

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:**

Механізація вирощування ярого тритикале з
удосконаленням комбайна John Deere 9600

Виконав здобувач вищої освіти III курсу,
групи AI-23мб-1.1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____ Тамразов Ігор Андрійович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник проекту

доц., канд. техн. наук

_____ Сергій МОРОЗ

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доц., канд. техн. наук

_____ Андрій СОЛОВИХ

« ____ » _____ 2026 р.

Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти Бакалавр

Галузь знань 20 – Аграрні науки та продовольство

Спеціальність 208 Агроінженерія

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма Агроінженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« » 2026 року

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

Тамразова Ігоря Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту)

Механізація вирощування ярого тритикале з удосконаленням комбайна John
Deere 9600

2. Керівник роботи (проекту)

Мороз Сергій Миколайович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 20.06.2026 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Удосконалити технологію вирощування люцерни та підвищити ефективність
роботи комбайна John Deere 9600

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1–6	Мороз С.М.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Пояснювальна записка	20.06.2026 р.	
2	Графічна частина	20.06.2026 р.	
3	Перевірка роботи на доброчесність	20.06.2026 р.	
4	Захист роботи	25–30.06.2026	

Дата видачі завдання

«23» березня 2026 р.

Підпис керівника

_____ Сергій МОРОЗ
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«23» березня 2026 р.

Підпис здобувача _____

Ігор ТАМРАЗОВ
(прізвище та ініціали)

Зміст

стор.

Вступ.....	7
2. Аналіз технології вирощування ярого тритикале з визначенням шляхів її удосконалення	9
3. Технологічна частина	16
4. Інженерна частина.....	24
5. Охорона праці	35
Висновки	42
Список використаної літератури	43

ВСТУП

Зернове виробництво є фундаментальною галуззю сільського господарства України, яка забезпечує продовольчу безпеку держави, сировину для харчової та переробної промисловості, а також значну частку валютних надходжень від агроекспорту. В умовах кліматичних змін, нестабільності ринків і зростання собівартості виробництва особливої актуальності набуває пошук нових культур, здатних стабільно формувати високий урожай за мінімальних витрат ресурсів.

Ярове тритикале (*Triticosecale* Wittm.) – гібридна зернова культура, отримана схрещуванням пшениці (*Triticum*) та жита (*Secale*), – впевнено утверджується як перспективна альтернатива традиційним зерновим у зонах із несприятливими агрокліматичними умовами. Порівняно з пшеницею тритикале вирізняється підвищеною стійкістю до кислих і малородючих ґрунтів, посухи та хвороб, вищим вмістом протеїну (14–17 %) і незамінних амінокислот (лізин, триптофан). Культура знаходить широке застосування у виробництві хліба, борошна, концентрованих кормів, а також у пивоварній та спиртовій промисловості. Урожайність ярого тритикале в умовах центрального Лісостепу України становить 4,5–6,5 т/га, що є конкурентоспроможним показником.

Однак широкому впровадженню ярого тритикале у виробництво перешкоджає ряд агротехнічних та технічних чинників. Зокрема, схильність культури до вилягання стеблостою, нерівномірне дозрівання зерна та висока ламкість колосового стрижня пред'являють підвищені вимоги до параметрів збирального агрегату. Використання стандартного режиму роботи

					<i>МВЯТ 00. 000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	<i>Тамразов</i>						7	45
<i>Перевір.</i>	<i>Мороз</i>							
<i>Н. контр.</i>	<i>Артеменко</i>							
<i>Затв.</i>	<i>Васильковський</i>							
						<i>ЦНТУ, гр. АІ–23мб–1.1</i>		

зернозбирального комбайна призводить до надмірних втрат зерна та його травмування, що знижує якість продукції і рентабельність виробництва.

У зв'язку з цим актуальним завданням є розробка раціональної технології механізованого вирощування ярого тритикале в комплексі з удосконаленням конструкції збирального агрегату. Як базова машина для збирання в даній роботі обрано зернозбиральний комбайн John Deere 9600 – один із найпродуктивніших і найпоширеніших комбайнів класичної (барабанно-клатівної) схеми, що широко застосовується в господарствах України та світу.

					<i>МВЯТ 00. 000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЯРОГО ТРИТИКАЛЕ З ВИЗНАЧЕННЯМ ШЛЯХІВ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

Обґрунтований підбір попередників у сівозміні є запорукою її довгострокової стабільності, збереження та підвищення родючості ґрунту, дотримання оптимальних строків проведення польових робіт, що у підсумку забезпечує отримання стабільно високих врожаїв зернових культур.

Тритикале – унікальна зернова культура, виведена людиною шляхом міжродової гібридизації пшениці та жита [1–33]. На думку провідних науковців, у перспективі ця культура посіде одне із чільних місць серед зернових, а також набуде значного поширення у зеленому кормовиробництві [1–33].

Зерно тритикале є сировиною для отримання крохмалю й технічного спирту. На його основі виробляється широкий асортимент кормів: розмелене та дроблене зерно, а також висівки використовують для приготування концентрованих кормів насамперед для великої рогатої худоби, свиней та інших видів сільськогосподарських тварин [1–33].

Солома тритикале знаходить застосування як підстилковий та грубий корм для тварин, а також є сировиною для виробництва якісного паперу, плетених виробів (кошиків, капелюхів, матів) та будівельних матеріалів [1–33].

Насіння тритикале здатне проростати вже при температурі +1–2 °С, тоді як оптимальний діапазон для проростання становить +6–12 °С [1–33]. Куціння починається восени, проте при зниженні температури до +4–5 °С ростові процеси сповільнюються [1–33]. При снігу завтовшки від 15 см і більше сходи витримують морози до –20–25 °С та нижче [1–33].

Культура характеризується відносно задовільною посухостійкістю: для початкового набухання насіння достатньо поглинути 58–65% вологи від

власної маси [1–33]. Найбільша потреба у воді спостерігається у фазах осіннього кущіння, виходу в трубку та колосіння [1–33].

Тритикале пристосоване до вирощування на різних типах ґрунтів. Добре розвинена коренева система забезпечує рослині значну конкурентоздатність щодо засвоєння елементів живлення та вологи навіть у несприятливих умовах [1–33]. Культура здатна рости на ґрунтах з гумусом 1,5–1,7% та кислотністю рН 5,5–6,0 [1–33]. Водночас вона добре відгукується на підвищення родючості ґрунту та дотримання високої агротехніки [1–33].

Дозрівання тритикале відбувається на 8–10 днів пізніше, ніж у озимого жита [1–33].

Розміщення посівів після зернових та багаторічних злакових трав є небажаним: таке чергування може знизити врожайність до 20%, а ураженість кореневими гнилями при посіві після зернових – сягати 45% площі [1–33].

Найкращими попередниками вважаються горохо- та виковихсяні сумішки, кукурудза, ранньостиглі сорти гречки [1–33]. Ячмінь і овес допустимі як попередники лише на родючих ґрунтах [1–33]. Головна вимога до будь-якого попередника – своєчасне звільнення поля та мінімальна забур'яненість, оскільки необхідно забезпечити нагромадження та збереження ґрунтової вологи [1–33].

Підготовка поля передбачає ретельне агрохімічне обстеження з визначенням вмісту макро- і мікроелементів, рН ґрунту, ступеня засміченості, наявності збудників хвороб і шкідників [1–33]. За результатами аналізів формують план агротехнічних заходів, що охоплює систему обробітку ґрунту, удобрення та застосування засобів захисту рослин [1–33].

Система обробітку ґрунту визначається типом попередника [1–33].

					МВЯТ 00. 000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

Після просапних культур на суглинних ґрунтах достатньо чизелювання, а на легких – культивування та боронування [1–33]. Ділянки, заражені пирієм, потребують обов'язкової оранки [1–33].

Поле після багаторічних трав обробляють важкими дисковими боронами у два сліди впоперек на глибину 8–10 см [1–33]. Потім за 30 діб до сівби проводять оранку або чизелювання у два проходи (на 10–12 і 15–17 см) з подальшою діагонально-перехресною культивацією у міру відростання бур'янів [1–33].

Передпосівний обробіток включає культивування з боронуванням, причому розрив між ним і сівбою не має перевищувати одного дня [1–33]. Відхилення від заданої глибини – не більше ± 1 см; у передпосівному шарі не повинно бути грудок понад 10 мм, а 80% агрегатів повинні мати діаметр 1–5 см [1–33].

Після сівби на недостатньо вологих або пухких неосілих ґрунтах проводять прикочування, що поліпшує контакт насіння з ґрунтом і сприяє капілярному підтяганню вологи, а відтак забезпечує більш дружні сходи [1–33]. Навесні при настанні фізичної стиглості ґрунту виконують боронування впоперек рядків для руйнування кірки, збереження вологи, покращення аерації та знищення зимуючих бур'янів і сніжної цвілі; приріст урожайності від цього прийому становить 2–3 ц/га [1–33].

Система живлення складається з основного внесення (під основний обробіток), рядкового (під час сівби) та позакореневих підживлень [1–33].

Внесення фосфорних добрив у дозі 60–80 кг/га д.р. та калійних – 90–120 кг/га д.р. стимулює ріст і розвиток рослин, підвищує їх морозо- та зимостійкість [1–33].

Рядкове внесення (аммофос або гранульований суперфосфат) забезпечує приріст урожайності на 3,4 ц/га, сприяє кращому розвитку кореневої системи та покращує зимостійкість рослин [1–33].

При передпосівному обробітку вносять 20–30% від загальної дози азотних добрив; решту – у вигляді трьох підживлень загальною дозою 90–100 кг/га д.р. [1–33].

Перше підживлення виконують якомога раніше навесні – у фазі поновлення кущіння, вносячи близько 60 кг/га азоту впоперек рядків із загортанням на глибину 3–4 см [1–33]. На зріджених посівах підживлення починають ще раніше – при середньодобовій температурі вище 5 °С [1–33]. Норму коригують за результатами листової діагностики [1–33].

Друге підживлення проводять у фазі виходу в трубку з урахуванням стану листостеблового апарату: при достатньому зволоженні добрива вносять у сухому вигляді (30 кг/га д.р. азоту), за посушливої погоди – у вигляді розчину (КАС – суміш аміачної селітри та сечовини 1:1) для уникнення опіків рослин [1–33].

Третє підживлення здійснюють у фазі колосіння для підвищення якості зерна: поверхнево вносять 30–40 кг/га сечовини понад основну розрахункову норму, оскільки це внесення спрямоване на формування якісних показників, а не врожайності [1–33].

До посівного матеріалу висуваються такі вимоги: репродукція – не нижче III, маса 1000 насінин – не менше 40 г, сила росту – не нижче 80% [1–33]. Для підвищення посівних якостей застосовують повітряно-тепловий обігрів насіння при температурі не вище 45 °С з активним вентиляванням [1–33].

З метою профілактики грибних і бактеріальних хвороб насіння обов'язково протруюють; одночасно проводять його обробку мікродобривами (Cu, Mo, Mn, B – 60–90 г/ц) [1–33]. При інкрустуванні не менше 80% захисної плівки має покривати поверхню насіння; кінцева вологість після обробки – не більше 14% [1–33].

Строки сівби визначаються з умови накопичення суми активних температур до 500 °С за 40–50 днів осінньої вегетації та формування 3–4

бічних пагонів [1–33]. Оптимальний період сівби – 20 серпня – 20 вересня залежно від агрокліматичної зони при середньодобовій температурі +14 °С; тривалість сівби не повинна перевищувати 5 днів [1–33].

Норма висіву розраховується на формування 500–600 продуктивних стебел на 1 м² до часу збирання [1–33]. Глибина загортання насіння: на легких ґрунтах – 4,0–4,5 см, на суглинках – 2–3 см [1–33]. Сівбу проводять суцільним рядковим способом із шириною міжрядь 15 см [1–33].

Одразу після збирання попередника виконують хімічний захист від кореневищних бур'янів (пирій, осот); перед уходом у зиму – обробку проти сніжної цвілі [1–33]. При перевищенні порогу чисельності шкідників у фазі 1–2 листків вносять інсектициди [1–33].

Навесні при досягненні фізичної стиглості ґрунту виконують боронування впоперек рядків, що розпушує поверхневий шар, зменшує випаровування вологи, покращує газообмін, знищує розетки зимуючих бур'янів і пригнічує сніжну цвіль [1–33].

У фазі кущіння – виходу в трубку здійснюють хімічне проріджування; одночасно з другим підживленням – обробку стимулятором росту [1–33]. З появою перших ознак септоріозу або іржі застосовують фунгіциди тривалої дії, що не потребують повторних обробок [1–33]. Проти листогризних шкідників (п'явиця, злакова попелиця) використовують інсектициди [1–33].

З огляду на збіг строків і фаз розвитку для більшості обробок практикують бакові суміші: гербіцид + ретардант + інсектицид [1–33]. Комплексний захист рослин дає змогу отримати приріст урожайності до 20 ц/га, проте засоби захисту слід застосовувати суворо за економічними порогамі шкідливості та в оптимальні строки [1–33].

Збирання тритикале здійснюють методом прямого комбайнування у фазі повної стиглості при вологості зерна 16–20% [1–33]. Доочищення зернового вороху проводять на токах.

Зерновий ворох, що надходить з поля, містить зерно основної культури, зерно сторонніх рослин, насіння бур'янів, органічні та мінеральні домішки [1–33]. Продовольче зерно очищають від домішок, насіннєве – додатково сортують за розміром і питомою вагою [1–33]. Вологість продовольчого зерна – не вище 16–19%; частка насінних домішок – не більше 5%; зерна інших культур – не більше 15% [1–33].

Попереднє очищення вороху виконується для видалення великих та вологих домішок, зниження загальної вологості та підготовки маси до первинного очищення або сушіння [1–33]. За результатами попереднього очищення вміст домішок має зменшитись не менш як на 50% [1–33].

Аналіз базової технологічної карти на вирощування озимого тритикале виявив ряд недоліків, усунення яких дасть змогу підвищити загальну ефективність виробництва [1–33].

2.2. Удосконалення технологічної карти на вирощування ярого тритикале

Вивчення існуючих технологій вирощування озимого тритикале дало змогу визначити основні напрями їх вдосконалення.

До пропонованих змін у технологію вирощування цієї культури належать такі рішення.

Зважаючи на підвищену вимогливість тритикале до попередника, рекомендовано розміщувати його після гороху.

При плануванні технологічної карти враховуються тип ґрунту, агрокліматична зона та наявний парк машин.

Лущення стерні після збирання попередника пропонується замінити обробітком комбінованим ґрунтообробним знаряддям. Це дозволить одночасно подрібнити брили у верхньому горизонті, підрізати та загортати рослинні рештки і стебла зрізаних бур'янів.

Пропонується суміщення двох операцій – розкидання мінеральних добрив та оранки – в одну: глибоке розпушення ґрунту до 35–40 см з одночасним внесенням добрив, вирівнюванням поверхні та подрібненням брил за допомогою голчастих котків у складі агрегату.

Навесні замість традиційного боронування з наступною культивуацією важким культиватором рекомендується глибоке розпушення ґрунту з голчастими котками. Такий підхід дає змогу отримати структурований, підготовлений до роботи орний шар із подальшим внесенням передпосівної дози добрив і передпосівною культивуацією.

Зернозбиральний комбайн ACROS 580 пропонується замінити комбайном JOHN DEERE 9600. Попри те, що остання модель вже знята з виробництва, вона користується стабільним попитом серед фермерів завдяки надійності, продуктивності та потужності. Двигун JOHN DEERE 9600 є економічнішим порівняно з двигуном ACROS 580.

					<i>МВЯТ 00. 000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунки машинного агрегату [34–40]

У новій технології вирощування озимого тритикале всю площу поділяють на дві частини. Збирання врожаю здійснюється методом прямого комбайнування у фазі повної стиглості: з першої частини – комбайном Acros–580 [41], з другої – комбайном JOHN DEERE 9600 [42].

Ширина захвату жатки B_p

$$B_p = \frac{10 \cdot q_\phi}{U(1 + \delta_c)}, \quad (3.1)$$

де q_ϕ – маса 1 м валка;

U – урожайність культури;

δ_c – солomистість (відношення соломи до зерна).

Маса 1 м валка:

$$q_\phi = \frac{3,6 \cdot q_\phi}{v_{cp}}, \quad (3.2)$$

де q_ϕ – фактична пропускна здатність молотарки

$$q_\phi = q \cdot K_{\delta_{\phi}}, \quad (3.3)$$

q – пропускна здатність за нормальних умов (прямоходячі, незасмічені посіви, вологість 15–18%), $q_1=12$ кг/с, $q_2=16$ кг/с;

$K_{\delta_{\phi}}$ – поправочного коефіцієнт для врахування солomистості, вологості та засміченості хлібної маси

$$K_{\delta_{\phi}} = K_\delta - K_\omega - K_z, \quad (3.4)$$

де K_δ – коефіцієнт, що враховує солomистість

$$K_\delta = 1,5 - 0,3 \cdot \delta_c, \quad (3.5)$$

де δ_c – солomистість, $\delta_c=1,5$

$$K_\delta = 1,5 - 0,3 \cdot 1,5 = 1,05;$$

K_ω – коефіцієнт вмісту вологості

$$K_{\omega} = 0,05 \cdot (0,948 - 0,195 \cdot \delta_c)(\omega - 20), \quad (3.6)$$

де ω – вологість, $\omega=18\%$

$$K_{\omega} = 0,05 \cdot (0,948 - 0,195 \cdot 1,5)(18 - 20) = -0,066;$$

K_z – коефіцієнт забур'яненості

$$K_z = 0,02 \cdot z \cdot (0,48 - 0,32 \cdot (\delta_c - 1)), \quad (3.7)$$

де z – забур'яненість, $z=30\%$

$$K_z = 0,02 \cdot 30 \cdot (0,48 - 0,32 \cdot (1,5 - 1)) = 0,192.$$

Отже

$$K_{\delta\omega z} = 1,05 + 0,066 - 0,192 = 0,924.$$

Фактична пропускна здатність

$$q_{\phi 1} = 12 \cdot 0,924 = 11,09 \text{ кг/с};$$

$$q_{\phi 2} = 16 \cdot 0,924 = 14,78 \text{ кг/с}.$$

Швидкість руху

$$v_p = \frac{3,6 \cdot q_{\phi}}{B_k \cdot \beta \cdot U \cdot (1 + \delta_c)}, \quad (3.8)$$

де B_k – конструктивна ширина захвату жатки, $B_{k1}=7$ м, $B_{k2}=7,6$ м;

β – коефіцієнт використання ширини захвату жатки, $\beta=0,95$.

Тоді

$$v_{p1} = \frac{3,6 \cdot 11,09}{7 \cdot 6,5 \cdot 0,95 \cdot (1 + 1,5)} = 3,69 \text{ км/год};$$

$$v_p^m = \frac{3,6 \cdot 14,78}{7,6 \cdot 6,5 \cdot 0,95 \cdot (1 + 1,5)} = 4,54 \text{ км/год}.$$

Маса валка

$$q_{\phi 1} = \frac{3,6 \cdot 11,09}{3,69} = 10,82 \text{ кг};$$

$$q_{\phi 2} = \frac{3,6 \cdot 14,78}{4,54} = 11,72 \text{ кг}.$$

Робоча ширина захвату жатки

$$B_{p1} = \frac{10 \cdot 10,82}{6,5 \cdot (1+1,5)} = 6,66 \text{ м};$$

$$B_{p2} = \frac{10 \cdot 11,72}{6,5 \cdot (1+1,5)} = 7,93 \text{ м}.$$

Приймаємо $B_{p1}=6,66 \text{ м}$, $B_{p2}=7,6 \text{ м}$.

Допустима потужність завантаження двигуна

$$N_e = \frac{R_m \cdot v_p}{36\eta_m \cdot \eta_\sigma} + \frac{0,1 \cdot (N_{num} \cdot q_{num} + N_{np_{xx}} + N_{np_{дон}})}{\eta_{np}}, \quad (3.9)$$

де R_m – опір переміщення комбайна по полю

$$R_m = G_m \left(f_m + \frac{i}{100} \right), \quad (3.10)$$

G_m – вага комбайна з жаткою, $G_{m1}=143,92 \text{ кН}$, $G_{m2}=154,61 \text{ кН}$;

f_m – коефіцієнт опору коченню, $f_m=0,2$;

i – нахил поля, $i=3^\circ$

$$R_{m1} = 143,92 \left(0,2 + \frac{3}{100} \right) = 33,10 \text{ кН};$$

$$R_{m2} = 154,61 \left(0,2 + \frac{3}{100} \right) = 35,56 \text{ кН};$$

η_m – коефіцієнт трансмісії, $\eta_m=0,93$;

η_σ – коефіцієнт буксування, $\eta_\sigma=0,87$;

N_{num} – питома потужність на привод робочих органів жатки, $N_{num1}=11,9 \text{ кВт}$, $N_{num2}=11,0 \text{ кВт}$;

$N_{np_{xx}}$, $N_{np_{дон}}$ – витрати потужності на технологічний процес, на холостий хід механізмів комбайна і на привод допоміжних органів;

η_{np} – коефіцієнт корисної дії приводу робочих органів, $\eta_{np}=0,95$

$$N_{e1} = \frac{33,10 \cdot 3,39}{36 \cdot 0,93 \cdot 0,87} + \frac{11,9 \cdot 12,0 + 0 + 0}{10 \cdot 0,95} = 18,78 \text{ кВт};$$

$$N_{e2} = \frac{35,56 \cdot 4,54}{36 \cdot 0,93 \cdot 0,87} + \frac{11,0 \cdot 16,0 + 0 + 0}{10 \cdot 0,95} = 24,07 \text{ кВт}.$$

Перевірка умови використання потужності двигуна

$$N_{en1}=220,6 \text{ кВт та } N_{en2}=227,4 \text{ кВт};$$

$$N_{en1}=220,6 \text{ кВт} > N_{e1}=18,78 \text{ кВт}; N_{en2}=227,4 \text{ кВт} > N_{e2}=24,07 \text{ кВт}.$$

При обраних швидкостях агрегати будуть працювати ефективно.

Змінна продуктивність

$$W_{зм} = 0,1 \cdot B_p \cdot v_p \cdot T_p, \quad (3.11)$$

де T_p – чистий робочий час

$$T_p = T_{зм} \cdot \tau, \quad (3.12)$$

де $T_{зм}$ – час зміни, $T_{зм}=8$ год.;

τ – коефіцієнт використання часу зміни, $\tau=0,68$

$$T_p = 8 \cdot 0,68 = 5,44 \text{ год};$$

$$W_{зм1} = 0,1 \cdot 6,66 \cdot 3,69 \cdot 5,44 = 13,37 \text{ га/зм};$$

$$W_{зм2} = 0,1 \cdot 7,6 \cdot 4,54 \cdot 5,44 = 18,77 \text{ га/зм}.$$

Витрати палива на 1 га

$$Q_{га} = \frac{Q_{зм}}{Q_{зм}}, \quad (3.13)$$

де $Q_{зм}$ – витрати палива за зміну

$$Q_{зм} = Q_p \cdot T_p + Q_x \cdot T_x + Q_z \cdot T_z, \quad (3.14)$$

де Q_p, Q_x, Q_z – відповідно, годинна витрати палива при виконанні роботи, холостому русі, на зупинках. Для комбайна Acros 580 $Q_p=25,6$; $Q_x=10,9$; $Q_z=6,1$ кг/год. Для комбайна JOHN DEERE 9600 $Q_p=24,3$; $Q_x=10,7$; $Q_z=5,1$ кг/год;

T_p, T_x, T_z – відповідно час робочих і холостих рухів, час зупинок

$$T_x = T_z = \frac{T_{зм} - T_p}{2} = \frac{8 - 5,44}{2} = 1,28 \text{ год}.$$

$$Q_{зм1} = 25,6 \cdot 5,44 + 10,9 \cdot 1,28 + 6,1 \cdot 1,28 = 161,024 \text{ кг/зм};$$

$$Q_{зм2} = 24,3 \cdot 5,44 + 10,7 \cdot 1,28 + 5,1 \cdot 1,28 = 152,416 \text{ кг/зм}.$$

Отже

					МВЯТ 00. 000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

$$Q_{\text{га1}} = \frac{161,024}{13,37} = 12,04 \text{ кг/га.}$$

$$Q_{\text{га2}} = \frac{152,416}{18,77} = 8,12 \text{ кг/га.}$$

3.2. Розробка операційно-технологічної карти на збирання зерна озимого тритикале

Для нормального функціонування різального апарата вкладиші пальців мають бути суворо в одній площині; за потреби виконується їх регулювання [39–40, 43–44]. Нормований зазор між сегментами і вкладишами: в передній частині – до 0,8 мм, у задній – 0,3–1,5 мм; між притискними лопатками і сегментами – до 0,5 мм [39–40, 43–44].

Висоту зрізування регулюють гідроциліндрами з кабіни комбайна. Мотовило за висотою налаштовують так, щоб кромки граблин захоплювали стебла на рівні 2/3 довжини від лінії зрізу, а також регулюють кут нахилу пальців та частоту обертання – колова швидкість граблин має перевищувати поступальну швидкість агрегату в 1,2–1,8 рази [39–40, 43–44].

Перед початком збирання виконують обстеження поля: оцінюють стан хлібостою, очікувану врожайність, рівномірність дозрівання, забур'яненість, рельєф і стан під'їзних шляхів; виявлені перешкоди усувають або позначають вішками [39–40, 43–44]. Для прямого комбайнування обирають загінковий спосіб руху з безпетлевими поворотами [39–40, 43–44].

Поле розбивають на загінки із співвідношенням ширини до довжини 1:5–1:8; площа загінки відповідає денній продуктивності агрегату [39–40, 43–44].

Ширина смуги для розворотів

$$E = 3R_{\text{min}} + L_{\text{м}}, \quad (3.15)$$

де R_{min} – мінімальний радіус повороту, для жатки $R_{\text{min}} = B_{\text{жс}} = 7,6 \text{ м}$;

$L_{\text{м}}$ – кінематична довжина машини, $L_{\text{м}} = 6,75 \text{ м}$

$$E = 3 \cdot 7,6 + 6,75 = 29,55 \text{ м.}$$

Її ширина має бути кратною робочій ширині захвату

$$E = K \cdot B_p, \quad (3.16)$$

де K – кратність

$$K = \frac{E}{B_p} = \frac{29,55}{7,6} = 3,89.$$

Приймаємо $K=4$.

Таким чином

$$E = 4 \cdot 7,6 = 30,4 \text{ м.}$$

Оптимальна ширина загінки

$$C_{opt} = \sqrt{16 \cdot R_{min}^2 + B_p L}, \quad (3.17)$$

де L – довжина загінки, $L=1150$ м

$$C_{opt} = \sqrt{16 \cdot (7,6)^2 + 2 \cdot 7,6 \cdot 1150} = 135,66 \text{ м.}$$

$$C'_{opt} = K \cdot B_p \cdot [34-40]$$

Таким чином

$$K = \frac{135,66}{7,6} = 17,85, \text{ приймаємо } 18.$$

Отже: $C'_{opt} = 18 \cdot 7,6 = 136,8$ м.

Кількість загінок

$$n_3 = \frac{10^4 \cdot F}{L \cdot C}, \quad (3.18)$$

де F – площа поля, $F=108$ га;

$$n_3 = \frac{10^4 \cdot 108}{1150 \cdot 136,8} = 6,86 \text{ шт.}$$

Отже, приймаємо:

$$C_{1-6} = 136,8 \text{ м;} \quad C_7 = C_{1-6} \cdot 0,68 = 136,8 \cdot 0,68 = 93,02 \text{ м.}$$

Коефіцієнт робочих ходів

					МВЯТ 00. 000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

$$K_p = \frac{L_p}{L_p + L_x}, \quad (3.19)$$

де L_p, L_x – середнє значення робочої довжини загінки і холостого ходу

$$L_p = L - 2 \cdot E; \quad (3.20)$$

$$L_x = 6R + 2 \cdot l, \quad (3.21)$$

де l – довжина виїзду агрегату

$$l = 0,5L_a = 0,5 \cdot (7,6 + 6,75) = 7,175 \text{ м};$$

$$L_p = 1150 - 2 \cdot 30,4 = 1089,2 \text{ м};$$

$$L_x = 6 \cdot 7,6 + 2 \cdot 7,175 = 59,95 \text{ м};$$

$$K_p = \frac{1089,2}{1089,2 + 59,95} = 0,948.$$

Коефіцієнт вказує на високе використання робочого часу.

Показники організації виконання операції.

Тривалість одного циклу

$$T_u = \frac{12L_p}{10^2 \cdot v_p} + 2t_n, \quad (3.22)$$

де t_n – час повороту в кінці загінки, $t_n = 1,5 - 2$ хв.

$$T_u = \frac{12 \cdot 1089,2}{10^2 \cdot 4,54} + 2 \cdot 1,75 = 32,29 \text{ хв} = 0,538 \text{ год.}$$

Технічна продуктивність за цикл

$$W_u = 0,1 \cdot B_p \cdot v_p \cdot T_u \cdot \tau, \quad (3.23)$$

$$W_u = 0,1 \cdot 7,6 \cdot 4,54 \cdot 0,538 \cdot 0,68 = 1,26 \text{ га/цикл.}$$

Кількість циклів за зміну

$$n_u = \frac{W_{зм}}{W_u}. \quad (3.24)$$

$$n_u = \frac{18,77}{1,26} = 14,89 \text{ ц/зм.}$$

Витрати палива за цикл

					МВЯТ 00. 000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

$$Q_{\text{ц}} = Q_{\text{за}} \cdot W_{\text{ц}}, \quad (3.25)$$

$$Q_{\text{цикл}} = 8,12 \cdot 1,26 = 10,23 \text{ кг/цикл.}$$

Отримані розрахункові значення параметрів використовуємо при розробці операційно–технологічної карти.

					МВЯТ 00. 000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

4. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

4.1. Огляд літератури

Зернозбиральний комбайн John Deere 9600 – це самохідна збиральна машина класичної (барабанно-клатвішної) схеми, призначена для механізованого збирання зернових колосових культур (пшениця, ячмінь, жито, овес), а також зернобобових (соя, квасоля, горох), насіння рапсу, кукурудзи та соняшнику із застосуванням відповідних змінних жнивних агрегатів.



Рис. 4.1. Комбайн JOHN DEERE 9600

Комбайн виконує весь комплекс збиральних операцій за один прохід по полю:

- зрізання стеблостою та подавання рослинної маси до молотарки (жниварка);
- обмолот – виділення зерна з колосу (барабан та підбарабання);
- сепарацію – відокремлення зерна від соломи та половини (клатвішний соломотряс, очисна система);

- збирання зерна у бункер та вивантаження його у транспортний засіб (шнековий транспортер);
- подрібнення або укладання в копиці незернової частини врожаю (подрібнювач/розкидач соломи).

Машина розрахована на роботу в різноманітних кліматичних зонах – від помірного до континентального клімату – та на полях зі складним рельєфом.

Технічна характеристика комбайна: потужність двигуна – 224 кВт (305 к.с.), пропускна здатність молотарки – до 14 кг/с, місткість бункера – 8000 л, конструктивна ширина захвату жниварки – від 4,6 до 7,6 м (залежно від комплектації).

Під час руху комбайна по полю мотовило жниварки нахиляє стеблостій до різального апарату, забезпечуючи рівне зрізання стебел на заданій висоті (регулюється гідравлічно). Зрізана рослинна маса захоплюється шнеком жниварки та спрямовується до центру до вхідного вікна похилої камери. Плаский ланцюговий транспортер похилої камери рівномірно подає масу до молотильного апарату.

У молотильному апараті рослинна маса потрапляє в зазор між обертовим бичевим барабаном (частота обертання 400–1200 об/хв, регулюється залежно від культури) та нерухомою решітчастою декою (підбарабанням). Інтенсивний удар бичів і тертя маси об решітки деки призводять до виділення зерна з колосу. Основна частина вимолоченого зерна (70–80 %) одразу просипається крізь отвори деки на транспортну дошку.

Солома разом із залишками зерна надходить на п'ятиклавішний соломотряс. Клавіші виконують зворотно-поступальний рух із певним фазовим зсувом між сусідніми клавішами, завдяки чому вільна маса підкидається та переміщується до задньої частини комбайна. Під час цього руху зерно, що ще знаходиться в соломі, просипається крізь ґрати клавіш

Таблиця 4.1

Основні вузли та агрегати комбайна John Deere 9600

№	Вузол/агрегат	Призначення та характеристика
1	Жниварка (хедер)	Зрізує стебла, захоплює їх мотовилом, подрібнює шнеком і скеровує у похилу камеру. Ширина захвату 4,6–7,6 м.
2	Похила камера	Плаский транспортер, що подає зрізану масу від жниварки до молотильного барабана.
3	Молотильний барабан	Бичевий барабан Ø600 мм, шир. 1067 мм. Обмолочує масу у зазорі між барабаном і підбарабанням.
4	Підбарабання (дека)	Решітчаста дека – охоплює барабан знизу; пропускає вимолочене зерно, затримує солому.
5	Клавішний соломотряс	5 клавіш довжиною 3762 мм. Виділяє залишки зерна з грубого вороху методом підкидання та струшування.
6	Очисна система	Двоступеневий повітряно-решітний очисник: вентилятор + верхнє жалюзійне решето + нижнє решето. Відділяє зерно від полови та дрібних домішок.
7	Зерновий шнек та елеватор	Скребковий елеватор подає чисте зерно з очисника до бункера.
8	Бункер для зерна	Ємність 7 570 л з датчиком рівня зерна. Розміщений над молотарним апаратом.
9	Вивантажувальний шнек	Шнековий конвеєр: горизонт. ділянка $L_1=1500$ мм + похила 45° $L_2=4000$ мм. Продуктивність ≥ 60 т/год, висота вивантаження $\approx 2,8$ м.
10	Повернення недомолоту (реутилізатор)	Колосковий елеватор повертає неповністю обмолочені колоски повторно на домолочування до барабана або на спеціальний домолочуючий пристрій.
11	Подрібнювач-розкидач соломи	Ротаційний подрібнювач, що подрібнює та рівномірно розкидає соломку по ширині захвату жниварки, або укладає в копицю.
12	Двигун та трансмісія	Дизельний двигун John Deere 6-цил., 224 кВт. Гідростатична трансмісія забезпечує безступінчасте регулювання швидкості 0–10 км/год у робочому режимі.
13	Кабіна оператора	Герметична кабіна з кондиціонером, монітором системи ACS (Automatic Combine Adjustment System), джойстиком управління та оглядом 360° .

на транспортну дошку. Солома, звільнена від зерна, надходить до подрібнювача або укладається у валок.

Зерновий ворох (суміш зерна, полови, битої соломи та пилу) з транспортної дошки подається на двоступеневий повітряно-решітний очисник. Потужний вентилятор створює висхідний потік повітря, що видуває легкі домішки (полову, стеблові частки) назад на поле. Одночасно ворох просівається через верхнє жалюзійне решето та нижнє решето з меншими отворами. Чисте зерно збирається в нижньому кожусі очисника, звідки шнеком та скребковим елеватором подається до бункера. Недомолочені колоски, що залишилися на нижньому решеті, окремим шнеком повертаються на повторний обмолот.

Очищене зерно накопичується у бункері місткістю 8000 л. Датчик рівня в бункері сигналізує оператору про необхідність вивантаження. Вивантаження виконується за допомогою шнекового транспортера на ходу комбайна, не зупиняючи збиральний процес. Горизонтальна ділянка шнека переміщує зерно від дна бункера до шарнірного вузла, після чого похила ділянка (кут 45°) піднімає зерно на висоту $\approx 2,8$ м і скидає у кузов транспортного засобу, що рухається поряд. Повний бункер вивантажується за 4–5 хвилин.

Комбайн John Deere 9600 оснащений електронною системою автоматичного регулювання ACS (Automatic Combine Adjustment System), яка в режимі реального часу відстежує втрати зерна на соломотрясі та очиснику за допомогою п'єзоелектричних датчиків. При зростанні втрат система автоматично коригує оберти барабана, зазор підбарабання та положення жалюзі решіт. Це забезпечує оптимальне налаштування молотарки без участі оператора при зміні умов збирання (вологість, врожайність, засміченість).

					МВЯТ 00. 000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

4.2. Технологічні розрахунки

Теоретична об'ємна продуктивність шнекового конвеєра визначається за формулою:

$$Q_m = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot t \cdot n \cdot \psi \cdot \rho}{4},$$

де D – зовнішній діаметр гвинта, $D=0,30$ м;

d – діаметр центральної труби (вала), $d=0,115$ м;

t – крок гвинта, $t=0,23$ м;

n – частота обертання, $n=400/60=6,67$ с⁻¹;

ψ – коефіцієнт заповнення перерізу. Для похилих шнеків при куті $\beta=45^\circ$ коефіцієнт заповнення:

$$\psi = \psi_0 \cdot k_\beta = 0,40 \cdot 0,80 = 0,32,$$

де $\psi_0=0,40$ – для горизонтального шнека при зерні;

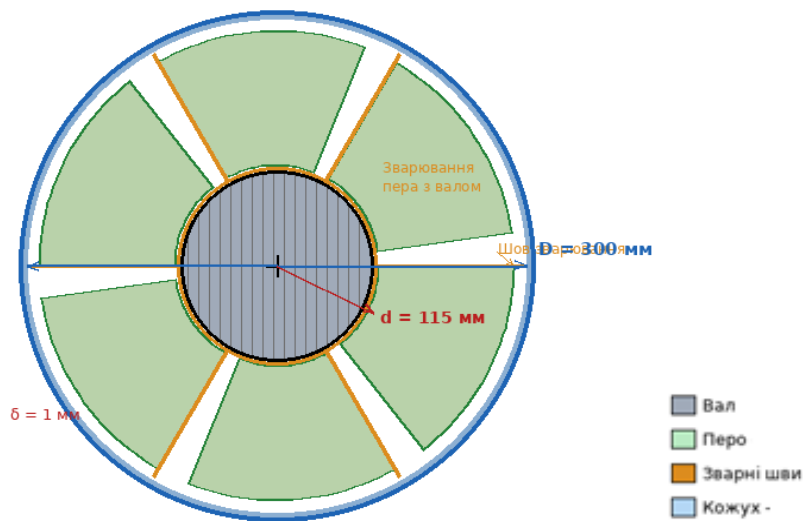


Рис. 4.2. Поперечний переріз шнека

k_β – поправочний коефіцієнт, при $\beta=45^\circ$ $k_\beta=0,80$ (за ГОСТ 20-739);

ρ – об'ємна маса зерна, $\rho=750$ кг/м³

Площа поперечного перерізу потоку зерна:

$$Q_m = \frac{\pi \cdot (0,3^2 - 0,115^2) \cdot 0,23 \cdot 6,667 \cdot 0,32 \cdot 750}{4} = 79,8 \text{ т/год.}$$

					МВЯТ 00. 000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

Об'ємна продуктивність та час розвантаження бункера 8000 л:

$$Q_{об} = \frac{Q}{\rho} = \frac{22,17}{750} = 0,02956 \text{ м}^3/\text{с} = 29,6 \text{ л/с};$$

$$\tau = \frac{8000}{29,6} = 270,6 \text{ с} \approx 4,5 \text{ хв.}$$

Збільшення діаметра шнека з 254 до 300 мм підвищило продуктивність на 19,8 % порівняно з початковою конструкцією (66,6 т/год), оскільки $Q = 79,8 \text{ т/год} > 60 \text{ т/год}$.

Осьова швидкість переміщення зерна

$$v_{oc} = t \cdot n = 0,230 \cdot 6,667 = 1,533 \text{ м/с.}$$

Середній діаметр гвинта та кут підйому гвинтової лінії:

$$D_{сер} = \frac{(D + d)}{2} = \frac{(300 + 115)}{2} = 207,5 \text{ мм} = 0,2075 \text{ м};$$

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{t}{\pi \cdot D_{сер}} = \frac{0,230}{\pi \cdot 0,2075} = 0,353;$$

$$\alpha = \operatorname{arctg}(0,353) = 19,4^\circ.$$

Порівняно з попередньою конструкцією ($\alpha = 26,1^\circ$), новий кут підйому менший, що зумовлено збільшеним середнім діаметром при зменшеному кроці.

4.3. Кінематичний розрахунок

Загальне передаточне число та перевірка:

$$u_{заг} = \frac{n_d}{n_{ш}} = \frac{2200}{400} = 5,5;$$

$$u_{нас} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{660}{120} = 5,5.$$

Частота обертання шнека

$$n_{ш} = \frac{2200}{5,5} = 400 \text{ хв}^{-1}.$$

					МВЯТ 00. 000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		29

Кутова швидкість

$$\Omega_{ш} = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{\pi \cdot 400}{30} = 41,89 \text{ с}^{-1}.$$

Колова швидкість зовнішнього краю шнека

$$v_{зов} = \omega_{ш} \cdot R = 41,89 \cdot 0,150 = 6,28 \text{ м/с}.$$

Окружна швидкість паса (перевірка)

$$v_{пас} = \frac{\omega_{ш} \cdot d}{2} = \frac{\pi \cdot 400}{2 \cdot 30} \cdot 0,330 = 13,82 \text{ м/с}.$$

Це менше ніж граничне значення швидкості паса, яке становить 25 м/с.

4.4. Силовий розрахунок

4.4.1. Розрахунок сил, що діють на шнек

Визначимо зовнішні чинники, що діють на вал під час його роботи та їх значення. Приймаємо вал шнека, як балку на двох опорах із рівномірно розподіленим навантаженням (рис. 4.3).

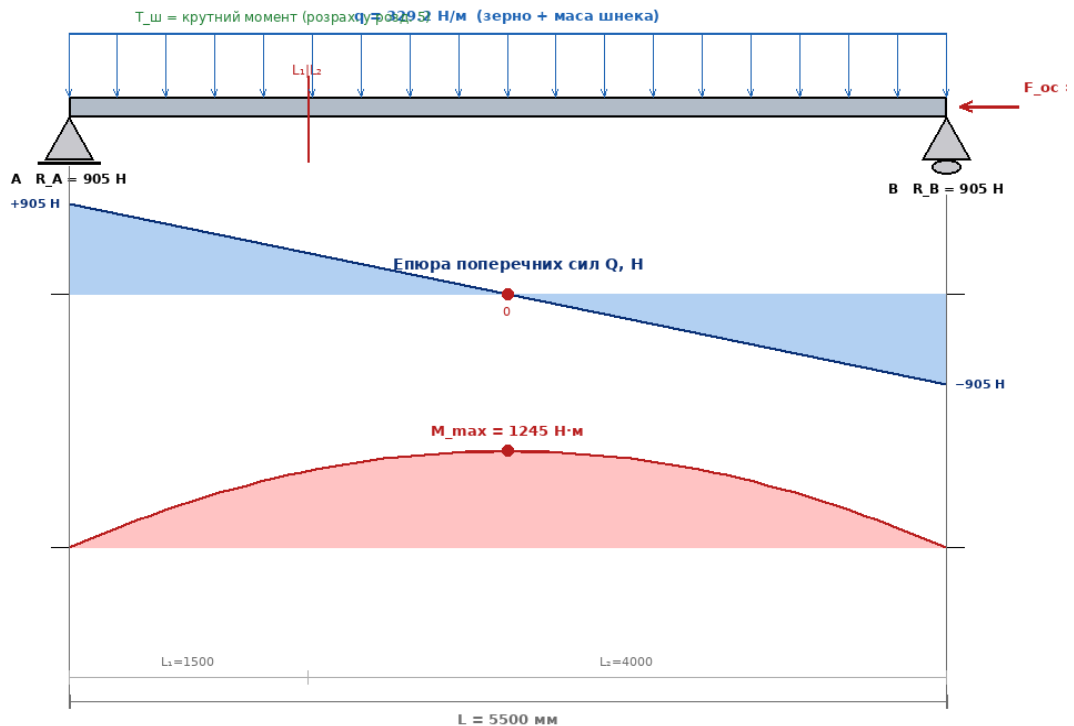


Рис. 4.3. Розрахункова схема навантаження вала та епюри Q і M

Маса зерна, що одночасно знаходиться в шнеку

$$m_3 = \frac{Q \cdot L}{v_{oc}} = \frac{22,17 \cdot 5,5}{1,533} = 79,6 \text{ кг.}$$

Маса шнека

$$m_{ш} \approx 105 \text{ кг.}$$

Сумарне рівномірно розподілене навантаження від зерна та власної ваги

$$q = \frac{(m_3 + m_{ш}) \cdot g}{L} = \frac{(79,6 + 105) \cdot 9,81}{5,5} = 329,2 \text{ Н/м.}$$

Реакції опор від дії симетричного навантаження

$$R_A = R_B = \frac{q \cdot L}{2} = \frac{329,2 \cdot 5,5}{2} = 905,4 \text{ Н.}$$

Максимальний згинальний момент у середині прольоту

$$M_{max} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{329,2 \cdot 5,5^2}{8} = 1244,8 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Осьова сила від ваги зерна в похилій ділянці ($\beta = 45^\circ$)

$$T_{mp} = \frac{\lambda \cdot F \cdot L \cdot \psi \cdot D_{сер}}{2} = 415 \cdot 0,0603 \cdot 5,5 \cdot 0,32 \cdot 0,1038 = 4,6$$
$$F_{oc} = \frac{m_3 \cdot L_2 \cdot g \cdot \sin 45^\circ}{L} = \frac{79,6 \cdot 4 \cdot 9,81 \cdot \sin 45^\circ}{5,5} = 401,5 \text{ Н.}$$

Кут тертя зерна по сталі

$$\varphi = \arctg 0,35 = 19,3^\circ.$$

Крутний момент від осьового навантаження

$$T_{oc} = \frac{F_{oc} \cdot D}{2 \cdot \tg(\alpha + \varphi)} = \frac{401,5 \cdot 0,150}{\tg(19,4^\circ + 19,3^\circ)} = 75,0 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Момент від сили тертя зерна по кожуху

$$T_{mp} = \frac{\lambda \cdot F \cdot L \cdot \psi \cdot D_{сер}}{2} = 415 \cdot 0,0603 \cdot 5,5 \cdot 0,32 \cdot 0,1038 = 4,6 \text{ Н} \cdot \text{м,}$$

де

$$\lambda = \rho \cdot g \cdot f = 750 \cdot 9,81 \cdot 0,35 = 2576 \text{ Па/м;}$$

$$\lambda_{\text{лин}} = \frac{\lambda \cdot D_{\text{сер}}}{2} = 415 \text{ Н/м}^2;$$

$$T_{\text{ш}} = T_{\text{ос}} + T_{\text{тр}} = 75,0 + 4,6 = 79,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Необхідна потужність на валу шнека та на двигуні

$$N_{\text{ш}} = T_{\text{ш}} \cdot \omega_{\text{ш}} = 79,6 \cdot 41,89 = 3334 \text{ Вт} \approx 3,33 \text{ кВт};$$

$$N_{\text{д}} = \frac{N_{\text{ш}}}{\eta_{\text{заг}}} = \frac{3334}{0,894} = 3729 \text{ Вт} \approx 3,73 \text{ кВт}.$$

Визначена необхідна потужність на привод шнека набагато менша за номінальну потужність двигуна комбайна, тобто

$$N_{\text{ш}} = 3,73 \text{ кВт} \ll N_{\text{д}} = 224 \text{ кВт}.$$

4.5. Розрахунки на міцність

Обираємо матеріали для виготовлення шнека.

Таблиця 4.2

Механічні характеристики матеріалів вузлів шнека

Деталь	Матеріал	σ_B , МПа	σ_T , МПа	$[\sigma_{\text{з}}]$, МПа
Вал (труба)	Сталь 45	600	360	120
Сектори пера	Сталь 30ХГСА	1080	930	180
Шов зварювання	Св-18ХМА	$\geq 50\% \sigma_B$	—	72

4.5.1. Розрахунок вала на згин та кручення

Вал (труба): зовнішній діаметр $D_{\text{в}} = 115 \text{ мм}$, внутрішній $d_{\text{в}} = 110 \text{ мм}$.

Момент опору перерізу порожнистого вала

$$W = \frac{\pi \cdot D_{\text{в}}^3}{32} \cdot \left[1 - \left(\frac{d_{\text{в}}}{D_{\text{в}}} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 0,115^3}{32} \cdot \left[1 - \left(\frac{110}{115} \right)^4 \right] = 2,248 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 = 22,5 \text{ см}^3.$$

Еквівалентний момент (теорія max дотичних напружень)

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{M_{\text{max}}^2 + T_{\text{ш}}^2} = \sqrt{1244,8^2 + 79,6^2} = 1247 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Необхідний момент опору

$$W_{необх} = \frac{M_{екв}}{[\sigma_{зг}]} = \frac{1247}{80 \cdot 10^{-6}} = 15,59 \text{ см}^3.$$

Умова міцності виконується, оскільки момент опору перерізу порожнистого вала набагато більший ніж його необхідний момент опору, тобто

$$W = 105,1 \text{ см}^3 \gg W_{необх} = 15,59 \text{ см}^3.$$

Фактичне напруження та коефіцієнт запасу міцності

$$\sigma_{факт} = \frac{M_{екв}}{W} = \frac{1247}{22,5 \cdot 10^{-6}} = 55,4 \text{ МПа} < [\sigma_{зг}] = 120 \text{ МПа};$$

$$n = \frac{[\sigma_{зг}]}{\sigma_{факт}} = \frac{120}{55,4} = 2,17 > [n] = 2,0.$$

Таким чином міцність забезпечена.

Збільшення діаметра вала з 76 до 115 мм суттєво підвищило запас міцності (з $n = 2,05$ до $n = 261,7$), що компенсує додаткові напруження від зварних швів і знакозмінного навантаження.

4.5.2. Розрахунок секторів гвинтового пера

Ширина (радіальний розмір) пера

$$b_n = \frac{D - d}{2} = \frac{300 - 115}{2} = 92,5 \text{ мм} = 0,0925 \text{ м}.$$

Питоме осьове зусилля на перо (на одиницю кроку):

$$q_n = \frac{F_{ос}}{t} = \frac{401,5}{0,230} = 1745 \text{ Н/м}.$$

Згинальний момент у кореня пера (консоль довжиною b_n)

$$M_n = \frac{q_n \cdot b_n^2}{2} = \frac{1745 \cdot 0,0925^2}{2} = 7,47 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Товщина пера $\delta_n = 7$ мм. Момент опору прямокутного перерізу

$$W_n = \frac{\delta_n^2 \cdot t}{6} = \frac{0,007^2 \cdot 0,230}{6} = 1,878 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

					МВЯТ 00. 000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

Напруження у кореня сектора пера:

$$\sigma_n = \frac{M_n}{W_n} = 7,47 / 1,878 \cdot 10^{-6} = 3,978 \text{ МПа} \ll [\sigma_{32}] = 180 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт запасу по перу:

$$n_n = 180 / 3,05 = 59,0 \gg [n] = 2,0.$$

4.5.3. Перевірка зварних швів

Зварні шви між секторами пера та валом є кутовими. Передане зусилля – осьове $F_{oc} = 401,5$ Н. Довжина зварного шва по периметру вала (2 шви):

$$l_{ш} = 2 \cdot \pi \cdot d = 2 \cdot \pi \cdot 0,115 = 0,723 \text{ м.}$$

Катет шва $k = 6$ мм, розрахункова висота $k \cdot 0,7 = 4,2$ мм. Дотичне напруження зсуву в шві

$$\tau_{ш} = \frac{F_{oc}}{k \cdot 0,7 \cdot l_{ш}} = \frac{401,5}{0,006 \cdot 0,7 \cdot 0,723} = 132\,000 \text{ Па} = 0,13 \text{ МПа} \ll [\tau_{ш}] = 72 \text{ МПа.}$$

Зварний шов перевіряється на розтяг із допустимим напруженням $[\sigma]_{ш} = 72$ МПа.

Висновок: зварні шви мають колосальний запас міцності. Це підтверджує правильність вибору матеріалу пера та параметрів зварювання.

4.5.4. Перевірка підшипника опори

Підшипник 36208 ($C = 28,1$ кН). Приведене навантаження:

$$P_e = R_A + 0,45 \cdot F_{oc} = 905,4 + 0,45 \cdot 401,5 = 1086 \text{ Н.}$$

Розрахунковий ресурс:

$$L_h = \left(\frac{C}{P_e} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{28100}{1086} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 400} = 721\,333 \text{ год.}$$

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Інструкція з охорони праці під час роботи та технічного обслуговування зернозбирального комбайна John Deere 9600

1.1. До роботи на зернозбиральному комбайні John Deere 9600 допускаються особи, які досягли 18 років, пройшли:

- медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я;
- вступний інструктаж з охорони праці;
- первинний інструктаж на робочому місці;
- навчання та перевірку знань безпечних методів роботи;
- стажування на робочому місці не менше 3 змін під керівництвом досвідченого комбайнера.

1.2. Комбайнер зобов'язаний знати: будову та принцип роботи комбайна; правила технічного обслуговування; заходи пожежної безпеки; правила надання першої допомоги при нещасних випадках; цю інструкцію.

1.3. Комбайнер зобов'язаний:

- виконувати тільки ту роботу, яка доручена керівником і з безпечного виконання якої проведено інструктаж;
- під час роботи бути уважним, не відволікатися на сторонні справи та розмови;
- не допускати до робочої зони сторонніх осіб, особливо дітей;
- дотримуватися режиму праці та відпочинку;
- негайно повідомляти безпосереднього керівника про будь-який нещасний випадок або ознаки захворювання.

1.4. На комбайнера впливають такі шкідливі та небезпечні виробничі чинники:

- рухомі частини та механізми (ріжучий апарат, барабан, шнеки, ремінні та ланцюгові передачі);
- підвищений рівень шуму (до 95–105 дБА в кабіні та поза нею);

					МВЯТ 00. 000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

- підвищена запиленість повітря (зернова, рослинна, ґрунтова пил);
- мікрокліматичні умови (перегрів від двигуна, висока температура в жаркий день);
- вібрація (загальна від двигуна, місцева від органів керування);
- ризик пожежі та вибуху (паливо, рослинна пил);
- небезпека падіння при обслуговуванні на висоті (бункер, верхні вузли).

1.6. За порушення вимог цієї інструкції комбайнер несе відповідальність згідно з чинним законодавством України.

2.1.1. Перед початком кожної зміни виконати щозмінне технічне обслуговування (ЩТО) згідно з керівництвом John Deere 9600:

- перевірити рівень масла в картері двигуна, гідросистемі та трансмісії;
- перевірити рівень охолоджувальної рідини в розширювальному бачку;
- оглянути ремені привода (стан, натяг), ланцюгові передачі (мастило, провисання);
- перевірити стан ріжучого апарату (зазори між ножами та вкладишами $\leq 0,5$ мм);
- перевірити тиск у шинах коліс (передні – 1,4–1,6 бар, задні – 2,0–2,4 бар);
- оглянути кріплення всіх захисних кожухів і огорожень.

2.1.2. Переконалися у справності гальмівної системи. Комбайн повинен повністю зупинятися на схилі до 8°.

2.1.3. Перевірити справність сигналізації (звуковий і світловий сигнал), освітлення (фари, проблискові вогні), дзеркал заднього виду.

2.1.4. Переконалися у наявності та справності первинних засобів пожежогасіння: порошкового вогнегасника ОП-5 – не менше 2 шт. (один у кабіні, один зовні на кронштейні), лопати, мішків з піском.

2.1.5. Перевірити справність та чистоту вогнегасника. Перевіряти тиск по манометру – стрілка повинна знаходитись у зеленій зоні.

					<i>МВЯТ 00. 000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

2.2.1. Кабіна повинна бути чистою; скло оглядових вікон не повинно мати тріщин. Вентиляційні фільтри кабіни (фільтр рециркуляції та зовнішнього повітря) очищати відповідно до регламенту або при видимому забрудненні.

2.2.2. Сидіння оператора відрегулювати за зростом і масою. Спинка сидіння повинна фіксуватися.

2.2.3. Переконатися, що в зоні роботи жнивarki та ходової системи немає сторонніх предметів, людей, тварин.

3.1.1. Перед запуском двигуна переконатися, що важіль коробки передач знаходиться в нейтральному положенні, а всі робочі органи відключені.

3.1.2. Запускати двигун лише з місця оператора в кабіні – дистанційний запуск без присутності оператора в кабіні забороняється.

3.1.3. Перед рушенням з місця впевнитися у відсутності людей і перешкод у радіусі 5 м навколо комбайна. Подати звуковий попереджувальний сигнал.

3.1.4. Під час збирання не дозволяється:

- перебувати в жниварці, на молотарці, в бункері та інших зовнішніх частинах комбайна, що рухаються;
- підходити до комбайна ззаду під час руху на відстань менше 10 м;
- виконувати регулювання, технічне обслуговування або усунення забивань при включеному двигуні та увімкнених робочих органах;
- залишати кабіну при включених робочих органах.

3.1.5. Швидкість руху комбайна на полі під час збирання не повинна перевищувати 10 км/год. При транспортних переїздах – не більше 20 км/год, на дорогах загального користування – відповідно до ПДР та дозволу технічного паспорта.

3.1.6. На схилах:

- не допускається рух поперек схилу з кутом більше 8° (14 %);
- при русі під ухил застосовувати двигун-гальмо, уникати різких поворотів;
- бункер під час руху на схилах повинен бути порожнім або заповненим не більше ніж на 50 %.

3.2.1. Вивантажувальний шнек вмикати лише при наближенні транспортного засобу до комбайна та встановленні на безпечну відстань між машинами (не менше 1,5 м між бортами).

3.2.2. Шнек вивантаження розгортати лише після повної зупинки комбайна або при паралельному русі обох машин – але виключно за умови прямолінійного руху.

3.2.3. Забороняється перебувати на бункері, у вантажній кабіні транспортного засобу, під вивантажувальним шнеком під час вивантаження зерна.

3.2.4. При забиванні вивантажувального шнека:

- зупинити комбайн і транспортний засіб;
- заглушити двигун, перевести важіль КПП у нейтраль;
- зняти показання тиску в гідросистемі (дочекатися падіння тиску до нуля);
- лише після цього усувати забивання, використовуючи технологічні люки та спеціальний інструмент.

3.3.1. При забиванні будь-якого вузла молотарки:

- вимкнути робочі органи;
- заглушити двигун;
- зачекати повної зупинки всіх механізмів;
- загальмувати комбайн стоянковим гальмом.

3.3.2. Для усунення забивань барабана використовувати дерев'яний або пластиковий штовхач. Руками в молотильний апарат не залазити.

3.3.3. При вийманні каменів та металевих предметів з-під підбарабання застосовувати захисні рукавички та огляд через оглядові люки.

3.4.1. Суворо забороняється:

- палити та користуватися відкритим вогнем на відстані менше 50 м від комбайна на полі та менше 5 м від нього поза полем;
- проводити зварювальні або інші вогневі роботи на комбайні на полі без попереднього очищення від рослинних решток та відповідного дозволу;

- зберігати в кабіні ПММ, промаслене ганчір'я та інші горючі матеріали.

3.4.2. Очищати комбайн від рослинних решток і пилу не рідше одного разу на зміну, а на збиранні культур з підвищеним пилоутворенням (тритикале, ячмінь) – двічі на зміну та при кожній зупинці для ТО. Особливу увагу приділяти очищенню: випускного колектора, турбіни, радіаторів, моторного відсіку, соломотряса та клавіш.

3.4.3. Систематично перевіряти справність електропроводки. Оплавлена ізоляція, іскріння або запах горілого – підстава для негайного зупинення комбайна та виклику механіка.

3.4.4. При виникненні пожежі: негайно вимкнути двигун і акумулятор, покинути кабіну, розпочати гасіння з безпечної сторони наявними засобами, викликати пожежну охорону (тел. 101). При неможливості загасити самотійно – відійти на безпечну відстань.

4.1.1. Технічне обслуговування (ТО) виконувати лише при заглушеному двигуні та загальмованому комбайні. Після зупинки двигуна перед початком ТО витримати паузу не менше 3 хвилин для зупинки всіх вузлів за інерцією.

4.1.2. Жниварку при обслуговуванні підняти в крайнє верхнє положення та надійно зафіксувати на підпірках (транспортних стійках). Забороняється працювати під піднятою жниваркою без надійної механічної фіксації.

4.1.3. При обслуговуванні ходової частини та агрегатів, розміщених знизу комбайна, застосовувати домкрати вантажопідйомністю не менше 10 т і підставки. Забороняється знаходитися під комбайном, що спирається лише на домкрат.

4.1.4. Забороняється регулювати натяг ременів і ланцюгів, знімати та встановлювати захисні кожухи при працюючому двигуні.

4.2.1. Заправляти комбайн паливом лише при заглушеному двигуні та відсутності відкритого вогню в радіусі 10 м. Не курити при заправці.

4.2.2. Не допускати переповнення паливного бака – зупинити заправку при досягненні рівня на 3–4 см нижче горловини. Розлите паливо негайно засипати піском і прибрати.

4.2.3. Використовувати лише справний заправний інвентар (шланги, пістолети) без слідів витоків.

4.3.1. При огляді та обслуговуванні вивантажувального шнека шнек повинен знаходитись у складеному (транспортному) положенні та бути вимкненим.

4.3.2. Перевірку зазорів між гвинтовим пером і кожухом (норма ≤ 1 мм по колу), стан зварних швів між секторами пера та стан підшипників виконувати лише через оглядові люки при вимкнених приводах.

4.3.3. При огляді внутрішньої порожнини кожуха шнека (люки в нижній частині) застосовувати ліхтарик з напругою живлення не вище 12 В або акумуляторний ліхтарик. Забороняється використовувати відкрите світло (свічки, запальнички).

4.3.4. При зварювальних роботах на секторах гвинтового пера (ремонтне зварювання):

- від'єднати мінусовий провід акумулятора;
- прибрати горючі матеріали з радіуса 5 м;
- мати готовий вогнегасник під рукою;
- після завершення зварювання перевіряти місце робіт протягом 30 хвилин.

5.1. При відмові гальм під час руху: знизити швидкість переключенням на нижчу передачу, по можливості направити комбайн на м'який ґрунт або узбіччя, увімкнути стоянкове гальмо.

5.2. При перекиданні або загрозі перекидання: не залишати кабіну, триматися за кермо та підлокітники, нахилитися вперед-убік від напрямку перекидання.

5.3. При попаданні людини в робочі органи: негайно заглушити двигун, вимкнути всі приводи, викликати швидку медичну допомогу (тел. 103), до приїзду лікарів надавати першу допомогу.

					<i>МВЯТ 00. 000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

5.4. При ураженні електрострумом (від бортової мережі): від'єднати акумулятор, прибрати потерпілого від джерела струму сухим дерев'яним предметом, при відсутності дихання розпочати серцево-легеневу реанімацію, викликати медичну допомогу.

5.5. При тепловому ударі оператора: зупинити комбайн, допомогти потерпілому вийти в тінь, розстебнути одяг, забезпечити прохолодне пиття, покласти холодний компрес на голову, при погіршенні стану – викликати медичну допомогу.

6.1. Після завершення зміни:

- зупинити комбайн на рівному майданчику (не на схилі), встановити стоянкове гальмо;
- опустити жниварку в нижнє положення або встановити на підпирки;
- заглушити двигун, повністю розрядити гідросистему (опустити всі підняті агрегати);
- від'єднати акумулятор (за потреби тривалої стоянки);
- очистити комбайн від рослинних решток, пилу і бруду (особливо моторний відсік);
- перевірити відсутність витоків масла, палива, охолоджувальної рідини;
- доповісти змінному оператору або механіку про виявлені несправності.

6.2. Після ТО зняті кожухи та огороження встановити на місце та закріпити. Не залишати комбайн з незакріпленими захисними кожухами.

6.3. ЗІЗ (спецодяг, рукавички тощо) очистити, прибрати до індивідуального шафки. Виявлені пошкодження ЗІЗ – відзначити в журналі.

6.4. Вимити руки з милом або використати засіб для очищення шкіри від мастил і паливно-мастильних матеріалів.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній магістерській роботі удосконалена технологія вирощування ярого тритикале, яка передбачає вирощування та отримання врожаю з мінімальними витратами ручної праці.

Запропонована технологія складена на підставі вивчення сучасного стану сільськогосподарської техніки, технологій виконання операцій сучасними машинами, засобів захисту рослин, досвіду по ефективному використанні техніки на виконанні операцій по вирощуванню цієї культури.

В проектній технології вирощування проведено запропоновано впровадити зміни в операцію збирання врожаю з метою зменшення витрат та втрат.

В інженерній частині проведений аналіз конструкції комбайна JOHN DEERE 9600, обрано напрям його удосконалення. Проведені розрахунки дозволяють визначити значення цих параметрів.

					<i>МВЯТ 00. 000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

Список використаної літератури

1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://japanlot.ru/uk/winter-rye-cultivation-technology-biological-features-of-winter-wheat/> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://agro.dn.gov.ua/rekomendatsii-po-provedenniu-kompleksu-vesniano-polovykh-robot-v-donetskij-oblasti/> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/4774/3/ZNAEU_2011_83.pdf (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://loda.gov.ua/upload/users_files/21/upload/Biznes_propozutsii/56.pdf (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
5. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://fruit.org.ua/index.php/publikacii/141-kharakteristika-riznikh-tipiv-khimichnikh-dobriv> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
6. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://um.co.ua/1/1-8/1-82550.html> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/582-rekomendatsii-do-zbyrannia-rannikh-zernovykh-ta-zernobobovykh.html> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
8. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.agroglass.com.ua/home/information/agrokultury/tekhnologiya-vyrashchivaniya-tritikale/> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.

9. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ias.pp.ua/технології-вирощування-сільськогосп/технологія-вирощування-озимого-трита/> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
10. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://agroua.net/plant/catalog/cg-1/c-95/info/cag-214/> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
11. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://agromage.com/stat_id.php?id=141 (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
12. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/273-varianty-dlia-trytykale.html> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
13. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://agrovisnyk.com/index.php/agrovisnyk/article/view/2020_07_04 (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
14. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://propozitsiya.com.ua/ozime-tritikale-v-posushlivih-umovah-stepu> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
15. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://knowledge.allbest.ru/agriculture/2c0b65635a3bc79b5d43a89521206c27_0.html (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
16. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.tsatu.edu.ua/ros1/wp-content/uploads/sites/20/lekcija-5.ozymi-zhyto-i-trytykale.pdf> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
17. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://subject.com.ua/agriculture/crop/7.html> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.

- 18.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kursak.net/tehnologiya-viroshuvannya-tritikale-kursova/> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
- 19.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://buklib.net/books/30115/> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
- 20.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kurkul.com/blog/326-tritikale-naykrascha-kombinatiya-jita-ta-pshenitsi> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
- 21.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ismav.com.ua/wp-content/uploads/2020/09/Рекомендації-щодо-сівби-під-урожай-2021.pdf>
- 22.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.semagro.com.ua/info/tehnologija-viroshuvannja-tritikale-457.html> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
- 23.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.agroprofi.com.ua/statti/1506-visokij-potentsial-yarogo-tritikale>
- 24.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://isgkr.com.ua/images/sampledara/recomendaciy/recomdaciy2018.pdf> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
- 25.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj30siJ_dj0AhV_hP0HHU68BPY4ChAWegQIFRAB&url=https%3A%2F%2Ffoda.gov.ua%2Fupload%2Fusers_files%2F21%2Fupload%2FBiznes_propozutsii%2FRekcii%2520na%25202017r.%2520serpen_%2520%2520Word%2520\(1\)-1.docx&usg=AOvVaw1H04inRwsAjYRL3Qa02mUm](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj30siJ_dj0AhV_hP0HHU68BPY4ChAWegQIFRAB&url=https%3A%2F%2Ffoda.gov.ua%2Fupload%2Fusers_files%2F21%2Fupload%2FBiznes_propozutsii%2FRekcii%2520na%25202017r.%2520serpen_%2520%2520Word%2520(1)-1.docx&usg=AOvVaw1H04inRwsAjYRL3Qa02mUm) (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
- 26.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://vnis.com.ua/useful-information/publications/Trytykale-unikalne-poyednannya-krashchykh-oznak-pshenytsi-ta-zhyta/> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.

- 27.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukrreferat.com/chapters/rizne/viroshhuvannya-tritikale-v-umovah-polissya-kursova.html> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
- 28.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.zoda.gov.ua/files/WP_Article_File/original/000063/63786.pdf (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
- 29.http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2196/1/Roslynmytstvo_1_rob_zoshyt.pdf (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
- 30.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2021/04/rozrobka-038.pdf> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
- 31.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pdatu.edu.ua/images/naukova-miznarodna-diyalnist/svr/avtoresenyk.pdf> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
- 32.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://agrarii-razom.com.ua/culture/tritikale-ozime> (дата звернення: 10.05.2026). – Назва з екрана.
- 33.Бондаренко М.Г., Демещук В.А. Комплектування і використання машинно–тракторного парку в рослинництві: Підручник. –К.: Вища шк., 1995. –237 с.: іл.
- 34.Машиновикористання в землеробстві/ В.Ю. Ільченко, Ю.П. Нагірний, П.А. Джолос та ін.; За ред. В.Ю. Ільченка і Ю.П. Нагірного. – К.: Урожай, 1996. – 384 с.
- 35.Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 617 с.
- 36.Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: Підруч. у 2 т: Т. 2 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. А.В. Рудя. – К. Агроосвіта, 2012. – 434 с.

37. Технологія механізованих робіт в рослинництві. Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів спеціальності «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» та «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» / Укладачі: С.М. Лещенко, Д.І. Петренко, О.М. Васильковський, П.Г. Лузан, – Кіровоград: КНТУ, 2013. – 86 с.
38. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсів «Технологія механізованих робіт в рослинництві» та «Машиновикористання в рослинництві» для студентів спеціальностей 208 «Агроінженерія» та 133 «Галузеве машинобудування» / Укладачі: В.М. Сало, С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, Д.І. Петренко, П.Г. Лузан – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 170 с.
39. Гапоненко В.С., Войтюк Д.Г. сільськогосподарські машини.– К.: Урожай, 1992.–448 с.
40. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студент. вищ. навч. зал. із спец. „Машини та обладн. с.–г. вир.–ва”/ За ред. М.І. Черновола. Кн. 2: Машини для рільництва/ П.В. Сисолін, Т.І. Рибак, В.М. Сало; За ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2002. – 364 с.: іл.
41. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2–е вид., переробл. – Кривий Ріг: ФОП Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.
42. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А.В. Гайдамака. – Харків: НТУ «ХП», 2020. – 275 с.
43. Войналович О. Охорона праці у сільському господарстві. Навчальний посібник / Войналович О., Білько Т., Марчиниша Є. – К.: Центр навчальної літератури, 2019. – 691 с.