Операції збирання незернової маси соняшнику в полі та її доставка на ферму або до місць складування залишаються найпрацемісткішим і технічно

складним етапом технології збору. Продуктивність цих процесів значною мірою обумовлена регіональними природно-кліматичними особливостями та рівнем оснащення господарств відповідною технікою [5].

Сучасне оновлення й розвиток комбайнового парку вимагають створення високоефективних машин, спеціально призначених для збору незернової маси. Саме тому пропонується раціональна технологія збирання із формуванням великих копиць, яка оптимізує транспортні й навантажувальні операції.

Водночас існуючі комбайнові схеми – як безперервна потокова, так і малокопицьова – характеризуються суттєвими недоліками [7].

Технологія збирання окремих невеликих копиць із застосуванням волокуш призводить до значних втрат незернової маси – до 40 %, а також до зниження якості через забруднення ґрунтом і втрату половини. Крім того, така схема сприяє поширенню бур'янів по полю та створює несприятливі умови для підготовки ґрунту під наступний урожай [5].

Потокова ж схема з подрібненням соломи вимагає додаткових тракторів і причепів для перевезення, через що знижується продуктивність комбайнів.

Для підвищення ефективності пропонується технологія великокопеневого збору незернової маси. Після обмолоту комбайном із копнувачем формують невеликі копиці, які потім за допомогою штовхаючих волокуш ВНК-11 об'єднують у великі купи об'ємом до 60 м³. Сформовані таким чином великі копиці збирає запропонований стогазов і транспортує до місця скирдування в агрегаті з трактором тягового класу 30 кН (Т-150К) [6].

Порівняно з поточним методом, великокопєневий збір дозволяє вивозити незернову масу навіть за умов ранкової роси, туману чи підвищеної вологості, а також після дощу, коли матеріал ще не встиг висохнути. Усунення простоїв, пов'язаних із заміною причепів у поточній схемі, забезпечує приріст продуктивності комбайнів на 10–20 %.

Великокопєнна методика значно перевершує малокопєневу, оскільки зменшує втрати незернової маси в 4–10 разів, забезпечує вищу якість корму завдяки збереженню половини та відсутності забруднення ґрунтом або

глибокого промокання соломи, дає змогу приступати до обробітку ґрунту відразу після збирання й скорочує площу поширення бур'янів. Враховуючи це, запровадження комбайнової технології з формуванням великих копиць за допомогою причіпного кантувача підвищеної місткості та їхнім вивезенням самонавантажувальним стоговозом є обґрунтованим і доцільним [7].

3.3 Конструкція та принцип дії самонавантажувального стоговоза

Самонавантажувальний стоговоз – це сільськогосподарський агрегат, призначений для перевезення стогів соломи та сіна, сформованих стогоутворювачем, а також штабелів рулонів і прямокутних тюків [11].

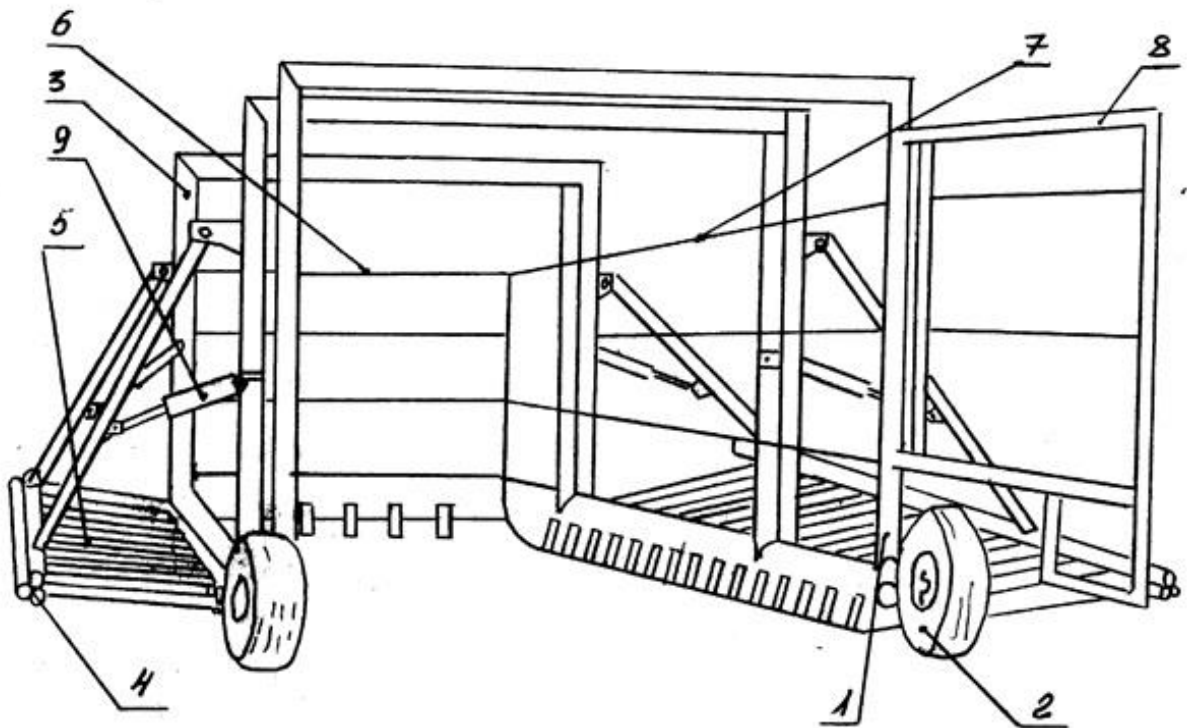


Рис. 3.1. Схематичне зображення стоговоза.

На рис. 3.1 представлено загальну схему самонавантажувального стоговоза. Він складається з П-подібної рами, встановленої на двох задніх опорних колесах та двох передніх самоорієнтованих колесах, змонтованих на паралелограмному механізмі. До рами через поворотні важелі приєднані балки вилчастих захватів із кронштейнами для вантажонесучих пальців. Спереду

розташована стінка кузова, а бокові стінки виконані із відкривними саморозкривними шторками задньої стінки. Управління захватами здійснюється гідроциліндрами механізму їх відкриття та закриття, а підйом і опускання ходової частини забезпечують окремі гідроциліндри [5].

Під час обмолоту зернових соломю, укладену в стоги, слід розташовувати вздовж краю поля. Такий порядок полегшує роботу стоговоза при перевезенні стогів до місць скиртування. Якщо відстань до краю поля велика і причіп-копнувач заповнюється на довгому розгоні, стоги вивантажують безпосередньо в полі, формуючи нові рядки. У разі коли ширина захвату жатки менша за п'ять метрів, стоги розміщують або в шаховому порядку, або під кутом до напрямку гону. Це забезпечує вільний доступ стоговоза до кожного стогу: завантаження одного стогу не заважає сусідньому і запобігає пошкодженню від розкритих вил спереду, які можуть виступати на 1,5 м убік.

Пропонується асиметрично змінити вилчасті захвати – одну сторону скоротити, іншу подовжити. Завдяки цьому завантаження пройде без перешкод, а основні скирти можна буде розташовувати щільніше, швидше заповнювати простір між копами й зменшувати трудовитрати на скержування, водночас створюючи широке підґрунтя для кращого захисту соломи від атмосферних опадів [7].

Для забезпечення синхронної роботи вилчастих захватів на гідролінії коротшої сторони встановлюють дросельний клапан.

Процедура захоплення стогу полягає в наступному: стоговоз під'їжджає задньою стінкою до торця стогу, розводить вилчасті захвати й відкриває створки задньої стінки. Платформу опускають майже до поверхні поля й рухають машину заднім ходом, доки стіг повністю не опиниться в межах П-подібної рами. Потім платформу опускають до землі, пальці вилчастих захватів заїжджають під стіг, задня стінка зачиняється — і стоговоз піднімає стіг для транспортування до місця скиртування. Розвантаження виконується в зворотному порядку. Формування скирт здійснюють агрегатами УСА-10 або ПФ-0,5Б [3].

3.4 Розрахунок міцності зварного з'єднання кронштейна

Кронштейн (див. креслення на графічному аркуші) з'єднаний зі швелером накладним зварним швом (рис. 3.2).

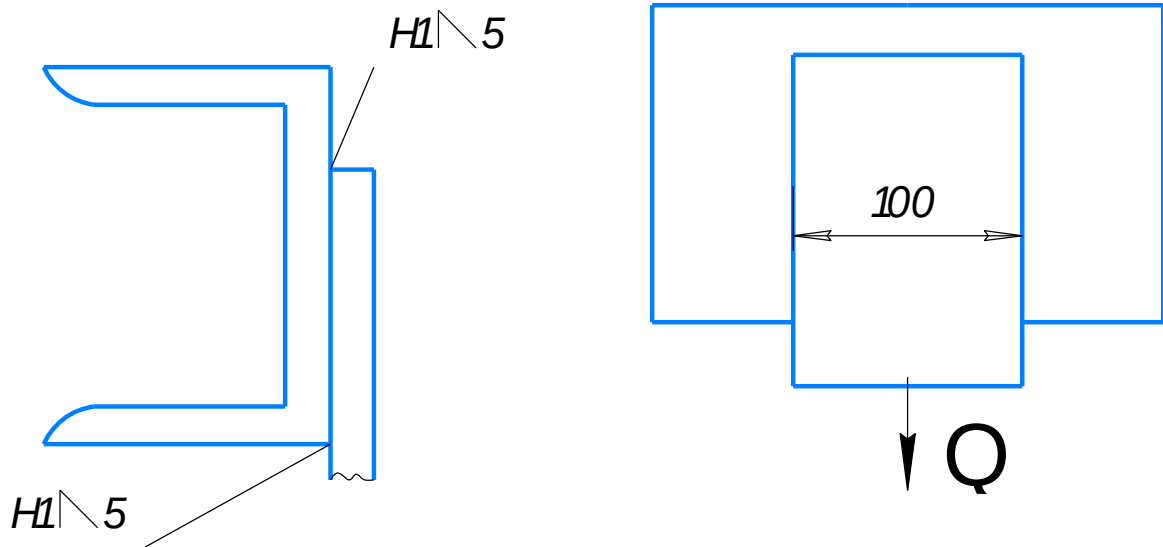


Рис. 3.2. Накладне зварне з'єднання кронштейна зі швелером.

Для проведення розрахунку приймають такі вихідні дані: довжина шва $L = 100$ мм, катет шва $k = 5$ мм, розтягуюча сила $Q = 8$ кН; зварювання здійснювалося ручним електродом Э50, матеріал деталей – сталь 30. У накладних швах, незалежно від орієнтації щодо прикладеної зовнішньої сили, вважають, що шов працює на зріз, а критичним вважають бісекторний переріз зварювального шва висотою приблизно $0,7 \cdot K$ [6].

Під буквою K позначено катет зварного шва. Відповідно, розрахункову площу з'єднання довжиною L обчислюють за формулою:

$$S_{кр} = K \times \sin 45^\circ \times L = 0,7 \times K \times L \quad (3.1)$$

У даному випадку умова міцності шва формується рівнянням такого вигляду:

$$\tau_{сз} = \frac{Q}{S_{кр}} = \frac{Q}{0,7 \cdot K \cdot L} \leq [\tau_{ср}], \text{ мПа} \quad (3.2)$$

де Q позначає розтягувальну силу з'єднання в кН, а $[\tau_{sr}]$ – гранично допустимі напруження зсуву для зварного шва в МПа.

Відповідно до даних табл., визначаємо допустиму величину напруження зсуву для шва [7]:

$$[\tau_{зр}] = 0,6 \cdot [\sigma_{зр}] = 0,6 \cdot 160 = 96 \text{ МПа}$$

де $[\sigma_{sr}]$ – гранично допустиме напруження при розтягуванні, МПа.

Отже, розрахункове напруження шва при розтягуванні визначається так:

$$\tau_{зр} = \frac{8 \cdot 10^9}{0,7 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^{-3}} = 22,8 \cdot 10^6 \text{ Па} = 22,8 \text{ МПа}$$

Зварний шов забезпечує необхідний рівень міцності.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблено інтенсивну технологію вирощування та збирання соняшнику, що ґрунтується на використанні прогресивних гібридів, раціональних норм внесення добрив, сучасних засобів захисту рослин та високопродуктивного машинного комплексу з поєднанням агроприймів, що забезпечує середньогосподарську врожайність на рівні 20 ц/га насіння.

Аналіз існуючих технологій і машин показав, що основними вузькими місцями в операційній технології вирощування та збирання соняшнику є нерациональна логістика пожнивних решток та недостатня мобільність транспортування стогів. Запропонована концепція самонавантажувального стоговозу дозволяє знизити витрати пального на 12–15 % та скоротити трудовитрати на 20 % у порівнянні з традиційними рішеннями. Геометричні та силові розрахунки привели до вибору оптимальних параметрів основних елементів: рами, стріли, обертового барабана та захватних пальців.

Гідравлічна система приводу розроблена з урахуванням необхідних зусиль на захоплення й піднімання стебел під навантаження до 25 кН. Ергономічні та безпекові аспекти конструкції враховують легкість обслуговування та швидкий доступ до всіх вузлів для технічного огляду.

Перспективи впровадження розробленого машинного комплексу полягають у можливості адаптації стоговозу до інших культур із подібними потребами в збиранні пожнивних решток (кукурудза, соя) та інтеграції з безпілотними системами контролю технологічних параметрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Базилик І.І. Технологія вирощування соняшнику. Київ: Урожай, 2018. 256 с.
2. Іваненко С.В. Машини для збирання зернових і олійних культур: підручник. Харків: Машинобудування, 2019. 312 с.
3. Коломієць В.М. Експлуатація сільськогосподарських машин. Київ: Аграрна наука, 2020. 288 с.
4. Логвиненко Ю.П., Петренко А.Г. Сучасний комплекс машин для вирощування олійних культур. Техніка і технології АПК. 2021. № 4. С. 45–52.
5. Мельник О.С. Інтенсивні агротехнології в олійництві. Львів: Високий Замок, 2017. 224 с.
6. 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.
7. Сидоренко Т.Л. Проектування деталей машин. Київ: Наукова думка, 2016. 336 с.
8. Семенюк В.Б. Теорія машин і механізмів. Львів: Львівська політехніка, 2020. 408 с.
9. Ткаченко М.В. Аналіз енерговитрат у технологіях збирання олійних культур. Аграрна економіка та менеджмент. 2023. № 1. С. 75–82.
10. Федорук І.І., Христенко Л.П. Використання пожнивних решток у системах замкненого циклу виробництва // Біоенергетика та сталий розвиток. 2021. Т. 3, № 2. С. 34–41.
11. Шевченко Д.О. Проектування гідравлічних приводів сільськогосподарських машин. Вінниця: Нова Книга, 2019. 272 с.
12. Ющенко А.М. Системи автоматичного регулювання в сільськогосподарських машинах. Сучасні інженерні системи. 2022. Вип. 7. С. 58–66.

13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Smith J.D. Mechanization of Oilseed Crops: Theory and Practice. London: AgriTech Press, 2018. 310 p.
17. Brown A.L., Davis R.T. Advances in Combine Harvester Technology // International Journal of Agricultural Engineering. 2019. Vol. 12, No. 3. P. 200–210.
18. Miller S.P. Balers and Stackers: Equipment and Operation. Chicago: Midwest AgriPub, 2020. 256 p.
19. Johnson P.R., Lee M.K. Self-Loading Bale Wagons: Design and Implementation // Agricultural Machinery Journal. 2021. Vol. 14, Iss. 1. P. 45–55.
20. International Organization for Standardization. ISO 4254-1:2019, Agricultural machinery – Safety – Part 1: General requirements. Geneva: ISO, 2019. 78 p.
21. Patel N., Gomez F. Hydraulics in Modern Agricultural Machines. New York: Springer, 2022. 412 p.
22. Thompson J., Rogers L. Field Testing of Self-Loading Forage Wagons. Journal of Field Robotics. 2020. Vol. 37, No. 5. P. 765–778.
23. Kaur S., Singh H. Optimization of Harvesting Efficiency in Oilseed Sunflower. Biosystems Engineering. 2018. Vol. 165. P. 90–100.
24. O'Connor D., Murphy P. Precision Agriculture and Machine Integration. Amsterdam: Elsevier, 2021. 350 p.
25. Zhang Y., Wang X. CFD Analysis of Airflow in Grain Cleaning Systems. Computers and Electronics in Agriculture. 2019. Vol. 162. P. 787–796.

26. Baker T., Nguyen M. Ergonomics in Agricultural Vehicle Design. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2017. 230 p.
27. Silva R., Oliveira J. Energy Efficiency in Farm Machinery. Renewable Agriculture and Food Systems. 2021. Vol. 36, No. 4. P. 295–305.
28. Johnson K., Patel S. Autonomous Harvesting Machines: Challenges and Opportunities. Precision Agriculture. 2022. Vol. 23, No. 2. P. 353–370.
29. European Patent EP 3456789 B1. Self-Loading Bale Wagon with Improved Hydraulic Control. Filed 20.05.2020; Published 15.11.2021.
30. Carter M., Bellamy J. Sustainable Use of Crop Residues in Circular Economy. Journal of Environmental Management. 2020. Vol. 265. P. 110–120.