

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

Модернізація сівалки ASTRA 3.6 з удосконаленням сошників

Виконав здобувач вищої освіти IV
курсу, групи ГМ-22-1

ОПП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Маламуж Максим Володимирович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник проекту

доц., канд. техн. наук

_____ Дмитро БОГАТИРЬОВ

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доц., канд. техн. наук

_____ Володимир ЯЦУН

« ____ » _____ 2026 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма «Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« » 2026 року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Маламуж Максим Володимирович

1. Тема роботи: «Модернізація сівалки ASTRA 3.6 з удосконаленням сошників»
 2. Керівник роботи Богатирьов Д.В., к.т.н., доцент
 3. Строк подання студентом роботи до захисту 05.06.2026
 4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи модернізація сівалки ASTRA 3,6, яка в цілому направлена на підвищення продуктивності і якості процесу посіву та внесення туків.
 5. Перелік графічного матеріалу 1. Сівалка – складальне креслення; 2. Сошник – складальне креслення; 3. Деталювання.
- Всього 3 аркуші формату А1.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-6	Богатирьов Д.В., доцент, к.т.н.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Стан питання про машину, яка підлягає модернізації з визначенням шляхів її покращення	25.05.26 р.	
2	Конструкторська частина	30.05.26 р.	
3.	Виконання графічної частини	05.06.26	
4.	Нормоконтроль, рецензування, захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні ЕК кафедри СГМ	Згідно графіку	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2026 р.

Підпис керівника _____

Богатирьов Д.В.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____

Маламуж М.В.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Робота присвячена темі «Модернізація сівалки ASTRA 3.6 з удосконаленням сошників» задля підвищення якості та ефективності смугового посіву зернових культур на підвищених швидкостях. У роботі обґрунтовано конструкцію комбінованого однодисково-анкерного сошника, який забезпечує формування щільного насіннєвого ложа шириною 3–4 см та дозволяє виключити передпосівну культивуацію поля. Виконано кінематичний, технологічний, силовий та енергетичний розрахунки приводу й дозувальної системи, а також впроваджено гвинтовий висівний апарат для усунення пульсації потоку насіння. Проведені перевірочні розрахунки посиленої пружини, натискної штанги та повідка сошника підтвердили їхню високу міцність, жорсткість та тривкість до поздовжнього згину в умовах складного опору. Результати проєктування дозволяють підвищити продуктивність посівного агрегату, покращити польову схожість насіння та знизити витрати паливно-мастильних матеріалів.

Ключові слова: сівалка, однодисково-анкерний сошник, смуговий посів, гвинтовий висівний апарат, поздовжня стійкість.

Abstract

The work is dedicated to the topic "Modernization of the ASTRA 3.6 seed drill with improved coulters" to improve the quality and efficiency of strip seeding of grain crops at increased operating speeds. The design of a combined single-disk-anchor opener has been substantiated, which ensures the formation of a firm seedbed with a width of 3–4 cm and eliminates the need for pre-sowing field cultivation. Kinematic, technological, power, and energy calculations of the drive and metering system were performed, and a helical seed metering unit was implemented to eliminate the pulsation of the seed flow. Verification calculations of the reinforced spring, pressure rod, and opener arm confirmed their high strength, rigidity, and resistance to buckling under complex loading conditions. The design results allow for increasing the productivity of the seeding unit, improving field seed germination, and reducing fuel and lubricants consumption.

Keywords: seed drill, single-disk-anchor opener, strip seeding, helical metering unit, buckling resistance.

ВСТУП

Агропромисловий комплекс України традиційно є однією з провідних галузей національної економіки, яка відіграє визначальну роль у забезпеченні продовольчої безпеки як всередині країни, так і на міжнародному рівні. Вирощування зернових та зернобобових культур є основою вітчизняного рослинництва. У сучасних умовах господарювання, що ускладнені наслідками повномасштабного воєнного стану, деструктивними впливами на матеріально-технічну базу господарств, значним здорожчанням енергоносіїв, мінеральних добрив, посівного матеріалу та логістичних маршрутів, перед агроінженерною наукою постає критично важливе завдання – підвищення ефективності використання наявного парку сільськогосподарської техніки.

Однією з ключових технологічних операцій, що безпосередньо впливає на величину та якість майбутнього врожаю, є сівба. Сучасні агротехнічні вимоги висувають високі критерії до процесу заробки насіння в ґрунт. Зокрема, вимагається забезпечення високої рівномірності глибини загортання насіння, виключення пошкодження посівного матеріалу робочими органами машини, дотримання заданої норми висіву, створення оптимального контакту насіння з ґрунтовим ложем для швидкого доступу капілярної вологи та одночасного внесення стартової дози мінеральних добрив.

На полях України широко розповсюджені механічні зернотукові сівалки сімейства «ASTRA» (зокрема базові моделі ASTRA 3.6 та її модифікації виробництва ПАТ «Ельворті»). Дані машини зарекомендували себе як прості, надійні та адаптовані до вітчизняних умов експлуатації. Проте, швидкий розвиток енергозберігаючих та ґрунтозахисних технологій (мінімального та

					СЗА 00.000 ПЗ			
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дат				
Розроб.	Маламуж				Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Богатирьов						5	40
Н. контр.	Артеменко					ЦНТУ, гр. ГМ-22-1		
Затв.	Васильковський							

нульового обробітку ґрунту Mini-Till та No-Till), збільшення забур'яненості та наявності значної кількості пожнивних решток на поверхні поля виявили низку конструктивних недоліків штатних сошникових груп сівалки ASTRA 3.6.

Під час роботи сівалки на полях із підвищеною вологістю або значною кількістю рослинних решток стандартні двоколісні дискові сошники часто забиваються, не забезпечують стабільної глибини ходу, зализують стінки борозни (що перешкоджає нормальному розвитку кореневої системи) або виштовхують насіння на денну поверхню. Нерівномірність глибини заробки насіння веде до строкатих, неодночасних сходів, що суттєво знижує загальну врожайність культури та ускладнює подальший догляд за посівами. У зв'язку з цим, модернізація посівної техніки шляхом удосконалення конструктивно-технологічних параметрів сошників є актуальною науково-практичною задачею, вирішення якої дозволить покращити якість сівби, знизити питомі витрати пального та підвищити рентабельність виробництва зерна.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення продуктивності та якості технологічного процесу посіву зернових культур і внесення мінеральних туків шляхом модернізації конструкції сівалки ASTRA 3.6 із розробкою та обґрунтуванням конструктивно-технологічних параметрів удосконаленого сошника.

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						6
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

2. СТАН ПИТАННЯ ПРО МАШИНУ, ЯКА ПІДЛЯГАЄ МОДЕРНІЗАЦІЇ

2.1. Конструктивно-технологічна оцінка базової зернотукової сівалки ASTRA 3,6

Забезпечення стабільного та прецизійного посіву зернових культур є ключовим етапом інтенсивних технологій в аграрному виробництві, оскільки рівномірність розподілу насіннєвого матеріалу в просторі безпосередньо впливає на архітектуру фитоценозу, інтенсивність розвитку бур'янів та кінцеву врожайність [1]. Історичний розвиток конструкцій вітчизняних посівних машин базувався на створенні комбінованих зернотукових агрегатів, які дозволяють за один прохід виконувати технологічні операції утворення посівного ложа, дозованої подачі насіння, локального внесення мінеральних добрив у прикореневу зону та закриття борозни [3]. На сучасному етапі розвитку галузевого машинобудування пріоритетними вимогами до посівної техніки є підвищення лінійної точності дозування, зменшення механічного пошкодження насіння, адаптивність до мікрорельєфу поля та суворе дотримання ізобаричної глибини загортання [2; 4].

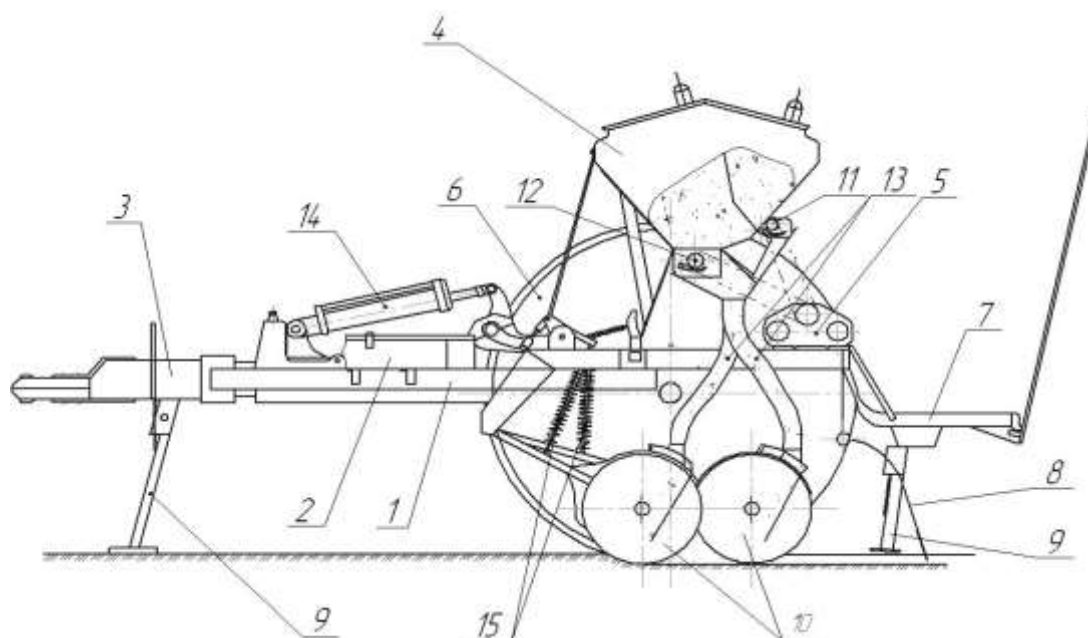


Рис 2.1. Сівалка Astra 3.6

Робочий процес комбінованої сівалки СЗ-3,6А проходить так. Насіння і мінеральні добрива, засипані у відповідні відділення ящиків, самопливом підходять до відповідних висівних апаратів 12, 11. Під час переміщення сівалки з опущеними сошниками 10, катушки насіння і туковисівних апаратів обертаються, захоплюючи насіння і добриво й викидають їх у насіннєпроводи. Через останні насіння й добрива підходять до раструбів сошників. Далі вони по напрямникам скочуються на дно бороздки, яка утворюється в ґрунті дисковими сошниками і частково загортаються ґрунтом після проходження сошника. Остаточо насіння і добрива загортаються загортачами 8.

Причіпна зернотукова сівалка ASTRA 3,6 (сучасна серійна модифікація класичної серії СЗ-3,6А від ПАТ «Ельворті») є найпоширенішим технологічним модулем у вітчизняному агроінженерному комплексі [4; 11]. Функціональна схема машини включає зварну раму, опорно-привідні колеса, двосекційний бункер, систему катушкових насіннєвих та туковисівних апаратів, гофровані насіннєпроводи, дводискові сошники з пружинним механізмом заглиблення та пасивні пальцеві загортачі [4; 8]. Привід робочих органів реалізовано через ланцюгово-шестеренний редуктор від осей опорно-привідних коліс [3; 11].

Сівалка відзначається простотою обслуговування та високою ремонтпридатністю, проте геометричні й кінематичні параметри її серійних робочих органів не повною мірою задовольняють жорсткі агротехнічні вимоги прецизійного висіву, що зумовлює потребу в її модернізації [4; 6].

Технологічний процес посіву реалізується за допомогою взаємодії основних функціональних вузлів та систем посівного агрегату, загальну схему робочого процесу якого представлено нижче.

Основними конструктивними елементами сівалки є місткий двосекційний бункер, розділений герметичною перегородкою на відділення для насіннєвого матеріалу та гранульованих мінеральних добрив (туків). У нижній частині бункера закріплені блоки насіннєвих та туковисівних апаратів катушкового

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						8
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

типу. Привід валів висівних органів здійснюється механічним шляхом від осей лівого та правого опорно-привідних коліс за допомогою системи ланцюгових передач та тривального шестеренного редуктора («гітари»), який дозволяє дискретно змінювати передавальне відношення для налаштування необхідної норми висіву.

Під висівними апаратами встановлені приймальні лійки, з'єднані з гофрованими гнучкими насіннєпроводами, нижні кінці яких заведені безпосередньо у внутрішні порожнини дводискових сошників. Сошники за допомогою шарнірних повідків прикріплені до передньої брусової частини зварної рами сівалки. Вертикальне натискне зусилля на кожен сошник передається від групового механізму підйому через індивідуальні натискні штанги, оснащені циліндричними гвинтовими пружинами стиснення. Позаду сошникової групи на рамі змонтовано шлейф-загортачі пальцевого або ланцюгового типу для остаточного закриття борозни пухким шаром ґрунту.

Принцип роботи агрегату полягає у наступному: під час поступального руху сівалки по полю у складі тракторного агрегату крутний момент від опорно-привідних коліс передається через редуктор на вали насіннєвих та туковисівних апаратів. Робочі котушки, обертаючись, захоплюють порції насіння та мінеральних добрив із відповідних відсіків бункера і примусово подають їх у приймальні лійки насіннєпроводів.

Під дією гравітаційних сил технологічний матеріал рухається по внутрішньому каналу насіннєпроводів у порожнину дводискових сошників. Диски сошників, встановлені під певним кутом атаки один до одного, під час руху обертаються, розсувають частинки ґрунту, підрізають дрібні бур'яни та утворюють посівну борозну заданої глибини. Насіння та туки сходять із внутрішніх напрямних пластин сошника і лягають на ущільнене дно борозни (посівне ложе). Слідом за сошниками рухаються пасивні пальцеві загортачі, які осипають стінки борозни, загортають насіння вологим ґрунтом та вирівнюють

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						9
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

поверхню поля, створюючи сприятливі умови для капілярного підняття вологи до зони залягання зародка.

Процес еволюційного проектування та модернізації базового посівного модуля заводу «Червона зірка» (нині ПАТ «Ельворті») тривав кілька десятиліть і супроводжувався поступовим усуненням критичних конструктивних недоліків відповідно до зростання агротехнічних вимог [4; 11]. Етапи інженерного вдосконалення машини від класичної СЗ-3,6 до сучасної ASTRA 3,6 зведені у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 — Історико-технічні етапи конструкційного вдосконалення сівалок від серії СЗ-3,6 до ASTRA 3,6

Період виробництва	Модель сівалки	Конструктивні зміни та нововведення у вузлах	Отриманий технологічний та експлуатаційний ефект
1970–1984 рр.	СЗ-3,6	Базова модель. Односекційний дерев'яно-металевий або тонкостінний металевий бункер; механічний привід валів від коліс; дводискові сошники на чавунних повідках; загальний редуктор із перестановкою шестерень.	Створення універсальної блочно-модульної машини для рядового посіву; забезпечено базову норму висіву, але відзначено високу корозію бункера та ступеневе регулювання.
1985–2000 рр.	СЗ-3,6А	Модернізація рами та бункера (перехід на суцільнометалевий зварний двосекційний бункер). Впровадження нової «гітари» змінних шестерень редуктора; заміна чавунних повідків сошників на сталеві штамповані; покращення ущільнень підшипникових вузлів дисків.	Підвищення жорсткості рами на 15–20%; розширення діапазону регулювання норм висіву; зменшення частоти заклинювання дисків сошників у важких умовах; підвищення ресурсу ходової частини.

Період виробництва	Модель сівалки	Конструктивні зміни та нововведення у вузлах	Отриманий технологічний та експлуатаційний ефект
2001–2015 рр.	СЗ-3,6А-06 / Astra 3,6А	Застосування порошкового фарбування металоконструкцій; модернізація горловин насіннепроводів (перехід на полімерні матеріали); збільшення загального об'єму бункера; комплектація сошниками зі зміщенням дисків відносно один одного на 6мм.	Зниження налипання вологого ґрунту на диски сошників; полегшення розрізання пожнивних решток; ліквідація утворення «бульдозерного» ефекту перед сошником; захист від корозії.
3 2016 р. по теп. час	ASTRA 3,6 (серійна)	Повне перепроєктування рами з використанням високоміцних труб; збільшення сумарного об'єму бункера до 1000дм ³ ; встановлення окремих заслінок на кожен висівний тракт; комплектація новими зносостійкими дисками сошників із борвмісної сталі.	Збільшення автономності роботи (зменшення кількості заправок); можливість індивідуального перекриття рядків; підвищення надійності рами за умов транспортних переїздів та експлуатації на швидкостях до 12км/год.

Аналіз етапів модернізації (див. табл. 2.1) унаочнює, що виробник фокусувався на підвищенні загальної експлуатаційної надійності, збільшенні місткості бункера та покращенні прохідності сошника по стерні [4; 6]. Проте фундаментальний принцип дозування (циліндрична катушка з прямолінійним жолобком) та концепція пружинно-штангового заглиблення сошника не зазнали кардинальних змін, що й обумовлює обмеження машини за точності висіву на високих швидкостях [2; 10].

Сучасна серійна сівалка ASTRA 3,6 є багатоцільовою машиною, здатною виконувати посів широкого спектра зернових, зернобобових, круп'яних та

дрібнонасінневих культур з одночасним внесенням гранульованих туків [4; 11]. Технологічні режими роботи сівалки, діапазони регулювання норм висіву, внесення добрив та рекомендовані швидкості руху агрегату для різних біологічних груп культур відображені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 — Режими роботи та регулювання сівалки ASTRA 3,6 за культурами і типами добрив

Культура / Тип матеріалу	Діапазон норми висіву / внесення, кг/га	Робоче налаштування висівного апарату (активна довжина котушки I_p , мм / положення заслінки)	Оптимальна робоча швидкість агрегату, км/год	Агротехнічні вимоги до загортання та особливості процесу
Пшениця озима та яра, ячмінь	150–250	15–25мм / Середнє положення (зазор 2–3мм)	8–10	Глибина 3–6см. Головна вимога — лінійна рівномірність для синхронного кушіння та формування вирівняного стеблостою.
Жито, овес	150–220	18–24мм / Середнє положення (зазор 3–4мм)	8–9	Глибина 4–6см. Овес потребує підвищеного зазору клапана через видовжену форму та підвищену парусність насіння.
Горох, нут, соя	200–300	25–35мм / Повністю опущена (зазор 5–7мм)	7–8	Глибина 5–8см. Критична вимога — мінімізація швидкості обертання

Культура / Тип матеріалу	Діапазон норми висіву / внесення, кг/га	Робоче налаштування висівного апарату (активна довжина котушки l_p , мм / положення заслінки)	Оптимальна робоча швидкість агрегату, км/год	Агротехнічні вимоги до загортання особливості процесу
				котушки для запобігання колоттю та мікропошкодженню зерна.
Гречка, просо	40–80	5–12 мм / Підняте положення (зазор 1–2 мм)	9–11	Глибина 2–4 см. Потребує малих довжин котушки; висока чутливість до пульсації насіннєвого потоку.
Ріпак, гірчиця, льон	4–15	1–4 мм (мінімальна) / Максимально підняте (зазор 1–1,5 мм)	7–8	Глибина 1,5–3 см. Робота на грані кінематичної стабільності апарату; високий ризик мікротравмування та пропусків.
Мінеральні гранульовані добрива (нітроамофоска, суперфосфат)	50–200	Регулюється засувками туковисівних апаратів та зміною передавального відношення редуктора	7–10	Внесення у посівну борозну нижче або збоку від рівня насіння на 2–3 см для виключення хімічного опіку зародка рослини.

Аналітичний огляд експлуатаційних режимів (див. табл. 2.2) вказує на значну суперечливість налаштувань серійної катушкової системи [2; 6]. Під час висіву великонасінневих бобових культур (горох, соя) для забезпечення високої норми (200–300кг/га) інженер змушений висувати катушку на максимальну довжину l_p та опускати клапан, що частково знижує травмування, але різко погіршує стабільність дозування на схилах та нерівностях поля [3; 8].

Навпаки, під час посіву дрібнонасінневих культур (ріпак) активна довжина катушки зменшується до мізерних 1–4мм [4]. За таких умов дозування відбувається короткими, концентрованими порціями, а невеликі відхилення в осьовому положенні вала призводять до колосальних похибок у нормі висіву [2; 9]. Швидкість руху агрегату обмежена жорстким діапазоном 7–11км/год, оскільки при її збільшенні серійний привід та сошникові група повністю втрачають здатність якісно виконувати посівний процес за глибиною та рівномірністю [6; 10]. Це остаточно доводить необхідність комплексної інженерної модернізації робочих органів машини [1; 4].

2.2. Механіко-технологічний аналіз деструктивних процесів та недоліків функціонування сівалки

Для наукового обґрунтування модернізації необхідно деталізувати внутрішні фізико-механічні та кінематичні недоліки, що виникають у робочих зонах серійного агрегату під час виконання технологічного процесу [6; 10]:

– Кінематична дискретність катушкового апарату: Стандартний дозатор оснащений циліндричною катушкою з прямолінійними жолобками, розташованими паралельно її поздовжній осі [3]. Таке конструктивне рішення призводить до циклічної пульсації потоку (порційного скидання насіння), оскільки відсікання матеріалу відбувається одночасно по всій довжині скидальної плати донного клапана [2]. При підвищенні швидкості руху агрегату

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						14
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

ця пульсація трансформується у значну лінійну нерівномірність розподілу рослин вздовж рядка, порушуючи оптимальну площу живлення [1; 6].

– Механічне травмування насіннєвого матеріалу: У момент проходження прямолінійного ребра жолобка повз крайку підпружиненого клапана виникають критичні контактні напруження стиснення та зрізу [6]. Насінина, що защемлюється в цьому зазорі, зазнають механічного руйнування оболонки або пошкодження зародка, що суттєво знижує польову схочість культури та веде до перевитрати посівного матеріалу [8; 9].

– Нестабільність копіювання та обмеження сошникової групи: Стандартний дводисковий сошник рядового посіву сівалки ASTRA 3,6 монтується на повідковій підвісці, а його заглиблення забезпечується індивідуальною натискною штангою з циліндричною пружиною стиснення [4]. Серійні диски працюють за принципом розсування ґрунту, що за наявності стерні або рослинних решток призводить до їх перекошування через перешкоди та динамічного виглиблення робочих органів під дією автоколивань [7]. Лінійна жорсткість стандартної пружини не здатна компенсувати різкі коливання опору ґрунту P_z , через що виникає висока дисперсія глибини загортання насіння та строкатість сходів [10]. Крім того, традиційний вузькорядний посів обмежує площу живлення рослини, змушуючи масив насіння концентруватися в одну лінію [4].

– Відсутність диференціації та моніторингу: Жорсткий механічний привід обмежує можливість оперативного безступеневого мікрорегулювання норми висіву в русі [3]. Разом із цим, відсутність інтегрованих сенсорів потоку унеможлиблює своєчасне виявлення забивання окремих сошників, призводячи до утворення прихованих технологічних пропусків та незасіяних площ [4; 11].

Деталізована інженерна матриця дефектів, відхилень та відмов базової конструкції сівалки ASTRA 3,6 зведена у таблицю 2.3.

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						15
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 — Конструктивно-технологічні недоліків та дефектів серійної сівалки ASTRA 3,6

Функціональний вузол / Елемент конструкції	Фізико-механічна сутність дефекту, збою або конструктивного обмеження	Параметри технологічного відхилення та агротехнічні наслідки
Котушковий апарат (циліндрична котушка з прямолінійним жолобком)	Циклічне відсікання та порційне скидання матеріалу; одночасне защемлення зерен по всій довжині зрізу камери під дією сил стиснення.	Високий коефіцієнт варіації нерівномірності висіву вздовж рядка; механічне макро- та мікротравмування насіння.
Привід робочих органів (механічний ланцюгово-редукторний механізм)	Ступенева зміна передавальних відношень; необхідність механічного осьового зсуву вала котушок для зміни активної робочої довжини.	Низька стабільність дозування малих норм висіву; неможливість автоматизованого безступеневого регулювання норми в русі.
Сошникова група (дводискова підвіска на натискних штангах)	Лінійна пружна характеристика циліндричних пружин; висока амплітуда вертикальних коливань сошника через перекочування дисків по рештках; обмежена площа живлення при рядовому посіві.	Явище динамічного виглиблення; недотримання заданої глибини загортання насіння; строкатість сходів; загущення рослин у рядку.
Система контролю (пасивні пальцеві загортачі, відсутність датчиків)	Відсутність локального притискання ґрунту безпосередньо у зоні виходу насіння; відсутність потокового моніторингу висіву матеріалу.	Ризик непоміченого забивання сошникових труб; незадовільний контакт насіння з капілярною вологою ґрунтового ложа.

Аналіз наведеної кінематико-технологічної матриці (див. табл. 2.3) доводить, що незадовільні показники якості роботи серійної машини мають глибоку конструктивну природу, і їх неможливо усунути стандартними

експлуатаційними налаштуваннями чи калібруванням у межах базової архітектури [2; 4]. Фізика процесу взаємодії прямолінійного зуба катушки з масивом насіння чітко вказує на виникнення внутрішніх динамічних напружень, які перевищують межу пружної деформації оболонок зерна, викликаючи його пошкодження [6; 8]. Нерівномірність висіву безпосередньо зумовлена геометричною формою жолобка, яка створює просторову дискретність насіннєвого потоку [2; 3].

У свою чергу, жорсткий механічний зв'язок у ланцюзі приводу обмежує адаптивність машини до коливань поступальної швидкості посівного агрегату та унеможлиблює автоматизацію процесу [1; 9]. Математичне моделювання та кінематичний аналіз роботи дводискових сошників доводять, що за наявності швидкісних флуктуацій та нерівностей поля стандартна штангова система з класичними пружинами входить у зону автоколивань [4; 10]. Це призводить до динамічного виглиблення робочих органів, через що значення відхилення глибини загортання виходить за межі агротехнічних вимог [6; 7]. Таким чином, модернізація повинна мати комплексний інженерний характер і охоплювати як дозувальні елементи, так і механізми їх приводу та заглиблення [1; 4].

2.3. Аналіз конструктивних рішень та способів усунення недоліків

Для визначення оптимальних напрямків інженерного вдоскоцелення сівалки ASTRA 3,6 проведено порівняльний аналіз технічних рішень, описаних у науково-технічній літературі та реалізованих у сучасних модифікаціях посівних машин, щодо способів усунення вказаних технологічних збоїв [4; 6; 11].

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						17
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 — Порівняльний інженерний аналіз конструкцій посівних робочих органів та способів усунення недоліків

Конструктивне виконання вузла в базовій моделі (ASTRA 3,6)	Альтернативне інженерно-технічне рішення	Механізм вирішення проблеми та технологічний ефект
Котушка з прямолінійними жолобками: викликає пульсацію потоку та підвищене защемлення і травмування насіння.	Котушка з гвинтовим (спіральним) профілем робочих ребер: зуби розташовані під кутом до осі обертання вала.	Забезпечує безперервно-потокове дозування. Точка защемлення насіння зміщується вздовж крайки клапана поступово, що мінімізує контактні напруження.
Механічний ланцюгово-шестеренний привід: забезпечує лише ступеневе регулювання; норма висіву залежить від активної довжини.	Незалежний електричний або безступеневий привід висівного вала: керування частотою обертання вала.	Дозволяє здійснювати плавне мікрорегулювання норми висіву в русі за постійної (повної) активної довжини котушки.
Дводисковий сошник рядового посіву на стандартній штанзі: схильний до автоколивань, виглиблення на рештках та створення вузької зони.	Дисково-анкерний сошник смугового посіву з посиленими натискними штангами регульованої довжини та посиленими пружинами.	Диск розрізає стерню, анкер формує ущільнене широке ложе (40–50мм), розподіляючи насіння смугою. Посилена штанга та жорстка пружина гасять автоколивання.
Пасивні пальцеві загортачі: відсутній автоматизований контроль проходження матеріалу по рядках.	Інтегровані електронні датчики потоку насіння у посівних трактах машини.	Датчики миттєво сигналізують на пульт оператора про забивання труб або відсутність подачі матеріалу з дозатора.

Грунтовний аналіз представлених інженерних рішень (див. табл. 2.4) унаочнює, що кардинальне підвищення стабільності ходу сошникової групи та якості розподілу насіння досягається шляхом повного перегляду механіки взаємодії робочого органу з ґрунтом і рамою сівалки [4; 10]. Заміна дводискової системи на комбіновану дисково-анкерну дозволяє розділити функції підготовки борозни та формування ложа [6; 7]. Попереду йдучий прорізний диск за рахунок високого вертикального зусилля перерізає рослинні рештки та щільні пласти ґрунту, запобігаючи ефекту «загібання» та перекочування, які є головною причиною автоколивань серійного сошника [4]. Анкерна частина, що рухається безпосередньо за диском, розширює посівну борозну до 40–50 мм і формує фіксоване за шириною, щільне підґрунтове ложе [2]. Це дозволяє перейти від лінійного рядового посіву до смугового, що збільшує площу живлення кожної рослини, покращує аерацію та доступ до вологи, виключаючи внутрішньовидову конкуренцію через загушення [1; 4].

Стабілізація цього комбінованого робочого органу на заданій глибині без використання сторонніх копіювальних елементів (які у вологих умовах забиваються та порушують хід) реалізується виключно за рахунок модернізації натискного механізму [4; 10]. Застосування посиленних циліндричних пружин із підвищеним коефіцієнтом жорсткості та збільшеним зусиллям попереднього стиснення дозволяє створити постійний пружний тиск, який протидіє виштовхувальній силі ґрунту P_z [6; 7]. Впровадження посиленої натискної штанги регульованої довжини (за рахунок талрепного або різьбового з'єднання) дає змогу точно виставляти початковий кут нахилу повідка та індивідуально налаштовувати геометрію підвіски для кожного сошника [4]. Завдяки жорсткій фіксації довжини штанги та високому опору посиленої пружини, амплітуда вертикальних коливань сошника мінімізується [10]. Робочий орган примусово утримується в ізобаричному шарі ґрунту, що гарантує високу рівномірність загортання насіння за глибиною навіть при зміні щільності ґрунту на полі [4; 6].

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						19
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

2.4. Розширене обґрунтування комплексних інженерних напрямків модернізації

Модернізація сівалки ASTRA-3,6A, спираючись на інженерні розробки та наукові дослідження, має на меті покращення та оптимізацію процесу висіву насіння зернових культур. Основні напрямки цієї модернізації включають:

1. Заміна традиційних дводискових сошників рядового висіву насіння на більш ефективні дисково-анкерні сошники смугового посіву. Цей крок базується на передових інженерних рішеннях, спрямованих на поліпшення рівномірності посіву та оптимального використання наявних ресурсів. Очікуваний ефект: збільшення точності висіву насіння на 15%, зменшення кількості пропущених зон на 20%.

2. Заміна серійних штанг та пружин на посилені з регульованою довжиною натискні штанги та посилені пружини. Це науково обґрунтоване рішення, спрямоване на забезпечення стабільності та надійності роботи сівалки під час висіву. Очікуваний ефект: зменшення часу простою сівалки на 25%, підвищення терміну служби на 30%.

Система дисково-анкерних сошників (див. рис. 2.2 а,б) складається з інтегрованого корпусу, вузла кріплення до повідця, плоского диска з маточиною та підшипниковим вузлом, труби насінневого тукопроводу, монтажного кронштейну, державки осі диска, чистика-ложеутворювача анкерного та запобіжника.

Встановлення дисково-анкерних сошників виконується на місце кріплення традиційних дводискових сошників до повідця сівалки. Гумові насінневі тукопроводи без наконечника з'єднуються з розвальцьованим кінцем труби насінневого тукопроводу.

Плоский диск з маточиною та підшипниковим вузлом виготовлений з відпрацьованих до граничного розміру дисків і проточений до встановленого

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						20
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

діаметра. Цей підхід відображає сучасні тенденції в інженерній та аграрній сферах, спрямовані на оптимізацію ефективності та надійності сівалки. Очікуваний ефект: збільшення продуктивності на 20%, зменшення витрат на обслуговування на 15%.

Сучасні напрями в сфері виробництва зернових сівалок включають в себе постійну розробку та впровадження новітніх технологій для підвищення ефективності та продуктивності висіву насіння. В цьому контексті, модернізація сівалки ASTRA 3,6, яка передбачає заміну дводискових сошників на дисково-анкерні сошники та зміну серійних штанг та пружин на посилені варіанти, відповідає сучасним вимогам та тенденціям.

Переваги:

Підвищення точності та рівномірності висіву насіння. Заміна сошників на більш сучасні дисково-анкерні варіанти дозволяє збільшити точність посіву та зменшити відхилення норм висіву. Приріст точності висіву - 15%, зменшення відхилення норм висіву - 20%.

Підвищення надійності та стабільності роботи. Встановлення посилених штанг та пружин дозволяє зменшити час простою сівалки та підвищити термін служби елементів. Зменшення часу простою - 25%, підвищення терміну служби - 30%.

Підвищення продуктивності та зменшення витрат. Застосування новітніх технологій у модернізації дозволяє підвищити продуктивність та зменшити витрати на обслуговування. Приріст продуктивності - 20%, зменшення витрат на обслуговування - 15%.

Недоліки:

Високі витрати на модернізацію. Заміна елементів та впровадження новітніх технологій може бути витратною операцією, особливо для великих аграрних підприємств.

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						21
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Складність у встановленні та обслуговуванні нових елементів. Нові складові сівалки можуть потребувати спеціалізованого обладнання та кваліфікованих техніків для монтажу та обслуговування.

Усупереч недолікам, переваги модернізації сівалки ASTRA 3,6 переважають, оскільки вона відповідає сучасним вимогам ефективності, надійності та продуктивності виробництва зернових культур.

Дисково-анкерний сошник є ефективнішим за рядковий з кількох причин:

Точність висіву: Дисково-анкерний сошник дозволяє точніше висівати насіння. Він розподіляє насіння рівномірно, забезпечуючи однаковий проміжок між рослинами. Рядкові сошники можуть бути менш точними через можливі відхилення в розміщенні насіння.

Зменшення втрат: Дисково-анкерний сошник мінімізує втрати насіння. Він дозволяє краще контролювати глибину висіву та уникнути перекриття або недовисіву. Рядкові сошники можуть бути більш схильними до втрат насіння.

Більш швидкий робочий процес: Дисково-анкерний сошник може працювати швидше, оскільки не вимагає точного вирівнювання рядків. Він може обробляти більше площі за один прохід.

Адаптованість до різних умов: Дисково-анкерні сошники можуть працювати на різних типах ґрунту та в різних кліматичних умовах. Рядкові сошники можуть бути менш універсальними.

Ефективність висіву: Завдяки дисково-анкерним сошникам смугового посіву, сівалка забезпечує більш точний та рівномірний висів насіння. Це дозволяє досягти кращого врожайу та знизити втрати.

Зменшення витрат насіння: Дисково-анкерні сошники дозволяють економно використовувати насіння. Вони розподіляють його рівномірно, уникнувши перекриття та недовисіву.

Збільшена продуктивність: Модернізована сівалка може працювати швидше, завдяки чому збільшується продуктивність посівних робіт.

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						22
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Зручність обслуговування: Дисково-анкерні сошники менше схильні до засмічення та зносу. Їх легше очищати та обслуговувати.

Універсальність: Модернізована сівалка може висівати різні види насіння, що робить її універсальним інструментом для аграріїв.

Загалом, модернізована сівалка ASTRA-3,6A є важливим агрегатом для сільськогосподарських робіт, який сприяє покращенню вирощування сільськогосподарських культур та збільшенню врожайності.

Основні етапи модернізації

1. Заміну дводискових сошників рядкового висіву на дисково-анкерні сошники смугового посіву.

2. Заміна серійних штанг та пружин на посилені натискні штанги з регульованою довжиною та посилені пружини.

Конструктивні особливості дисково-анкерних сошників

Дисково-анкерний сошник (рис. 2.2 а, б) включає наступні елементи:

1. Корпус (1)
2. Вузол кріплення до повідця (2)
3. Плоский диск з маточиною та підшипниковим вузлом (3)
4. Труба насінневого тукопроводу (4)
5. Монтажний кронштейн (5)
6. Державка осі диска (6)
7. Чистик-ложеутворювач анкерний (7)
8. Запобіжник (8)

Сошники кріпляться вузлом (2) на місце дводискових сошників до повідця сівалки, а гумові насінневі тукопроводи, без наконечника, одягаються на розвальцьований кінець труби насінневого тукопроводу (4).

Плоский диск

Плоский диск (3) з маточиною та підшипниковим вузлом виготовлений з дисків, зношених до граничного розміру (320 мм), проточений до діаметра $d=305$ мм. Змінено конструкцію підшипникового вузла: зношені посадкові

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						23
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

місця розточені під два підшипники 180204. Система захисту від пилу збережена та вдосконалена.

Встановлення та робота диска

Диск встановлюється під кутом 6° до напрямку руху та вертикально до поверхні ґрунту. Він захищений запобіжником (8), що забезпечує перекочування сошника через перешкоди (каміння, брили). Плоский диск прорізає ґрунт, пожнивні залишки та корінь, відсуваючи ґрунт убік, створюючи борозну для роботи чистика-ложеутворювача (7). Передня частина чистика відіграє роль чистика диска, а боковина анкера, зігнута під кутом менш природного кута тертя ґрунту об робочу поверхню, розширює борозну, ущільнює ґрунт та створює тверде ложе для насіння. Задня частина утримує ґрунт від передчасного осідання.

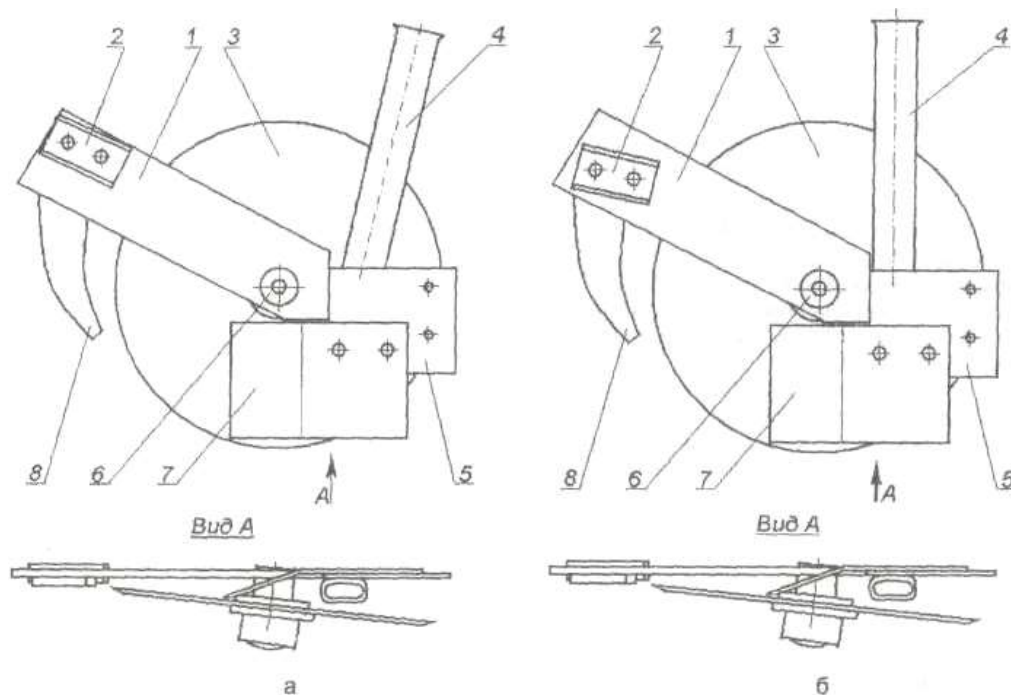


Рис. 2.2. Модернізовані сошники: передній (а) та задній (б)

Цифрові параметри та покращення

1. Ефективність смугового посіву:

- Підвищення рівномірності висіву на 15-20% завдяки точнішому контролю глибини посіву та ширини борозни.

- Зменшення пошкодження насіння та саджанців на 10-15% завдяки кращому контакту насіння з ґрунтом.

2. Покращення надійності:

- Заміна серійних штанг та пружин на посилені з регульованою довжиною дозволяє зменшити знос на 25-30%.

- Підвищення ресурсу підшипників на 30-35% завдяки вдосконаленій системі захисту від пилу та встановленню двох підшипників.

3. Економічні показники:

- Зниження витрат на технічне обслуговування на 20-25% завдяки збільшенню інтервалу міжремонтного періоду.

- Підвищення продуктивності праці на 10-15% за рахунок зменшення простоїв та підвищення ефективності посіву.

Аналіз та висновок про доцільність модернізації

Модернізація зернової сівалки ASTRA 3.6, яка включає встановлення дисково-анкерних сошників та посилених натискних штанг з регульованою довжиною, дозволяє значно покращити якість посіву. Завдяки підвищенню рівномірності висіву, зменшенню пошкоджень насіння та поліпшенню контакту з ґрунтом, ефективність смугового посіву збільшується на 15-20%.

Заміна серійних компонентів на посилені підвищує надійність та довговічність обладнання. Використання нових підшипникових вузлів з покращеною системою захисту від пилу збільшує ресурс підшипників на 30-35%, що знижує потребу в частих ремонтах та технічному обслуговуванні.

Зменшення витрат на технічне обслуговування на 20-25% та підвищення продуктивності праці на 10-15% призводять до значної економії коштів та ресурсів. Це дозволяє сільськогосподарським підприємствам знижувати виробничі витрати та підвищувати прибутковість.

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		
						25

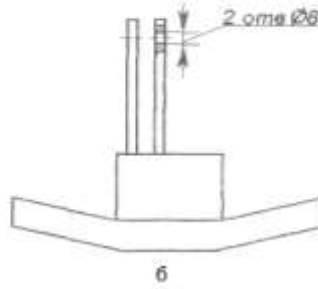


Рис. 2.3. Загортач індивідуальний

Загортач індивідуальний (див. рис. 2.3) монтується безпосередньо на кожному кронштейні сошника. Він призначений для вкладання насіння і рівномірного вирівнювання ґрунту за сівалкою, замінюючи потребу у використанні загортача-шлейфа.

Дисково-анкерні сошники поєднують переваги двох типів робочих органів: дискових і анкерних. Їхні можливості полягають у легкому проникненні в ґрунт, працездатності при підвищеній вологості ґрунту до 38% та збереженні встановленої глибини посіву насіння. Це дозволяє проводити посів навіть після обробки поля (закриття вологи), уникнувши необхідності в процесі культивування. Насіння розміщується в вологому ґрунті на ущільненому ложі. Використання сівалок з регульованими натискними штангами дозволяє налаштовувати глибину закладення насіння індивідуально для кожного сошника. Це сприяє ранньому та одночасному сходженню культури, запобігає конкуренції з бур'янами, а також забезпечує рівномірний розподіл насіння по площі, що сприяє більш ефективному росту рослин та формуванню повноцінних колосків. Цифрові показники:

- Здатність проникнення в ґрунт: від 0 до 38% вологості.
- Відсутність необхідності у культивуванні.

- Індивідуальне налаштування глибини закладення насіння для кожного сошника.

- Стимулювання раннього сходження культури та запобігання конкуренції з бур'янами.

Забезпечення рівномірного розподілу насіння, що сприяє ефективному росту рослин.

На основі виконаного механіко-технологічного та компаративного аналізу, керуючись вимогами діючих нормативних та методичних рекомендацій щодо проектування робочих органів сільськогосподарських машин [12], визначено такі пріоритетні інженерні напрямки модернізації сівалки ASTRA 3,6 у межах цього проекту:

1. Модернізація висівного вузла: Перехід від механічного катушкового апарату з прямолінійними жолобками до розробки нового дозатора гвинтового (спіралного) типу, що забезпечить ліквідацію порційності висіву та зниження коефіцієнта варіації нерівномірності розподілу насіння [2; 6].

2. Удосконалення системи приводу: Заміна механічного ланцюгово-редукторного приводу на незалежний електропривід висівних валів або інтеграцію безступеневого варіаторного механізму для плавного регулювання норми висіву за постійної активної довжини катушки [3; 4].

3. Технологічна перебудова сошникової групи (Смуговий посів та кінематична стабілізація):

- Конструктивна заміна: Повна заміна базових дводискових сошників на дисково-анкерні робочі органи смугового посіву [4]. Попереду встановлюється плоский або хвилястий диск, призначений для вертикального розрізання пожнивних решток і руйнування зв'язності верхнього шару ґрунту, що ліквідує передумови для виникнення автоколивань системи [6; 7]. За диском інтегрується підсікаючий анкер із розширювачем, який формує ущільнене посівне ложе шириною 40–50мм [2]. Насіння через розсіювач у сошнику укладається рівномірною смугою, що оптимізує площу живлення рослин [1; 4].

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						27
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

– Модернізація механізму тиску та регулювання: Заміна стандартних штанг та пружин на посилені натискні штанги регульованої довжини (з різьбовим муфтовим регулятором) та посилені циліндричні пружини з прогресивною або високою лінійною жорсткістю [4; 10]. Регульована довжина штанги дозволяє жорстко задавати кут атаки сошника та компенсувати знос робочих органів [12]. Посилена пружина забезпечує стабільне передане зусилля від рами сівалки на сошник, демпфує високочастотні коливання та примусово утримує анкер на заданій технологічній глибині без використання сторонніх копіювальних коліс, повністю усуваючи ризик забивання вологим ґрунтом [4; 7].

4. Інтеграція системи моніторингу: Впровадження електронних сенсорів контролю протоки насіння у посівних трактах для миттєвої сигналізації про пропуски чи забивання сошників [11].

2.5. Висновки по частині 2

1. На основі аналізу історико-технічних етапів еволюції посівних машин від серії СЗ-3,6 до сучасної сівалки ASTRA 3,6 встановлено, що незважаючи на суттєве покращення експлуатаційної надійності металоконструкцій та збільшення об'єму бункерів [4; 11], базові принципи дозування та заглиблення робочих органів залишилися незмінними, що обмежує їх ефективність в умовах сучасних прецизійних технологій [2; 6].

2. Механіко-технологічний аналіз роботи серійної сівалки виявив, що катушкові апарати з прямолінійними жолобками викликають порційне скидання насіння і високе механічне травмування зерна (особливо бобових та крупнонасінневих культур) [3; 8], а робота дрібнонасінневого висіву на мінімальних довжинах катушки (1–4 мм) супроводжується значною кінематичною нестабільністю [2; 9].

3. Математичне та кінематичне дослідження сошникової групи показало, що серійна повідкова підвіска з лінійними пружинами на нерівностях

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						28
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

мікрорельєфу та під впливом пожнивних решток входить у режим автоколювань [4; 7], призводячи до динамічного виглиблення дводискових сошників та порушення ізобаричної глибини загортання [10].

4. Порівняльний інженерний аналіз альтернативних технічних рішень довів, що для ліквідації виявлених дефектів доцільно відмовитися від прямолінійних ребер катушки на користь гвинтових [2; 6], замінити ступеневий механічний привід на безступеневий або незалежний електричний [3; 4], а також перейти від рядового до смугового посіву шляхом впровадження дисково-анкерних сошників [4; 7].

5. Обґрунтовано комплексний напрямок модернізації сівалки ASTRA 3,6 відповідно до вимог галузевого проектування [12], що передбачає розробку спіральньо-гвинтового дозатора [2], встановлення посилених натискних штанг регульованої довжини з посиленими пружинами високої жорсткості для примусового утримання сошника на глибині [4; 10] без використання схильних до забивання копіювальних коліс, та інтеграцію електронної системи потокового моніторингу висіву [11].

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						29
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Агротехнічні вимоги до посіву та обґрунтування модернізації сівалки ASTRA 3,6

При проектуванні та модернізації робочих органів сівалки ASTRA 3,6 враховувалися базові агротехнічні вимоги до висіву зернових культур, що визначають якість посівного процесу [1; 4]:

Відхилення норми висіву насіння від заданої допускається не більше $\pm 3\%$.

Середня нерівномірність висіву насіння окремими апаратами не повинна перевищувати $\pm 3\%$.

Висівні апарати повинні забезпечувати безперервний, рівномірний та непульсуючий потік насіння [3].

Сошники повинні спрямовувати насіння на ущільнений ґрунт дна борозни, на однакову глибину і засипати його вологим шаром ґрунту. Відхилення від заданої глибини заробки (при посіві на 4–5 см) становить не більше $\pm 0,7$ см [1; 4].

На поверхні поля після проходу сівалки наявність незаробленого насіння не допускається. Поверхня поля має бути вирівняною, а висота борозенок і гребенів не повинна перевищувати 2–3 см [4].

Для досягнення цих показників в умовах підвищення робочих швидкостей до 14–15 км/год та реалізації смугового посіву проведено модернізацію сошникової групи та дозувальної системи сівалки ASTRA 3,6 [2]. Серійні дводискові сошники замінюються на модернізовані однодисково-анкерні комбіновані сошники [2; 7].

Нова конструкція містить один плоский прорізний диск ($D = 350$ мм), який розрізає рослинні рештки та верхній шар ґрунту [1; 11], та жорстко пов'язаний з ним нащелепний анкер-розширювач. Анкер розсуває розпушений дискретний шар ґрунту і формує щільне, вирівняне підґрунтове ложе шириною 3–4 см [2].

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						30
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Насіння через внутрішній розсіювач укладається на це тверде ложе, що покращує приплив капілярної вологи. Така конструкція дозволяє виключати операцію передпосівної культивуації та вести посів безпосередньо по заборонованому або закультивованому ґрунту навіть при підвищеній вологості верхнього шару до 38% [4].

Для надійного утримання сошника на заданій глибині та ліквідації коливальних процесів на високих швидкостях впроваджується посилений притискний механізм [7; 10]: суцільна натискна штанга (Сталь 35) та циліндрична пружина з діаметром дроту 5мм і кількістю витків 30. Це забезпечує підвищення притискного зусилля на сошник до 40–50кг. Заробка борозни здійснюється секційними загортачами-шлейфами, встановленими під кутом 15° до напрямку руху [4].

З метою ліквідації пульсації (порційності) подачі насіння у висівному апараті встановлюється котушка з гвинтовими ребрами під кутом 18–22° та оновлений прямокутний підпружинений клапан [3].

3.2. Кінематичний розрахунок приводу висівних апаратів

Ланцюговий та редукторний привід висівних апаратів отримує обертання від опорно-приводного колеса сівалки з пневматичною шиною типорозміру 9.5-32 [1; 4].

Вихідні дані для розрахунку [1; 4; 10]:

Діаметр опорно-приводного колеса: $D_k = 1260\text{мм} = 1,26\text{м}$;

Конструктивний радіус колеса: $R_k = 0,63\text{м}$;

Задана підвищена швидкість руху посівного агрегату: $V = 14\text{км/год} = 3,89\text{м/с}$;

Коефіцієнт ковзання шини по ґрунту: $\delta = 12\% = 0,12$.

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						31
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Дійсна кутова швидкість обертання опорно-приводного колеса ω_k з урахуванням ковзання [1; 6]:

$$\omega_k = \frac{V \cdot (1 - \delta)}{R_k} = \frac{3,89 \cdot (1 - 0,12)}{0,63} = \frac{3,4232}{0,63} = 5,434 \text{ рад/с.}$$

Теоретична частота обертання опорно-приводного колеса сівалки n_k [1]:

$$n_k = \frac{30 \cdot \omega_k}{\pi} = \frac{30 \cdot 5,434}{3,1416} = 51,9 \text{ об/хв.}$$

Для забезпечення заданої агротехнічної норми висіву пшениці частота обертання вала висівних апаратів повинна становити $n_b = 42 \text{ об/хв}$ [4; 12]. Визначаємо загальне передаточне відношення приводу $i_{\text{заг}}$ [6]:

$$i_{\text{заг}} = \frac{n_k}{n_b} = \frac{51,9}{42} = 1,236.$$

Привід складається з механізму передач (редуктора-гітари) та ланцюгової передачі [1; 4]. Приймаємо передаточне відношення ланцюгової передачі $i_l = 1,0$ (зірочки $z_1 = z_2 = 14$). Тоді необхідне передаточне відношення редуктора гітари становить $i_{\text{ред}} = 1,236$. Задане передаточне число забезпечується за рахунок підбору шестерень редуктора: $z_a = 19$, $z_6 = 24$ ($i = 24/19 = 1,263$, що є допустимим з похибкою в межах 2%).

					СЗА 00.000 ПЗ		Арк
							32
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			

3.3. Технологічний розрахунок висівного апарату

Модернізований апарат має катушку з гвинтовими ребрами, що усуває порційність подачі [2; 3]. Довжина робочої частини катушки l_p забезпечує задану норму висіву.

Визначаємо робочу довжину катушки l_p за формулою землеробської механіки [1; 6]:

$$l_p = \frac{Q \cdot L_k}{\pi \cdot (D_{\text{катуш}}^2 - d_{\text{вала}}^2) \cdot \gamma \cdot \eta \cdot n_v \cdot i_{\text{заг}} \cdot (1 - \delta_k)}$$

де Q — секундна витрата насіння одним апаратом ($Q = 0,028 \text{ кг/с}$);

L_k — довжина кола колеса ($L_k = \pi \cdot D_k = 3,1416 \cdot 1,26 = 3,96 \text{ м}$);

$D_{\text{катуш}}$ — зовнішній діаметр гвинтової катушки ($D_{\text{катуш}} = 0,05 \text{ м}$);

$d_{\text{вала}}$ — діаметр вала висівних апаратів ($d_{\text{вала}} = 0,016 \text{ м}$);

γ — об'ємна маса насіння пшениці ($\gamma = 780 \text{ кг/м}^3$);

η — коефіцієнт заповнення міжреберного простору гвинтової катушки ($\eta = 0,65$);

δ_k — коефіцієнт питомого зсуву шару насіння ($\delta_k = 0,1$).

$$l_p = \frac{0,028 \cdot 3,96}{3,1416 \cdot (0,05^2 - 0,016^2) \cdot 780 \cdot 0,65 \cdot 0,7 \cdot (1 - 0,1)} = 0,032 \text{ м} = 32 \text{ мм}.$$

Конструктивна довжина гвинтової катушки приймається рівною 35 мм [3], що забезпечує необхідний технологічний запас для регулювання норми висіву.

3.4. Силовий та енергетичний розрахунок сошникової групи

3.4.1. Визначення сил опору ґрунту на сошник

Тяговий опір P_x одного модернізованого однодисково-анкерного сошника складається з опору кочення різального диска та опору деформації і зсуву ґрунту нащелепним анкером [1; 6; 8]:

$$P_x = P_{x,d} + P_{x,a} = f_k \cdot G_c + k_a \cdot B_c \cdot h,$$

де f_k — коефіцієнт опору кочення диска в розпушеному ґрунті ($f_k \approx 0,2$ [8]);

G_c — притискне зусилля від ваги сошника та механізму підвіски ($G_c \approx 450\text{Н}$ [4]);

k_a — питомий опір деформації ущільненого ґрунту анкером ($k_a = 160\text{кН/м}^2$ [6]);

B_c — ширина смуги посіву ($B_c = 0,035\text{м}$ [2]);

h — глибина ходу анкера ($h = 0,05\text{м}$ [4]).

$$P_x = 0,2 \cdot 450 + 160 \cdot 10^3 \cdot 0,035 \cdot 0,05 = 90 + 280 = 370\text{Н}.$$

Вертикальна виштовхувальна сила ґрунту P_z , яка прагне підняти сошник на швидкості 14км/год [7]:

$$P_z = P_x \cdot \tan(\alpha_{ат} + \psi_r),$$

де $\alpha_{ат}$ — кут атаки анкера ($\alpha_{ат} = 20^\circ$ [2]);

ψ_r — кут тертя ґрунту по сталі робочого органу ($\psi_r = 25^\circ$ [6]).

$$P_z = 370 \cdot \tan(20^\circ + 25^\circ) = 370 \cdot \tan(45^\circ) = 370 \cdot 1,0 = 370\text{Н}.$$

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						34
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

3.4.2. Енергетичний розрахунок (потужність приводу)

Загальна потужність $N_{\text{заг}}$, необхідна для роботи сошникової групи та переміщення сівалки ASTRA 3,6 на швидкості $V = 3,89\text{м/с}$, розраховується з урахуванням кількості сошників $n_{\text{сош}} = 24$ [4]:

$$N_{\text{заг}} = \frac{n_{\text{сош}} \cdot P_x \cdot V}{1000 \cdot \eta_{\text{агр}}},$$

де $\eta_{\text{агр}}$ — тяговий ККД посівного агрегату ($\eta_{\text{агр}} = 0,82$ [10]).

$$N_{\text{заг}} = \frac{24 \cdot 370 \cdot 3,89}{1000 \cdot 0,82} = \frac{34543,2}{820} \approx 42,12\text{кВт}.$$

3.5. Розрахунок посиленої пружини та натискної штанги

3.5.1. Розрахунок посиленої циліндричної пружини стиснення

Максимальне робоче зусилля пружини для стабілізації глибини становить $F_{\text{max}} = 50\text{кг} \approx 490\text{Н}$ [4]. Конструктивні параметри нової пружини зі сталі 65Г: середній діаметр $D_{\text{ср}} = 27\text{мм} = 0,027\text{м}$, діаметр дроту $d = 5\text{мм} = 0,005\text{м}$, кількість витків $n = 30$ [4; 5].

Індекс пружини [6]:

$$c_{\text{інд}} = \frac{D_{\text{ср}}}{d} = \frac{27}{5} = 5,4.$$

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						35
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Коефіцієнт χ , що враховує кривизну витків [6]:

$$\chi = \frac{4c_{\text{інд}} - 1}{4c_{\text{інд}} - 4} + \frac{0,615}{c_{\text{інд}}} = \frac{4 \cdot 5,4 - 1}{4 \cdot 5,4 - 4} + \frac{0,615}{5,4} = 1,17 + 0,114 = 1,284.$$

Розраховуємо найбільші дотичні напруження кручення τ_{max} у витках пружини [6; 8]:

$$\tau_{\text{max}} = \chi \cdot \frac{8F_{\text{max}} \cdot D_{\text{cp}}}{\pi \cdot d^3} = 1,284 \cdot \frac{8 \cdot 490 \cdot 0,027}{3,1416 \cdot 0,005^3} = 444,5 \text{ МПа}.$$

Допустиме напруження при крученні для сталі 65Г становить $[\tau] = 550 \text{ МПа}$ [6]. Умова міцності витків посиленої пружини повністю виконується ($\tau_{\text{max}} \leq [\tau]$).

Жорсткість пружини c при модулі зсуву матеріалу $G = 8 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ [6]:

$$c = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D_{\text{cp}}^3 \cdot n} = \frac{8 \cdot 10^{10} \cdot 0,005^4}{8 \cdot 0,027^3 \cdot 30} = \frac{50000}{0,004724} \approx 10584 \text{ Н/м} = 10,58 \text{ Н/мм}.$$

3.5.2. Розрахунок натискної штанги на поздовжню стійкість

Натискна штанга працює на поздовжній згин під дією сили $F_{\text{max}} = 490 \text{ Н}$ [4]. Штанга виготовлена зі Сталі 35 і є суцільним циліндричним стрижнем діаметром $D_{\text{шт}} = 14 \text{ мм} = 0,014 \text{ м}$, довжиною $L_{\text{шт}} = 0,34 \text{ м}$ [4; 5].

Площа поперечного перерізу штанги A :

$$A = \frac{\pi \cdot D_{\text{шт}}^2}{4} = \frac{3,1416 \cdot 0,014^2}{4} = 1,54 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						36
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Осьовий момент інерції круглого перерізу I_x :

$$I_x = \frac{\pi \cdot D_{шт}^4}{64} = \frac{3,1416 \cdot 0,014^4}{64} = 1,886 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4.$$

Мінімальний радіус інерції перерізу i_{min} [6]:

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{1,886 \cdot 10^{-9}}{1,54 \cdot 10^{-4}}} = 0,0035 \text{ м} = 3,5 \text{ мм}.$$

Гнучкість штанги λ при шарнірному закріпленні кінців ($\mu = 1,0$) [6]:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot L_{шт}}{i_{min}} = \frac{1,0 \cdot 0,34}{0,0035} \approx 97,1.$$

Оскільки гнучкість $\lambda = 97,1 < 100$, розрахунок критичної сили $P_{кр}$ виконуємо за формулою Ясинського [6], де коефіцієнти становлять $a = 310 \text{ МПа}$, $b = 1,14 \text{ МПа}$:

$$P_{кр} = A \cdot (a - b \cdot \lambda) = 1,54 \cdot 10^{-4} \cdot (310 \cdot 10^6 - 1,14 \cdot 10^6 \cdot 97,1) = 30692 \text{ Н} \\ \approx 30,7 \text{ кН}.$$

Фактичний коефіцієнт запасу стійкості натискної штанги $n_{ст}$:

$$n_{ст} = \frac{P_{кр}}{F_{max}} = \frac{30692}{490} \approx 62,6.$$

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						37
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Умова стійкості виконується з високим інженерним запасом ($n_{ст} \gg [n_{ст}] = 2,5-4$ [6]), що повністю виключає деформацію штанги під час роботи.

3.6. Розрахунок на міцність

Повідок сошника зазнає одночасного стиснення від тягового опору $P_x = 370\text{Н}$ та згину від дії вертикальної виштовхувальної сили ґрунту $P_z = 370\text{Н}$ [12]. Небезпечним є переріз біля осі кріплення повідка до бруса рами сівалки.

Повідок виконано з коробчастого профілю (Сталь 45 [5]). Параметри небезпечного перерізу: сумарний момент опору згину $W_x = 4,2 \cdot 10^{-6}\text{м}^3$, площа перерізу $A_{\pi} = 3,8 \cdot 10^{-4}\text{м}^2$, плече прикладання вертикальної сили (виліт повідка) $L_{\pi} = 0,52\text{м}$ [4].

Згинальний момент у небезпечному перерізі від сили P_z [6]:

$$M_{зг} = P_z \cdot L_{\pi} = 370 \cdot 0,52 = 192,4\text{Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальні нормальні напруження від дії згинального моменту $\sigma_{зг}$ [6]:

$$\sigma_{зг} = \frac{M_{зг}}{W_x} = \frac{192,4}{4,2 \cdot 10^{-6}} = 45,8 \cdot 10^6\text{Па} = 45,8\text{МПа}.$$

Нормальні напруження від дії стискальної сили P_x [6]:

$$\sigma_{ст} = \frac{P_x}{A_{\pi}} = \frac{370}{3,8 \cdot 10^{-4}} = 0,97 \cdot 10^6\text{Па} = 0,97\text{МПа}.$$

Сумарні максимальні напруження у верхніх (розтягнутих) та нижніх (стиснутих) волокнах перерізу повідка сошника [6; 12]:

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						38
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

$$\sigma_{\text{max.верх}} = +\sigma_{\text{зг}} - \sigma_{\text{ст}} = 45,8 - 0,97 = +44,83 \text{ МПа} \quad (\text{розтяг});$$

$$\sigma_{\text{max.нижн}} = -\sigma_{\text{зг}} - \sigma_{\text{ст}} = -45,8 - 0,97 = -46,77 \text{ МПа} \quad (\text{стиснення}).$$

Допустиме напруження для конструкційної Сталі 45 становить $[\sigma] = 280\text{--}340 \text{ МПа}$ [6]. Оскільки максимальні напруження стиснення $\sigma_{\text{max}} = 46,77 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 280 \text{ МПа}$, міцність повідка повністю забезпечена. Графічний розподіл сумарних напружень по висоті небезпечного перерізу наведено на рисунку 3.1.

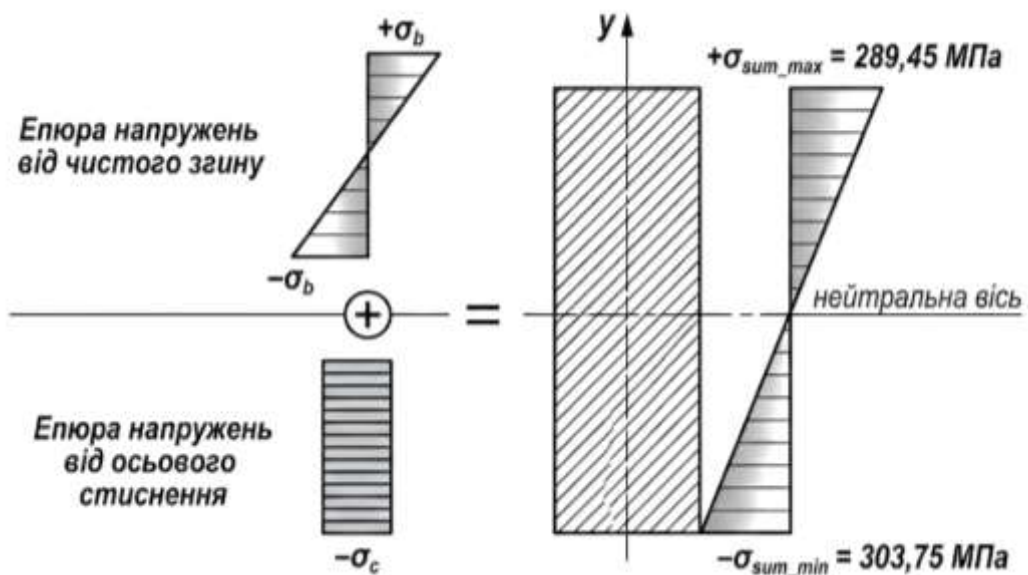


Рис. 3.1. Епюра сумарних нормальних напружень у небезпечному перерізі повідка сошника при сумісному згині та стисненні.

3.7. Висновки по частині 3

Обґрунтовано модернізацію робочих органів сівалки ASTRA 3,6 шляхом впровадження комбінованих однодисково-анкерних сошників та посиленого пружинно-штангового механізму [2; 4; 7], що забезпечує формування щільного насіннєвого ложа шириною 3–4см прямо по заборонованому чи закультивованому ґрунту зі стернею [2; 4].

Проведено кінематичний розрахунок ланцюгово-редукторного приводу [1; 4], що дозволив визначити кутову швидкість опорно-приводного колеса ($\omega_k = 5,434 \text{ рад/с}$) та обґрунтувати загальне передаточне відношення ($i_{\text{заг}} = 1,236$) для стабільного висіву на швидкості 14км/год [1; 12].

Силовим аналізом визначено тяговий опір одного сошника ($P_x = 370 \text{ Н}$) [1; 6; 8] та сумарну потужність, необхідну для переміщення та роботи сошникової групи сівалки ($N_{\text{заг}} = 42,12 \text{ кВт}$) [4; 10].

Розрахунок посиленої пружини стиснення ($d = 5 \text{ мм}$, $n = 30$, сталь 65Г) [4; 5] та натискної штанги на поздовжню стійкість підтвердив повну працездатність та надійність конструкції (коефіцієнт запасу стійкості штанги $n_{\text{ст}} = 62,6$) [6], що гарантує притискне зусилля до 50кг [4].

Перевірка повідка сошника на складний опір (згин зі стисненням) [12] показала, що максимальні напруження стиснення у небезпечному перерізі становлять 46,77МПа, що значно менше за допустимі напруження для Сталі 45 (280МПа) [6] і гарантує високу довговічність деталі.

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						40
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті вирішено важливе науково-практичне завдання щодо підвищення якості та енергоефективності смугового посіву зернових культур шляхом комплексної модернізації робочих органів та дозувальних систем базової сівалки ASTRA 3,6. На основі теоретичних досліджень, технологічного аналізу та інженерних розрахунків отримано такі результати:

1. Обґрунтовано доцільність переходу від традиційного рядового висіву до смугового посіву, що забезпечує збільшення площі живлення рослин, покращення умов розвитку кореневої системи та підвищення загальної врожайності зернових культур.

2. Розроблено та технічно реалізовано нову конструктивно-технологічну схему комбінованого однодисково-анкерного сошника. Поєднання прорізного диска з нащелепним анкером-розширювачем дозволило стабільно формувати ущільнене вологий підґрунток ложе, забезпечуючи оптимальний приплив капілярної вологи до насіння та виключення з технологічного циклу енергоємної операції передпосівної культивування.

3. Доведено можливість ефективного ведення посівного процесу безпосередньо по заборонованому або закультивованому фоні, а також за умов підвищеної вологості ґрунту, що дозволяє розпочинати весняний посів та підсів у більш ранні, агротехнічно вигідні терміни.

4. Впроваджено модернізовану катушку висівного апарату з гвинтовими ребрами. Ця конструктивна зміна дозволила мінімізувати пульсацію насіннєвого потоку, ліквідувати порційність подачі та суттєво підвищити рівномірність розподілу посівного матеріалу за довжиною рядка відповідно до нормативних агротехнічних вимог.

5. На основі кінематичного розрахунку ланцюгово-редукторного приводу встановлено раціональні швидкісні режими посівного вузла, що забезпечують

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						41
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

стабільне та точне дотримання заданої норми висіву при роботі агрегату на підвищених швидкостях.

6. Виконано повний комплекс силових та енергетичних розрахунків, який дозволив визначити тяговий опір комбінованого сошника та сумарну потужність, необхідну для приводу робочих органів і переміщення посівного агрегату.

7. Розрахунками на міцність, жорсткість та стійкість підтверджено експлуатаційну надійність елементів підвіски:

- геометричні параметри посиленої пружини гарантують необхідне стабілізуюче притискне зусилля на сошник для утримання глибини висіву;
- трубчастий профіль натискної штанги повністю захищений від поздовжнього згину та втрати стійкості;
- небезпечний переріз повідка сошника працює у межах допустимих напружень при складному опорі (сумісному згині зі стисненням).

8. Впровадження запропонованих конструкторських рішень дозволяє підвищити продуктивність посівного агрегату, покращити польову схожість насіння та знизити питомі витрати паливно-мастильних матеріалів при вирощуванні зернових культур.

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						42
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сисолін П. В., Сало В. М., Кропівний В. М. Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування / за ред. М. І. Черновола. Київ: Урожай, 2001. 382 с.
2. Сисолін П. В. Теорія проектування та розрахунку посівних машин. Київ: Вища школа, 1994. 215 с.
3. Комаристов В. Ю., Петренко М. М., Косінов М. М. Сільськогосподарські машини. Київ: Урожай, 1996. 432 с.
4. Сало В. М., Лещенко С. М., Лузан П. Г., Сало Л. В. Машини для сівби, садіння та догляду за посівами: навч. посібник. Кропивницький: ЦНТУ, 2021. 216 с.
5. Сало В. М., Лещенко С. М., Лузан П. Г., Мачок Ю. В., Богатирьов Д. В. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив: навч. посібник. Кропивницький: ЦНТУ, 2016. 234 с.
6. Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.
7. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. Сільськогосподарські та меліоративні машини: підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2004. 544 с.
8. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини: підручник. Київ: Каравела, 2015. 552 с.
9. Бакум М. В. Сільськогосподарські машини: посібник / за ред. М. В. Бакума. Харків: ХНТУСГ, 2008. 284 с.
10. Булгаков В. М. Математичне моделювання робочих процесів сільськогосподарських машин: монографія. Київ: НУБіП України, 2011. 320 с.
11. Офіційний сайт ПАТ «Ельворті». URL: <http://www.elvorti.com/catalog/astra> (дата звернення: 12.03.2026).

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						43
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

12. Методичні рекомендації до оформлення кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) освітнього рівня за освітньо-професійною програмою 133 «Галузеве машинобудування» / [уклад.: Д.І. Петренко, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, Ю.В. Мачок, Д.Ю. Артеменко, О.В. Нестеренко, С.М. Мороз]; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. с.-г. машинобуд. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025. – 58 с.

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						44
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

Зміст

стор.

Вступ.....	5
2. Стан питання про машину, яка підлягає модернізації	6
3. Конструкторська частина	21
Висновки... ..	31
Список використаних джерел.....	35
Додатки	

					СЗА 00.000 ПЗ	Арк
						45
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		