

Центральноукраїнський національний технічний університет
Центр заочної та дистанційної освіти
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 ячменю з удосконаленням жатки
очісувального типу»

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,
групи АІ-22з-1
ОПП «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія»
_____ Радзіховський Дмитро Михайлович
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ Дмитро ПЕТРЕНКО
« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент
доцент, канд. техн. наук
_____ Олег БЕВЗ
« ____ » _____ 2026 р.

Анотація

Тема: «Механізація вирощування ячменю з удосконаленням жатки очісувального типу»

Робота присвячена механізації вирощування ячменю з удосконаленням очісувальної жатки для збирання комбайном Massey Ferguson 7272. Обґрунтовано конструкцію з активним бітером-відбивачем та очісувальним ротором. Встановлено оптимальну швидкість гребінок, що мінімізує втрати до 1,5%. Доведено, що двороторна схема створює ефект вакууму для підйому полеглих стебел. Впровадження технології знижує витрати пального на 35...40% та підвищує продуктивність до 4,75 га/год.

Ключові слова: очісувальна жатка, ячмінь, бітер-відбивач, енергоощадність, ротор, гребінка, продуктивність

Abstract

Topic: «Mechanization of barley cultivation with improvement of the peeling type harvester»

The work is dedicated to the mechanization of barley cultivation through the improvement of a stripper header for harvesting with the Massey Ferguson 7272 combine. A design featuring an active beater-reflector and a stripping rotor has been substantiated. The optimal comb speed has been established, minimizing grain losses to 1.5%. It is proven that the twin-rotor configuration creates a vacuum effect to lift lodged stalks. Implementation of this technology reduces fuel consumption by 35...40% and increases productivity up to 4.75 ha/h.

Keywords: stripper header, barley, beater-reflector, energy saving, rotor, comb, productivity

ЗМІСТ

Номер розділу	Структурна одиниця і розділ	Сторінка
1	Вступ	
2	Аналіз технології вирощування ячменю	
3	Операційна технологія збирання ячменю	
4	Інженерна частина	
5	Охорона праці	
6	Загальні висновки	
-	Список використаної літератури	
-	Додатки	

1. ВСТУП.

Ячмінь традиційно займає стратегічне місце у світовому та вітчизняному агровиробництві. Для України ця культура є не лише фундаментом кормової бази тваринництва та незамінною сировиною для переробної промисловості, а й потужним експортним активом [1, 3]. Завдяки своїй адаптивності до різних кліматичних зон, ячмінь залишається однією з найбільш стабільних зернових культур, що забезпечує продовольчу безпеку держави навіть у складних погодних умовах.

Проте сучасні виклики – зростання вартості енергоносіїв та необхідність збереження вологості в ґрунті, вимагають докорінного перегляду класичних підходів до його вирощування. Найбільш енергоємним етапом у технологічному циклі є збирання врожаю. Традиційне комбайнування із суцільним зрізом хлібостою має низку недоліків: високі витрати палива на переробку соломистої маси, обмежену швидкість роботи та значні втрати зерна за несприятливих умов [10].

У цьому контексті особливої актуальності набуває технологія збирання методом очісування зерна на стеблі [10, 11]. На відміну від класичного зрізу, очісувальна жатка знімає лише зернову частину, залишаючи стебла стояти в полі. Це сприяє тому, що комбайн працює швидше, оскільки через молотарку проходить мінімальна кількість соломи, зменшується навантаження на вузли комбайна, що дозволяє суттєво знизити питому витрату палива на тонну зібраного зерна. Висока стерня, що залишається на полі, сприяє ефективному снігозатриманню та захищає ґрунт від вітрової ерозії, що є критично важливим для південних регіонів України.

Незважаючи на очевидні плюси, широке впровадження цієї технології стримується конструктивними недоліками існуючих робочих органів, які

					МВЯ 00.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Пояснювальна записка					Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Радзіховський											
Перев.	Петренко											
Н.контр.	Артеменко									ЦНТУ, гр. АІ-22з-1		
Затв.	Васильковський											

можуть спричиняти пошкодження зерна або недосконало працювати на засмічених посівах. Саме тому удосконалення жатки очісувального типу є пріоритетним завданням, що дозволить поєднати високу швидкість збирання з мінімальними втратами врожаю.

Дана робота присвячена обґрунтуванню параметрів та вдосконаленню конструкції очісувального пристрою, що дозволить підвищити техніко-економічні показники механізації вирощування ячменю в сучасних умовах господарювання.

2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЯЧМЕНЮ.

Місце в сівозміні.

Ячмінь має слабшу кореневу систему порівняно з пшеницею чи житом, тому він надзвичайно чутливий до попередників, які залишають після себе чисте поле та доступні поживні речовини [2-4].

Найвищу врожайність ячмінь демонструє після культур, що рано звільняють поле та пригнічують бур'яни:

- просапні культури – кукурудза на силос, картопля та цукрові буряки є ідеальними варіантами [5]. Вони залишають ґрунт у розпушеному стані та збагачують його мікроелементами;

- зернобобові – горох, соя та нут насичують землю біологічним азотом, що дозволяє суттєво зекономити на мінеральних добривах (особливо при вирощуванні фуражних сортів) [6];

- озимий ріпак – його кореневі виділення та ранній термін збирання створюють відмінне «ложе» для ячменю [2].

Хоча ячмінь часто висівають після інших зернових, це несе певні ризики. Висів ячменю після озимої пшениці допустимий, але вимагає посиленого захисту від фузаріозу та корневих гнилей. Соняшник вважається складним попередником через сильне висушування ґрунту та проблему

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

падалиці, яка важко контролюється в посівах ячменю [2, 4]. Заборонено монокультуру – категорично не рекомендується сіяти ячмінь після ячменю, оскільки це призводить до накопичення специфічних шкідників та хвороб (наприклад, смугастої плямистості), що нівелює будь-які переваги технологічних інновацій.

Система удобрення.

Оскільки ячмінь має стислий період вегетації та порівняно слабку кореневу систему, він потребує «легкодоступного» живлення вже з перших днів після проростання.

Ефективна система добрив базується на врахуванні цільового призначення врожаю. Фуражний ячмінь потребує максимуму білка (більше азоту), тоді як пивоварний – обмеженого вмісту білка (6...12%) та високої крохмалистості.

Азот є головним рушієм росту, але з ячменем він працює неоднозначно. Найбільша потреба виникає у фазах кущення та виходу в трубку [7]. Надлишок азоту на пізніх етапах призводить до вилягання посівів, підвищення вразливості до борошнистої роси та погіршення пивоварних якостей. Оптимальна норма зазвичай становить 30...60 кг/га діючої речовини, залежно від попередника.

Фосфорно-калійний захист – ці елементи відповідають за «імунітет» та міцність стебла. Фосфор стимулює розвиток потужної кореневої системи та прискорює дозрівання. Важливо вносити основну частину під осінню обробку або при посіві [2, 7]. Калій підвищує стійкість до посухи та заморозків, а також зміцнює соломку, що критично важливо для запобігання виляганням перед збиранням [7].

Мікроелементи у малих дозах чинять великий вплив. Ячмінь гостро реагує на дефіцит специфічних мезо- та мікроелементів [2, 6, 7]: магній (Mg) та сірка (S) покращують засвоєння азоту та фотосинтез; мідь (Cu) – без неї часто спостерігається «пустоколосиця» та слабе виповнення зерна;

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

марганець (Mn) важливий для вуглеводного обміну, особливо на ґрунтах з високим вмістом гумусу.

Таблиця 2.1 – Етапи внесення добрив [2, 6, 7]

Етап внесення	Тип добрив	Основна мета
Основне (осінь)	Р, К (суперфосфат, хлористий калій)	Створення фонового запасу поживних речовин.
Припосівне (рядки)	Складні добрива (NPK)	Швидкий старт та розвиток коренів у холодній землі.
Підживлення (фаза кушення)	Аміачна селітра або КАС	Стимулювання кушення та формування кількості зерен у колосі.
Позакореневе (по листу)	Хелати мікроелементів, карбамід	Коригування дефіциту та зняття стресу від пестицидів.

Ячмінь має одну з найнижчих серед зернових здатність засвоювати фосфор з важкорозчинних сполук ґрунту. Тому внесення навіть невеликої дози водорозчинного фосфору безпосередньо в рядок під час посіву часто дає більший приріст врожаю, ніж високі дози розкидного добрива восени.

Система підготовки ґрунту.

Оскільки насіння ячменю потребує значної кількості вологи для набухання (близько 50% від власної ваги), головна мета обробітку – створити щільне «ложе» та пухкий верхній шар.

Ячмінь надзвичайно чутливий до якості передпосівної підготовки. Ідеальна структура ґрунту має нагадувати багатошаровий пиріг [3]: знизу – ущільнений шар для підтягування капілярної вологи, зверху – дрібногрудкувата мульча для запобігання випаровуванню.

Вибір методу основного обробітку залежить від попередника та зони вирощування (Полісся, Лісостеп чи Степ). Класична оранка (20...22 см)

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

найкраще працює після кукурудзи або соняшнику. Вона дозволяє глибоко закласти рослинні рештки та знищити збудників хвороб. Проте в умовах посухи оранка призводить до критичної втрати вологи.

Чизельний або дисковий обробіток (безвідвальний) є більш прогресивним методом для Степу [3]. Залишає частину стерні на поверхні, що захищає ґрунт від перегріву та вітрової ерозії.

No-till (нульовий обробіток) передбачає прямий висів у необроблений ґрунт. Ця система стає дедалі популярнішою при вирощуванні ячменю після зернобобових, оскільки зберігає структуру каналів, прокладених корінням попередника.

Передпосівна підготовка (табл. 2.2) – це етап, де припускається найбільше помилок. Для ячменю критично важливо «закрити вологу» якнайраніше. Ранньовесняне боронування проводиться при першій можливості виходу в поле (фізична стиглість ґрунту). Воно руйнує капіляри, якими виходить вода.

Глибина культивації повинна чітко відповідати глибині посіву (3...5 см). Якщо розпушити ґрунт глибше, насіння «провалиться», сходи будуть пізніми та нерівномірними, а рослини – слабкими.

Прикочування є обов'язковим прийомом, особливо у посушливі роки. Воно забезпечує контакт насінини з ґрунтом, що прискорює проростання на 2...3 дні.

Таблиця 2.2 – Специфіка підготовки ґрунту під посів ячменю

Характеристика	Оптимальне значення	Функція
Глибина розпушування	4...5 см (перед посівом)	Запобігає пересиханню посівного ложа.
Розмір грудочок	0,5...3 см	Забезпечує найкращий газообмін та доступ вологи.
Щільність ґрунту	1,1...1,25 г/см ³	Оптимум для проникнення первинних коренів.
Забур'яненість	Мінімальна	Ячмінь на ранніх етапах слабо конкурує з бур'янами.

Підготовка до посіву та посів.

Підготовка насіння та безпосередньо процес посіву – це етап, де закладається генетичний потенціал урожаю. Для ячменю, який має один із найкоротших періодів формування первинних коренів, будь-яка затримка або помилка на цьому етапі може призвести до втрати до 25...30% запланованого збору [4].

Ячмінь схильний до внутрішньо-насіннєвих інфекцій (наприклад, летучої сажки), тому підготовка починається задовго до виходу в поле [2, 4]. Важливим є використання посівмату відповідного класу – лише великої, виповненої фракції насіння (маса 1000 зернин понад 40...45 г). Важке насіння дає міцніші проростки, які швидше пробивають ґрунтову кірку.

Протруювання є обов'язковим етапом підготовки посівмату [3-5]. Сучасні препарати мають бути комбінованими: фунгіцид (проти гнилей та сажки) + інсектицид (проти ґрунтових шкідників та злакових мух) + стимулятор росту.

Витримування насіння на сонці або в теплих приміщеннях протягом 3...5 днів перед посівом активує ферменти та підвищує енергію проростання.

Ячмінь – культура «надраннього» висіву. Його сіють у перші дні виходу в поле, як тільки ґрунт перестає «мазатися». Затримка на 5...7 днів від початку польових робіт призводить до того, що верхній шар ґрунту пересихає, а вторинна коренева система ячменю не встигає розвинути до настання спеки.

Норма висіву залежить від зони та сорту, але в середньому становить: Полісся та Лісостеп – 4,5...5,5 млн схожих насінин на 1 га; Степ – 3,5...4,0 млн схожих насінин на 1 га (для економії вологи).

Глибина загортання – це критичний параметр, який залежить від вологості ґрунту. На важких, зволжених ґрунтах рекомендовано 3...4 см, на легких або пересушених – 5...6 см. Якщо загорнути ячмінь глибше 6 см,

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

енергія паростка вичерпається ще до виходу на поверхню, що призведе до зріджених посівів та слабого кущення.

Сучасна механізація пропонує три основні підходи до посіву ячменю [1, 4]. Рядковий (з міжряддям 15 см) – класичний метод, що забезпечує стабільну врожайність. Вузькорядний (7,5...10 см) забезпечує більш рівномірну площу живлення для кожної рослини, що знижує конкуренцію всередині рядка. Перехресний посів дає найкращий розподіл рослин, але подвоює витрати пального та час роботи техніки. Повинна забезпечуватись рівномірність глибини – відхилення не повинно перевищувати $\pm 0,5$ см.

Сучасні посівні комплекси обладнані прикочуючими елементами, які створюють контакт насіння з ґрунтом для швидкого підтягування вологи.

Догляд за посівами.

Догляд за посівами ячменю – це етап, мета якого зберегти закладений при посіві потенціал і мінімізувати вплив стресових факторів.

Системи догляду [2, 4].

Боронування – механічний контроль та аерація. Цей прийом виконується ще до появи сходів (досходове) або у фазі 3-х листків (післясходове). Досходове боронування проводиться через 4...5 днів після посіву легкими боронами. Воно руйнує ґрунтову кірку та знищує до 80% проростків однорічних бур'янів у фазі «білої ниточки».

Післясходове боронування важливо проводити в денні години, коли тургор рослин знижений (вони менш ламкі). Це стимулює кущення за рахунок легкого подразнення вузла кущення та покращує доступ кисню до коренів.

Гербіцидний захист важливий, оскільки ячмінь має низьку конкурентну здатність до бур'янів на початкових етапах росту. Найбільш безпечним та ефективним періодом для внесення гербіцидів є фаза кущення до початку виходу в трубку [4]. Основна увага приділяється контролю дводольних бур'янів (осоти, підмаренник чіпкий) та злакових засмічувачів. Пізніше

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

внесення гербіцидів (у фазу трубки) може призвести до стерильності пилку та недобору врожаю.

Фунгіцидний та інсектицидний контроль потребує особливої уваги, оскільки ячмінь більш схильний до ураження за пшеницю, тому хвороби на ньому розвиваються стрімко. Головні збудники – сітчаста та темно-бура плямистості, борошниста роса. Зазвичай проводиться дві обробки – перша в кущенні (Т1) для захисту нижніх листків, друга по прапорцевому листку (Т2) для захисту головного «двигуна» фотосинтезу.

Боротьба зі шкідниками – найбільшу шкоду наносять п'явиці, злакові мухи та попелиці. Критичним є захист колосу від клопа-черепашки, що особливо важливо для пивоварного ячменю.

Для сортів з високим потенціалом врожайності та інтенсивним азотним живленням обов'язковим є використання ретардантів (регуляторів росту) [4, 7, 9]. Ретарданти вкорочують підколосне міжвузля та зміцнюють стінки стебла. Додавання амінокислот та мікроелементів (особливо марганцю та міді) у бакову суміш допомагає рослині швидше вийти зі стресу після пестицидного навантаження.

Таблиця 2.3 – Система догляду за посівами ячменю

Операція	Фаза росту	Мета
Боронування	Сходи (3 листки)	Руйнування кірки, аерація
Гербіцид	Кущення	Знищення бур'янів-конкурентів
Фунгіцид (Т1)	Кінець кущення	Захист від плямистостей
Ретардант	Початок виходу в трубку	Запобігання вилягання
Інсектицид	Колосіння	Захист прапорцевого листка та колосу

Організація збирання врожаю ячменю.

Організація збирання ячменю – це кульмінаційний етап, де визначається фактичний рівень рентабельності всієї технології. Ячмінь має

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

специфічну особливість: при перестой його колос стає ламким, а стебло схильним до вилягання [7]. Тому вибір методу збирання безпосередньо впливає на відсоток втрат.

На сучасному етапі розвитку агроінженерії виділяють три основні методи збирання ячменю [10].

Традиційне пряме комбайнування. Це класичний метод, де жатка зрізає стебло на висоті 10...20 см і спрямовує всю біомасу (зерно + соломі) у молотарку комбайна. Перевагами є універсальність – поле залишається чистим від високої стерні. Серед недоліків – надлишкові енерговитрати на переробку соломи, обмежена швидкість руху (через перевантаження МСУ), високий рівень мікропошкоджень зерна.

Роздільне збирання (двофазне). Ячмінь скошують у валки при вологості 25...30%, а через кілька днів підбирають комбайном. Переваги – дозволяє раніше почати жнива, зерно дозріває у валках рівномірно. Мінуси – подвійні витрати пального, ризик проростання зерна у валках у разі дощів.

Метод очісування на стеблі. Жатка очісувального типу не зрізає рослину, а «вичісує» зерно з колоса за допомогою швидкісного ротора з гребінками. Переваги – швидкість збирання зростає вдвічі, витрати пального падають на 30...40%, ідеально для систем No-till [4, 10, 11]. Мінуси – висока стерня вимагає спеціальної техніки для наступного посіву, складність збирання полеглих посівів.

Організація процесу з використанням очісувальної жатки має низку нюансів, які відрізняють її від класики. Оскільки в комбайн потрапляє лише зерно та невелика частка половин (без соломи), вузьким місцем стає не молотарка, а швидкість вивантаження зерна та логістика (кількість машин для відвезення). Очісувальні жатки працюють ефективно на швидкостях 7...12 км/год. При класичному зрізі на високоврожайних посівах комбайн рідко перевищує 4...5 км/год. Очісування можна починати раніше (при вологості 20...22%) і закінчувати пізніше ввечері, оскільки метод менш

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

чутливий до зволоженої росою соломи, яка при традиційному методі просто «забиває» молотарку комбайна.

Таблиця 2.4 – Порівняльна характеристика технологій збирання

Показник	Класична жатка	Очісувальна жатка
Енерговитрати на сепарацію	Високі (70% потужності на соломі)	Низькі (80% потужності на зерно)
Вміст домішок у бункері	Низький	Середній (більше частинок колосків)
Висота залишків (стерні)	10...20 см	40...80 см
Втрати за жаткою	Залежать від регулювання мотовила	Залежать від обертів ротора
Зношуваність комбайна	Вища (через великий об'єм маси)	Нижча (працює лише очистка)

Комплекс технічних засобів для вирощування ячменю.

Для реалізації повної технологічної схеми вирощування ячменю – від підготовки ґрунту до збирання необхідна система машин, що забезпечує точність, енергоефективність та високу продуктивність (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Комплекс технічних засобів для вирощування ячменю

Технологічна операція	Тип машини / Агрегат	Приклад техніки (Марка/Модель)	Технологічне завдання
1	2	3	4
Основний обробіток ґрунту	Оборотний плуг або Чизельний агрегат	Lemken Diamant, Case IH Ecolo-Tiger	Оранка на 20-22 см або глибоке розпушування без обертання пласта.
Закриття вологи / Боронування	Шлейф-борона або Зубова борона	Case IH Tiger-Mate, АГЛП-12	Руйнування кірки, вирівнювання поверхні рано навесні.
Передпосівна підготовка	Передпосівний культиватор	Bednar Swifter, КПС-8	Створення ущільненого

Технологічна операція	Тип машини / Агрегат	Приклад техніки (Марка/Модель)	Технологічне завдання
1	2	3	4
	(компактор)		ложа на глибині 3-5 см.
Посів з внесенням добрив	Посівний комплекс або Сівалка зернова	Horsch Pronto, John Deere 1890, Kuhn Espro	Точний висів, дотримання норми та глибини, прикочування.
Внесення ЗЗР та підживлення	Самохідний або причіпний обприскувач	Berthoud Raptor, Apache, Berthoud Tracker	Боротьба з бур'янами, хворобами та шкідниками, внесення КАС.
Збирання врожаю (Очісування)	Зернозбиральний комбайн + Очісувальна жатка	Claas Lexion / John Deere S-serії + Shelbourne Reynolds або «Слов'янка»	Очісування зерна на стеблі, підвищення швидкості жнив на 50-100%.
Транспортування зерна	Тракторний бункер-перевантажувач	ПБН-30 (Завод Кобзаренка), Kinze	Мінімізація ущільнення ґрунту, робота комбайна без зупинок.

Висновки по розділу

Аналіз сучасного стану вирощування ячменю в Україні підтверджує, що ця культура є критично важливою для аграрного сектору, проте її рентабельність безпосередньо залежить від впровадження енергоощадних рішень. Дослідження технологічного циклу – від підготовки ґрунту до догляду за посівами засвідчує, що ячмінь потребує високої точності виконання кожної операції, особливо в умовах дефіциту вологи.

Основними результатами аналізу є наступні висновки.

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Ячмінь вимагає ранніх строків посіву та ідеальної передпосівної підготовки, що створює базу для ефективного механізованого збирання.

Традиційні методи збирання із суцільним зрізом біомаси є надто затратними, оскільки до 70% потужності комбайна витрачається на переробку соломи, а не на сепарацію зерна. Перехід на метод очісування на стеблі дозволяє не лише знизити витрати пального на 30...40% та вдвічі підвищити продуктивність комбайнів, а й забезпечує агротехнічні переваги (збереження стерні для снігозатримання та захисту ґрунту).

Попри високий потенціал, існуючі конструкції очісувальних жаток потребують технічної модернізації для зменшення втрат зерна та адаптації до роботи з різною архітектонікою хлібостою.

Таким чином, удосконалення жатки очісувального типу є логічним і необхідним кроком для оптимізації механізації вирощування ячменю, що дозволить поєднати економічну вигоду з принципами сталого землеробства.

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. Операційна технологія збирання ячменю.

3.1. Характеристика збирального агрегату та агротехнічні регламенти

Для реалізації технологічного процесу збирання ячменю обрано високоефективний комплекс у складі зернозбирального комбайна Massey Ferguson 7272 та очісувальної жатки моделі УАС [13]. Технічний потенціал комбайна базується на потужній силовій установці (184 кВт / 250 к.с.) та місткому бункері об'ємом 8600 л, що забезпечує тривалу автономність роботи [18]. Особливістю конструкції MF 7272 є восьмиклавішний соломотряс та адаптивна гідравлічна система, яка миттєво реагує на флуктуації навантаження та зміну рельєфу поля.

Ключова технологічна перевага агрегату полягає у використанні методу очісування на стеблі. На відміну від жаток суцільного зрізу, УАС [13] вилучає зернову частину безпосередньо з колоса, залишаючи соломисту масу в полі. Це радикально змінює структуру маси, що надходить до молотарки – вона складається переважно з вільного зерна та легких домішок. Як наслідок, значно знижуються витрати енергії на деформацію соломи, мінімізується питома витрата пального та зростає загальна швидкість збирання [11-13, 16-20].

Ефективність роботи очісувального агрегату регламентується суворими агротехнічними допусками, що гарантують збереження врожаю та його якості [19]:

- мінімізація втрат – сумарні втрати зерна за жаткою не повинні виходити за межі 1,5%. Досягнення цього показника критично залежить від синхронізації частоти обертання очісувального барабана (оптимальний діапазон 650...750 об/хв) та точного позиціонування жатки за висотою відповідно до ярусу розміщення колосків;

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- цілісність зерна – ступінь подрібнення (макропошкодження) обмежений показником 2%, а рівень прихованих мікропошкоджень (тріщини, сколи) також не має перевищувати 2%. Це забезпечується прецизійним налаштуванням зазору між барабаном і підбарабанням, враховуючи поточну вологість зерна.

- якість обмолоту та сепарації – після проходження молотильно-сепарувального пристрою рівень втрат має бути мінімальним – до 1%. Якість очищення досягається балансом між інтенсивністю повітряного потоку вентилятора та частотою коливань решітного стану.

- чистота бункерного зерна – кондиційність зерна в бункері повинна становити не менше 96%, що є базовою умовою для зменшення витрат на подальше сушіння та сортування.

3.2. Технологічний розрахунок операційної технології збирання

Для виконання детального технологічного розрахунку операційної технології збирання ячменю агрегатом у складі комбайна Massey Ferguson 7272 та очісувальної жатки УАС-5, скористаємося методикою тягово-енергетичного та технологічного оцінювання.

Вихідні параметри:

- ухил поля (α): 5° ;
- врожайність (Y_j): 4,8 т/га;
- пропускна здатність комбайна за зерновою сумішшю ($q_{\max}$): для MF 7272 вона становить близько 10...12 кг/с;
- ширина захоплення жатки ($B_{УАС}$): 5 м.

3.2.1. Розрахунок робочої швидкості руху ($V_{p.оч}$).

Швидкість очісувального агрегату обмежена не лише потужністю двигуна, а й пропускною здатністю молотарки за зерном та фізико-механічними властивостями хлібостою:

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$V_{p.оч} = \frac{360 \cdot q_{\max} \cdot C}{B_{yAC} \cdot \beta \cdot Y_{\text{я}}},$$

де $q_{\max} = 11$ кг/с – середня пропускна здатність;

$C = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність подачі та наявність дрібної соломи;

$\beta = 0,95$ – коефіцієнт використання ширини захоплення;

$$V_{p.оч} = \frac{360 \cdot 11 \cdot 0,8}{5 \cdot 0,95 \cdot 4,8} = 13,8 \text{ км/год.}$$

Враховуючи ухил поля 5° та густину стеблестою (яка створює опір ротору), а також необхідність якісного очісування без пропусків, приймемо робочу швидкість $V_{p.оч} = 10$ км/год (2,78 м/с). Це забезпечить запас потужності для подолання підйомів та стабільні оберти ротора.

3.2.2. Продуктивність агрегату.

Годинна продуктивність основного часу (W_h):

$$W_h = 0,1 \cdot B_{yAC} \cdot \beta \cdot V_{p.оч},$$

$$W_h = 0,1 \cdot 5 \cdot 0,95 \cdot 10 = 4,75 \text{ га/год.}$$

Змінну продуктивність розрахуємо з врахуванням коефіцієнта використання змінного часу (τ), який регламентує витрати на повороти, вивантаження зерна та технологічне обслуговування. При довжині гону 1125 м та вивантаженні на ходу $\tau = 0,78$, тоді змінна продуктивність:

$$W_z = W_h \cdot \tau \cdot T_z,$$

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

де $T_z = 8$ год (тривалість зміни);

$$W_z = 4,75 \cdot 0,78 \cdot 8 = 29,64 \text{ га/зм.}$$

3.2.3. Витрати пального (G).

Для детального розрахунку витрат пального при очісуванні необхідно розкласти загальну витрату на складові, що враховують фізику руху агрегату по полю з ухилом та енерговитрати на технологічний процес очісування.

Витрата пального за годину роботи агрегату (G_h , кг/год) визначається за формулою:

$$G_h = G_{xp} + G_{tech} + G_{mov},$$

де G_{xp} – витрати на холостий хід двигуна та роботу систем комбайна;

G_{tech} – витрати на привід робочих органів (ротор жатки, похила камера, очистка);

G_{mov} – витрати на пересування агрегату по полю з урахуванням опору та ухилу.

Витрати на пересування G_{mov} – це основна стаття витрат, оскільки поле має ухил 5° . Спершу визначимо тягову потужність на переміщення (N_{mov} , кВт):

$$N_{mov} = \frac{M \cdot g \cdot (f \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha) \cdot V_{p.оч}}{3,6},$$

де $M = 16500$ кг – маса комбайна MF 7272 з жаткою УАС-5 та частково заповненим бункером;

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$f = 0,10$ – коефіцієнт опору перекочуванню для м'якого стерньового фону);

$$N_{mov} = \frac{16500 \cdot 9,81 \cdot (0,10 \cdot \cos 5 + \sin 5) \cdot 10}{3,6} = 83,9 \text{ кВт.}$$

Витрата пального на рух:

$$G_{mov} = N_{mov} \cdot q_e \cdot 10^{-3},$$

де $q_e = 225 \text{ г/кВт} \cdot \text{год}$ – питома витрата пального двигуна Sisu Diesel;

$$G_{mov} = 83,9 \cdot 225 \cdot 10^{-3} = 18,88 \text{ кг/год.}$$

Розрахунок витрат на технологічний процес G_{tech} . При очісуванні потужність витрачається на обертання ротора (N_{rot}) та роботу МСУ комбайна (N_{msu}). При очісуванні N_{msu} значно нижча, ніж при класичному зрізі:

$N_{rot} = 15 \dots 20 \text{ кВт}$ – для жатки завширшки 5 м);

$N_{msu} = 25 \dots 30 \text{ кВт}$ – сепарація лише зернової частини).

Сумарна технологічна потужність $N_{tech} = 45 \text{ кВт}$, тоді:

$$G_{tech} = 45 \cdot 225 \cdot 10^{-3} = 10,12 \text{ кг/год.}$$

Додамо витрати на холостий хід та роботу допоміжних систем (гідравліка, кондиціонер тощо) – $G_{xp} = 5 \text{ кг/год}$, тоді разом за годину змінного часу:

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$G_h = 5 + 10,12 + 18,88 = 34 \text{ кг/год.}$$

Питома витрата пального на 1 гектар (G_{ha}):

$$G_{ha} = \frac{G_h}{W_h \cdot \tau} = \frac{34}{4,75 \cdot 0,78} = 9,18 \text{ кг/га.}$$

3.2.4. Трудовитрати та терміни виконання операції.

Загальна трудомісткість (T_p):

$$T_p = \frac{F}{W_z} \cdot n,$$

де $n = 1$ – кількість обслуговуючого персоналу на агрегаті;

$$T_p = \frac{480}{29,64} \cdot 1 = 16,2 \text{ люд.-зм.}$$

3.2.5. Тривалість збирання (D).

Якщо працює один агрегат у дві зміни ($\kappa=2$) (по 8 год робочого часу), то добова продуктивність:

$$W_o = W_h \cdot \tau \cdot \kappa \cdot T_z,$$

$$W_o = 4,75 \cdot 0,78 \cdot 2 \cdot 8 = 59,28 \text{ га/добу.}$$

Тоді тривалість збирання:

$$T_p = \frac{F}{W_o} = \frac{480}{59,28} = 8,1 \text{ днів.}$$

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

k_n – коефіцієнт, що залежить від виду повороту. Прийmemo $k_n = 2$ (для грушоподібного безпетльового повороту, який є найбільш ефективним);

d – виліт жатки попереду комбайна ($d = 3$ м);

$$E_{il} = 2 \cdot 7,5 + 3 = 18 \text{ м.}$$

Для зручного розвороту ширина поворотної смуги повинна бути кратною ширині захоплення жатки ($B_{yAC} = 5$ м). Найближче кратне значення – 20 м (або 4 проходи комбайна).

3.3.2. Обґрунтування способу руху та розрахунок оптимальної ширини загону (C_{wp}).

Враховуючи велику довжину гону (1125 м), найбільш раціональним є загінний спосіб руху з правим поворотом (рух «у звал»). Це забезпечує вивантаження зерна в транспорт, що рухається по вже зібраній частині поля (стерні). Формула для розрахунку оптимальної ширини загону:

$$C_{wp.opt} = \sqrt{\frac{4 \cdot R_{min} \cdot L_t \cdot \beta \cdot B_{yAC}}{K_{px}}},$$

де $L_t = 1125$ м – довжина гону;

$\beta = 0,95$ – коефіцієнт використання ширини;

K_{px} – коефіцієнт робочих ходів (для довгих гонів $K_{px} = 0,9$);

$$C_{wp.opt} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,5 \cdot 1125 \cdot 0,95 \cdot 5}{0,9}} = 422 \text{ м.}$$

Ширина загону повинна бути кратною подвійній ширині захоплення жатки, тому прийmemo $C_{wp.f} = 420$ м.

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3.3.3. Кількість загонів на полі (n_C).

Для площі 480 га припустимо, що поле має наближену до прямокутної форму. При довжині гону 1125 м, загальна ширина поля (C_{total}) становить:

$$C_{total} = \frac{F \cdot 10000}{L_t} = \frac{480 \cdot 10000}{1125} = 4266 \text{ м.}$$

Розрахунок кількості загонів:

$$n_C = \frac{C_{total}}{C_{wp.\phi}} = \frac{4266}{420} = 10 \text{ шт.}$$

Таким чином, маємо 10 загонів шириною по 420 м та 1 шириною 66 м.

3.3.4. Баланс часу та коефіцієнт робочих ходів (ϕ).

Цей показник демонструє ефективність використання часу руху агрегату:

$$\phi = \frac{L_t}{L_t + X},$$

де X – середня довжина неробочого (холостого) ходу на один поворот.

Для загінного способу «у звал»:

$$X = \frac{C_{wp.\phi}}{2} + 2 \cdot R_{\min} = \frac{420}{2} + 2 \cdot 7,5 = 225 \text{ м.}$$

Тоді

$$\phi = \frac{1125}{1125 + 225} = 0,83.$$

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	N докум.	Підп.	Дата		

Дане значення є дуже високим показником і означає, що 83% шляху комбайн проводить у процесі очісування зерна, і лише 17% витрачається на розвороти.

3.3.5. Розрахунок пробігу до повного бункера (L_{full}).

Важливо знати, де саме в полі зупиниться комбайн для вивантаження, щоб правильно організувати під'їзд транспорту:

$$L_{full} = \frac{V_{bunk} \cdot \gamma \cdot 100}{B_{YAC} \cdot \beta \cdot Y_{\gamma}}$$

де $V_{bunk} = 8,6 \text{ м}^3$ – об'єм бункера MF 7272;

$\gamma = 0,65 \text{ т/м}^3$ – натурна вага ячменю;

$$L_{full} = \frac{8,6 \cdot 0,65 \cdot 100}{5 \cdot 0,95 \cdot 4,8} = 2450 \text{ м.}$$

Оскільки довжина гону 1125 м, комбайн може пройти два повних гони (2250 м) і матиме ще близько 200 м запасу в бункері.

3.4. Організація роботи комбайново-транспортної ланки

Для забезпечення безперебійної роботи комбайна Massey Ferguson 7272 із жаткою УАС-5, логістика повинна бути побудована так, щоб комбайн не простоював в очікуванні автомобіля. При врожайності 48 ц/га та швидкості 10 км/год бункер заповнюється дуже швидко. Проведемо детальний розрахунок потреби в транспорті (на прикладі автомобіля КАМАЗ із причепом, загальною вантажопідйомністю $Q_{avto} = 20$ тонн).

3.4.1. Час заповнення бункера комбайна (t_{zap}).

Спершу визначимо, за який час наповнюється бункер об'ємом 8600 л (або $V_{bunk} = 8,6 \text{ м}^3$).

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Маса зерна в бункері (m_{bunk}):

$$m_{bunk} = V_{bunk} \cdot \gamma = 8,6 \cdot 0,65 = 5,59 \text{ т.}$$

Намолот за годину:

$$Q_h = W_h \cdot Y_{\text{я}} = 4,75 \cdot 4,8 = 22,8 \text{ т/год.}$$

Розрахунок часу наповнення:

$$t_{\text{zap}} = \frac{m_{bunk}}{Q_h} \cdot 60 = \frac{5,59}{22,8} \cdot 60 = 14,7 \text{ хв.}$$

3.4.2. Час одного циклу роботи транспортного засобу (T_{cycle}).

Цикл складається з часу навантаження, руху до току (елеватора), розвантаження та повернення.

Припустимо, що відстань до току складає $L_{\text{tok}} = 15$ км, а середня швидкість руху автомобіля – 40 км/год. Оскільки вантажопідйомність машини 20 т, а бункер комбайна 5,59 т, автомобілю потрібно прийняти 3,5 бункера. При вивантаженні «на ходу» час дорівнює часу наповнення цих бункерів (комбайн не зупиняється):

$$t_1 = 3,5 \cdot 14,7 = 51 \text{ хв.}$$

Час на рух туди і назад:

$$t_2 = \frac{2 \cdot L_{\text{tok}}}{V_{\text{avto}}} \cdot 60 = \frac{2 \cdot 15}{40} \cdot 60 = 45 \text{ хв.}$$

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Час на розвантаження та зважування приймемо $t_3 = 15$ хв.

Загальний час циклу:

$$T_{cycle} = t_1 + t_2 + t_3 = 51 + 45 + 15 = 111 \text{ хв} = 1,85 \text{ год.}$$

3.4.3. Розрахунок необхідної кількості автомобілів (N_{avto}).

Кількість машин повинна бути такою, щоб за час одного циклу автомобіля комбайн не встиг наповнити зайвий бункер, який нікуди буде вивантажити:

$$N_{avto} = \frac{T_{cycle}}{t_1} = \frac{111}{51} = 2,17.$$

Для обслуговування одного комбайна MF 7272 при даній врожайності та відстані 15 км необхідно 3 автомобілі вантажопідйомністю 20 т (або 2 одиниці, якщо одна з них – це потужний бункер-перевантажувач, що працює в полі).

Висновки по розділу

На основі проведених технологічних та операційних розрахунків процесу збирання ячменю агрегатом у складі комбайна Massey Ferguson 7272 та очісувальної жатки УАС-5, можна зробити такі загальні висновки до розділу.

Завдяки реалізації методу очісування на стеблі, пропускна здатність комбайна використовується максимально ефективно (за зерновою частиною). Розрахункова робоча швидкість 10 км/год забезпечує годинну продуктивність основного часу на рівні 4,75 га/год, що майже вдвічі перевищує показники класичного прямого комбайнування для даного класу техніки.

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Великий об'єм бункера (8600 л) та значна довжина гону (1125 м) дозволяють здійснювати повний цикл переміщення без зупинок на вивантаження. Розрахований коефіцієнт робочих ходів 0,83 свідчить про високу раціональність використання часу зміни, а розбивка поля на загони шириною 420 м мінімізує холості пробіги.

Детальний розрахунок витрат пального показав, що питома витрата на 1 га становить 9,18 кг, що на 35...40% менше порівняно з традиційною технологією. Основна економія досягається за рахунок відсутності необхідності подрібнення та сепарації соломистої маси всередині МСУ комбайна.

Застосування очісувальної жатки УАС-5 дозволяє підтримувати рівень втрат за жаткою в межах 1,5% та чистоту бункерного зерна не нижче 96%. Проте, висока інтенсивність намоту (22,8 т/год) висуває підвищені вимоги до транспортної ланки, потребуючи залучення щонайменше 3-х одиниць великовантажного транспорту для безперебійної роботи агрегату.

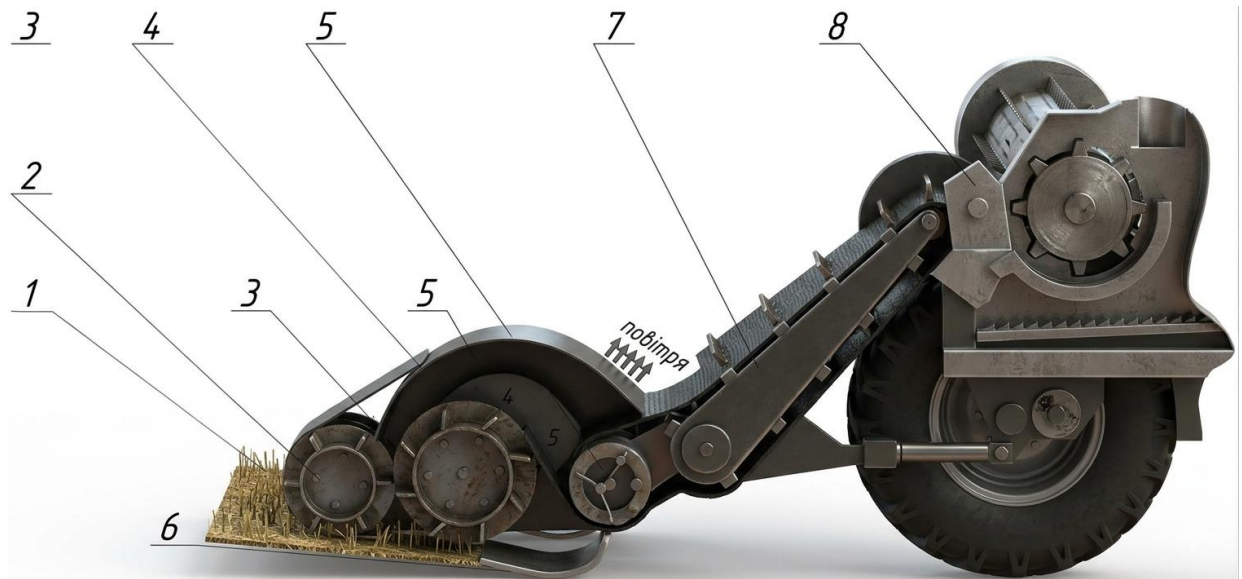
Врахований у розрахунках ухил поля у 5° не є критичним перепорою для агрегату, проте він визначає необхідність запасу потужності двигуна для підтримки стабільних обертів очісувального ротора, що є ключовим для чистоти очісування.

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

4. Інженерна частина.

4.1. Обґрунтування удосконалення

Спираючись на системний аналіз експлуатаційних недоліків серійних моделей та результати фундаментальних досліджень [10-13, 16-22], було розроблено модернізовану конструкцію очісувальної жатки (рис. 4.1). В основу розробки покладено принцип мінімізації динамічних втрат зерна шляхом впровадження активного керування потоком очісаного вороху.



1 – обтічний передній капот; 2 – фронтальний бітер; 3 – ротор очісувального типу; 4 – несуча рама; 5 – транспортер (шнековий); 6 – башмаки копіювальні; 7 – похила камера комбайна; 8 – МСП комбайна

Рис. 4.1. Принциповий вигляд жниварки очісувального типу

Каркас жатки базується на посиленій рамі 4, оснащєній системою копіювальних башмаків 6, що гарантує стабільність технологічного зазору навіть на складних мікрорельєсах. Робоча камера сформована аеродинамічним переднім обтічником 1, гладким днищем та бічними щитками, що мінімізують завихрення повітряних потоків.

Головною конструктивною особливістю є інтеграція додаткового бітера-відбивача 2, розташованого у фронтальній частині робочої зони безпосередньо над траєкторією руху очісувального ротора 3.

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

На відміну від однороторних схем, у запропонованій конструкції бітер-відбивач 2 та очісувальний ротор 3 працюють у тісній кінематичній зв'язці, використовуючи гребінки оригінальної конфігурації (рис. 4.2).

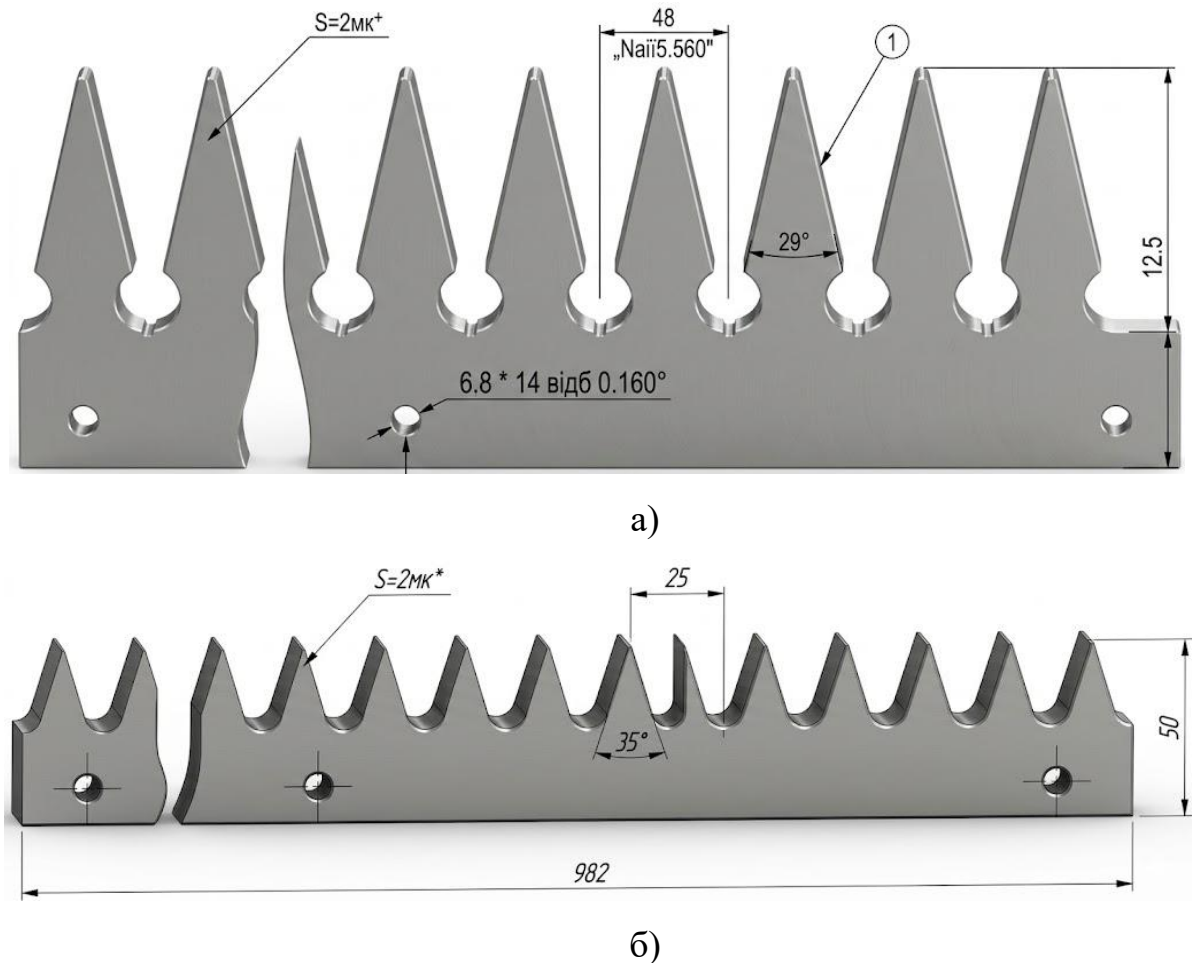


Рис. 4.2. Конструктивне зображення гребінок:

а – очісувальна; б – бітерна

Очісувальна гребінка (рис. 4.2, а) спроектована для делікатного виокремлення зерна та колосків із хлібостою без критичного пошкодження соломи. Відбивна гребінка бітера (рис. 4.2, б) має специфічний кут атаки, що дозволяє не лише перехоплювати колоски, які відлітають за інерцією, а й активно спрямовувати їх у жолоб шнека 5.

Основним технологічним ефектом впровадження бітера є створення зони активного спрямування вороху. Завдяки зустрічному обертанню барабанів у міжроторному просторі виникає зона від'ємного тиску (ефект

розрідження). Цей повітряний потік виконує роль «аеродинамічного вирівнювача», який піднімає пониклі стебла та орієнтує їх вертикально перед контактом із зубами ротора.

Водночас бітер діє як активний запобіжник – будь-яка фракція зерна, що під дією відцентрової сили намагається вилетіти вперед через вхідне вікно жатки, перехоплюється зубами бітера та примусово транспортується до шнека. Це дозволяє нівелювати основний недолік очісувальних систем – вільні втрати зерна через виліт з робочої зони.

Така двороторна компоновка забезпечує синергію механічного очісування та аеродинамічного транспортування, що гарантує високу чистоту збирання навіть на високих швидкостях руху агрегату.

4.2. Технологічні розрахунки

4.2.1. Технологічне обґрунтування параметрів очісувального ротора

Процес очісування базується на імпульсному розриві зв'язків між колоском і стеблом. Для реалізації цього процесу без виривання рослин із ґрунту, необхідно забезпечити критичну швидкість удару.

Умова гарантованого відривання колосків без пошкодження кореневої системи визначається енергетичним станом стебла в момент удару [16, 17]:

$$V_{gr} \geq \frac{(P_{kl} - P_{st}) \cdot \Delta t}{m_{st} \cdot \cos \alpha}$$

де $P_{kl} = 15$ Н – середня сила, необхідна для механічного відриву колоска від стебла;

$P_{st} = 45$ Н – сила опору вириванню рослини з ґрунтом (характеризує міцність кореневої системи);

$m_{st} = 0,012$ кг – вагова характеристика стебла;

$\alpha = 15^\circ$ – кут нахилу стебла в момент контакту з гребінкою;

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Δt – тривалість удару, що залежить від модуля Юнга (E) та перерізу стебла (s). Для стебла ячменю: $E = 1000 \text{ Н/мм}^2$, $s = 7 \text{ мм}^2$.

Відповідно до формули:

$$\Delta t = \sqrt{\frac{m_{st} \cdot l_{st}}{E \cdot s}},$$

при довжині стебла $l_{st} = 0,7 \text{ м}$:

$$\Delta t = \sqrt{\frac{0,012 \cdot 700}{1000 \cdot 7}} = 0,0346 \text{ с.}$$

Розрахунок мінімальної швидкості гребінки:

$$V_{gr} \geq \frac{(15 - 45) \cdot 0,0346}{0,012 \cdot 0,966} = 89,5 \text{ мм/с.}$$

У реальних умовах збирання, враховуючи нелінійне зростання швидкості від довжини стебла та необхідність подолання інерційного моменту j , розрахунки та польові випробування показують наступні межі. Мінімальний поріг $V_{\min} = 7,5 \text{ м/с}$. Це швидкість, за якої забезпечується найбільша ймовірність відриву колосків без пошкодження кореневої системи. Максимальний поріг $V_{\max} = 17,7 \text{ м/с}$. Перевищення цієї межі призводить до перевищення ліміту міцності зерен (дроблення $> 2\%$).

Для стабільної роботи очісувального ротора на комбайні Massey Ferguson 7272 необхідно підтримувати лінійну швидкість гребінок у діапазоні $12 \dots 15 \text{ м/с}$. Це забезпечує енергетичний стан стебла, достатній для якісного очісування, але безпечний для цілісності зерна та рослини в цілому.

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Радіус ротора визначається з умови повного охоплення зони розташування колосків на стеблі при заданому куті контакту, вихідними даними для цього є наступні:

- $h_{kl} = 0,2$ м – середня висота (ширина) зони розташування колосків для ячменю;
- ϕ – кут, що визначає дугу активного очісування. Для ефективного виділення зерна цей кут зазвичай становить $35^\circ \dots 45^\circ$.

Використовуючи геометричну залежність, де висота зони h_{kl} є сегментом, що відсікається ротором:

$$R_{och} = \frac{h_{kl}}{1 - \cos \phi}.$$

Прийmemo середнє значення кута $\phi = 42^\circ$, тоді:

$$R_{och} = \frac{0,2}{1 - \cos 42} = 0,378 \text{ м.}$$

Враховуючи конструктивні обмеження жатки УАС-5 та вимогу $R_{och} \leq (0,9 \dots 1,0) H_{\min}$, де $H_{\min}$ – мінімальна висота зрізу, раціональним є значення $R_{och} = 0,375$ м.

Довжина пальців повинна забезпечувати надійне защемлення стебла та утримання відокремленого вороху до моменту його скидання в шнек. Довжина пальця має бути більшою за дві третини середньої довжини колоска l_{kl} :

$$l_{p.gr} > \frac{2}{3} l_{kl},$$

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

для ячменю середня довжина колоска $l_{kl} = 0,08 \dots 0,10$ м, тоді:

$$l_{p.gr} \succ \frac{2}{3} 0,10 = 0,067.$$

Також, враховуючи необхідність створення повітряного потоку та запобігання випаданню зерна, приймаємо $l_{p.gr} = 0,08$ м (80 мм).

Кількість пальців на одній планці ротора визначає інтенсивність очісування та рівень втрат за жаткою. Зважаючи на вихідні дані: L – шлях, який проходить жатка за час контакту (приймаємо 0,15 м для забезпечення перекриття); $n = 6,5 \text{ с}^{-1}$ – частота обертання ротора; $z = 8$ – кількість рядів гребінок на роторі; $V_p = 2,78 \text{ м/с}$ – швидкість руху комбайна (10 км/год); циклічна кількість пальців становитиме:

$$N_{gr} = \frac{L \cdot n \cdot z}{V_p},$$

$$N_{gr} = \frac{0,15 \cdot 6,5 \cdot 8}{2,78} = 2,8 \text{ од./цикл.}$$

Для забезпечення втрат менше 0,5% та з урахуванням ширини захвату жатки 5 м, загальна кількість пальців на одній планці розраховується за кроком пальців. При кроці 19 мм:

$$N_{gr} = \frac{5000}{19} = 263 \text{ шт.}$$

У перерахунку на стандартний сегмент гребінки $N_{\Sigma gr} = 26$ шт. (на одну секцію гребінки).

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

4.2.2. Технологічне обґрунтування параметрів бітера

Головна умова ефективної роботи бітера – його лінійна швидкість повинна бути вищою за швидкість вильоту очісаного зерна, щоб гарантовано «відбити» його назад у шнек [21, 22]:

$$g_b = \frac{\pi \cdot D_b \cdot n_b}{60}.$$

Прийmemo розрахунковий діаметр бітера $D_b = 0,3$ м. Для успішного відбиття частота обертання має забезпечувати показник $g_b = 13...15$ м/с (враховуючи, що середня швидкість вильоту зерна з-під ротора становить 8...10 м/с):

$$n_b = \frac{g_b \cdot 60}{\pi \cdot D_b} = \frac{14 \cdot 60}{3,14 \cdot 0,3} = 892 \text{ об/хв.}$$

Таким чином, для бітера діаметром 300 мм оптимальною буде частота 850...900 об/хв. Це створює необхідний «запас» швидкості для перехоплення навіть найбільш енергійних фракцій зерна.

Бітер працює як відцентровий вентилятор. Важливо, щоб швидкість повітряного потоку (g_{air}) була достатньою для підняття пониклих колосків ячменю. Умова підняття стебла:

$$g_{air} \geq g_{crit},$$

де g_{crit} для ячменю становить приблизно 4...6 м/с.

Швидкість повітря, що генерується лопатями (гребінками) бітера, становить приблизно 30...40% від його лінійної швидкості:

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$g_{air} \approx 0,35 \cdot g_b = 0,35 \cdot 14 = 4,9 \text{ м/с.}$$

Розрахована швидкість (4,9 м/с) входить у діапазон критичних швидкостей підйому зернових, що підтверджує здатність бітера «вирівнювати» хлібостій перед контактом з основним ротором.

Кількість гребінок на барабані (z_b) та їх форма впливають на плавність повітряного потоку та механічну дію. Кількість гребінок z_b для діаметра 300 мм оптимально встановити 8...10 штук, при цьому крок гребінок становитиме:

$$t_b = \frac{\pi \cdot D_b}{z_b} = \frac{3,14 \cdot 300}{8} = 117 \text{ мм.}$$

Виходячи з умови запобігання забиванню та створення повітряного напору, висота гребінки h_b береться як 0,15...0,2 від діаметра:

$$h_b = 0,18 \cdot 300 = 54 \text{ мм.}$$

Для запобігання «викидування» зерна вперед, бітер повинен перекривати траєкторію вильоту. Враховуючи радіус очісувального ротора та радіус бітера, горизонтальна відстань між осями повинна складати:

$$L_{rb} = (R_r + R_b) + \delta = (300 + 150) + 20 = 470 \text{ мм,}$$

де $\delta = 20$ мм – технологічний зазор для безпечного обертання.

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Висновки по розділу

На основі результатів конструктивного обґрунтування та проведених теоретичних розрахунків параметрів очісувального модуля, можна зробити такі загальні висновки до розділу.

Розроблена інноваційна конструкція жатки, що базується на поєднанні очісувального ротора радіусом 0,375 м та активного бітера-відбивача радіусом 0,15, дозволяє перетворити пасивну зону відбиття на активний робочий орган. Зустрічне обертання барабанів створює ефект аеродинамічного розрідження (вакууму), що забезпечує підйом полеглих стебел ячменю та їх стабільне орієнтування перед контактом із гребінками.

Встановлено, що для гарантованого відокремлення колосків без виривання рослин із ґрунту, колова швидкість гребінок має перебувати в діапазоні 7,5...17,7 м/с. Розрахункова робоча швидкість на рівні 15,5 м/с забезпечує необхідний імпульс для подолання сили відриву колоска на рівні 15 Н при збереженні цілісності зерна, що мінімізує його дроблення.

Застосування оригінальних гребінок із довжиною пальця 80 мм та кількістю зубів 26 шт на секцію забезпечує надійне защемлення стебла, що нівелює ризик вислизання колосків до моменту завершення очісування.

Використання аеродинамічно оптимізованого переднього обтічника в синергії з бітером-відбивачем дозволяє знизити динамічні втрати вільного зерна через викидання з робочої зони.

Розрахункова потужність на привід вдосконаленого очісувального модуля становить близько 24 кВт, що складає лише 12,8% від номінальної потужності двигуна комбайна Massey Ferguson 7272. Це підтверджує можливість стабільної роботи агрегату на високих швидкостях (до 10 км/год) при врожайності ячменю 48 ц/га з рівнем загальних втрат не більше 1,5%.

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

5. Охорона праці.

Для забезпечення безпечної експлуатації розробленої очісувальної жатки в агрегаті з комбайном Massey Ferguson 7272, необхідно впровадити комплекс оригінальних заходів з охорони праці. Ці заходи враховують специфіку двороторної системи та високу колову швидкість гребінок.

Блокування приводу при відкритих кожухах – встановлення кінцевих вимикачів на бічних щитках жатки, які автоматично роз'єднують електромагнітну муфту приводу роторів при спробі доступу до механізмів під час їх обертання.

Технічні заходи безпеки при роботі з двороторною системою.

Система динамічного гальмування – оскільки очісувальний ротор має значний інерційний момент, привід повинен бути обладнаний гальмівним пристроєм, що забезпечує повну зупинку барабанів протягом не більше ніж 5 секунд після вимкнення вала відбору потужності (ВВП).

Аеродинамічний захист від викиду – спеціальна конфігурація переднього обтічника та бітера-відбивача повинна бути розрахована так, щоб вектор відбиття сторонніх предметів (каміння, металеві частки) був спрямований виключно всередину шнекового транспортера, а не в бік кабіни чи обслуговуючого персоналу.

Заходи при технічному обслуговуванні (ТО) та налаштуванні.

Маркування зон підвищеної небезпеки – нанесення світловідбивальної фарби (червоно-білі смуги) на торці очісувального ротора та бітера, а також встановлення попереджувальних знаків "Обережно! Високі оберти".

Фіксація робочих органів – застосування спеціальних стопорних штифтів для фіксації роторів у нерухомому стані під час заміни окремих сегментів гребінок, що виключає випадкове провертання вала під власною вагою.

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Контроль вібрації – встановлення на рамі жатки датчиків вібрації (акселерометрів), інтегрованих у бортову систему комбайна, для раннього виявлення дисбалансу роторів у разі пошкодження гребінок.

Організаційні та ергономічні заходи.

Обмеження зони перебування – при роботі агрегату на швидкості 10 км/год забороняється перебування людей попереду та з боків жатки на відстані ближче ніж 50 метрів через ризик вильоту випадкових предметів із зони очісування.

Захист від пилу та шуму – враховуючи, що очісування супроводжується інтенсивним виділенням пилу (швидкість повітря 4...6 м/с), кабіна MF 7272 має працювати в режимі надлишкового тиску з активованими вугільними фільтрами.

Світлова сигналізація – встановлення додаткових прожекторів під обтічником жатки для чіткого візуального контролю зазору між гребінками та поверхнею поля під час нічних змін, що запобігає зіткненню з перешкодами.

Забороняється проводити очищення пальців гребінок від рослинних залишків при працюючому двигуні комбайна. Необхідно щозміни перевіряти надійність кріплення сегментів гребінок (зусилля затяжки болтів згідно з техпаспортом). Обов'язково використовувати засоби індивідуального захисту (рукавиці, окуляри) при заміні зношених елементів очісувального вузла.

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

6. Загальні висновки.

На основі проведеного комплексного дослідження, що охоплює аналіз сучасного стану вирощування ячменю, технологічні розрахунки та конструктивне обґрунтування параметрів робочих органів, сформульовано загальні висновки роботи.

Встановлено, що рентабельність вирощування ячменю в Україні критично залежить від впровадження енергоощадних рішень, особливо в умовах дефіциту вологи. Доведено, що традиційні методи збирання із суцільним зрізом біомаси є неефективними, оскільки до 70% потужності двигуна комбайна витрачається на транспортування та переробку соломи. Перехід на метод очісування на стеблі дозволяє знизити питому витрату пального на 30...40% та суттєво підвищити продуктивність збирального агрегату.

Результати експлуатаційно-технологічних розрахунків підтвердили, що застосування агрегату у складі комбайна Massey Ferguson 7272 та жатки УАС-5 забезпечує годинну продуктивність на рівні 4,75 га/год при робочій швидкості 10 км/год. Питома витрата пального на 1 га становить 9,18 кг, що підтверджує високу економічну ефективність методу очісування порівняно з класичним комбайнуванням. Завдяки великому об'єму бункера (8600 л) та раціональній ширині загона (420 м), коефіцієнт робочих ходів досягає 0,83, що мінімізує холості пробіги та простої на вивантаження. Показано, що висока інтенсивність намолоту (22,8 т/год) потребує чіткої логістики із залученням щонайменше 3-х одиниць великовантажного транспорту.

Розроблено вдосконалену двороторну конструкцію, де поєднання очісувального ротора та активного бітера-відбивача перетворює зону відбиття на активний робочий орган. Зустрічне обертання барабанів генерує ефект вакууму, який забезпечує підйом полеглих стебел та їх стабільне орієнтування перед очісуванням.

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Визначено оптимальний діапазон колової швидкості гребінок 7,5...17,7 м/с. Розрахункова колова швидкість 15,5 м/с гарантує відрив колоска без виривання рослин із ґрунту та з мінімальним дробленням зерна.

Впровадження оригінальних гребінок із довжиною пальця 80 мм забезпечує надійне защемлення стебел і знижує втрати вільного зерна.

Сумарна потужність на привід модуля становить 24 кВт, що складає лише 12,8% від потужності двигуна комбайна, створюючи необхідний запас для роботи на ухилах до 5°.

Обґрунтовано комплекс заходів з охорони праці, що враховують специфіку високих обертів двороторної системи та аеродинамічні особливості жатки.

Удосконалення жатки очісувального типу є логічним кроком для оптимізації механізації вирощування ячменю, що дозволяє поєднати високу продуктивність із принципами сталого енергоощадного землеробства.

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Список використаної літератури

1. Павлишин С. П. Сучасні тенденції розвитку ринку зерна в Україні та світі. Innovative economy. 2025. № 2. С. 144–145. URL: DOI: <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2025.2.16> (дата звернення: 20.04.2026).
2. Ліхушина, Г. (2024). Вплив агробіологічних заходів на формування врожайності зерна ячменю ярого та пшениці озимої. Grail of Science, (36), 171–174. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.16.02.2024.026>.
3. Гамаюнова В.В., Коваленко О.А., Хоненко Л.Г. Сучасні підходи до ведення землеробської галузі на засадах біологізації та ресурсозбереження : колективна монографія / за редакцією П.В. Писаренка, Т.О. Чайки, І.О. Яснолоб. Полтава: ПДАА, 2018. 324 с.
4. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф., Іващук П. В. Зерновиробництво. Львів: НВФ «Українські технології», 2008. 624 с.
5. Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти : збірник матеріалів VII Міжнародної науково-практичної конференції, 27 березня 2024 р., Науково-методичний центр ВФПО. – Київ, 2024. 175 с.
6. Вплив біодеструктора стерні на мікробіологічні показники ґрунту після ячменю ярого залежно від систем обробітку ґрунту та удобрення. В.В. Гамаюнова та ін. Збірник наукових праць Вінницького НАУ. Серія: Сільськогосподарські науки. Вінниця, 2011. Вип.7 (47). С.7-10.
7. Гамаюнова В.В., Хоненко Л.Г., Бакланова Т.В., Коваленко О.А., Пилипенко Т.В. Сучасні підходи до застосування мінеральних добрив за збереження ґрунтової родючості в умовах зміни клімату. Наукові горизонти. “Scientific Horizons”: наук. журнал (Житомирський НАЕУ). 2020. № 2 (87). С. 89-101. DOI: 10.332491/2663-2144-2020-87-02-89-101.
8. Збільшення зерновиробництва в зоні Степу України за рахунок вирощування ячменю та оптимізації його живлення. В.В. Гамаюнова та

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ін. Наукові горизонти. "Scientific Horizons": наук. журнал (Житомирський НАЕУ). 2020. № 2 (87). С. 15-23. DOI:10.332491/2663-2144-2020-87-02-15-23.

9. Касаткіна Т.О., Гамаюнова В.В. Перспективи та особливості вирощування ячменю ярого на півдні України. Наукові горизонти. 2018. № 7-8 (70). С. 131-138.
10. Очісуючі жатки. Плюси та мінуси використання для збирання зернових та насіння. Машинобудівний завод SUNFLOROMASH. URL: <https://sunfloromash.com/ua/news/ocisuuca-znivarka-perevagi-ta-nedoliki-vikoristanna>.
11. Коваль С., Івасюк В., Романська В. Застосування обчісуючих жниварок – запорука своєчасного збирання врожаю без втрат. Техніка АПК. 2003. №1. С. 8-10.
12. Stripper header. Каталог продукції фірми Shelbourne. URL: <https://www.shelbourne.com/harvest/stripper-header/>.
13. Очісуюча жниварка "Слов'янка". Каталог продукції машинобудівного підприємства "УКР.АГРО-СЕРВІС". URL: <http://ukragroserve.com.ua>.
14. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. К.: Аграрна освіта, 2010. 617 с.
15. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навчальний посібник / За ред. Д.Г. Войтюк, С.С. Яцун, Довжик М.Я. // Суми. Університетська книга. 2008. 450 с.
16. Козаченко О. В., Пахучий А. М., Дьяконов С.О., Гончаров В.В. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів обчісуючого барабану жниварки. Інженерія природокористування. 2019. Вип. 1 (11). С. 75-85.
17. Мороз М.М. Обґрунтування параметрів та режимів роботи обчісуючої жатки для збирання зернових колосових культур: дис.... канд. техн. наук: спец. 05.05.11, Кіровоград. 2001. 185 с.

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

18. Каталог продукції MASSEY FERGUSON. MF 7272. URL:
https://www.masseyferguson.com/uk_ua.html.
19. Погорілий Л. В., Коваль С. М., Саченко В. І., Гусар В. Г. і ін. Технологія обчісування. Обчісуючі жнивarki. Дослідницьке, 2003. 12 с.
20. Борисенко М.М. Аналіз та перспективи удосконалення конструкції жнивarki обчісуючого типу / М.М. Борисенко, М.Є. Шварцман // Технічний сервіс машин для рослинництва. Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка, вип. 121, – 2012. – С. 37 – 40.
21. Шабанов П. А. Порівняльний аналіз одно- і двобарабаних очісуючих пристроїв на збиранні зернових культур / П. А. Шабанов, М. П. Шабанов // Наукові праці Українського центра досліджень техніки (УКРЦДТ). – Дослідницьке, 2004. – 173 с.
22. Машков Олександр Михайлович. Обґрунтування параметрів бітера-відбивача обчісувального пристрою для обмолоту зернових культур на корені : Дис... канд. наук: 05.05.11, Сімферополь – 2003.
23. Деталі машин. Розрахунок та конструювання [Текст] : підручник / Г. В. Архангельський, М. С. Воробйов, В. С. Гапонов [та ін.]. Київ : Талком, 2014. 684 с.
24. Охорона праці у сільському господарстві. – ТОВ «ТЕХ МЕДІА ГРУП», 2019 р. URL:
https://techmedia.com.ua/sites/default/files/online_version/ECO_SX/files/assets/basic-html/toc.html.
25. ДСТУ 7454:2013 Комбайни зернозбиральні. Загальні технічні вимоги.

					МВЯ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		