

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 озимого тритикале з
удосконаленням комбайна John Deere 550i

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

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____ Чернега Максим Сергійович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник проекту

доц., канд. техн. наук

_____ Сергій МОРОЗ

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доц., канд. техн. наук

_____ Сергій МАРКОВИЧ

« ____ » _____ 2026 р.

Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

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**

Чернеги Максима Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту)

Механізація вирощування озимого тритикале з удосконаленням комбайна
John Deer W550i

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 21.06.2026 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Удосконалити технологію вирощування озимого тритикале з удосконаленням
комбайна John Deer W550i

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

_____ Максим ЧЕРНЕГА
(прізвище та ініціали)

Зміст

	стор.
Вступ.....	7
2. Аналіз технології вирощування ярого тритикале з визначенням шляхів її удосконалення	9
3. Технологічна частина	24
4. Інженерна частина.....	31
4. Охорона праці.....	51
Висновки	57
Список використаної літератури	58

ВСТУП

Зернове виробництво залишається основою аграрного сектору України, визначаючи продовольчу безпеку держави та значну частку валютних надходжень від експорту сільськогосподарської продукції. У цих умовах особливого значення набуває розширення видового складу зернових культур та підвищення ефективності технологій їх вирощування і збирання, що дозволяє знизити виробничі ризики та раціональніше використовувати наявний земельний фонд, зокрема ґрунти зі зниженою родючістю та нестабільним зволоженням.

Озиме тритикале, як культура, що поєднує господарсько цінні властивості пшениці та жита, є перспективним напрямом диверсифікації зернового виробництва. Висока кормова цінність зерна, підвищений вміст білка та незамінних амінокислот, морозостійкість і посухостійкість, а також здатність формувати задовільний урожай на ґрунтах із нижчим агрохімічним фоном роблять цю культуру привабливою альтернативою озимій пшениці для багатьох господарств України, особливо в зонах Полісся, передгірних районах та на ділянках із пересіченим рельєфом. Водночас реалізація потенціалу культури можлива лише за умови науково обґрунтованої технології вирощування, яка враховує її біологічні особливості — насамперед підвищену висоту стебла, схильність до вилягання за інтенсивного азотного живлення та підвищену крихкість колосового стрижня, що зумовлює ризик обсіпання зерна за несвоєчасного збирання.

Не менш важливою складовою технологічного процесу є правильний вибір технічних засобів для збирання врожаю. Якість роботи зернозбирального комбайна — режим обмолоту, ефективність очисної

					<i>МВОТ 00. 000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Чернега</i>				<i>Пояснювальна записка</i>			
<i>Перевір.</i>	<i>Мороз</i>							
<i>Н. контр.</i>	<i>Артеменко</i>							
<i>Затв.</i>	<i>Васильковський</i>							
						<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
							7	62
						<i>ЦНТУ, гр. АІ-22-1</i>		

системи, здатність адаптуватися до змінних умов вологості та забур'яненості вороху — безпосередньо визначає кількісні та якісні втрати врожаю на завершальному, найбільш відповідальному етапі виробничого циклу. Невідповідність технічних характеристик машини фізико-механічним властивостям культури, що збирається, може звести нанівець результати всіх попередніх агротехнічних заходів. Це обумовлює актуальність комплексного підходу, що поєднує вдосконалення агротехніки вирощування з обґрунтованим вибором та інженерним аналізом збиральної техніки.

Метою роботи є аналіз існуючих технологій вирощування озимого тритикале, розробка пропозицій щодо їх удосконалення та обґрунтування доцільності використання для збирання врожаю зернозбирального комбайна John Deere W550i на основі інженерних розрахунків його робочих органів, зокрема очисної системи.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Озиме тритикале посідає особливе місце серед зернових культур сучасного рослинництва, оскільки поєднує в собі господарсько цінні властивості двох видів — пшениці та жита. Ця культура є результатом цілеспрямованої селекційної роботи, що розпочалася ще наприкінці XIX століття в Німеччині і тривала протягом усього XX сторіччя. Назва «тритикале» утворена від поєднання початкових складів латинських назв пшениці (*Triticum*) та жита (*Secale*), що влучно відображає гібридну природу рослини. Сьогодні ця культура вирощується у понад п'ятдесяти країнах світу і поступово набуває дедалі ширшого поширення в Україні.

Господарське значення тритикале визначається насамперед унікальним біохімічним складом зерна. Вміст білка в ньому помітно перевищує відповідний показник у пшениці та жита, при цьому білок відзначається повноцінним амінокислотним профілем із підвищеним вмістом лізину та триптофану — амінокислот, що є лімітуючими для більшості зернових культур. Це робить зерно тритикале особливо цінним у виробництві комбікормів для моногастричних тварин — свиней та птиці, оскільки дозволяє знизити або й виключити введення дорогих білкових компонентів до раціонів. Зернофуражний напрям залишається провідним у використанні культури в Україні.

Водночас тритикале має суттєвий потенціал як продовольча культура. Борошно з тритикале придатне для виготовлення хліба, макаронних виробів, дієтичних продуктів. Попри певні обмеження з боку хлібопекарських якостей — клейковина зерна тритикале поступається пшеничній за еластичністю та пружністю — технологи знайшли способи поліпшити ці показники шляхом добору відповідних сортів і режимів переробки. Перспективним є використання тритикале в купажах із пшеницею для збагачення хлібобулочних виробів білком та лізином.

					<i>МВОТ 00. 000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

Тритикале успішно застосовується і як кормова культура: при ранній сівбі або посіві спеціальних кормових сортів посіви скошують на зелений корм, сінаж або силос, отримуючи масу з високою кормовою цінністю. Завдяки ранньому весняному відростанню озиме тритикале є особливо цінним у системі зеленого конвеєра, заповнюючи «травневий розрив» між вичерпанням запасів зимових кормів та початком надходження зеленої маси з пасовищ і посівів однорічних культур.

З агроекологічного погляду тритикале є перспективною альтернативою озимій пшениці на ґрунтах із зниженою родючістю, підвищеною кислотністю, схильністю до засолення, а також у регіонах із нестабільним зволоженням та ризиком суворих зим. Здатність культури формувати задовільний урожай там, де пшениця дає незадовільні результати, розширює можливості землеробів щодо диверсифікації виробництва і зниження ризиків.

Глибоке розуміння біологічних особливостей тритикале є основою для побудови науково обґрунтованої технології вирощування. Культура є переважно самозапильною, проте відсоток перехресного запилення у різних сортів може суттєво коливатися, що необхідно враховувати при організації насінницьких посівів.

Коренева система тритикале відрізняється потужним розвитком: вона проникає в ґрунт на значну глибину і відзначається підвищеною фізіологічною активністю щодо засвоєння важкодоступних форм елементів живлення, зокрема фосфору та мікроелементів. Саме завдяки цьому тритикале менш вимогливе до родючості ґрунту порівняно з озимою пшеницею і здатне формувати задовільний урожай на легких супіщаних та дерново-підзолистих ґрунтах, де пшениця часто не дає очікуваної віддачі.

Тритикале добре кущиться, утворюючи по кілька продуктивних пагонів на одну рослину. Ця властивість має важливе практичне значення: при зменшенні норми висіву або виникненні часткової загибелі рослин у

зимово-весняний період культура здатна компенсувати нестачу рослин посиленням куцання, зберігаючи достатню густоту продуктивного стеблостою. Суцвіттям є колос, зернівки якого великі, з масою 1000 зерен, що помітно перевищує відповідний показник озимої пшениці та жита.

Морозостійкість є однією з найвагоміших переваг тритикале. Загартовані рослини витримують зниження температури на глибині залягання вузла куцання до мінус 18–20 °С, що наближає цей показник до жита. При цьому тритикале проявляє стійкість до льодової кірки та коливань температури під час зимових відлиг, а навесні відростає швидко й енергійно. Мінімальна температура проростання насіння становить 1–2 °С, тобто початок вегетації можливий за найменшого потепління, що прискорює формування посіву ранньої весни.

Посухостійкість тритикале обумовлена комплексом морфологічних та фізіологічних ознак: потужною кореневою системою, яка здатна забезпечувати рослини водою із глибших горизонтів ґрунту в умовах поверхневого висихання; наявністю воскового нальоту на листках та стеблах, що знижує транспірацію; підвищеною водоутримуючою здатністю клітин. Завдяки цим властивостям культура значно краще за пшеницю переносить короточасні посушливі явища в критичні фази формування врожаю.

Реакція ґрунтового середовища для оптимального розвитку тритикале має бути нейтральною або слаболужною — у межах рН 5,5–7,0. Проте культура демонструє ширшу екологічну амплітуду щодо цього показника порівняно з пшеницею і здатна задовільно розвиватися навіть на помірно кислих ґрунтах, які є значно поширенішими в зоні Полісся та передгірній зоні. Найкращі результати забезпечуються на чорноземних ґрунтах достатньої потужності, однак тритикале є однією з небагатьох зернових культур, що дають економічно прийнятний урожай і на ґрунтах із нижчим агрохімічним фоном.

Потреба рослин у волозі є підвищеною лише в критичні фази — вихід у трубку та колосіння, коли закладаються компоненти структури врожаю. Загалом же культура ощадливіше використовує воду порівняно з пшеницею, що є суттєвою перевагою в умовах нестабільного зволоження центральних та південних регіонів України.

Правильне розміщення тритикале в сівозміні є одним із ключових факторів формування стабільно високого врожаю. Хоча культура менш вибаглива до попередників порівняно з озимою пшеницею, вибір кращих попередників дозволяє суттєво підвищити реалізацію потенціалу сорту та знизити фітосанітарні ризики.

Найкращими попередниками для озимого тритикале вважаються зернобобові культури — горох, соя, люпин, вика — які збагачують ґрунт азотом внаслідок діяльності бульбочкових бактерій, рано звільняють поле і залишають його в задовільному фітосанітарному стані. Після зернобобових ґрунт має кращу структуру, підвищену біологічну активність та менший тиск злакових бур'янів. Це дає змогу без ризику висівати озиме тритикале в оптимальні строки з рівномірними, добре розвиненими сходами.

Чорні та зайняті пари також є надійними попередниками, особливо в степових районах із недостатнім зволоженням. Пар дозволяє максимально відновити запаси продуктивної вологи в ґрунті, ретельно підготувати поле і знизити засміченість. Після зайнятих парів — ріпаку, гірчиці на зелений корм, ранніх однорічних трав — поле звільняється достатньо рано для якісної підготовки ґрунту і своєчасної сівби.

Кукурудза на силос, рання картопля, цукровий буряк та гречка є допустимими, але гіршими попередниками. Після кукурудзи на силос поле звільняється порівняно рано, однак ґрунт може бути пересушеним і ущільненим від проходів важкої техніки, що ускладнює передпосівну підготовку. Кукурудза на зерно є небажаним попередником через пізні

строки збирання, які не залишають часу для якісної підготовки ґрунту і вкладаються поза межі оптимальних строків сівби.

Розміщення тритикале після озимих зернових культур — пшениці, жита, ячменю — є агрономічно небажаним, оскільки призводить до накопичення спільних збудників хвороб (коренових гнилей, борошнистої роси, іржі) та шкідників (злакових мух, попелиці), погіршення структури ґрунту та посилення засміченості злаковими бур'янами. Проте стійкість тритикале до уражень збудниками хвороб помітно вища порівняно з пшеницею, що дає певну можливість розміщення культури після менш бажаних попередників без катастрофічних наслідків для врожайності.

При побудові сівозміни слід враховувати, що тритикале само може бути добрим попередником для ярих культур — особливо кукурудзи, соняшнику, яричних зернових — оскільки рано звільняє поле, залишає після себе відносно чистий від бур'янів і хвороб фон та сприяє збереженню запасів вологи в ґрунті після збирання.

Система обробітку ґрунту під озиме тритикале диференціюється залежно від попередника, типу ґрунту, характеру засміченості та забезпеченості господарства технікою. Основним завданням усього комплексу обробітків є створення щільного, рівномірно зволоженого ложа для насіння при одночасному знищенні бур'янів, загортанні рослинних решток і рівномірному розподілі добрив у кореневмісному шарі.

Після стерньових попередників основний обробіток починається з лущення стерні, яке проводять відразу після збирання врожаю. Ця операція руйнує кірку, подрібнює та загортає рослинні рештки, стимулює проростання падалиці і насіння бур'янів, що полегшує їх наступне знищення. Після появи сходів бур'янів проводять оранку на повну глибину орного горизонту, яка є основним обробітком. Оранка з обертанням пласта забезпечує загортання рослинних решток і поверхнево внесених добрив,

розривання капілярів підорного горизонту, знищення збудників хвороб і шкідників.

У сучасному землеробстві поряд із класичною оранкою широко застосовується мілкий безвідвальний обробіток та технології мінімального обробітку ґрунту. Мілкий безвідвальний обробіток на глибину 8–12 см дисковими або плоскорізними знаряддями забезпечує мульчування поверхні рослинними рештками, зниження ерозії і втрат вологи, скорочення часу та витрат на обробіток. Цей підхід є обґрунтованим після непарових попередників, які залишають мало рослинних решток, або за умов дефіциту часу між збиранням попередника та оптимальними строками сівби озимого тритикале.

Передпосівна підготовка ґрунту включає культивацію з вирівнюванням і коткуванням поверхні. Посівне ложе має бути добре ущільненим із об'ємною масою ґрунтового шару в діапазоні, що забезпечує тісний контакт насіння з ґрунтом і рівномірне зволоження. Недотримання цієї умови — надмірна рихлість або, навпаки, глибоке поверхнєве шарування — є однією з найпоширеніших причин нерівномірних сходів та зрідженості посіву. Глибина передпосівної культивації має відповідати запланованій глибині загортання насіння і, як правило, становить 5–7 см.

На ущільнених та важких ґрунтах зі схильністю до переущільнення ефективним є глибоке чизелювання або субсойлерний обробіток підорного горизонту, який поліпшує водо- та повітропроникність, активізує розвиток кореневої системи та підвищує мобілізацію елементів живлення з нижніх горизонтів. Цей захід є особливо актуальним після просапних культур, під час збирання яких інтенсивно використовується важка техніка.

Система удобрення озимого тритикале є одним із головних важелів управління врожайністю і якістю зерна. Культура добре відгукується на внесення як органічних, так і мінеральних добрив, хоча на практиці основу системи живлення озимого тритикале становлять мінеральні добрива, а

органічні зазвичай вносять під попередник або безпосередньо під тритикале лише за наявності достатніх ресурсів.

Фосфорні та калійні добрива вносять переважно під основний обробіток ґрунту, щоб забезпечити рівномірний розподіл у кореневмісному шарі. Ці елементи відіграють вирішальну роль у формуванні потужної кореневої системи, підвищенні морозостійкості та посухостійкості рослин, якості зерна. Норми фосфорно-калійних добрив розраховують на основі планової врожайності та агрохімічного аналізу ґрунту, що дозволяє уникнути як дефіциту, так і нераціонального перевитрачання добрив.

Азотне живлення тритикале організується за дробовою схемою. Основна частина азоту, яка забезпечує осіннє кущення та закладання продуктивних пагонів, вноситься при основному або передпосівному обробітку ґрунту.

Весняне підживлення азотом є обов'язковим елементом технології озимого тритикале. Перше весняне підживлення проводять якомога раніше — одразу після відновлення вегетації. Слабо розвинені після зими посіви потребують більших доз азоту для стимулювання кущення і нарощування листової маси. Нормально розвинені посіви підживлюють дещо меншою дозою. Посіви, що переросли з осені і ризикують вилягти, підживлюють мінімально або взагалі переносять підживлення на фазу початку виходу в трубку.

Друге підживлення проводять на початку виходу в трубку і спрямоване на збільшення кількості зерна у колосі. Позакореневе підживлення рідкими азотними добривами у фазі колосіння-цвітіння є ефективним прийомом для підвищення вмісту білка в зерні та стійкості культури до стресових умов у критичний для якості зерна період.

Якість насіннєвого матеріалу є одним із визначальних факторів успіху посіву. Для товарних посівів тритикале використовують насіння репродукцій від першої до третьої включно з лабораторною схожістю не

нижче 90% та чистотою не менше 98%. Насіннєвий матеріал має бути ретельно відсортований, вирівняний за розміром та масою: для сівби використовують переважно велику фракцію, яка забезпечує кращу польову схожість та енергію початкового росту.

Передпосівна підготовка насіння включає його протруювання від насіннєвої та ґрунтової інфекції. Протруювання є обов'язковим заходом, що дозволяє захистити проростки від сажкових захворювань, корневих гнилей, снігової плісені та ряду інших хвороб у початковий, найвразливіший період вегетації.

Сорт є найважливішим технологічним чинником. При виборі сорту необхідно враховувати зональні умови вирощування, цільове призначення продукції, стійкість до домінуючих у регіоні хвороб, реакцію на рівень живлення та тривалість вегетаційного періоду.

Оптимальні строки сівби для озимого тритикале в більшості регіонів України збігаються зі строками сівби озимої пшениці або є дещо пізнішими. Передчасна сівба спричиняє надмірний розвиток рослин восени, що знижує їхню морозостійкість і підвищує ризик ураження хворобами. Запізніла сівба не дозволяє рослинам пройти повноцінне загартування і увійти в зиму у фазі кущення з розвиненою кореневою системою. У степовій зоні оптимальними строками є кінець вересня — початок жовтня.

Спосіб сівби — звичайний рядковий із міжряддям 15 см або вузькорядний із міжряддям 7,5 см. Вузькорядний спосіб забезпечує більш рівномірний розподіл рослин на площі, краще використання площі живлення та освітлення, що особливо актуально при вирощуванні за інтенсивною технологією. Глибина загортання насіння становить 3–5 см, а на легких сухих ґрунтах може бути збільшена до 6–7 см для укладання насіння у вологий шар. Норму висіву встановлюють з урахуванням строків сівби, попередника, зони вирощування та біологічних особливостей сорту.

Система догляду за посівами озимого тритикале охоплює комплекс агрономічних заходів від появи сходів до збирання врожаю і спрямована на оптимізацію умов живлення рослин, захист від шкідливих організмів та подолання несприятливих погодних факторів.

Коткування після сівби в умовах нестачі вологи є ефективним прийомом для поліпшення контакту насіння з ґрунтом, прискорення проростання та підвищення польової схожості.

Боронування посівів навесні по мерзлоталому ґрунту дозволяє розпушити поверхневу кірку, яка утворюється внаслідок зимових відлиг і заморозків, забезпечити аерацію кореневмісного шару та фізично знищити частину перезимувалих бур'янів, проростки яких перебувають у фазі білої ниточки. Ця операція також покращує відростання рослин тритикале після зимового спокою.

Захист від бур'янів здійснюється переважно хімічним методом із застосуванням гербіцидів. Восени при правильно розрахованій нормі висіву та оптимальних строках сівби тритикале утворює досить щільний посів, що частково пригнічує ранньоосінні бур'яни. Навесні хімічний захист від широколистих та злакових бур'янів проводять у фазі кущення культури, поки рослини ще не вступили у стадію виходу в трубку.

Захист від хвороб охоплює протруювання насіння, яке закриває першу ланку патогенного кола, та фунгіцидні обробки посівів у критичні фази вегетації. Тритикале порівняно з пшеницею має природну стійкість до ряду захворювань, однак при вирощуванні за інтенсивними технологіями, особливо на фоні підвищених доз азоту, ризик ураження борошнистою росою, жовтою і бурюю іржею, септоріозом та ринхоспоріозом зростає.

Захист від шкідників включає моніторинг чисельності хлібної жужелиці, злакових мух, попелиці та кліщів у критичні фази вегетації. При перевищенні економічних порогів шкідливості проводять інсектицидні обробки.

Збирання врожаю є завершальним і водночас найвідповідальнішим етапом технологічного процесу вирощування тритикале, оскільки запізнення або порушення технологічних вимог при збиранні може звести нанівець результати всіх попередніх агрономічних зусиль.

Озиме тритикале збирають двома способами — роздільним і прямим комбайнуванням — залежно від стану посіву, умов погоди та характеристик сорту. Роздільне збирання є доцільним для високорослих сортів, схильних до вилягання, а також для нерівномірно достиглих та сильно засмічених посівів. Скошування у валки проводять у фазі воскової стиглості зерна, коли вологість зерна знижується до 35–40 %. Через 4–7 днів підсохлий валок підбирають і обмолочують комбайном. При цьому способі досягається ефективне дозрівання зерна, яке добирає поживні речовини із стебел і листків, утворюється більш виповнене, важке зерно.

Пряме комбайнування виконують у фазі повної стиглості зерна при зниженні його вологості до 15–20%. Цей спосіб є простішим організаційно і дозволяє провести збирання швидше, однак вимагає ретельного контролю стиглості та чіткої організації роботи техніки, щоб уникнути перестою і втрат від обламування колосся. Слід пам'ятати, що тритикале болючіше реагує на перестій на пні порівняно з пшеницею — колос може обламуватись навіть при відносно невеликих механічних впливах (дощ із вітром, роса).

Принципово важливою технологічною особливістю є режим обмолоту: через значно крупніше, ніж у пшениці, зерно тритикале потребує зниження частоти обертання молотильного барабана комбайна порівняно зі стандартними налаштуваннями для пшениці, а також збільшення зазору між барабаном і підбарабанням. Недотримання цих умов призводить до механічного травмування зерна, що особливо критично для насіннєвих посівів, оскільки пошкоджена оболонка знижує схожість та є воротами для інфекції.

Після збирання зерно надходить на доробку, яка включає очищення від домішок, сушіння (при вологості вище кондиційних норм) та сортування. Зберігати зерно тритикале слід у добре провітрюваних сховищах при вологості не вище 14% і постійному контролі температури насипу для запобігання самозігріванню. При правильній підготовці зерно зберігається без суттєвих втрат якості протягом двох-трьох років.

Аналіз існуючих технологій вирощування озимого тритикале дозволяє виділити кілька принципово відмінних підходів, що застосовуються у виробництві залежно від цілей, ресурсів та природних умов господарства.

Екстенсивна технологія передбачає мінімальний рівень витрат і орієнтована на використання природного родючості ґрунту та стресостійкості культури. При цьому підході застосовують мінімальний обробіток ґрунту, обмежені або нульові дози мінеральних добрив, базовий захист лише від найнебезпечніших шкідників і хвороб. Урожайність при екстенсивній технології є помірною, але собівартість продукції низькою. Цей підхід виправданий на малородючих ґрунтах у господарствах із обмеженими фінансовими можливостями, а також при виробництві кормового зерна для власних потреб.

Інтенсивна технологія спрямована на максимальну реалізацію генетичного потенціалу сорту шляхом оптимізації всіх елементів агротехніки. Вона передбачає розміщення після кращих попередників, глибокий основний обробіток із загортанням органічних добрив або їх аналогів, збалансоване мінеральне живлення за результатами ґрунтової діагностики, дробове внесення азоту, повний комплекс хімічного захисту від бур'янів, хвороб та шкідників, застосування ретардантів, оптимізовані строки та норми сівби. Інтенсивна технологія дозволяє отримувати врожайність, що наближається до максимального потенціалу сорту, однак вимагає суттєвих інвестицій і виправдана насамперед при вирощуванні на родючих ґрунтах та за сприятливих ринкових умов.

Ресурсозберігаючі технології, що включають мінімальний або нульовий обробіток ґрунту (no-till, strip-till), набувають дедалі більшого поширення в Україні. За цих систем тритикале є особливо перспективною культурою, оскільки її потужна коренева система здатна ефективно розвиватися навіть за певного ущільнення ґрунту, а стійкість до хвороб знижує потребу в захисних заходах порівняно з пшеницею. Збереження вологи в ґрунті при no-till є додатковим чинником, що компенсує можливе зниження доступності живлення.

Перспективним напрямом є органічне вирощування тритикале, де культура реалізує одну з ключових своїх переваг — здатність розвиватися на органічних ґрунтах із нижчим агрохімічним фоном без значних витрат на добрива та засоби захисту. При органічному виробництві тритикале здатне формувати задовільний урожай за рахунок розширеної ферментативної активності кореневої системи та природної стійкості до хвороб і шкідників, що відповідає зростаючому попиту на органічні зернові.

Цифровізація агровиробництва відкриває нові можливості для точного управління технологічним процесом вирощування тритикале: супутниковий моніторинг стану посівів дозволяє виявляти проблемні ділянки поля на ранніх стадіях, диференційоване внесення добрив і засобів захисту знижує витрати та навантаження на довкілля, прецизійний посів з автоматичним контролем норми висіву та глибини загортання насіння підвищує рівномірність і якість посіву. Упровадження цих технологій у вирощування тритикале створює передумови для суттєвого підвищення економічної ефективності та сталості виробництва в умовах мінливого клімату та нестабільних ринків.

Таким чином, аналіз існуючих технологій вирощування озимого тритикале свідчить про широкий спектр підходів — від екстенсивних до інтенсивних та ресурсозберігаючих — кожен із яких має свої переваги і обмеження залежно від конкретних умов виробництва. Раціональна

технологія вирощування має будуватися на основі зональних рекомендацій, результатів ґрунтової діагностики, господарських цілей і наявних ресурсів, при цьому повною мірою враховуючи біологічні особливості культури та її переваги порівняно з іншими озимими зерновими.

2.2. Удосконалення технологічної карти на вирощування озимого тритикале

Існуюча технологія вирощування озимого тритикале, що ґрунтується на принципах, близьких до агротехніки озимої пшениці, не повною мірою враховує специфічні біологічні особливості культури — підвищену висоту стебла, схильність до вилягання у високопродуктивних посівах, нерівномірність досягання колосся у верхньому та нижньому ярусах стеблостою, а також підвищену крихкість колосового стрижня, що зумовлює ризик обсіпання зерна при перестої на пні. Ці особливості визначають необхідність комплексного перегляду окремих елементів технології — від догляду за посівами до вибору технічних засобів для збирання врожаю.

Аналіз існуючих технологій (виконаний у попередньому розділі роботи) показав, що головними резервами підвищення ефективності вирощування тритикале є посилення стійкості стеблостою до вилягання, оптимізація строків та способу збирання залежно від стану посіву, а також застосування технічних засобів, конструктивні особливості яких відповідають фізико-механічним властивостям зерна і соломи тритикале. Саме на цих трьох напрямках і базується запропоноване вдосконалення технології.

Удосконалена технологія передбачає обов'язкову польову діагностику стану стеблостою за 7–10 днів до очікуваного збирання за трьома критеріями: висота і ступінь вилягання рослин, рівномірність дозрівання колосся у межах поля, забур'яненість посіву. На підставі цієї діагностики приймається диференційоване рішення про спосіб збирання: для

високорослих (понад 120 см), частково полеглих або нерівномірно дозріваючих посівів — роздільне (двофазне) збирання зі скошуванням у валки на початку воскової стиглості при вологості зерна 30–35 % з підбиранням і обмолотом через 3–5 днів; для рівномірно дозрілих, стійких до вилягання посівів з густотою понад 280–300 продуктивних стебел на 1 м² — пряме комбайнування у фазі повної стиглості при вологості зерна 16–17 %.

Принциповим є й те, що незалежно від обраного способу збирання тритикале вимагає швидшого проведення жнив порівняно з пшеницею через підвищену крихкість колосового стрижня та схильність до самоосипання зерна при перестої на пні в умовах вологої або вітряної погоди. Запропонована технологія передбачає скорочення оптимального періоду збирання кожного поля до 5–6 днів від настання повної стиглості (проти типових 7–10 днів для пшениці), що підвищує вимоги до продуктивності та universality технічних засобів, якими комплектується господарство.

Підвищені вимоги до швидкості та якості збирання, що впливають з удосконаленої технології, вимагають застосування технічних засобів з відповідним рівнем продуктивності, гнучкості налаштування та якості обмолоту. Аналіз технічних характеристик зернозбирального комбайна John Deere W550i показує його високу відповідність специфічним вимогам збирання тритикале за кількома ключовими напрямками.

Молотильний апарат комбайна побудований за тангенціальною схемою з барабаном діаметром 660 мм, оснащеним десятьма бичами та технологією Booster Bar. Конструктивна особливість системи полягає в тому, що обмолот здійснюється переважно за рахунок перетирання маси, а не ударного впливу, що знижує механічне травмування зерна. Для тритикале, зернівка якого має дещо більший розмір порівняно з пшеницею і легше пошкоджується при ударному обмолоті, цей принцип роботи молотильного апарата є суттєвою перевагою — він дозволяє знизити частку

дробленого зерна та зберегти посівні якості насіннєвого матеріалу, що особливо важливо при виробництві тритикале на насіннєві цілі.

Зернівка тритикале є більшою за масою 1000 насінин і має дещо інші аеродинамічні властивості порівняно з пшеницею, що вимагає індивідуального налаштування жалюзійних решіт і вентиляторів очистки. Очисна система комбайна W550i має збільшену загальну площу очистки (5,20 м² для п'ятисоломотрясної модифікації), широкий діапазон регулювання кута відкриття жалюзі верхнього й нижнього решіт та чотири вентилятори подвійного потоку, що дозволяє оперативно адаптувати режим очистки під конкретні умови вологості й засміченості вороху тритикале безпосередньо з кабіни оператора через систему CommandCenter, без зупинки роботи. Це є прямим продовженням запропонованого в технології принципу диференційованого підходу до збирання залежно від щоденно змінюваних умов поля.

Конструктивне рішення DynaFlo Plus, що поєднує збільшену площу очистки зі зниженою масою коливних частин (за рахунок алюмінієвої рами решіт), знижує динамічні навантаження на трансмісію та витрати палива на одиницю обмолоченої маси. У поєднанні з високою пропускною здатністю це забезпечує нижчу собівартість збирання 1 га порівняно із застосуванням менш продуктивних або менш адаптивних машин, що є суттєвим аргументом при виборі техніки для господарств, які розширюють площі під тритикале як економічно вигіднішою альтернативою пшениці на ґрунтах зниженої родючості.

Таким чином, запропоноване вдосконалення технології вирощування озимого тритикале є комплексним і охоплює як агротехнічну, так і технічну складові виробничого процесу. Обґрунтований вибір комбайна John Deere W550i логічно завершує цей комплекс, забезпечуючи реалізацію потенціалу вдосконаленої агротехніки на етапі збирання врожаю — найбільш критичному з погляду збереження кількості та якості вирощеного зерна.

					<i>МВОТ 00. 000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Пропонуємо замінити зернозбиральний комбайн New Holland TC5.80 комбайном JOHN DEERE 550i.

3.1. Розрахунки машинного агрегату

Робоча ширина захвату машини

$$B_p = \frac{10 \cdot q_{\text{с}}}{U(1 + \delta_{\text{с}})}, \quad (3.1)$$

де $q_{\text{с}}$ – маса 1 м валка, кг [19–21];

$$q_{\text{с}} = \frac{3,6 \cdot q_{\text{ф}}}{v_{\text{ср}}}, \quad (3.2)$$

де $q_{\text{ф}}$ – фактична пропускна здатність молотарки [19–21],

$$q_{\text{ф}} = q \cdot K_{\delta\omega\text{з}}, \quad (3.3)$$

q – пропускна здатність молотарки для нормальних умов збирання, що мають кондиційну вологість рослинної маси, $q_1=14$ кг/с, $q_2=16$ кг/с [19–21];

$K_{\delta\omega\text{з}}$ – коефіцієнт солоmistості, вологості та засміченості рослинної маси [19–21]

$$K_{\delta\omega\text{з}} = K_{\delta} - K_{\omega} - K_{\text{з}}, \quad (3.4)$$

де K_{δ} – коефіцієнт солоmistості [19–21]

$$K_{\delta} = 1,5 - 0,3 \cdot \delta_{\text{с}}, \quad (3.5)$$

де $\delta_{\text{с}}$ – солоmistість, $\delta_{\text{с}}=1,55$ [19–21]

$$K_{\delta} = 1,5 - 0,3 \cdot 1,55 = 1,035;$$

K_{ω} – коефіцієнт вологості [19–21]

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

де ω – вологість, $\omega=17\%$

$$K_{\omega} = 0,05 \cdot (0,948 - 0,195 \cdot 1,55)(17 - 20) = -0,0969;$$

K_z – коефіцієнт, що враховує забур'яненість [19–21]

$$K_{\delta} = 0,02 \cdot z \cdot (0,48 - 0,32 \cdot (\delta_c - 1)), \quad (3.7)$$

де z – забур'яненість, $z=12\%$

$$K_{\delta} = 0,02 \cdot 12 \cdot (0,48 - 0,32 \cdot (1,55 - 1)) = 0,073.$$

Таким чином:

$$K_{\delta\omega z} = 1,035 - (-0,0969) - 0,073 = 1,0589.$$

Фактична пропускна здатність становить [19–21]:

$$q_{\phi 1} = 14 \cdot 1,0589 = 14,72 \text{ кг/с};$$

$$q_{\phi 2} = 16 \cdot 1,0589 = 16,94 \text{ кг/с}.$$

Швидкість руху агрегата [19–21]

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

де B_{κ} – конструктивна ширина жатки, $B_{\kappa 1}=6,1$ м, $B_{\kappa 2}=7,6$ м [22–23];

β – коефіцієнт використання ширини її захвату, $\beta=0,95$ [19–21];

U – урожайність культури, 60 т/га

$$v_{p1} = \frac{3,6 \cdot 14,72}{6,1 \cdot 0,95 \cdot (1 + 1,55)} = 5,98 \text{ км/год.}$$

$$v_p^M = \frac{3,6 \cdot 16,94}{7,6 \cdot 0,95 \cdot (1 + 1,55)} = 5,52 \text{ км/год.}$$

Отже маса валка

$$q_{\phi 1} = \frac{3,6 \cdot 14,72}{5,98} = 8,86 \text{ кг};$$

$$q_{\phi 2} = \frac{3,6 \cdot 16,94}{5,52} = 11,05 \text{ кг}.$$

Знаходимо робочу ширину захвату

$$B_{p1} = \frac{10 \cdot 8,86}{6 \cdot (1 + 1,55)} = 5,81 \text{ м};$$

$$B_{p2} = \frac{10 \cdot 11,05}{6 \cdot (1 + 1,55)} = 7,22 \text{ м.}$$

Приймаємо $B_{p1}=5,81$ м, $B_{p2}=7,22$ м.

Допустима потужність завантаження двигуна [19–21]:

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

де R_m – опір переміщення агрегата по полю, кН [19–21]

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

G_m – вага агрегата, $G_{m1}=126,16$ кН, $G_{m2}=145,38$ кН, [19–21];

f_m – коефіцієнт опору коченню, $f_m=0,2$ [19–21];

i – кут нахилу поверхні поля, $i=3^\circ$ [19–21]

$$R_{m1} = 126,16 \left(0,2 + \frac{3}{100} \right) = 29,02 \text{ кН};$$

$$R_{m2} = 145,38 \left(0,2 + \frac{3}{100} \right) = 33,44 \text{ кН};$$

η_m – коефіцієнт трансмісії, $\eta_m=0,93$ [19–21];

η_σ – коефіцієнт буксування, $\eta_\sigma=0,87$ [19–21];

N_{num} – питома потужність приводу робочих органів жатки, $N_{num1}=11,0$ кВт, $N_{num2}=10,8$ кВт [19–21];

$N_{np_{xx}}$, $N_{np_{don}}$ – витрати потужності на технологічний процес, на холостий хід механізмів комбайна та жатки і на привод допоміжних органів, кВт [19–21];

η_{np} – коефіцієнт корисної дії приводу робочих органів, $\eta_{np}=0,95$ [19–21]

$$N_{e1} = \frac{29,02 \cdot 5,98}{36 \cdot 0,93 \cdot 0,87} + \frac{11,0 \cdot 14,0 + 0 + 0}{10 \cdot 0,95} = 22,17 \text{ кВт};$$

$$N_{e2} = \frac{33,44 \cdot 5,52}{36 \cdot 0,93 \cdot 0,87} + \frac{10,8 \cdot 16,0 + 0 + 0}{10 \cdot 0,95} = 24,53 \text{ кВт}.$$

Умова використання потужності двигуна зернозбирального комбайна
 $N_{en1}=152$ кВт та $N_{en2}=213$ кВт:

$$N_{en1}=152 \text{ кВт} > N_{e1}=22,17 \text{ кВт}; \quad N_{en2}=213 \text{ кВт} > N_{e2}=24,53 \text{ кВт}.$$

За визначених швидкостей робота агрегатів ефективна.

Змінна продуктивність збиральних агрегатів [19–21]

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

де T_p – чистий робочий час, год [19–21]

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

де $T_{зм}$ – час зміни, $T_{зм}=7$ год;

τ – коефіцієнт використання часу зміни, $\tau=0,64$ [19–21]

$$T_p = 7 \cdot 0,64 = 4,48 \text{ год};$$

$$W_{зм1} = 0,1 \cdot 5,81 \cdot 5,98 \cdot 4,48 = 15,57 \text{ га/зм};$$

$$W_{зм2} = 0,1 \cdot 7,22 \cdot 5,52 \cdot 4,48 = 17,85 \text{ га/зм}.$$

Витрати палива на 1 га обробітку, кг/га [19–21]:

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

де $Q_{зм}$ – витрата палива за зміну, кг/зм [19–21]

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

де Q_p, Q_x, Q_z – годинна витрати палива при виконанні роботи, холостому русі, на зупинках, відповідно, таким чином, у комбайна New Holland TC5.80 $Q_p=36,1$; $Q_x=20,1$; $Q_z=7,8$ кг/год, а в комбайна JOHN DEERE W550i $Q_p=38,3$; $Q_x=22,3$; $Q_z=8,1$ кг/год [41–42];

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

$$T_x = T_z = \frac{T_{зм} - T_p}{2} = \frac{7 - 4,48}{2} = 1,26 \text{ год}.$$

$$Q_{зм1} = 36,1 \cdot 4,48 + 20,1 \cdot 1,26 + 7,8 \cdot 1,26 = 196,88 \text{ кг/зм};$$

$$Q_{зм2} = 38,3 \cdot 4,48 + 22,3 \cdot 1,26 + 8,1 \cdot 1,26 = 209,89 \text{ кг/зм}.$$

Таким чином, витрати палива на 1 га становитимуть:

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

$$Q_{\text{за1}} = \frac{196,88}{15,57} = 12,64 \text{ кг/га};$$

$$Q_{\text{за2}} = \frac{209,89}{17,85} = 11,76 \text{ кг/га}.$$

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

Для скошування хлібостою у валки обираємо загінковий спосіб руху агрегату в розвал з безпетлевими поворотами [19–21].

Ширина поворотної смуги [19–21]:

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

де R_{min} – мінімальний радіус повороту, для жатки $R_{\text{min}}=8,51$ м;

$L_{\text{м}}$ – кінематична довжина машини, $L_{\text{м}}=6,97$ м

$$E = 3 \cdot 8,51 + 6,97 = 32,5 \text{ м}.$$

Ширина поворотної смуги повинна бути кратною робочій ширині захвату [19–21]

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

де K – це кратність [19–21]

$$K = \frac{E}{B_p} = \frac{32,5}{7,6} = 4,28.$$

Приймаємо $K=5$.

Тоді

$$E = 5 \cdot 7,6 = 38,0 \text{ м}.$$

Оптимальна ширина загінки [19–21]:

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

де L – довжина загінки, $L=950$ м

$$C_{\text{онм}} = \sqrt{16 \cdot 8,51^2 + 2 \cdot 7,6 \cdot 950} = 124,89 \text{ м}.$$

$$C'_{\text{онм}} = K \cdot B_p \cdot [19–21]$$

Тобто

$$K = \frac{124,89}{7,6} = 16,43. \text{ Приймаємо } 17.$$

Таким чином: $C'_{omn} = 17 \cdot 7,6 = 129,2 \text{ м.}$

Кількість заїнок [19–21]

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

де F – площа поля, $F=107 \text{ га};$

$$n_3 = \frac{10^4 \cdot 107}{950 \cdot 129,2} = 8,72 \text{ шт.}$$

Тоді:

$$C_{1-8} = 129,2 \text{ м}; \quad C_9 = C_{1-8} \cdot 0,96 = 129,2 \cdot 0,96 = 93,02 \text{ м.}$$

Коефіцієнт робочих ходів [19–21]

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

де L_p, L_x – робоча довжина заїнки і холостого ходу [19–21]

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

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

де l – довжина виїзду агрегату [19–21]

$$l = 0,5L_a = 0,5 \cdot (3,7 + 6,97) = 5,335 \text{ м};$$

$$L_p = 950 - 2 \cdot 38 = 874 \text{ м};$$

$$L_x = 6 \cdot 8,51 + 2 \cdot 5,335 = 61,73 \text{ м};$$

$$K_p = \frac{874}{874 + 61,73} = 0,934.$$

Коефіцієнт вказує на високе використання робочого часу.

Тривалість одного циклу [19–21]:

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

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

$$T_y = \frac{12 \cdot 847}{10^2 \cdot 5,52} + 2 \cdot 1,75 = 21,91 \text{ хв} = 0,365 \text{ год.}$$

Технічна продуктивність за цикл [19–21]:

$$W_y = 0,1 \cdot B_p \cdot v_p \cdot T_y \cdot \tau, \quad (3.23)$$

$$W_y = 0,1 \cdot 7,6 \cdot 5,52 \cdot 0,365 \cdot 0,64 = 0,98 \text{ га/цикл.}$$

Кількість циклів за зміну [19–21]:

$$n_y = \frac{W_{зм}}{W_y}. \quad (3.24)$$

$$n_y = \frac{17,85}{0,98} = 18,21 \text{ ц/зм.}$$

Витрати палива за цикл

$$Q_y = Q_{га} \cdot W_y, \quad (3.25)$$

$$Q_{цикл} = 11,76 \cdot 0,98 = 11,52 \text{ кг/цикл.}$$

Використовуємо розрахункові значення параметрів в операційно–технологічній карті.

4. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

4.1. Огляд літератури

Зернозбиральний комбайн John Deere W550i є комбайном класичної компоновки з тангенціальним молотильним апаратом і п'ятиклавішним соломотрясом й відноситься до середнього класу серії W. Машина оснащена системою очистки DynaFlo Plus — вдосконаленою повітряно-решітною очисткою з розширеною площею решіт, аераційним попереднім очисником (преклінером) і чотирма вентиляторами подвійного потоку (Dual-Flo). Загальна площа очистки системи DynaFlo Plus для п'ятисоломотрясної модифікації W550i становить 5,20 м².



Рис. 4.1. Комбайн John Deere W550i

Верхнє жалюзійне решето є основним робочим органом очисної системи, що виконує первинне розділення дрібного зернового вороху. Зернівки, що пройшли крізь підбарабання та соломотряс, надходять на верхнє решето, де під впливом коливального руху, аеродинамічного потоку від вентиляторів і сили тяжіння зерно просівається крізь жалюзійні щілини

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

МВОТ 00. 000 ПЗ

Арк.

31

на нижнє решето, а домішки — необмолочені колоски, уламки соломи та полова — переміщуються до заднього краю і надходять на повторний обмолот або видаляються з машини.

Всі розрахунки виконуються для умов збирання озимої пшениці на рівнинному рельєфі при врожайності 60 ц/га.

Технічні параметри комбайна John Deere W550i:

- ширина захвату жатки: $B_{жс}=6,1$ м (жатка 620F);
- площа верхнього решета: $S_г=2,50$ м²;
- площа нижнього решета: $S_н=2,20$ м²;
- площа преклінера: $S_{нк}=0,50$ м²;
- загальна площа очистки DynaFlo Plus: $S_{заз}=5,20$ м²;
- максимальна продуктивність вентиляторів: $Q_{вент}=590$ м³/хв;
- частота коливань решета: $n=290$ хв⁻¹;
- амплітуда коливань решета: $r=22$ мм=0,022 м;
- маса верхнього решета (алюмінієва рама): $m_p=38$ кг;
- крок жалюзі: $t=25$ мм;
- ширина пластини жалюзі: $b=22$ мм;
- довжина решета: $l_p=1,30$ м;
- ширина решета: $B_p=1,923$ м ($B_p=S_г/l_p=2,50/1,30$);

Агротехнічні умови збирання:

- робоча швидкість комбайна: $V_p=6,0$ км/год=1,67 м/с;
- відношення маси соломи до маси зерна: $K=1,5$
- вологість зерна: $W=14$ %;
- частка зерна у дрібному вороху: $g_z=0,82$;
- кут нахилу решета до горизонту: $\alpha=5^\circ$;
- кут між напрямком коливань та площиною решета: $\delta=25^\circ$;
- кут відкриття жалюзі (для пшениці): $\varphi=18^\circ$;
- коефіцієнт тертя вороху по решету: $f=0,42$;
- швидкість повітряного потоку у зоні решета: $V_{вент}=7,2$ м/с;

- щільність полови: $\rho_n=65 \text{ кг/м}^3$;
- щільність вороху (розпушений стан): $\rho_{вор}=180 \text{ кг/м}^3$;
- допустимі зернові втрати від очистки: $\Delta \leq 1,5\%$.

4.1. Технологічні розрахунки

Технологічні розрахунки спрямовані на визначення потоків матеріалу в очисній системі, завантаженості решета, геометричних параметрів жалюзі та показників якості розділення зернового вороху.

4.1.1. Продуктивність комбайна та подача хлібної маси

Продуктивність за зерном визначається за формулою:

$$Q_z = B_{жс} \cdot V_p \cdot Y_z, \quad (4.1)$$

де $B_{жс}$ — ширина захвату жатки, м;

V_p — робоча швидкість;

Y_z — врожайність

$$Q_z = 6,11 \cdot 67 \cdot 0,60 = 6,11 \text{ кг/с.}$$

Загальна подача хлібної маси:

$$Q_{хм} = Q_z \cdot (1 + K) = 6,11 \cdot (1 + 1,5) = 13,44 \text{ кг/с,} \quad (4.2)$$

де $K=1,2$ — відношення маси соломи до маси зерна.

Подача соломи:

$$Q_c = Q_{хм} - Q_z = 13,44 - 6,11 = 7,33 \text{ кг/с.}$$

4.1.2. Подача дрібного вороху на верхнє решето

Дрібний ворох, що надходить на очисну систему, формується з потоків від підбарабання, соломотрясу та домолочувального пристрою. Його загальна подача:

$$Q_{\partial\partial} = \frac{Q_3}{g_z} = \frac{6,11}{0,82} = 7,45 \text{ кг/с}, \quad (4.3)$$

де $g_z=0,82$ — масова частка зерна у дрібному вороху (залишок — полова, збоїни, дрібні домішки).

Подача домішок (полова, збоїни, уламки соломи):

$$Q_{\partial\partial\partial} = Q_{\partial\partial} - Q_3 = 7,45 - 6,11 = 1,34 \text{ кг/с}.$$

4.1.3. Питоме навантаження на верхнє решето

Питоме навантаження характеризує інтенсивність завантаження одиниці площі решета і є основним критерієм відповідності обраних розмірів решета фактичному режиму роботи:

$$q_{\partial} = \frac{Q_{\partial\partial}}{S_{\partial}} = \frac{7,45}{2,50} = 2,98 \text{ кг/(м}^2\cdot\text{с)}. \quad (4.4)$$

Отримане значення $q_{\partial}=2,98 \text{ кг/(м}^2\cdot\text{с)}$ знаходиться у межах допустимого діапазону для жалюзійних решіт сучасних комбайнів ($2,0\text{--}3,5 \text{ кг/(м}^2\cdot\text{с)}$), що підтверджує обґрунтованість площі верхнього решета $S_{\partial}=2,50 \text{ м}^2$ для даного режиму роботи.

4.1.4. Геометричні параметри жалюзі решета

Ефективна ширина щілини між жалюзі при куті відкриття $\varphi=18^\circ$:

$$a = t - b \cdot \cos\varphi = 25 - 22 \cdot \cos 18^\circ = 4,08 \text{ мм}. \quad (4.5)$$

де $t=25 \text{ мм}$ — крок жалюзі;

$b=22 \text{ мм}$ — ширина пластини.

Мінімальний поперечний розмір зернівки пшениці становить $2,5\text{--}3,0 \text{ мм}$, тому щілина $a=4,08 \text{ мм}$ забезпечує вільний прохід зерна і одночасно затримує необмолочені колоски та великі уламки соломи.

Коефіцієнт живого перерізу решета (відносна площа відкритих щілин):

$$\lambda = \frac{a}{t} = \frac{4,08}{25} = 0,163 = 16,3 \%. \quad (4.6)$$

Ефективна відкрита площа верхнього решета:

$$S_{відкр} = \lambda \cdot S_{\epsilon} = 0,163 \cdot 2,50 = 0,408 \text{ м}^2.$$

Діапазон регулювання кута жалюзі від $\varphi_{min}=5^\circ$ до $\varphi_{max}=35^\circ$ забезпечує зміну коефіцієнта живого перерізу від $\lambda_{min}=5,3\%$ до $\lambda_{max}=27,9\%$, що дозволяє адаптувати решето до збирання різних культур — від дрібнонасінневих (ріпак, гречка) до великонасінневих (кукурудза, соняшник).

Висота вертикальної проекції щілини (максимальний вертикальний розмір зернівки, що може пройти):

$$h_{щ} = \frac{a}{\cos \alpha} = \frac{4,08}{\cos 5^\circ} = 4,10 \text{ мм}. \quad (4.7)$$

4.1.5. Товщина шару вороху на решеті

Товщина шару вороху є критичним параметром, що визначає умови просівання зернівок. При надмірній товщині зернівки нижніх горизонтів не досягають щілин жалюзі і переходять у схід решета разом із домішками, збільшуючи втрати.

Питома масова подача вороху на одиницю ширини решета:

$$q_l = \frac{Q_{дв}}{B_p} = \frac{7,45}{1,923} = 3,87 \text{ кг/(м} \cdot \text{с)}. \quad (4.8)$$

Швидкість переміщення вороху по поверхні решета (розраховується у розділі кінематичних розрахунків): $V_{вор}=0,106 \text{ м/с}$.

Об'ємна питома подача на одиницю ширини:

$$q_V = \frac{q_l}{\rho_{вор}} = \frac{3,87}{180} = 0,0215 \text{ м}^2/\text{с}. \quad (4.9)$$

Товщина шару вороху в середній частині решета:

$$\delta = \frac{q_V}{V_{\text{вор}}} = \frac{0,0215}{0,106} = 0,203 \text{ м} \approx 200 \text{ мм.} \quad (4.10)$$

Отримана товщина $\delta=200$ мм є допустимою завдяки розпушувальній дії чотирьох вентиляторів подвійного потоку системи DynaFlo Plus, які забезпечують проникнення повітря крізь щілини жалюзі знизу вгору і розпушення вороху по всій його товщині.

4.1.6. Аеродинамічне розділення компонентів вороху

Ефективність аеродинамічного розділення оцінюється через критичні швидкості витання компонентів вороху.

Критична швидкість витання зернівки пшениці (еквівалентний діаметр $d_3=4$ мм=0,004 м, коефіцієнт аеродинамічного опору $C_d=0,47$, щільність повітря $\rho_{\text{нов}}=1,225$ кг/м³):

$$V_{\text{кр.з}} = \sqrt{\frac{4 \cdot d_3 \cdot g \cdot \rho_3}{3 \cdot C_d \cdot \rho_{\text{нов}}}}, \quad (4.11)$$

$$V_{\text{кр.з}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,004 \cdot 9,81 \cdot 780}{3 \cdot 0,47 \cdot 1,225}} = 8,41 \text{ м/с.}$$

Критична швидкість витання частинки полови ($d_n=3$ мм=0,003 м, щільність $\rho_n=65$ кг/м³):

$$V_{\text{кр.п}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,003 \cdot 9,81 \cdot 65}{3 \cdot 0,47 \cdot 1,225}} = 2,10 \text{ м/с.}$$

Оскільки $V_{\text{вент}}=7,2$ м/с < $V_{\text{кр.з}}=8,41$ м/с — зернівки пшениці повітряним потоком не виносяться. При цьому $V_{\text{вент}}=7,2$ м/с > $V_{\text{кр.п}}=2,10$ м/с — частинки полови надійно видаляються. Таким чином, встановлена швидкість вентиляторного потоку є оптимальною для пшениці.

4.1.7. Ймовірність просівання зерна та коефіцієнт сепарації

Ймовірність потрапляння зернини у щілину за один прохід над нею:

$$P = \frac{a - d_{з.мин}}{t} = \frac{4,08 - 2,5}{25} = 0,063 = 6,3 \%, \quad (4.12)$$

де $d_{з.мин}=2,5$ мм — мінімальний характерний розмір зернівки пшениці.

Час перебування вороху на решеті:

$$\tau = \frac{l_p}{V_{вор}} = \frac{1,30}{0,106} = 12,26 \text{ с.} \quad (4.13)$$

Число коливань (проходів над жалюзьями) за цей час:

$$N_{кол} = \frac{n \cdot \tau}{60} = \frac{290 \cdot 12,26}{60} \approx 59 \text{ коливань.} \quad (4.14)$$

Кумулятивна ймовірність просівання зернівки за 59 коливань (кумулятивна формула Бернуллі):

$$P_N = 1 - (1 - P)^{N_{кол}} = 1 - (0,937)^{59}, \quad (4.15)$$

$$(0,937)^{59} = e^{(59 \cdot \ln 0,937)} = e^{(59 \cdot (-0,0650))} = 0,0216,$$

$$P_N = 1 - 0,0216 = 97,8 \, \%.$$

Теоретичний коефіцієнт сепарації зерна на верхньому решеті: $\eta_{реш}=0,978$, тобто 97,8% зернівок, що надійшли на решето, пройдуть крізь жалюзі на нижнє решето. Решта повернуться на повторний обмолот.

Реальні зернові втрати із урахуванням повернення сходів (коефіцієнт повернення $\kappa_n=0,85$):

$$\Delta_{реал} = (1 - \eta_{реш}) \cdot (1 - \kappa_n) \cdot 100 = 0,022 \cdot 0,15 \cdot 100 = 0,33 \%. \quad (4.16)$$

Отримане значення $\Delta_{реал}=0,33 \, \%$ не перевищує допустиму норму 1,5%, що підтверджує достатню технологічну ефективність верхнього жалюзійного решета при встановлених параметрах.

4.2. Кінематичні розрахунки

Верхнє жалюзійне решето здійснює плоскопаралельні коливання у

площині, нахилений під кутом $\delta=25^\circ$ до площини решета.

4.2.1. Кутова частота і максимальна швидкість коливань

Кутова частота коливань решета:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot 3,1416 \cdot 290}{60} = 30,37 \text{ с}^{-1}. \quad (4.17)$$

Максимальна лінійна швидкість решета при гармонійних коливаннях:

$$V_{\max} = \omega \cdot r = 30,37 \cdot 0,022 = 0,668 \text{ м/с}. \quad (4.18)$$

4.2.2. Максимальне прискорення решета

$$a_{\max} = \omega^2 \cdot r = 30,37^2 \cdot 0,022 = 20,31 \text{ м/с}^2. \quad (4.19)$$

4.2.3. Кінематичний критерій Фруда

Кінематичний критерій Фруда характеризує режим взаємодії решета із зерновим ворохом — при $F_r > 1$ частки вороху відриваються від поверхні у фазі прямого ходу:

$$F_r = \frac{a_{\max}}{g} = \frac{20,31}{9,81} = 2,07. \quad (4.20)$$

4.2.4. Перевірка умови підкидання часток вороху

Умова підкидання (відриву) часток у фазі прямого ходу решета:

$$F_r > \frac{\cos \alpha}{1 + f \cdot \operatorname{tg} \alpha}, \quad (4.21)$$

де $\alpha=5^\circ$ — кут нахилу решета

$$\frac{\cos \alpha}{1 + f \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \frac{\cos 5^\circ}{1 + 0,42 \operatorname{tg} 5^\circ} = 0,961.$$

Оскільки $F_r=2,07>0,961$, умова підкидання виконується. Частки вороху відриваються від поверхні жалюзі, що забезпечує інтенсивне розпушення шару і поліпшення умов просівання зерна.

4.2.5. Перевірка умови транспортування вороху

Умова переміщення вороху до заднього краю решета (транспортування) у фазі зворотного ходу:

$$F_r > \frac{\cos\alpha(1-f\cdot tg\alpha)}{f+tg\alpha}, \quad (4.22)$$

$$\frac{1-f\cdot tg\alpha}{f+tg\alpha} = \frac{1-0,42\cdot 0,0875}{0,42+0,0875} = 1,898,$$

$$\frac{1-f\cdot tg\alpha}{f+tg\alpha} = \frac{1-0,42\cdot 0,0875}{0,42+0,0875} = 1,898.$$

Оскільки $F_r=2,07>1,890$, умова транспортування виконується: ворох безперервно переміщується до заднього краю решета, забезпечуючи стабільний технологічний процес очистки.

4.2.6. Швидкість переміщення вороху по решету

Середня швидкість переміщення вороху вздовж решета при встановлених кінематичних параметрах:

$$V_{вор} = \frac{2 \cdot r \cdot n \cdot \sin(\delta + \alpha)}{60}, \quad (4.23)$$

де $\delta=25^\circ$ — кут між напрямком коливань і площиною решета;

$$V_{вор} = \frac{2 \cdot 0,022 \cdot 290 \cdot \sin(25^\circ + 5^\circ)}{60} = 0,106 \text{ м/с.}$$

Час перебування вороху на решеті при довжині $l_p=1,30$ м:

$$\tau = \frac{l_p}{V_{вор}} = \frac{1,30}{0,106} = 12,26 \text{ с.}$$

За цей час решето здійснює

$$\frac{n \cdot \tau}{60} = \frac{290 \cdot 12,26}{60} = 59 \text{ коливань,}$$

що є достатнім для забезпечення коефіцієнта сепарації 97,8%.

4.2.7. Кінематика привідного ексцентрикового вала

Привід решета здійснюється від ексцентрикового вала, що обертається з частотою $n=290 \text{ хв}^{-1}$. Ексцентриситет вала дорівнює амплітуді коливань:

$$e = r = 22 \text{ мм.}$$

Лінійна швидкість на радіусі ексцентрика:

$$V_{\text{екс}} = \omega \cdot e = 30,37 \cdot 0,022 = 0,668 \text{ м/с.} \quad (4.24)$$

Прискорення шатунної шийки (доцентрове):

$$a_{\text{екс}} = \omega^2 \cdot e = 30,37^2 \cdot 0,022 = 20,31 \text{ м/с}^2. \quad (4.25)$$

Отримані параметри кінематики ексцентрикового вала збігаються з максимальними параметрами коливань решета, що є закономірним для жорсткого привідного зв'язку без пружних елементів.

4.3. Силкові розрахунки

4.3.1. Маса зернового вороху на решеті

Маса вороху, що одночасно перебуває на верхньому решеті:

$$m_{\text{вор}} = \rho_{\text{вор}} \cdot S_{\text{г}} \cdot h = 180 \cdot 2,50 \cdot 0,200 = 90 \text{ кг,} \quad (4.26)$$

де $\rho_{\text{вор}}=180 \text{ кг/м}^3$ — щільність розпушеного вороху;

$h=0,200 \text{ м}$ — товщина шару вороху.

4.3.2. Сили ваги

Сила ваги верхнього решета:

$$G_p = m_p \cdot g = 38 \cdot 9,81 = 372,8 \text{ Н.} \quad (4.27)$$

Сила ваги вороху на решеті:

$$G_{\text{вор}} = m_{\text{вор}} \cdot g = 90 \cdot 9,81 = 882,9 \text{ Н.} \quad (4.28)$$

Загальна вага рухомої системи (решето+ворох):

$$G_{\text{заг}} = G_p + G_{\text{вор}} = 372,8 + 882,9 = 1255,7 \text{ Н.} \quad (4.29)$$

4.3.3. Сила інерції рухомої системи

Загальна маса рухомої системи:

$$m_{\text{заг}} = m_p + m_{\text{вор}} = 38 + 90 = 128 \text{ кг.} \quad (4.30)$$

Максимальна сила інерції при гармонійних коливаннях:

$$F_{\text{ін}} = m_{\text{заг}} \cdot a_{\text{max}} = 128 \cdot 20,31 = 2599,7 \approx 2600 \text{ Н.} \quad (4.31)$$

Складова сили інерції вздовж площини решета (у напрямку транспортування вороху):

$$F_{\text{ін.нар}} = F_{\text{ін}} \cdot \cos \delta = 2600 \cdot \cos 25^\circ = 2356 \text{ Н.} \quad (4.32)$$

Складова сили інерції нормально до площини решета:

$$F_{\text{ін.норм}} = F_{\text{ін}} \cdot \sin \delta = 2600 \cdot \sin 25^\circ = 1099 \text{ Н.} \quad (4.33)$$

4.3.4. Сили тертя між ворохом і поверхнею решета

Нормальна реакція решета від ваги вороху:

$$N = G_{\text{вор}} \cdot \cos \alpha = 882,9 \cdot \cos 5^\circ = 879,5 \text{ Н.} \quad (4.34)$$

Максимальна сила тертя в прямому ході (ворох ковзає назад відносно решета):

$$N = G_{\text{вор}} \cdot \cos \alpha = 882,9 \cdot \cos 5^\circ = 879,5 \text{ Н.} \quad (4.35)$$

У зворотному ході решета сила тертя змінює знак і спрямована в той же бік, що й інерційна сила, що забезпечує нетто-переміщення вороху вперед по решету.

4.3.5. Сила реакції підвісок решета

Чотири плоскі пружинні підвіски сприймають статичне навантаження від ваги рухомої системи і динамічне навантаження від сили інерції. Сила реакції однієї підвіски (статична складова):

$$F_{\text{підв.ст}} = \frac{G_{\text{заг}}}{4} = \frac{1255,7}{4} = 313,9 \text{ Н.} \quad (4.36)$$

Максимальна динамічна складова на одну підвіску:

$$F_{\text{підв.дин}} = \frac{F_{\text{ін}}}{4} = \frac{2600}{4} = 650 \text{ Н.} \quad (4.37)$$

Сумарне розрахункове зусилля на підвіску:

$$F_{\text{підв}} = F_{\text{підв.ст}} + F_{\text{підв.дин}} = 313,9 + 650 = 963,9 \approx 964 \text{ Н.} \quad (4.38)$$

4.3.6. Сила на привідному ексцентрику

Сила, що передається від ексцентрикового вала на раму решета через шатун, дорівнює рівнодійній сили інерції та сили тертя у напрямку коливань:

$$F_{\text{екс}} = \sqrt{F_{\text{ін}}^2 + F_{\text{тр.мах}}^2} = \sqrt{2600^2 + 369,4^2} = 2626 \text{ Н.} \quad (4.39)$$

4.3.7. Аеродинамічні сили на поверхні решета

Повний аеродинамічний тиск вентиляторів у зоні верхнього решета:

$$P_{\text{аеро}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{пов}} \cdot V_{\text{вент}}^2 = 0,5 \cdot 1,225 \cdot (7,2)^2 = 31,75 \text{ Па.} \quad (4.40)$$

Загальна аеродинамічна підйомна сила, що діє на ворох крізь відкриту площу решета:

$$F_{\text{аеро}} = P_{\text{аеро}} \cdot S_{\text{відкр}} = 31,75 \cdot 0,408 = 12,95 \text{ Н.} \quad (4.41)$$

Ця відносно невелика сила не здатна підняти весь шар вороху, проте вона ефективно розпушує ворох і виносить легкі частки половини.

4.4. Енергетичні розрахунки

4.4.1. Потужність на подолання сил тертя між ворохом і решетом

Середня потужність на подолання тертя визначається з урахуванням знакозмінного характеру сили тертя протягом одного коливання:

$$N_{тр} = F_{тр.мах} \cdot V_{мах} = 369,4 \cdot 0,668 = 246,8 \text{ Вт.} \quad (4.42)$$

4.4.2. Динамічна потужність на привід коливної системи

Потужність на здійснення коливань маси решета та вороху з урахуванням ККД привідного ексцентрикового механізму:

$$N_{дин} = \frac{m_{заг} \cdot r^2 \cdot \omega^3}{4 \cdot \eta_{ред}}, \quad (4.43)$$

де $\eta_{ред}=0,92$ — ККД привідного механізму решета

$$N_{дин} = \frac{128 \cdot 0,022^2 \cdot 30,37^3}{4 \cdot 0,92} = 472,8 \text{ Вт.}$$

4.4.3. Потужність механічних втрат у підшипниках

Потужність втрат у двох підшипниках ексцентрикового вала (тип — сферичні роликопідшипники, коефіцієнт тертя кочення $\mu=0,003$, діаметр цапфи $d_u=45$ мм):

$$N_{підш} = \frac{\mu \cdot F_{екс} \cdot V_{екс} \cdot \frac{d_u}{2}}{r \cdot 2}, \quad (4.44)$$

де $F_{екс}=2626$ Н — сила на ексцентрику;

$V_{екс}=0,668$ м/с

$$N_{підш} = 2 \cdot \mu \cdot F_{екс} \cdot V_{екс} = 2 \cdot 0,003 \cdot 2626 \cdot 0,668 = 10,5 \text{ Вт.}$$

4.4.4. Сумарна потужність на привід верхнього решета

$$N_{\text{реш}} = N_{\text{тр}} + N_{\text{дин}} + N_{\text{ніди}} = 246,8 + 472,8 + 10,5 = 730,1 \text{ Вт} \approx 0,73 \text{ кВт.} \quad (4.45)$$

4.4.5. Потужність вентиляторної системи у зоні верхнього решета

Потужність на переміщення повітря у зоні верхнього решета (частка загальної потужності вентиляторів, пропорційна площі верхнього решета до загальної площі очистки):

$$N_{\text{вент.в}} = \frac{N_{\text{вент.заг}} \cdot S_{\text{в}}}{S_{\text{заг}}}, \quad (4.46)$$

де $N_{\text{вент.заг}}$ — загальна потужність вентиляторів

$$N_{\text{вент.заг}} = P_{\text{аеро}} \cdot Q_{\text{вент}} = 31,75 \cdot 9,83 = 312,1 \text{ Вт,}$$

$$N_{\text{вент.в}} = \frac{312,1 \cdot 2,50}{5,20} = 150,1 \text{ Вт} \approx 0,15 \text{ кВт.}$$

4.4.6. Загальна потужність очисної системи у зоні верхнього решета

$$N_{\text{заг.в}} = N_{\text{реш}} + N_{\text{вент.в}} = 730,1 + 150,1 = 880,2 \text{ Вт} \approx 0,88 \text{ кВт.} \quad (4.47)$$

Питома енергоємність процесу очистки на верхньому решеті:

$$N_{\text{пит}} = \frac{N_{\text{заг.в}}}{Q_{\text{ов}}} = \frac{880,2}{7,45} = 118,1 \text{ Вт} \cdot \text{с/кг} = 0,118 \text{ кДж/кг.} \quad (4.48)$$

Отримане значення питомої енергоємності (0,118 кДж/кг) є типовим для жалюзійних решіт сучасних зернозбиральних комбайнів (нормативний діапазон: 0,08–0,18 кДж/кг), що підтверджує енергетичну ефективність прийнятих параметрів коливань і геометрії решета.

4.5. Розрахунки на міцність

4.5.1. Розрахунок пружних підвісок решета

Верхнє решето підвішується на чотирьох плоских пружинних пластинах (підвісках) зі сталі 65Г (ДСТУ 14959-79): межа витривалості при симетричному циклі $\sigma_{-1}=340$ МПа, модуль пружності $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа, межа плинності $\sigma_T=640$ МПа. Кожна підвіска являє собою плоску консольну балку, жорстко закріплену у верхній точці і шарнірно з'єднану з рамою решета.

Вихідні розміри підвіски: ширина $b=80$ мм; товщина $h=6$ мм; розрахункова довжина $l_n=280$ мм.

Жорсткість однієї підвіски у напрямку коливань (консольна балка):

$$C = \frac{E \cdot b \cdot h^3}{4 \cdot l_n^3}, \quad (4.49)$$

$$C = \frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,080 \cdot 0,006^3}{4 \cdot 0,280^3} = 41324 \text{ Н/м} \approx 41,3 \text{ кН/м}.$$

Загальна жорсткість чотирьох паралельних підвісок:

$$C_{\text{заг}} = 4 \cdot C = 4 \cdot 41324 = 165296 \text{ Н/м} \approx 165,3 \text{ кН/м}. \quad (4.50)$$

Максимальне напруження згину у підвісці при максимальному відхиленні $r=22$ мм:

$$\sigma_{\text{зг}} = \frac{E \cdot h \cdot r}{2 \cdot l_n^2}, \quad (4.51)$$

$$\sigma_{\text{зг}} = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 6 \cdot 22}{2 \cdot 280^2} = 176,8 \text{ МПа}.$$

Перевірка за умовою витривалості при симетричному циклі згину ($\sigma_{-1}=340$ МПа):

$$S = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma} \cdot \sigma_{\text{зг}}}, \quad (4.52)$$

де $K_\sigma=1,05$ — коефіцієнт концентрації напружень при пружному згині плоскої пластини без надрізів.

$$S = \frac{340}{1,05 \cdot 176,8} = 1,83.$$

Умова міцності $S=1,83>[S]=1,5$ виконується. Підвіски мають достатній запас витривалості при роботі в умовах знакозмінного циклічного навантаження.

4.5.2. Власна частота коливань системи решето–підвіски та перевірка на резонанс

Власна частота коливань системи:

$$\omega_{вл} = \sqrt{\frac{C_{заг}}{m_{заг}}} = \sqrt{\frac{165296}{128}} = 35,94 \text{ рад/с}, \quad (4.53)$$

$$n_{вл} = \frac{\omega_{вл} \cdot 60}{2\pi} = \frac{35,94 \cdot 60}{6,2832} = 343,3 \text{ хв}^{-1}. \quad (4.54)$$

Коефіцієнт частотного відношення (відношення робочої частоти до власної):

$$\eta = \frac{n}{n_{вл}} = \frac{290}{343,3} = 0,845. \quad (4.55)$$

Оскільки $\eta=0,845<1$, система працює в дорезонансному режимі з відстанню від резонансу 15,5%, що забезпечує стабільну роботу без небезпечного зростання амплітуд. Умова уникнення резонансу виконується.

4.5.3. Розрахунок рамних балок верхнього решета

Рама верхнього решета комбайна John Deere W550i виготовлена з алюмінієвого сплаву АМг-6 ($\sigma_T=220$ МПа, $\sigma_{-1}=90$ МПа, $E=7,1 \cdot 10^4$ МПа). Несучими елементами є дві поздовжні балки П-подібного профілю, що

сприймають рівномірно розподілене навантаження від маси вороху і коливних сил інерції.

Рівномірно розподілене навантаження від ваги вороху на одну поздовжню балку:

$$q_G = \frac{G_{\text{вор}}}{2 \cdot l_p} = \frac{882,9}{2 \cdot 1,30} = 339,6 \text{ Н/м.} \quad (4.56)$$

Рівномірно розподілена інерційна сила на балку при максимальному прискоренні:

$$q_{\text{ін}} = \frac{F_{\text{ін.норм}}}{2 \cdot l_p} = \frac{1099}{2 \cdot 1,30} = 422,7 \text{ Н/м.} \quad (4.57)$$

де $F_{\text{ін.норм}}=1099 \text{ Н}$ — нормальна до площини решета складова сили інерції.

Сумарне розрахункове розподілене навантаження:

$$q_{\text{розр}} = q_G + q_{\text{ін}} = 339,6 + 422,7 = 762,3 \text{ Н/м.} \quad (4.58)$$

Максимальний згинаючий момент у середині прольоту (балка на шарнірних опорах):

$$M_{\text{max}} = \frac{q_{\text{розр}} \cdot l_p^2}{8} = \frac{762,3 \cdot 1,30^2}{8} = 161,0 \text{ Н·м.} \quad (4.59)$$

Приймаємо П-подібний профіль перетину поздовжньої балки: висота $H=80 \text{ мм}$, ширина фланця $B=50 \text{ мм}$, товщина стінки і полиць $t=4 \text{ мм}$. Момент опору перетину:

$$W_x = \frac{B \cdot H^3 - (B - t) \cdot (H - 2t)^3}{6 \cdot H}, \quad (4.60)$$

$$W_x = \frac{50 \cdot 80^3 - 46 \cdot 72^3}{6 \cdot 80} = 17563 \text{ мм}^3 = 17,56 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Максимальне напруження згину в балці:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{161,0}{17,56 \cdot 10^{-6}} = 9,17 \cdot 10^6 \text{ Па} = 9,17 \text{ МПа.} \quad (4.61)$$

Перевірка за умовою витривалості при симетричному циклі ($\sigma_{-1}=90$ МПа для АМГ-6):

$$S = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{max}} = \frac{90}{9,17} = 9,8. \quad (4.62)$$

Запас міцності $S=9,8$ є значним, що пояснюється вибором профілю не за умовами мінімальної маси, а за конструктивними міркуваннями (жорсткість рами, кріплення осей жалюзі, приєднання підвісок). Такий запас узгоджується з практикою проектування рам решіт зернозбиральних комбайнів.

4.5.4. Розрахунок осей жалюзі на згин

Кожна пластина жалюзі закріплена на поздовжніх брусах рами двома опорними осями. Вісь виготовляється зі сталі Ст.5 ($\sigma_T=290$ МПа, $\sigma_{-1}=200$ МПа). Ось розглядається як двоопорна балка прольотом $l_o=B_p=1923$ мм, навантажена рівномірно розподіленою силою від тиску вороху та аеродинамічного потоку.

Навантаження на одну вісь жалюзі від тиску вороху (кількість пластин жалюзі $n_{жс}=l_p/t=1300/25=52$ пластини; крок між осями $t=25$ мм):

$$q_o = \frac{G_{вор}}{n_{жс} \cdot l_o} = \frac{882,9}{52 \cdot 1,923} = 8,83 \text{ Н/м.} \quad (4.63)$$

Максимальний згинаючий момент у середині осі:

$$M_o = \frac{q_o \cdot l_o^2}{8} = \frac{8,83 \cdot 1,923^2}{8} = 4,08 \text{ Н·м.} \quad (4.64)$$

Діаметр осі жалюзі $d=6$ мм. Момент опору круглого перетину:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 0,006^3}{32} = 2,12 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3. \quad (4.65)$$

Максимальне напруження згину:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W} = \frac{4,08}{2,12 \cdot 10^{-8}} = 192,5 \cdot 10^6 \text{ Па} = 192,5 \text{ МПа}. \quad (4.66)$$

Коефіцієнт запасу за витривалістю:

$$S = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma \cdot \sigma_o} = \frac{200}{1,6 \cdot 192,5} = 0,65. \quad (4.67)$$

Коефіцієнт запасу $S=0,65 < [S]=1,5$, що свідчить про недостатню міцність суцільної осі діаметром 6 мм при прольоті 1923 мм. Визначаємо необхідний діаметр осі з умови міцності:

$$d = \frac{32 \cdot M_o \cdot K}{(\pi \cdot \sigma_{-1})^{\frac{1}{3}}}, \quad (4.68)$$

$$d = \frac{32 \cdot 4,08 \cdot 1,6}{(3,1416 \cdot 200 \cdot 10^6)^{\frac{1}{3}}} = 6,93 \cdot 10^{-3} \text{ м} \approx 7,0 \text{ мм}.$$

Приймаємо діаметр осі жалюзі $d=8$ мм з урахуванням стандартного ряду розмірів. Перевіримо:

$$W = \frac{\pi \cdot 0,008^3}{32} = 5,03 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3,$$

$$\sigma_o = \frac{4,08}{5,03 \cdot 10^{-8}} = 81,1 \text{ МПа},$$

$$S = \frac{200}{1,6 \cdot 81,1} = 1,54 > [S]=1,5.$$

При прийнятому діаметрі осі $d=8$ мм коефіцієнт запасу $S=1,54 > [S]=1,5$ — умова міцності виконується.

4.5.5. Розрахунок ексцентрикового привідного вала на втому

Привідний ексцентриковий вал виготовлений зі сталі 45 ($\sigma_T=360$ МПа, $\sigma_{-1}=250$ МПа, $K_\sigma=1,65$ — для вала з галтелями). Вал обертається з частотою

$n=290 \text{ хв}^{-1}$ і сприймає навантаження $F_{\text{екс}}=2626 \text{ Н}$ від шатуна.

Відстань між опорами вала (підшипниками) $l_{\text{в}}=320 \text{ мм}$. Навантаження прикладено посередині прольоту (в зоні ексцентрика).

Максимальний згинаючий момент у найнебезпечнішому перетині вала:

$$M_{\text{в}} = \frac{F_{\text{екс}} \cdot l_{\text{в}}}{4} = \frac{2626 \cdot 0,320}{4} = 210,1 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (4.69)$$

При обертанні вала цикл напружень є симетричним ($R=-1$). Діаметр вала у небезпечному перетині $d_{\text{в}}=50 \text{ мм}$. Момент опору:

$$W_{\text{в}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{в}}^3}{32} = \frac{\pi \cdot 0,050^3}{32} = 1,227 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3. \quad (4.70)$$

Амплітуда напружень у небезпечному перетині:

$$\sigma_a = \frac{M_{\text{в}}}{W_{\text{в}}} = \frac{210,1}{1,227 \cdot 10^{-5}} = 17,12 \cdot 10^6 \text{ Па} = 17,12 \text{ МПа}. \quad (4.71)$$

Коефіцієнт запасу за витривалістю:

$$S = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma} \cdot \sigma_a} = \frac{250}{1,65 \cdot 17,12} = 8,85. \quad (4.72)$$

Значний запас міцності привідного вала ($S=8,85$) є закономірним результатом, оскільки діаметр вала $d_{\text{в}}=50 \text{ мм}$ визначається не розрахунками на міцність, а конструктивними міркуваннями: посадковими розмірами підшипників, розмірами шпонкових пазів і загальним компоновочним рішенням привідного вузла молотарки.

Усі розраховані параметри знаходяться в межах допустимих значень. Верхнє жалюзійне решето комбайна John Deere W550i при заданих режимах роботи забезпечує нормативну технологічну ефективність, задовільні кінематичні та силові характеристики, допустимий рівень енерговитрат і необхідні показники міцності всіх конструктивних елементів.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

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

Ця інструкція встановлює вимоги безпеки під час підготовки, експлуатації та технічного обслуговування зернозбирального комбайна John Deere W550i і поширюється на працівників, допущених до самостійного керування цією машиною.

До роботи на комбайні допускаються особи віком не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, не мають протипоказань за станом здоров'я, мають посвідчення тракториста-машиніста відповідної категорії, пройшли вступний та первинний інструктаж з охорони праці, стажування на робочому місці та перевірку знань цієї інструкції.

Оператор комбайна повинен проходити повторний інструктаж з охорони праці не рідше одного разу на три місяці, а також позаплановий інструктаж — у разі зміни технологічного процесу, після нещасного випадку чи аварії, при перерві в роботі понад 30 календарних днів.

Під час роботи на комбайні на оператора можуть діяти такі основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори: рухомі та обертові частини машини (молотильний барабан, соломотряс, шнеки, ножі жатки, привідні вали, ремені та ланцюгові передачі); підвищена запиленість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму та вібрації; підвищена температура поверхонь двигуна, випускного колектора та дизельного фільтра сажі (DPF); електричний струм у разі несправності електрообладнання; пожежна небезпека через скупчення пилу, полови та рослинних решток поблизу гарячих вузлів двигуна; падіння з висоти при обслуговуванні бункера, кабіни чи верхніх вузлів молотарки; шкідливі викиди відпрацьованих газів двигуна.

Оператор зобов'язаний працювати у спецодязі, що не має звисаючих елементів (краваток, шарфів, незаправлених рукавів), використовувати засоби індивідуального захисту: захисні навушники або беруші при тривалій роботі, респіратор протипиловий, захисні рукавиці при технічному обслуговуванні, захисне взуття з неслизькою підошвою.

Забороняється допускати до керування комбайном та перебування в кабіні сторонніх осіб, а також осіб у стані алкогольного, наркотичного чи токсичного сп'яніння або осіб, що приймали лікарські засоби, які знижують швидкість реакції.

За невиконання вимог цієї інструкції оператор несе відповідальність згідно з чинним законодавством.

Оглянути комбайн John Deere W550i зовні, переконатися у відсутності підтікань палива, мастила, охолоджувальної рідини та гідравлічної рідини, цілісності захисних кожухів молотильного апарата, ножа жатки, ременів та ланцюгових передач.

Перевірити стан запобіжних щитків і огорожень карданних валів, шнеків похилої камери, привода мотовила та різального апарата жатки. Експлуатація комбайна з демонтованими або пошкодженими захисними кожухами забороняється.

Перевірити справність систем сигналізації, звукового сигналу, дзеркал заднього огляду, камер заднього огляду (за наявності), систем освітлення, а також справність гальм та стоянкового гальма.

Перевірити рівень палива, охолоджувальної рідини, моторного та гідравлічного мастил. Долив зазначених рідин здійснюється тільки при непрацюючому двигуні.

Переконатися у вільному обертанні всіх робочих органів, відсутності сторонніх предметів у молотильному апараті, соломотрясі, очисній системі та на жниварці. Перед запуском двигуна подати попереджувальний звуковий сигнал.

Перевірити наявність та укомплектованість аптечки першої медичної допомоги, вогнегасника (не менше двох вогнегасників на комбайн — порошкового та вуглекислотного типів), знаку аварійної зупинки.

Перед запуском двигуна перевірити, що всі важелі керування знаходяться в нейтральному положенні, важіль робочих органів — у вимкненому стані, стоянкове гальмо — увімкнене.

Запуск двигуна здійснювати тільки з кабіни оператора, перебуваючи на сидінні. Перед запуском переконатися, що поблизу комбайна немає людей, тварин чи перешкод.

Включення молотильного апарата, жатки та інших робочих органів виконувати лише після прогрівання двигуна, плавно, без ривків, з кабіни оператора з використанням передбачених конструкцією перемикачів.

Під час роботи комбайна категорично забороняється: перебувати або проводити будь-які роботи в зоні різального апарата, мотовила, шнека жатки, похилої камери, молотильного барабана, соломотряса, очисної системи, подрібнювача соломи та розкидача полови при працюючому двигуні; усувати забивання робочих органів, очищати решета, шнеки чи різальний апарат руками або підручними засобами без зупинки двигуна та виймання ключа із замка запалювання; залишати комбайн з працюючим двигуном без нагляду; перевозити сторонніх осіб у кабіні та на комбайні; перебувати під піднятою жаткою без встановлення механічного запобіжника (стійки безпеки) похилої камери; курити та користуватися відкритим вогнем поблизу паливного баку та системи живлення двигуна.

Регулювання робочих органів очисної системи (верхнього та нижнього жалюзійних решіт, вентиляторів), молотильного зазору та частоти обертання молотильного барабана виконувати за допомогою електронної системи керування CommandCenter без зупинки роботи лише в межах, передбачених штатними органами керування з кабіни. Будь-яке механічне втручання у

вузли очистки чи молотарки допускається тільки при повністю зупиненому двигуні.

При виявленні стороннього предмета, постороннього шуму, стуку, диму чи запаху горілого в зоні молотильного апарата або трансмісії необхідно негайно вимкнути робочі органи, зупинити двигун, вийняти ключ запалювання і лише після цього розпочинати усунення несправності.

Розвантаження зернового бункера виконувати тільки на рівній поверхні при включеному вивантажувальному шнеку, контролюючи відсутність людей і перешкод у зоні дії вивантажувального шнека та його розмаху (до 105°). Забороняється перебування людей під вивантажувальним шнеком під час розвантаження.

Під час роботи на схилах використовувати систему вирівнювання корпусу HillMaster відповідно до вказівок виробника; не перевищувати граничний кут нахилу місцевості, встановлений технічною документацією комбайна (до 22 % для модифікації з HillMaster); рух поперек схилу та різкі повороти на крутих схилах не допускаються.

При роботі в умовах підвищеної запиленості (суха солома, низька вологість хлібостою) контролювати температуру вихлопної системи та регулярно очищати двигун, дизельний фільтр сажі (DPF) і моторний відсік від пилу та полови для запобігання займанню. Очищення від рослинних решток виконувати стисненим повітрям при непрацюючому і охолодженому двигуні.

Транспортування комбайна дорогами загального користування здійснювати з увімкненим режимом дорожнього транспортування, складеною жаткою або з демонтованою жаткою на спеціальному причепі, з увімкненими проблисковими маяками та дотриманням Правил дорожнього руху.

Заправлення комбайна паливом проводити тільки при непрацюючому двигуні, з дотриманням заходів пожежної безпеки, без застосування відкритого вогню та електроприладів, що можуть спричинити іскріння.

У разі виникнення пожежі негайно зупинити двигун, вимкнути всі робочі органи, від'їхати комбайном від стерні чи скошеної маси на відстань не менше 30 метрів, повідомити про пожежу керівника робіт та службу пожежної охорони, розпочати гасіння наявними вогнегасниками, не наражаючи себе на небезпеку.

У разі забивання робочих органів (молотильного апарата, жатки, шнеків) хлібною масою — негайно вимкнути привід відповідного вузла, зупинити двигун, вийняти ключ запалювання, і лише після цього виконувати очищення механічними засобами, передбаченими інструкцією з експлуатації заводу-виробника.

При попаданні частини тіла, одягу чи кінцівок у рухомі частини машини необхідно негайно зупинити двигун, після повної зупинки робочих органів — обережно звільнити потерпілого, надати першу домедичну допомогу, викликати бригаду екстреної медичної допомоги, повідомити керівника робіт.

У разі переверту або з'їзду комбайна на крутому схилі — вимкнути двигун, по можливості залишити кабінку через аварійний вихід, відійти на безпечну відстань, повідомити керівника робіт.

При ураженні електричним струмом — знеструмити обладнання, надати потерпілому першу допомогу, за необхідності розпочати реанімаційні заходи, викликати швидку медичну допомогу.

Про кожний нещасний випадок, аварійну ситуацію чи несправність, що загрожує безпеці, оператор зобов'язаний негайно повідомити безпосереднього керівника робіт і вжити заходів для недопущення подальшого травмування людей.

Вимкнути робочі органи, опустити жатку на ґрунт або встановити на підставки, заглушити двигун, вийняти ключ запалювання.

Очистити комбайн від пилу, полови та рослинних решток, особливу увагу приділити моторному відсіку, зоні вихлопної системи та дизельного фільтра сажі (DPF) з метою пожежної безпеки.

Оглянути робочі органи, перевірити стан ножів різального апарата, ременів, ланцюгів та кріплення захисних кожухів; про виявлені несправності повідомити механіка або керівника робіт і зробити запис у журналі обліку технічного стану машини.

Поставити комбайн на майданчик стоянки, увімкнути стоянкове гальмо, під колеса (за потреби, на схилі) підкласти упорні колодки.

Зняти спецодяг і засоби індивідуального захисту, ретельно вимити руки та обличчя з милом, за необхідності прийняти душ.

Повідомити безпосереднього керівника робіт про всі недоліки, виявлені під час роботи комбайна, що мали або можуть мати значення для безпеки наступної експлуатації машини.

ВИСНОВКИ

За результатами виконаної роботи можна сформулювати наступні висновки.

Аналіз існуючих технологій вирощування озимого тритикале показав, що ця культура має не повною мірою реалізований потенціал завдяки поєднанню цінних властивостей пшениці та жита — підвищеного вмісту білка в зерні, морозостійкості, посухостійкості та здатності формувати задовільний урожай на ґрунтах зі зниженою родючістю. Виявлено, що базова технологія вирощування, побудована за аналогією з озимою пшеницею, не повною мірою враховує специфічні біологічні особливості тритикале, що визначає необхідність її цілеспрямованого вдосконалення.

Запропоновані агротехнічні удосконалення дозволяють знизити ризик вилягання та забезпечити своєчасний і диференційований вибір способу збирання відповідно до фактичного стану кожного конкретного поля.

Обґрунтовано, що м'який тангенціальний режим обмолоту, розширена очисна система із гнучким регулюванням жалюзійних решіт, система автоматичної адаптації та системи вирівнювання комбайна John Deere W550i — відповідають специфічним вимогам якісного збирання тритикале: збереженню цілісності великої зернівки, ефективному очищенню вороху різної вологості та забур'яненості, а також стабільній роботі на похилих ділянках, типових для зон вирощування культури. Це підтверджує доцільність застосування даної машини для збирання врожаю тритикале в умовах скорочених, порівняно з пшеницею, оптимальних строків збиральної кампанії.

Таким чином, доведено доцільність використання комбайна John Deere W550i для збирання врожаю цієї культури та підтверджено розрахунками відповідність конструктивних параметрів його очисної системи вимогам ефективного та якісного технологічного процесу.

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-robit-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/rosl/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-viroshuvannya-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/sampled_data/recomendaciy/recomdaciya2018.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_propozitsii%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_propozitsii%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/Roslynnnytstvo_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/avto-ref-senyk.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., Кіашко 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. закл. 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 «ХПІ», 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.