НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
сільськогосподарських машин
(назва кафедри)
та системотехніки
ім. акад. П.М. Василенка

_____ **Гуменюк Ю.О.** .
(підпис) **(ПІБ)**

«____» _____**2026 р**.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ БАКАЛАВРА

на тему: «**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ОЧИСНИКА ГРУБОГО ВОРОХУ»**

Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

Гарант освітньої програми
к.т.н., доцент _____ **Братішко В.В.**
(підпис)

Керівник дипломного проекту
к.т.н., доц. _____ Гуменюк Ю.О.
(підпис)

Виконав(ла) _____ Любинецька Я.І.
(підпис)

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет Механіко–технологічний

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри сільськогосподарських машин та системотехніки
ім. акад. П.М. Василенка
к.т.н., доц. _____ Гуменюк Ю.О.
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)
«20 » жовтня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання дипломного проекту бакалавра студенту

Любинецькій Яні Іванівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія

(код і назва)

Тема дипломного проекту бакалавра «**Підвищення ефективності роботи зернозбирального комбайна шляхом удосконалення очисника грубого вороху»**

затверджена наказом ректора НУБіП України від «22» жовтня 2025р. № 510 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру_____

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проекту бакалавра Нормативно-технічні документи, інструкції з експлуатації комбайна, ширина захвату жатки – 5,2…6,0м, пропускна здатність – 9кг/с, наукова література; матеріали з мережі інтернет

Перелік питань, котрі потрібно розробити**:**

1. **Огляд характеристик зернових культур як об'єкта збирання.**
2. **Способи збирання зернових культур.**
3. **Огляд технічних засобів збирання зернових культур.**
4. **Обгрунтування конструкції та розрахунок параметрів удосконаленого очисника грубого вороху.**
5. **Заходи з охорони праці та охорони навколишнього середовища.**
6. **Огляд виробничої діяльності господарства.**
7. **Техніко-економічна оцінка ефективності використання удосконаленої машини.**

Перелік графічних документів: **1. Конструктивні схеми існуючих очисників грубого вороху; 2. Функціональна схема удосконаленого очисника грубого вороху; 3. Складальне креслення кулачкового соломотрясу; 4. Складальне креслення кулачкового валу; 5. Заходи з охорони праці; 6. Складальне креслення кулачка очисника; 7. Деталювання кулачка очисника грубого вороху; 8. Техніко-економічні показники удосконаленої машини.**

Дата видачі завдання **«23» жовтня 2025 р.**

Керівник дипломного проекту бакалавра _____ **Гуменюк Ю.О.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв(ла) до виконання _____ **Любинецька Я.І.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт містить 93 аркушів розрахунково-пояснювальної записки, 6 аркушів графічної частини формату А4 та 11 аркушів додатків.

У роботі виконано аналіз наявних технологічних засобів збирання зернових культур, розглянуто технічні засоби для їх реалізації, а також проведено модернізацію конструкції очисника грубого вороху сучасних зернозбиральних комбайнів. На основі проведеного аналізу обґрунтовано технологічний процес і конструктивну схему вдосконаленого очисника грубого вороху для зернозбирального комбайна.

Визначено основні конструкційні й технологічні параметри нового очисника та розглянуто заходи з охорони праці й охорони навколишнього середовища під час виконання експлуатаційного завдання машини.

Обґрунтовано техніко-економічну ефективність запропонованої конструкції очисника грубого вороху, згідно з якою очікуваний річний економічний ефект від упровадження розробки становить 232347,13 грн.

Ключові слова: зернозбиральний комбайн, зернові культури, очисник грубого вороху, параметри, режими роботи, удосконалення, ефективність.

					01.01 – ДП. 510 «С» 2025.10.22. 035 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Любинецька			**РЕФЕРАТ**	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Гуменюк Ю.О.					3	93
Реценз.						AI-2304ст		
Н. Контр.								
Затверд.								

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ 1
ВСТУП 7
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР І СПОСОБИ ЇХ ЗБИРАННЯ 9
1.1. Характеристики зернових культур 9
1.2. Способи збирання зернових культур 11
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД КОНТСТРУКЦІЙ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР 14
2.1. Будова та процес роботи зернозбирального комбайна 14
2.2. Основні передумови щодо розробки та удосконалення конструкцій зернозбиральних машин 23
2.3. Класифікація зернозбиральних комбайнів 26
2.4. Агротехнічні вимоги до процесу збирання зернових культур 29
2.5. Основні напрями розвитку молотильно-сепарувальних пристроїв 30
2.6. Основні напрями розвитку молотильно-сепарувальних пристроїв 40
2.7. Огляд конструкції прототипу зернозбирального комбайна, обраного для удосконалення 44
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ, ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ УДОСКОНАЛЕНОГО ОЧИСНИКА ГРУБОГО ВОРОХУ 56
3.1. Обґрунтування доцільності використання удосконаленого очисника грубого вороху у конструктивну схему зернозбирального комбайна 56
3.2. Розрахунок параметрів молотильно-сепарувального пристрою зернозбирального комбайна 57
3.3. Розрахунок основних параметрів удосконаленої системи очистки грубого вороху 67

РОЗДІЛ 4. ЗАХОДИ З ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 73
4.1 Загальний стан охорони праці в господарстві 73
4.2 Аналіз виробничих небезпек та причин їх виникнення 77
4.3. Вимоги до збирання зернових, зернобобових та круп'яних культур 80
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ОЧИСНИКА ГРУБОГО ВОРОХУ 84
ВИСНОВКИ 89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 90
ДОДАТКИ 94

ВСТУП

Зернові культури, які набули значного поширення майже на всій території земної кулі та активно вирощуються в Україні, належать до стратегічно важливих сільськогосподарських культур. З початком російської агресії площі посівів зернових культур в Україні скоротилися на 26% і на сьогодні становлять близько 11,5 млн га. За даними Державної служби статистики України, озима пшениця як одна з найбільш експортно орієнтованих культур займає найбільші площі серед зернових. Найбільше її посівів зосереджено в лісостеповій та степовій зонах, на які припадає до 90% загальної площі вирощування цієї культури

Вирощування, збирання та подальша переробка зернових культур мають важливе значення для забезпечення населення якісними продуктами харчування, формування кормової бази для сільськогосподарських тварин, а також використання зерна як сировини для різних напрямів промислової переробки. Водночас, попри доволі високий рівень рентабельності зернового господарства, у цій сфері залишається низка актуальних проблем. Значна частина з них пов’язана саме з технологічним процесом механізованого збирання зернових культур, оскільки від якості роботи збиральної техніки безпосередньо залежать втрати врожаю, чистота зернового матеріалу та ефективність подальшої доробки зерна.

Під час збирання зернових культур використовуються самохідні зернозбиральні комбайни, які за умови правильного підбору, налаштування та дотримання режимів роботи здатні забезпечити достатньо високу якість збирання врожаю. Відповідно до агротехнічних вимог до збирання врожаю зернових культур, втрати за підбирачем або жаткою не повинні перевищувати 0,5% для прямостоячих рослин і 1,5% для полеглих рослин. У разі підбору валків втрати зерна не мають бути більшими за 1%, а загальні втрати зерна через

недомолот повинні становити не більше 1,5%

Поряд з втратами зерна за жаткою і молотаркою, втрати спостерігаються і в процесі очищення грубого вороху. В значній мірі вони обумовлені недосконалістю конструктивних схем існуючих очисників грубого вороху та нездатністю їх адаптовуватись до умов роботи. Тому метою дипломного проєкту є удосконалення конструкції самохідного зернозбирального комбайна з «класичною» схемою молотильно-сепарувального пристрою шляхом розробки компонувальної схеми сепаратора грубого вороху. Це, в свою чергу, обумовить зниження втрат вільного зерна та підвищить ефективність використання технічних засобів при збирання зернових культур.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР І СПОСОБИ ЇХ ЗБИРАННЯ

1.1. Характеристики зернових культур

Тип робочих органів зернозбиральної машини, її технологічне регулювання, режим роботи, строки та способи збирання значною мірою залежать від властивостей конкретної зернової культури. Тому під час вибору параметрів машини потрібно враховувати не лише умови збирання, а й основні біологічні та фізико-механічні особливості рослин.

До основних характеристик зернових культур належать: кількість стебел на 1 м² площі поля, урожайність культури, співвідношення зернової та незернової частини врожаю, соломистість хлібної маси, міцність стебел, рівномірність дозрівання, вологість зерна, полеглість рослин і забур'яненість поля.

До зернових культур, що вирощуються в Україні, належать зернові злакові, зернобобові культури та гречка. Серед злакових культур виділяють пшеницю, жито, ячмінь, а також просоподібні культури: просо, овес, кукурудзу та інші.

Пшеницю, жито та ячмінь відносять до зернових колосових культур, а гречку, просо й овес – до круп'яних. До зернобобових культур належать соя, горох, квасоля, сочевиця, чина та інші культури.

Зернові культури мають мичкувату кореневу систему з первинними та вторинними коренями. Первинні корені проникають у ґрунт переважно вертикально, а вторинні розміщуються у верхніх шарах ґрунту. Коренева система кукурудзи може сягати глибини до 2,5 м, корені озимої пшениці та жита – до 2 м. Стебло злакових рослин має вигляд соломини – циліндричної порожнистої трубки довжиною приблизно від 0,1 до 1,5 м. Кількість стебел на 1 м² може становити кілька сотень рослин, однак цей показник залежить від виду

зернової культури.

Для пшениці оптимальною вважається густота стеблостою 550–600 рослин на 1 м². За таких умов урожайність може становити 70–80 ц/га. Згідно з агротехнічними вимогами, для комбайнового збирання кількість стебел має бути не меншою ніж 250 шт. на 1 м².

Урожайність пшениці в різних ґрунтово-кліматичних зонах може суттєво відрізнятися. За умови науково обґрунтованого застосування технологічних матеріалів і прийомів вирощування вона може сягати 250 ц/га. У 2024 році середня врожайність пшениці в Україні становила близько 45 ц/га, тоді як у Казахстані – 9–11 ц/га.

Важливим показником для роботи зернозбирального комбайна є співвідношення маси зерна до маси незернової частини врожаю, адже від нього залежить завантаження машини хлібною масою. Зазвичай це співвідношення становить 1:1,5 – 1:2, а для окремих сортів – 1:0,8. Відношення довжини стебла до його діаметра становить приблизно 300–400 одиниць, а міцність стебла на розрив дорівнює 15–20 кг/мм².

Процес збирання зернових культур полягає у відокремленні зерна, яке формується в колосі або волоті. Міцність зв’язку зерна з колосом становить від 3 до 16 Н на 1 см довжини і залежить від сорту та вологості культури. Наприклад, за вологості колоса 9,2% сила зв’язку зерна є вдвічі більшою, ніж за вологості 6,4%. Тому ці показники визначають вимоги до механізованого збирання та технічних засобів.

Початок і тривалість збиральних робіт залежать від ступеня стиглості зерна та його вологості. У пшениці, ячменю й жита зерно швидше достигає в середній частині колоса, де воно є найбільш повноцінним. Маса 1000 насінин із середньої частини колоса озимої пшениці становить 45,5–48,9 г, із нижньої – 42,3–46,9 г, а з верхньої – 28,9–34,5 г. У проса зерно швидше достигає у верхній частині волоті.

Різні зернові культури мають неоднакові строки достигання, тому хлібороб повинен добре враховувати їхні біологічні особливості та погодні умови. Надто раннє збирання небажане, оскільки недозріле зерно має підвищену вологість,

погано зберігається і потребує додаткових витрат на сушіння. Також не можна надмірно затягувати строки збирання. Наприклад, втрати озимої пшениці через 4–7 днів після досягнення повної стиглості можуть становити до 4%, через 17–20 днів – до 27%, а через місяць – до 50%. Через розтягування термінів збирання втрати врожаю виникають унаслідок вилягання хлібів, обламування колосків, обсипання або проростання зерна в колосі, а також розвитку грибкових захворювань. Тому зернові культури рекомендовано збирати протягом 8–10 днів.

Суттєво ускладнює процес збирання врожаю забур'яненість поля. Під час збирання зернові злаки зазвичай мають вологість близько 14%, тоді як вологість бур'янів може досягати приблизно 70%. У цей період насіння бур'янів переважно вже дозріле і під час роботи комбайна потрапляє в бункер разом із зерном або висипається на поле. Потрапляння вологих стебел бур'янів у робочі органи машини ускладнює їхню роботу, а наявність бур'янів у зерновій масі погіршує її якість і зумовлює потребу в додаткових очисних операціях. Саме тому під час вирощування культурних рослин значну увагу приділяють боротьбі з бур'янами.

1.2. Способи збирання зернових культур

За способом збирання зернові культури можуть збиратися некомбайновим і комбайновим способами.

Особливість некомбайнового способу полягає в тому, що хлібну масу після скошування транспортують на стаціонар, де виконують її обмолот та очищення, тобто розділяють масу на зернову і незернову частини.

Комбайновий спосіб збирання поділяється на два основні види: однофазний, або пряме комбайнування, і двофазний, або роздільне комбайнування. Роздільне комбайнування передбачає попереднє підбирання валків та їх подальший обмолот. За такого способу скошену масу можна транспортувати до стаціонара з подальшою обробкою зерна на стаціонарних машинах після виконання збиральної обробки зерна.

Під час прямого комбайнування процес збирання включає зрізування стебел, обмолот хлібної маси, відокремлення зерна від соломи, очищення зернової маси від домішок і подальше транспортування отриманого зерна в бункер. Незернова частина врожаю, тобто солома та полова, укладається у валок на полі або подрібнюється і розкидається по поверхні поля. Усі ці операції самохідний комбайн виконує послідовно в одному безперервному технологічному процесі.

Прямим комбайнуванням доцільно збирати зернові культури з підсіяними багаторічними травами, низькорослі зернові культури з висотою рослин до 50 см, зріджені посіви, де кількість рослин на 1 м² не перевищує 280, а також перестоялі хліба та культури, зерно яких достигає нерівномірно або повільно.

Комбайн, що використовується для однофазного способу збирання, оснащується жаткою шириною захвату від 6 до 12 м. Така машина виконує всі основні технологічні операції збирання врожаю за один прохід по полю.

За двофазного, або роздільного, способу збирання роботи зазвичай починають на 5–10 днів раніше, ніж за однофазного. Рослинну масу спочатку скошують причіпними або начіпними жатками-валкоутворювачами й укладають у валки для підсихання та достигання. У районах із підвищеною вологістю формують тонкі широкі валки, а в сухих кліматичних умовах – товсті нешироκі валки з кутом нахилу стебел 10–30° до поздовжньої осі валка. Через 3–5 днів стебла у валках підсихають, а бур'яни в'януть. Далі валки підбирають комбайном, обладнаним підбирачем. Подальші операції, зокрема обмолочування, очищення і транспортування зерна, виконуються так само, як і під час однофазного збирання.

Роздільним комбайнуванням збирають забур'янені й нерівномірно достиглі хліба, а також посіви висотою менше 60 см і густотою не більше 300–350 рослин на 1 м².

У валкових жатках висоту зрізування хлібної маси встановлюють у межах 12–25 см, а для жита – 25–30 см. Полеглі посіви скошують на мінімальній висоті, щоб зменшити втрати. Недоліком роздільного комбайнування є збільшення

експлуатаційних витрат через подвійний прохід машини полем, що також спричиняє додаткове ущільнення ґрунту.

Некомбайновий спосіб збирання передбачає скошування зернової маси та її транспортування на стаціонар, де вона обмолочується і розділяється на зернову та незернову частини.

Під час прямого й роздільного комбайнування способи збирання незернової частини врожаю також відрізняються. Можуть застосовуватися копицевий спосіб з утворенням копиць об'ємом 9–20 м³, валкова технологія або потокове збирання. У першому випадку комбайн обладнують копнувачем, у другому – валкоутворювачем, а в третьому – подрібнювачем і пристроєм для розкидання соломи.

Копнова технологія потребує використання комбайнів із копнувачами та додаткових машин: волокуш, навантажувачів, копицевозів і скиртувальних агрегатів. Її основні недоліки – потреба в додатковій механізації, подовження процесу збирання та втрати полови, яка є цінною частиною соломистої маси. Через це така технологія не набула широкого застосування у господарствах [3].

За валкової технології використовують комбайни з валкоутворювачами, після чого валки підбирають прес-підбирачами рулонного або пакового типу. Далі спресовану солому транспортують до місця зберігання.

Потокова технологія передбачає застосування комбайнів із подрібнювачами, які подрібнюють солому та розкидають її по поверхні поля.

РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД КОНТСТРУКЦІЙ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

2.1. Будова та процес роботи зернозбирального комбайна

Зернозбиральний комбайн призначений для збирання зернових колосових культур, зокрема пшениці, жита й ячменю, а також зернових неколосових культур – вівса, рису, зернобобових культур, зокрема гороху, нуту та сочевиці, і круп'яних культур, таких як гречка й просо, прямим або роздільним способом комбайнування. Для збирання кукурудзи на зерно, соняшнику, насінників трав та інших культур комбайн додатково оснащують спеціальними пристроями.

Залежно від обраної технології збирання незернової частини врожаю сучасні комбайни можуть комплектуватися подрібнювачами та копнувачами. Загальний вигляд зернозбирального комбайна з класичним молотильно-сепарувальним пристроєм наведено на рисунку 2.1.

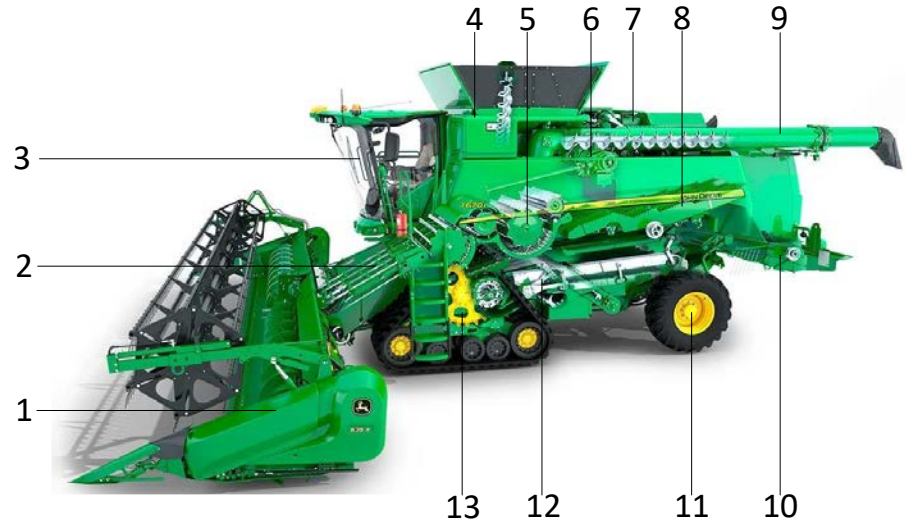


Рис 2.1 Загальний вигляд зернозбирального комбайна:

1 – жатка; 2 – похила камера; 3 – кабіна оператора з органами керування; 4 – бункер для зерна; 5 – молотильно-сепарувальний пристрій; 6 – двигун; 7 – трансмісія; 8 – соломотряс; 9 – вивантажувальний шнек; 10 – подрібнювач незернової частини врожаю; 11, 13 – елементи ходової частини; 12 – система очищення зернового вороху.

Основними вузлами самохідного зернозбирального комбайна є: жатна частина 1, молотарка 5, сепарувальний пристрій для відділення зерна від соломи, або соломотряс 8, пристрій для очищення зернового вороху 12, зерновий бункер 4 з вивантажувальним шнеком 9, подрібнювач незернової частини врожаю 10, двигун 6, ходова частина 11 і 13 та кабіна з органами керування.

Технологічну схему зернозбирального комбайна класичної компоновки наведено на рис. 2.2.

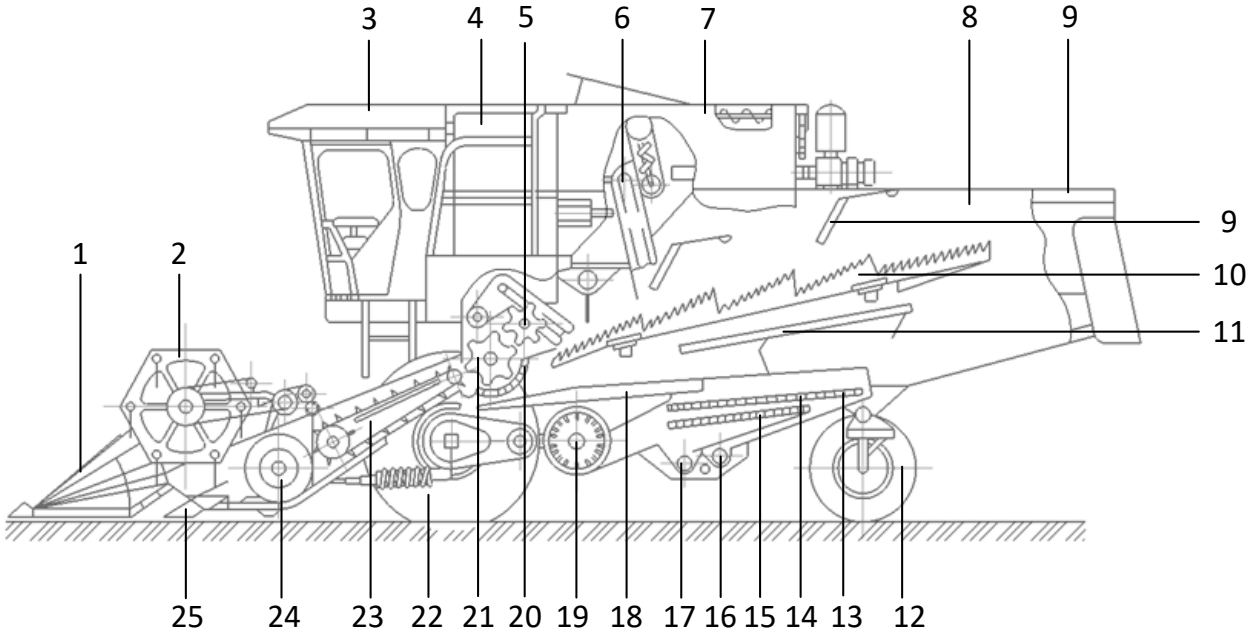


Рис. 2.2. Технологічна схема комбайна класичної компоновки:

1 – подільник; 2 – мотовило; 3 – кабіна з органами керування; 4 – двигун; 5 – відбійний бітер; 6 – зерновий елеватор; 7 – зерновий бункер; 8 – камера соломотряса; 9 – валок; 10 – клавішний соломотряс; 11 – скатна дошка; 12 – задні керовані колеса; 13 – подовжувач верхнього решета; 14 – верхнє решето; 15 – нижнє решето; 16 – колосовий шнек; 17 – зерновий шнек; 18 – стрясна дошка; 19 – вентилятор очисної системи; 20 – підбарабання; 21 – молотильний барабан; 22 – передні ведучі колеса; 23 – транспортер похилої камери; 24 – шнек жатки; 25 – різальний апарат.

Два пасивні подільники 1, ексцентрикове мотовило 2, сегментно-пальцевий різальний апарат 25 і шнек 24 установлені на корпусі жатки, а

похилий транспортер 23 розміщений у похилій камері. Разом жатка з похилою камерою формують жатну частину комбайна.

До складу молотильно-сепарувального пристрою входять молотильний барабан 21 із підбарабанням, відбійний бітер 5, клавішний соломотряс 10, транспортна або стрясна дошка 18, а також решітний стан, який складається з верхнього 14 і нижнього 15 решет, вентилятора 19 та шнекових транспортерів 16 і 17.

Під час руху комбайна полем подільники розділяють смугу хлібостою відповідно до ширини захвату жатки. Мотовило підводить рослинну масу до різального апарата й підтримує її в момент зрізування. Після цього зрізана маса надходить на шнек жатки, який переміщує її зі шнекової частини до центральної зони. Далі за допомогою пальцевого механізму шнека стебла передаються до транспортера похилої камери, а вже звідти – у молотильно-сепарувальний пристрій.

Хлібна маса, потрапляючи в зазор між молотильним барабаном і решітчастим підбарабанням, піддається обмолочуванню. Унаслідок цього утворюється ворох, до складу якого входять солома, полова, збійна маса та вільне зерно. Частина вороху проходить через підбарабання і спрямовується на клавіші соломотряса. Великі залишки соломи переміщуються соломотрясом до подрібнювача, після чого виводяться з комбайна.

Зерно, яке пройшло через підбарабання та відділилося на соломотрясі, спрямовується на транспортну, або стрясну, дошку. Звідти воно надходить на решітну очистку, де під дією коливань решітного стану та повітряного потоку, створеного вентилятором, очищається від легких домішок і необмолочених колосків. Очищене зерно зерновим шнеком подається до зернового елеватора, а потім у бункер. Необмолочені колоски повертаються на повторний обмолот до молотильного апарата.

Описаний робочий процес зернозбирального комбайна є характерним як для вітчизняних, так і для зарубіжних машин. Саме тому така компоновка робочих органів сучасного комбайна вважається класичною.

Комбайни моделі «Lexion» компанії «Claas» побудовані за наведеною вище класичною схемою, однак мають певну конструктивну особливість – барабан-прискорювач хлібної маси. Він входить до системи APS – Accelerated Pre-Separation і розташований перед молотильним барабаном. Завдяки цій системі потік зернової маси прискорюється з 3 м/с, тобто зі швидкості руху транспортера похилої камери, до 20 м/с. Це забезпечує більш рівномірну та якісну подачу маси до молотильного барабана. Удосконалений молотильно-сепарувальний пристрій із системою APS (рис. 2.3) компанія «Claas» уперше використала в комбайнах серії «Mega». За даними дослідників, таке технічне рішення дало змогу підвищити продуктивність комбайна приблизно на 20%.

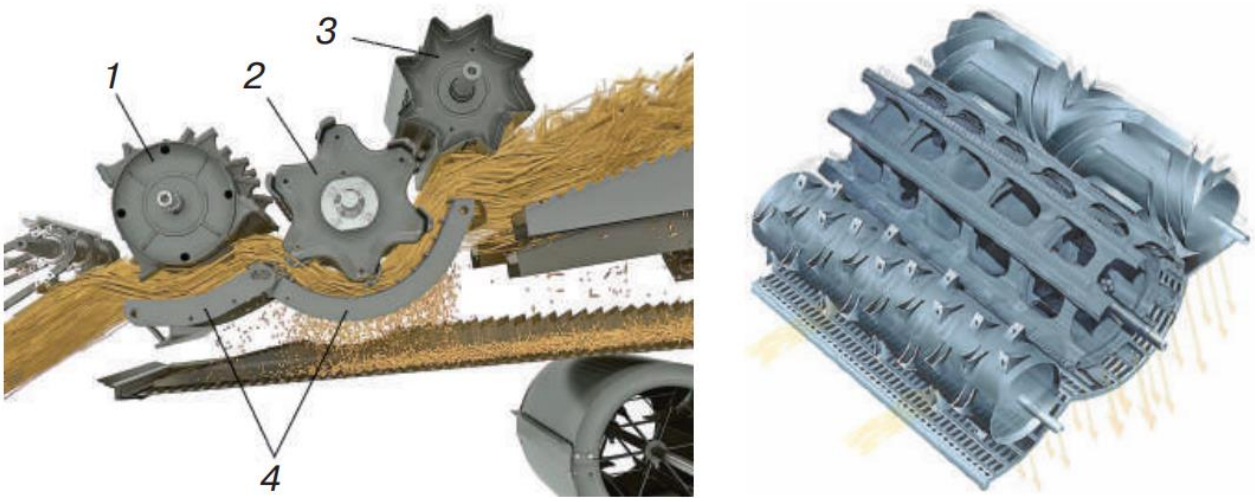


Рис. 2.3. Молотарка комбайнів Claas Lexion з барабаном-прискорювачем системи APS: 1 – барабан-прискорювач; 2 - молотильний барабан; 3 - відбійний бітер: 4 - підбарабання прискорювального та молотильного барабанів

Молотильний апарат зернозбирального комбайна з системою APS (рис. 2.3) складається із барабана-прискорювача *1*, молотильного барабана *2*, відбійного бітера *3*, підбарабання для прискорювального та молотильного барабанів *4*.

Процес роботи такого молотильного апарата відбувається так. Барабан-прискорювач залежно від культури, що обмолочується, обертається з частотою 280–1500 об/хв. Це становить близько 80% частоти обертання основного

молотильного барабана. Він підхоплює хлібну масу, яка надходить із транспортера похилої камери зі швидкістю приблизно 3 м/с, розганяє її до 12 м/с і подає в зазор між молотильним барабаном та підбарабанням.

Перед молотильним барабаном встановлено ще один барабан діаметром 450 мм. За максимальної лінійної швидкості 35,5 м/с він надає хлібній масі швидкість близько 20 м/с і спрямовує її трубним боком до відбійного бітера. Частота обертання відбійного бітера становить приблизно 68% частоти обертання молотильного барабана. Завдяки цьому швидкість вороху зменшується до 9 м/с, після чого він подається на клавішний соломотряс.

Особливістю такого процесу є те, що внаслідок зміни напрямку руху в зазорах між барабанами і підбарабанням хлібна маса частково розтягується, а її шар стає тоншим. Це сприяє зростанню відцентрових сил і поліпшує попереднє відокремлення зерна. У результаті через підбарабання та пристрій обхватом 84° проходить основна частина зерна, яка відділяється ще до основного обмолоту. Отже, система APS здатна сепарувати до 90% зерна, що зменшує навантаження на соломотряс і підвищує пропускну здатність молотарки [12].

Практичний досвід експлуатації зернозбиральних комбайнів показує, що значна частина втрат зерна у класичних молотильно-сепарувальних пристроях виникає саме на соломотрясі. Особливо це помітно під час збирання високоврожайних, вологих або забур'янених зернових культур. Для покращення сепарації грубого вороху та зменшення втрат зерна на комбайнах серії «Lexion» над клавішним соломотрясом установлюють бітер з активними пальцями. Ця система має назву Multi Separation System (MSS) і сприяє розпушуванню грубого вороху для кращого відділення зерна з нього на поверхню соломотряса (рис. 2.4).

Кут нахилу пальців барабана MSS змінюють шляхом переміщення регулювального важеля. Під час тривалої роботи у складних умовах, зокрема на розпушених ворохах, при потребі барабан MSS може вимикатися з роботи [12].

Подальший розвиток конструкцій самохідних зернозбиральних комбайнів сприяв появі систем комбінованих схем молотильно-сепарувальних пристроїв. У таких МСП процес обмолочування та основна сепарація хлібної маси здійснюються молотильним барабаном, а відділення грубого вороху – роторним

сепаратором з осьовою подачею. Такі компонувальні рішення застосовуються на зернозбиральних комбайнах компанії «Claas» серії «Lexion» моделей «Lexion 570», «Lexion 580», «Lexion 600», «Lexion 700», серії «Tucano» моделей «Tucano 470» і «Tucano 480». Серед інших виробників подібними комбінованими молотильно-сепарувальними пристроями оснащені комбайни «John Deere» моделей «C 670» та «New Holland» моделей «CS 6090» і «CSX 7080».

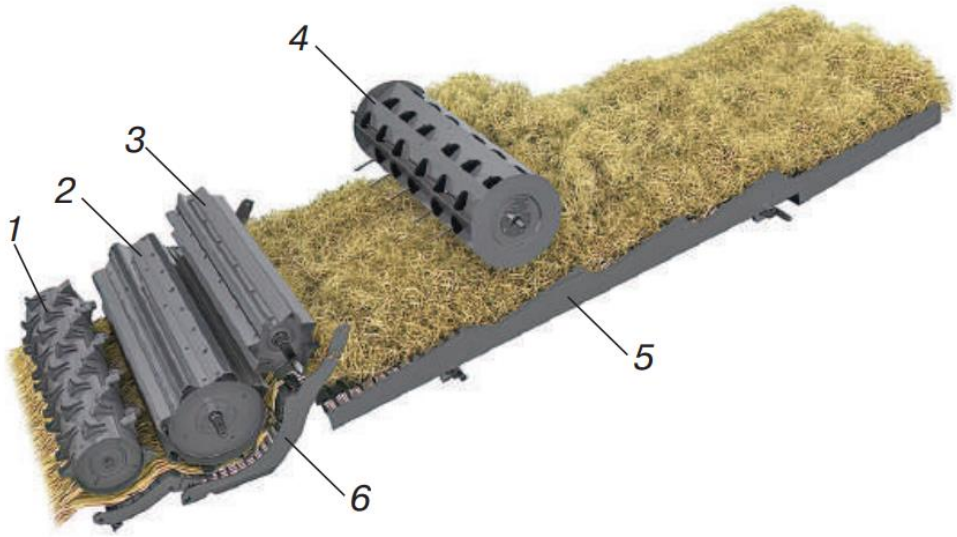


Рис. 2.4. Молотильно-сепарувальний пристрій комбайнів Claas Lexion із системами APS і MSS: 1 - прискорювальний барабан системи APS; 2 - молотильний барабан; 3 - відбійний бітер; 4 - бітер з активними пальцями (MSS); 5 - клавішний соломотряс; 6 - підбарабання

Комбайни «Claas Lexion» обладнуються двома роторними сепараторами, які здійснюють обертання в протилежних напрямах. Частоту обертання роторів-сепараторів змінюють у межах 350–1010 об/хв залежно від умов збирання, виду зернових культур і властивостей соломистої маси. Пропускна здатність комбайнів із комбінованим МСП може досягати 20 кг/с.

Процес роботи зазначених моделей комбайнів відбувається таким чином. Зрізана хлібна маса транспортером похилої камери подається до барабана-прискорювача, який розганяє її і спрямовує до молотильного барабана. Ударна дія елементів барабана на колоски сприяє вимолочуванню зерна. Частина зерна разом із половою проходить через решітчасту поверхню підбарабання та

потрапляє на стрясну дошку. Грубий ворох із залишками вільного зерна надходить під дію відбійного бітера, після чого передається до роторних соломотрясів. У цій зоні ворох активно переміщується, а вільне зерно із частинками соломи та колосків проходить крізь отвори підбарабань роторних соломосепараторів і потрапляє на стрясну дошку.

Для регулювання площі сепарації роторних соломосепараторів усі моделі комбайнів «Claas Lexion» оснащуються пластинчастими заслінками з гідравлічним приводом. Завдяки цьому можна поступово зменшувати відкриту площу сепарації залежно від умов збирання.

Пластини змінюють положення з урахуванням конкретних умов роботи. За низької вологості культури навантаження на соломотряс можна зменшити, а за підвищеної вологості, навпаки, збільшити площу ефективної сепарації зерна. Після відокремлення грубого вороху солома від соломосепараторів потрапляє до подрібнювача, змішувача або за допомогою розкидних дисків рівномірно розподіляється по поверхні поля. Зерновий ворох послідовно спрямовується на решета для подальшого очищення. Така ж гібридна схема компоновки МСП використовується на комбайнах «John Deere» серії С та «Fendt» (рис. 2.5).

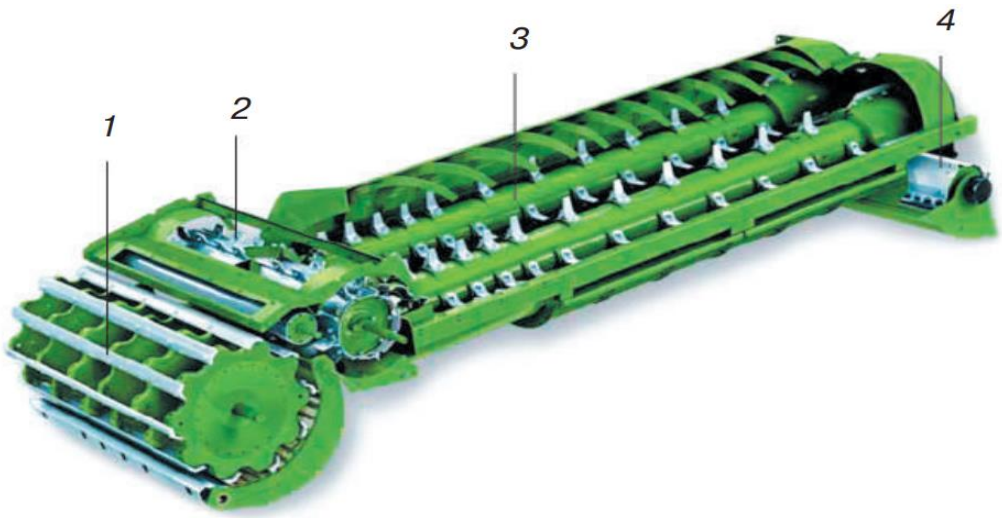
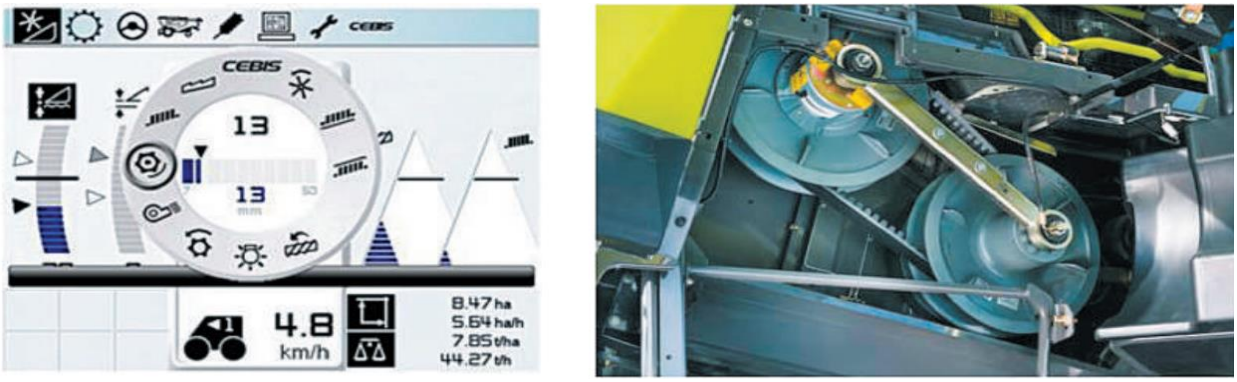


Рис. 2.5 Гібридний МСП комбайна John Deere серії С:

1 - молотильний барабан; 2 - ротаційний сепаратор; 3 - роторний соломотряс; 4 - подрібнювач соломи

У комбайнах «Claas» частота обертання роторів соломотряса регулюється в межах 350–1050 об/хв незалежно від частоти обертання молотильного барабана за допомогою системи CEBIS. Це дає змогу швидко змінювати робочі налаштування роторів залежно від умов збирання, виду культури та властивостей грубого вороху, забезпечуючи оптимальну продуктивність машини.



а *б*

Рис. 2.6 Система регулювання частоти обертання роторів CEBIS від компанії «Claas»: *а* - монітор; *б* - варіатор приводу ротора

Порівняння зернозбиральних комбайнів із роторним і класичним типом МСП дає змогу зробити висновок, що основною перевагою роторних систем є мінімальне травмування зерна, яке не перевищує 1%, а також незначні втрати вільного зерна через недомолот – на рівні близько 1%.

До недоліків комбайнів із роторним МСП належать підвищені витрати потужності на обмолочування, надмірне перетирання соломи, а також утворення довгостеблової маси у вологих хлібах. У таких умовах солома може скручуватися у джгут, що спричиняє зупинку ротора або відмову його приводу. Через це на комбайні потрібно встановлювати продуктивний повітряно-решітний очисник для очищення зерна. Водночас головним недоліком таких машин залишається висока енергоємність процесу обмолоту. Зернозбиральні комбайни з аксіально-роторним МСП витрачають на 20–40% більше пального на 1 т намолоченого зерна, ніж машини з класичним МСП [4].

Особливість компонувальної схеми комбайна «Claas Commandor» полягає у встановленні замість клавішного соломотряса соломорозчісувальних роторів (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Загальний вигляд зернозбирального комбайна Claas Commandor:
1 – подільники; 2 – стеблепідіймачі; 3 – мотовило; 4 – шнек; 5 – корпус жатки; 6 – гідроциліндр підіймання мотовила; 7 – гідроциліндр горизонтального переміщення мотовила; 8 – транспортер похилої камери; 9 – приймальна камера молотарки; 10 – підбарабання; 11 – молотильний барабан; 12 – соломорозчісувальні ротори; 13 – решето соломотряса; 14 – скатна дошка; 15 – вентилятор; 16 – стрясна дошка; 17 – пальцева решітка; 18 – верхнє решето; 19 – нижнє решето; 20 – зерновий шнек; 21 – колосовий шнек; 22 – зерновий бункер; 23 – вивантажувальний шнек; 24 – двигун; 25 – кабіна з органами керування; 26 – подрібнювач незернової частини врожаю.

Серед інших поширених марок зарубіжних самохідних роторних комбайнів можна виділити машини, що мають такі основні технічні характеристики: діаметр ротора – від 432 до 800 мм, довжина ротора – 2286–4267 мм, кут обхвату підбарабання – від 87 до 134°, місткість зернового бункера – від

6,3 до 11,1 м³, потужність силової установки – 107–199 кВт, споряджена маса комбайна – 8570–12200 кг, пропускна здатність – 20 кг/с.

2.2. Основні передумови щодо розробки та удосконалення конструкцій зернозбиральних машин

Намагання створити машину, яка могла б спростити зрізування та обмолочування зернових культур, з'явилися ще до вдосконалення жаток-снопов'язалок і стаціонарних молотарок. Традиційна технологія збирання була тривалою: скошування рослин, в'язання снопів, формування кіп, транспортування на тік та обмолочування. За такого способу втрати врожаю могли становити 20–25%. Крім того, потрібна була значна кількість робітників, що підвищувало трудомісткість і собівартість продукції. Тому виникла потреба в механізації збирання та поєднанні кількох операцій в один технологічний процес.

У 1828 р. у США було запатентовано першу жатку-молотарку, яка послідовно виконувала операції зрізування хлібної маси, обмолочування та очищення зерна. Такий агрегат мав великі колеса діаметром близько 30–40 дюймів, а його робочі органи приводилися в рух від опорно-приводних коліс.

Водночас розвиток молотарок розпочався значно раніше. Найпростіший апарат обмолоту у вигляді ціпа з дерев'яними билами був запропонований ще у 1775 р., а вже у 1785 р. почали застосовувати молотарки з великим молотильним барабаном і пальцевим соломотрясом.

Щодо сегментно-пальцевого різального апарата, то перший патент на нього був отриманий англійцем Р. Мейзоном у 1800 р. Різальний апарат працював за принципом ножа, який здійснював зворотно-поступальний рух. У 1842 р. цей різальний апарат був удосконалений Мак-Кормiком у США і доведений майже до того вигляду, у якому він використовується нині [25].

У 1815 р. у Сполученому Королівстві було налагоджено виробництво молотарок барабанно-бильного типу, а в 1822 р. створено конструкцію жатки, оснащеної різальним апаратом зі зворотно-поступальним рухом ножа та пальчастим мотовилом. Таким чином, уже в середині XIX ст. сформувалися основні передумови для створення універсальної машини – комбайна.

Перший комбайн з обчісувальною жаткою був розроблений у 1843 р. в Австралії. Принцип його роботи ґрунтувався на дії жатної машини, відомої ще з 77 р. Машина мала раму у формі ящика, до передньої стінки якої кріпилася гребінка, а в задній частині були дверцята для зберігання зерна. Ящик монтувався на осі з колесами, і тварина штовхала його перед собою. Поряд із візком ішов збирач, який гострим череслом збивав колоски, затиснуті між зубцями гребінки, після чого вони падали в ящик.

Окрім перших зернозбиральних комбайнів, для скошування хлібної маси застосовували також інші жатні машини. До них належали жатка-лобогрійка, розроблена у 1842 р., жатка-самоскид, створена у 1851 р., а також жатка-снопов'язалка, яка з'явилася у 1873 р. Подальше обмолочування скошеної маси виконували за допомогою стаціонарних молотарок, обладнаних бильними або зубовими молотильними барабанами, клавішними соломотрясами, розробленими у 1775 р. і вдосконаленими у 1831 р., та вітрорешітними очисниками, відомими приблизно з 1850 р.

Перший комбайн на території України було створено у 1929 р. в місті Запоріжжя. Він мав назву «Комунар» (ЖМ-4,6), пересувався полем за допомогою трактора, а привід робочих органів здійснювався від окремого бензинового двигуна, встановленого на рамі комбайна.

Надалі конструкції причіпних моторних комбайнів поступово вдосконалювалися. До таких машин належали С-1, СЗК у 1932–1941 рр., С-6 у 1947–1956 рр., РСМ-8 у 1957–1958 рр. У 1957 р. було випробувано перший безмоторний причіпний комбайн ПК-2.

У 1947 р. розпочалося виробництво першого радянського самохідного комбайна С-4 «Ростсельмаш», а вже у 1958 р. випуск причіпних комбайнів було припинено, оскільки самохідні машини почали масово застосовуватися в господарствах. Після цього було налагоджено виробництво нового самохідного зернозбирального комбайна СК-3. Згодом промисловість випускала й інші моделі самохідних зернозбиральних комбайнів: СК-4 у 1962 р., СКД-5 «Сибиряк» у 1969 р., СК-6 II «Колос» у 1971 р., СК-5 «Нива» у 1973 р., «Енисей-1200» у 1986 р., РСМ-8 «Дон-1200», РСМ-10 «Дон-1500», СК-10 «Ротор», КРТ-10 «Дон-Ротор» у 1986 р. та інші [22].

До 1990-х років в Україні працювало близько десяти підприємств, які займалися виробництвом комбайнів. Однак після розпаду СРСР майже всі ці заводи припинили діяльність або були перепрофільовані на виготовлення іншої продукції.

Новим поштовхом до відновлення та розвитку вітчизняного комбайнобудування стала «Цільова підпрограма створення та організації виробництва в Україні комплексу машин і обладнання для збирання, післязбиральної обробки та зберігання зерна і незернової частини урожаю», прийнята у 1993 році, яка також передбачала спільне з іншими країнами виробництво комбайнів. Протягом двох років Головне СКБ зернозбиральних комбайнів та самохідних шасі (м. Таганрог), КБ «Південне» (Дніпро) та Інститут механізації та електрифікації сільського господарства (смт. Глеваха) розробили дві моделі комбайнів: класичного та аксіально-роторного типу. Згідно розробленої документації на Херсонському машинобудівному заводі було виготовлено 4 зразки комбайнів (по два комбайни кожного типу): у 1995 році – дослідний зразок зернозбирального комбайна КЗС-9 «Славутич», а у 1996 році - зразок роторного комбайна КЗСР-9 «Славутич».

Польові випробування цих комбайнів підтвердили доцільність їх подальшого впровадження у промислове виробництво. Водночас перевагу було надано комбайну з класичною схемою компонування, оскільки його робота не потребує менших енерговитрат, а конструкція є простішою і дешевшою порівняно з роторним комбайном.

За весь час підприємство виготовило близько 1500 зернозбиральних комбайнів КЗС-9.1 «Славутич». Поява українських аналогів зернозбиральної техніки вплинула і на ринок імпортних машин, оскільки ціни на зарубіжні комбайни знизилися приблизно на 15–20%.

Майже одночасно з Херсонським машинобудівним заводом виробництво комбайнів почали налагоджувати й інші українські підприємства. Зокрема, підприємство «Автоштамп» у м. Олександрія Кіровоградської області розпочало випуск комбайнів КЗС 1580 «Лан», які були ліцензованою копією німецького комбайна Claas «Dominator-108». Харківський завод транспортного машинобудування ім. В. О. Малишева спільно з польською компанією «Bizon» організував складання комбайнів «Обрій». Київський екскаваторний завод

«Атек» у співпраці з італійською фірмою «Laverda» випускав комбайн «Атек-1300», а підприємство «Південмаш» у м. Дніпро разом із німецькою компанією «Claas» налагодило виробництво комбайнів «Дніпро-350».

В подальшому Херсонський машинобудівний завод налагодив з компанією «Claas» - складання комбайнів серії «Tucano», однак, згодом спільне виробництво копій зарубіжних зернозбиральних комбайнів припинилося. Зусилля заводу сконцентрувались на модернізації комбайнів КЗС-9-1 «Славутич», яка завершилася створенням зернозбиральних комбайнів сімейства «Скіф» («Скіф-235», «Скіф-250» та ін.). Історія розвитку галузі комбайнобудування країн Європи розвивалась подібним шляхом [19].

Підсумовуючи викладене, можна зазначити, що конструкції комбайнів поступово вдосконалювалися за «американською» схемою компонування, у якій основний акцент робився саме на самохідні машини. Водночас не втрачала актуальності ідея створення комбайна з австралійською схемою та обчісувальною жаткою. У 1990-х роках комбайни з обчісувальними пристроями випробовувалися як в Україні, так і за кордоном.

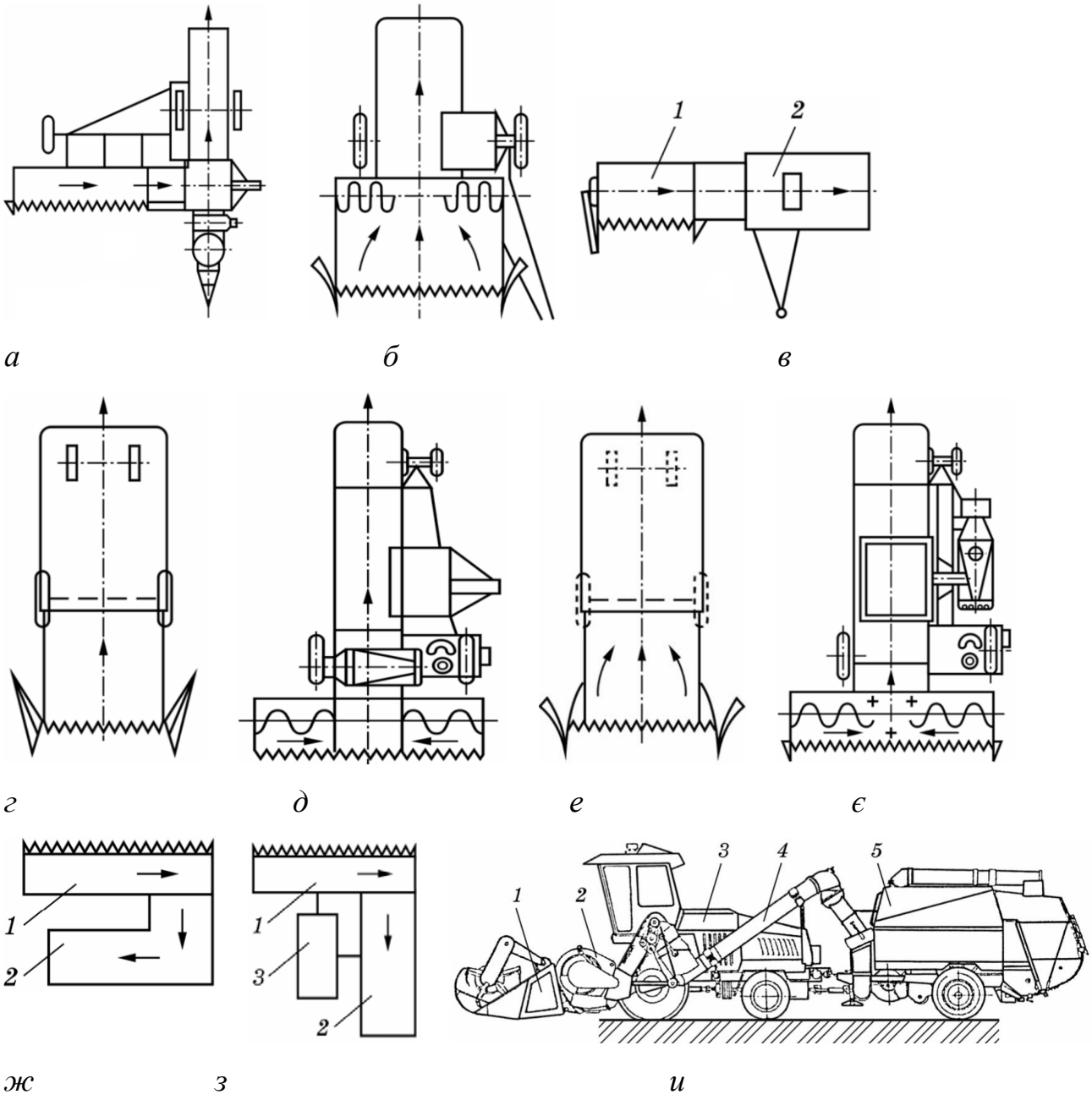
2.3. Класифікація зернозбиральних комбайнів

За призначенням зернозбиральні комбайни поділяються на два основні типи:

– комбайни загального призначення (універсальні) - для збирання зернових колосових, зернобобових і круп’яних культур, насінників трав та насінників цукрових буряків;

– спеціальні комбайни - для збирання високоврожайних зернових культур та рису, зернових культур на полях зі складним рельєфом (на схилах), на насіннєвих ділянках (селекційні комбайни), а також для збирання зеленого гороху.

За способом агрегатування розрізняють самохідні, причіпні, начіпні, монтовані зернозбиральні комбайни та блоково-модульні на базі універсального енергетичного засобу (рис. 2.8).



а *б* *в*

г *д* *е* *є*

ж *з* *и*

Рис. 2.8. Класифікація зернозбиральних комбайнів:

а, *з* – причіпний Г – подібний непрямопотоковий; *б* – причіпний прямопотоковий; *в* – причіпний поперечно-прямопотоковий; *г* – самохідний поздовжньо-прямопотоковий; *д* – самохідний Т-подібний непрямопотоковий; *е* – самохідний прямопотоковий з пасивним звуженням потоку хлібної маси; *є* – Т-подібний непрямопотоковий начіпний на самохідне шасі; *ж* – П-подібний непрямопотоковий блоково-модульний на базі енергетичного засобу; *и* – блоково-модульний комбайн на базі енергетичного засобу; 1 – жатка; 2 – молотильно-сепарувальний пристрій; 3 – енергетичний засіб; 4 – похилий шнек дрібного вороху; 5 – зерновий бункер з вітрорешетними очисником [26].

Однак більшість сучасних компаній-виробників переважно випускають саме самохідні моделі зернозбиральних комбайнів.

За типом ходової частини зернозбиральні комбайни поділяють на колісні, гусеничні та комбіновані, тобто колісно-гусеничні. Щоб зменшити ущільнення ґрунту під час руху техніки полем, на окремих моделях установлюють спарені колеса. Для покращення прохідності комбайна, особливо за складних польових умов, застосовують повний привід.

За напрямом подачі зрізаних стебел до молотарки, комбайни поділяються на прямопотокові і непрямопотокові. В свою чергу прямопотокові комбайни поділяють на поздовжньо-прямопотокові і поперечно-прямопотокові, а непрямопотокові комбайни - на Г -, Т - та П -подібні.

За типом молотильно-сепарувального пристрою зернозбиральні комбайни поділяють на машини з класичною схемою МСП та роторні комбайни. У комбайнах класичної конструкції молотарка має одно- або двобарабанний молотильний апарат, розташований упоперек машини, а відокремлення грубого вороху здійснюється за допомогою клавішного соломотряса.

Роторні комбайни, залежно від механіко-технологічного принципу обмолочування хлібної маси та сепарації грубого вороху, поділяють на дві основні групи: машини з роздільно-агрегатним молотильно-сепарувальним пристроєм і моноблокові комбайни.

За пропускною здатністю зернозбиральні машини також поділяють на окремі класи. Клас комбайна визначається основними технічними параметрами, зокрема шириною молотарки, загальною та ефективною площею сепарації зерна, площею очищення решіт, місткістю зернового бункера і потужністю двигуна (табл. 2.1) [12].

Таблиця 2.1

Розподіл комбайнів за класами

Клас	Потужність двигуна, к.с.	Пропускна здатність молотарки, кг/с
4	150…200	7…8
5	200…250	9…11
6	250…350	11…14
7	350…400	14…16
8	400…500	16…19
9	>500	>19

2.4. Агротехнічні вимоги до процесу збирання зернових культур

Головною вимогою до зернозбиральних машин є забезпечення своєчасного та якісного збирання врожаю. Для цього параметри й режими роботи комбайна повинні відповідати агротехнічним вимогам і фактичним умовам збирання конкретної сільськогосподарської культури.

При використанні валкових жаток повинен забезпечуватись рівний зріз стебел рослин та формуватися рівномірний за товщиною та неперервний валок. Мінімальна висота зрізу стебел має бути на рівні 50…100 мм, а нерівномірність висоти зрізу стебел – не перевищувати 20%. Втрати зерна за валковою жаткою не повинні перевищувати: для прямостоячих хлібів – 0,5%, а для полеглих хлібів – 1,5%.

За роздільного способу збирання зернових культур втрати зерна за підбирачем мають бути не більшими за 1%, а чистота зерна в бункері повинна становити не менше 96%.

Під час прямого комбайнування вологість хлібної маси у фазі повної стиглості має становити 14–17%. Якщо вологість хлібів перевищує ці показники, зростають втрати через недомолот. У разі збирання хлібів із вологістю нижче 14% збільшується кількість подрібненого зерна та його втрати з половою.

Втрати зерна за жаткою комбайна не повинні перевищувати 1% для прямостоячих рослин і 1,5% для полеглих. Втрати за молотаркою через недомолот мають бути не більшими за 1,5% під час збирання зернових культур і

не більше 2% під час збирання рису. Подрібнення зерна молотаркою не повинно перевищувати 1%, пошкодження зерна – 2%, зернобобових культур – 3%, а рису – 5%. Чистота зерна у бункері має бути не нижчою за 95%.

Отже, агротехнічні вимоги до роботи комбайна передбачають такі показники: втрати зерна за валковою жаткою для прямостоячих рослин – не більше 0,5%, для полеглих – 1,5%; втрати за молотаркою – не більше 1%; чистота зерна в бункері – не менше 96% [26].

2.5. Основні напрями розвитку молотильно-сепарувальних пристроїв

Підвищення продуктивності комбайнів, побудованих за «класичною» схемою, досягається переважно за рахунок збільшення ширини захвату жатки та молотильно-сепарувального пристрою, а також завдяки застосуванню додаткових механізмів, які інтенсифікують процес збирання врожаю.

Одночасно з удосконаленням наявних конструкцій зернозбиральних комбайнів проводяться роботи, спрямовані на пошук і розроблення нових конструктивно-технологічних схем молотильно-сепарувальних пристроїв.

В зернозбиральних машинах компанії Case IH (США) молотильно-сепарувальним пристроєм є ротор, розміщений вздовж осі комбайна під певним кутом нахилу (рис. 2.5).

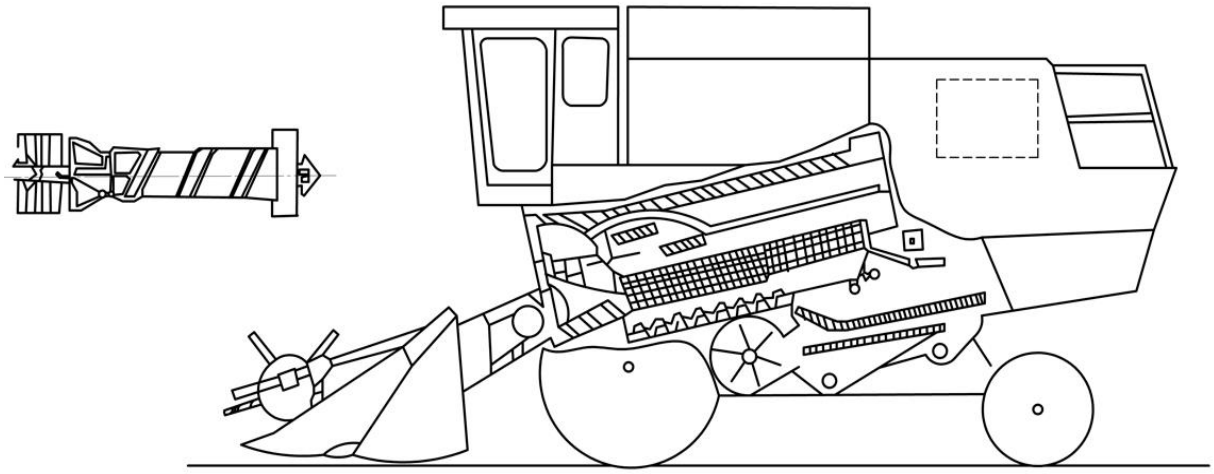


Рис. 2.9. Схема комбайна Case IH (США)

Подібна технологічна схема використовується і в зернозбиральних комбайнах канадської компанії «Western Combine». Основна відмінність полягає в тому, що ротор у таких машинах розташований горизонтально, конструкцією передбачено лише приймальний бітер, тоді як відбійний бітер відсутній.

У зернозбиральних комбайнах моделі TR 97 компанії «New Holland» (США) хлібна маса, яка подається похилим транспортером, розділяється на два потоки й надходить до двох поздовжньо розміщених роторів, що обертаються в протилежних напрямах (рис. 2.10). Після виходу з молотарки соломиста фракція потрапляє під дію відбійного бітера.

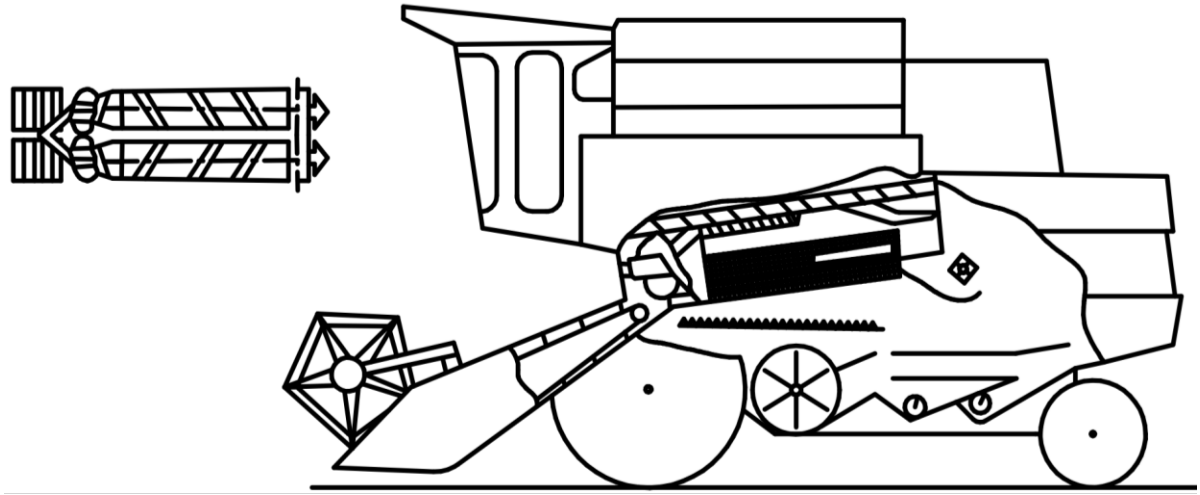


Рис 2.10. Схема зернозбиральної машини компанії New Holland (США)

У схемі комбайна моделі TF компанії «New Holland» (рис. 2.11) традиційний соломотряс замінено поперечним ротором. Його основне призначення полягає в розділенні потоку хлібної маси, яка попередньо обмолочується барабаном. Після поділу одна частина маси спрямовується вправо від ротора, а інша – вліво. Поєднання бітера з розподільчим барабаном дало змогу підвищити якість сепарації та збільшити швидкість проходження хлібної маси через молотарку.

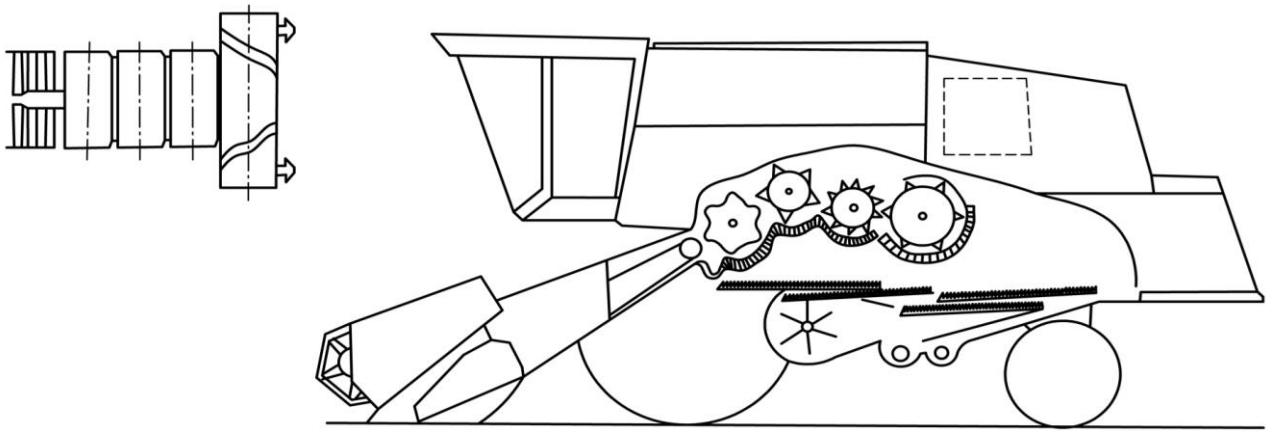


Рис. 2.11. Схема комбайна моделі TF компанії New Holland

За досить оригінальною компонувальною схемою спроектовано зернозбиральний комбайн моделі MX - 300 від італійської компанії Fiatagri. Роторний молотильно-сепарувальний пристрій, як самостійний модуль, розміщується поперечно між жаткою і комбайном (рис. 2.12). Скошена хлібна маса подається до ротора, права частина якого здійснює обмолочування, а ліва – сепарацію вороху. Відсепарована солома виводиться з робочої зони машини ліворуч від передніх коліс комбайна.

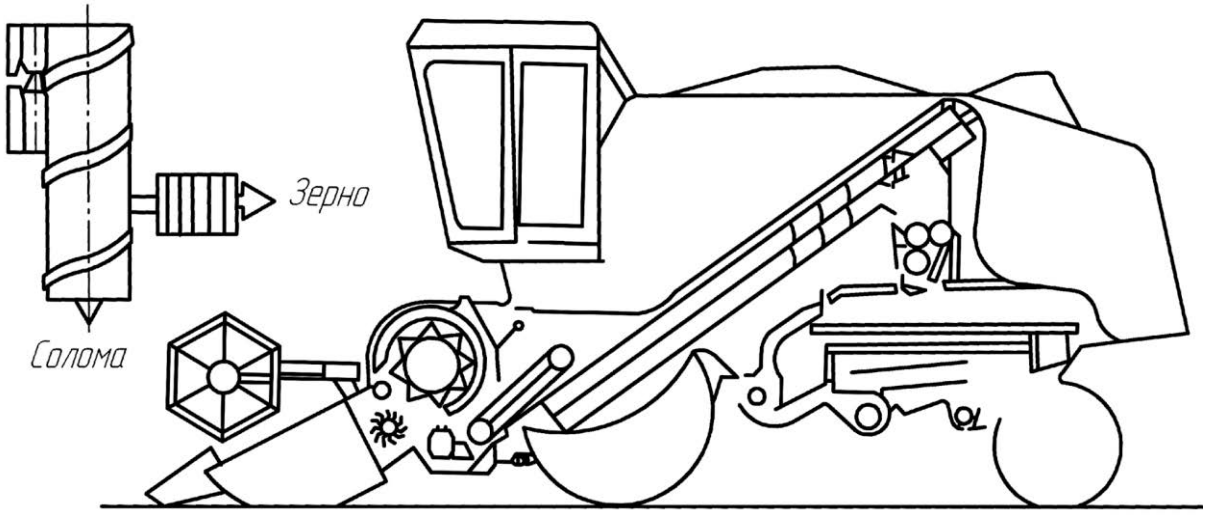


Рис. 2.12. Схема зернозбирального комбайна Fiatagri (Італія)

Для посилення сепарації грубого вороху та підвищення продуктивності зернозбиральної машини інженери компанії «Fiatagri» замість клавішного соломотряса встановили два сепарувальні барабани з конічними штифтами.

У зернозбиральному комбайні «Commandor» компанії «Claas» традиційний клавішний соломотряс замінено системою з восьми сепарувальних роторів із власними підбарабаннями (рис. 2.13).

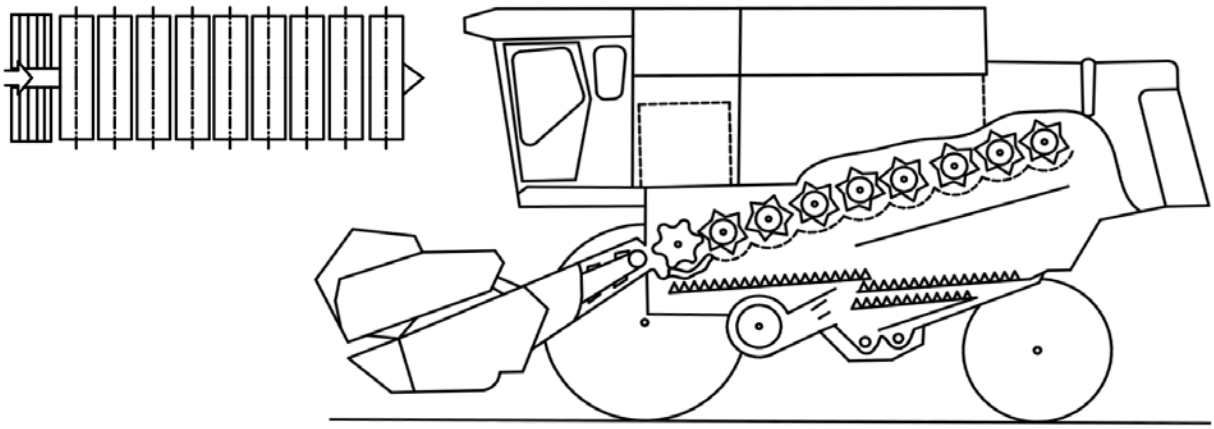


Рис. 2.13. Схема комбайна Commandor компанії Claas (Німеччина)

Ротори обертаються з однаковою швидкістю, а їх сепарувальні підбарабання закріплені на направляючих одне за одним, і за необхідності легко виймаються для заміни або технічного обслуговування [25].

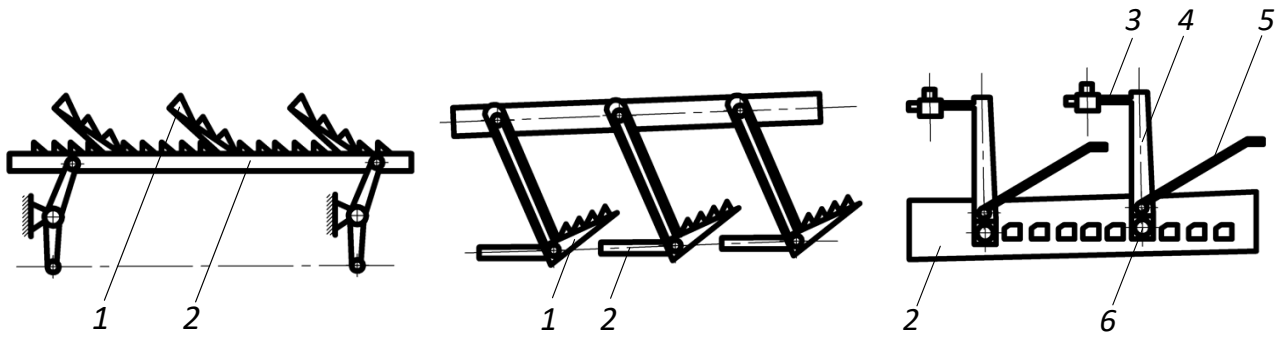
Для кращого розуміння поняття інтенсифікації сепарування грубого вороху спочатку слід визначити, що саме мається на увазі під грубим ворохом. Грубим ворохом називають рослинну масу, яка утворюється після обмолочування зернових культур. Його склад і структура залежать від типу молотильного барабана, що застосовувався під час обробки хлібної маси. Зазвичай до грубого вороху входять солома, полова, збійна маса, дрібні домішки, необмолочені колоски та вільне зерно. Тому головне призначення сепарувальних робочих органів, тобто соломовідокремлювачів, полягає у виділенні вільного зерна з вороху та направленні його на очищення, тоді як солома подається до подрібнювача або укладається у валок.

За характером дії на грубий ворох соломовідокремлювачі поділяють на два основні типи: соломотряси та роторні соломовідокремлювачі. Робота соломотряса подібна до перетрушування соломи вилами. Він підкидає, розпушує і розтягує грубий ворох по поверхні сепарувального пристрою. Завдяки

поєднанню поздовжніх і вертикальних коливань відбувається струшування вороху, унаслідок чого вільне зерно як найважча і найдрібніша його частина просіюється між стеблами та проходить крізь отвори верхньої решітчастої поверхні соломотряса на очистку. Соломиста частина врожаю залишається на поверхні клавіш і поступово переміщується до пристроїв для обробки незернової частини врожаю.

У перших конструкціях соломотрясів розробники намагалися максимально відтворити рух робочого органу, подібний до ручного струшування соломи вилами. Надалі саме це стало основою для створення пальчастих і каскадних соломотрясів.

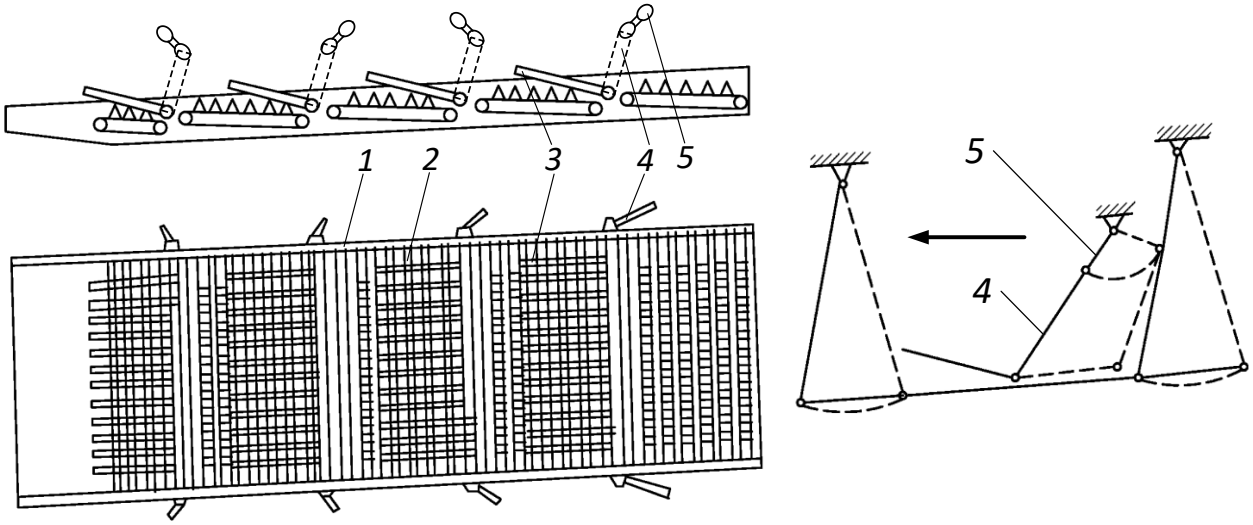
У пальчастому соломотрясі (рис. 2.14 *в*) до решітчастої поверхні *2*, яка коливається у горизонтальній площині, шарнірно приєднані пальці *5* з кронштейнами *4*, один кінець яких утримується пасом *3*. Завдяки чому при переміщенні решітчастої поверхні пальцям надається коливальний рух навколо шарніра *6.*



а *б* *в*

Рис. 2.14. Схеми соломотрясів ранніх конструкцій: *а* – гребінчастий з суцільним решетом; *б* – гребінчастий з секційним решетом; *в* – пальчастий; 1 – гребінка, 2 – решето, 3 – пас, 4 – кронштейн, 5 – палець, 6 - шарнір

Пальчастий платформний соломотряс (рис. 2.15) був запропонований шотландцем А. Мейклом ще у 1815 році.



а *б*

Рис. 2.15. Пальцьовий платформний соломотряс: *а* – загальна будова; *б* – схема робочого процесу; 1 – рама; 2 – пальцьові стержні; 3 – пальці-ворушники; 4 – важіль; 5 – утримувальна ланка

Він складався з дерев'яної решітки, підвішеної на шарнірних підвісах до корпусу молотарки. Решітка приводилась у коливальний рух у повздовжній площині. На рамі *1* соломотряса розміщуються підшипники пальцевих стрижнів, на яких жорстко закріплені пальці-ворушники *3*. На виступаючих кінцях пальцевих стрижнів закріплюються нижні кінці важелів *4*, а верхні їх кінці шарнірно з'єднані з утримувальними ланками *5*, які в свою чергу шарнірно з'єднуються з рамою молотарки.

Під час руху соломотряса у напрямку переміщення соломи пальці підкидають і перетрушують грубий ворох, а разом із ним просувають солому до виходу. Коли соломотряс рухається у зворотному напрямку, пальці притискаються до платформи та проходять відносно підкинутого ними шару вороху [18].

У 1831 р. американець інженер Тернер і Мофіт запатентували зубовий молотильний апарат із клавішним соломотрясом.

На двовальних клавішних соломотрясах установлюють дві однакові колінчасті вали 5 і 7 (рис. 2.16, а), кількість колін яких відповідає кількості клавіш соломотряса – від 3 до 6.

На двовальний клавішний соломотряс встановлюються два однакові колінчасті вали *5* і *7* (рис. 2.16 *а*) з кількістю колін, яка відповідає кількості клавіш соломотряса (від 3 до 6).

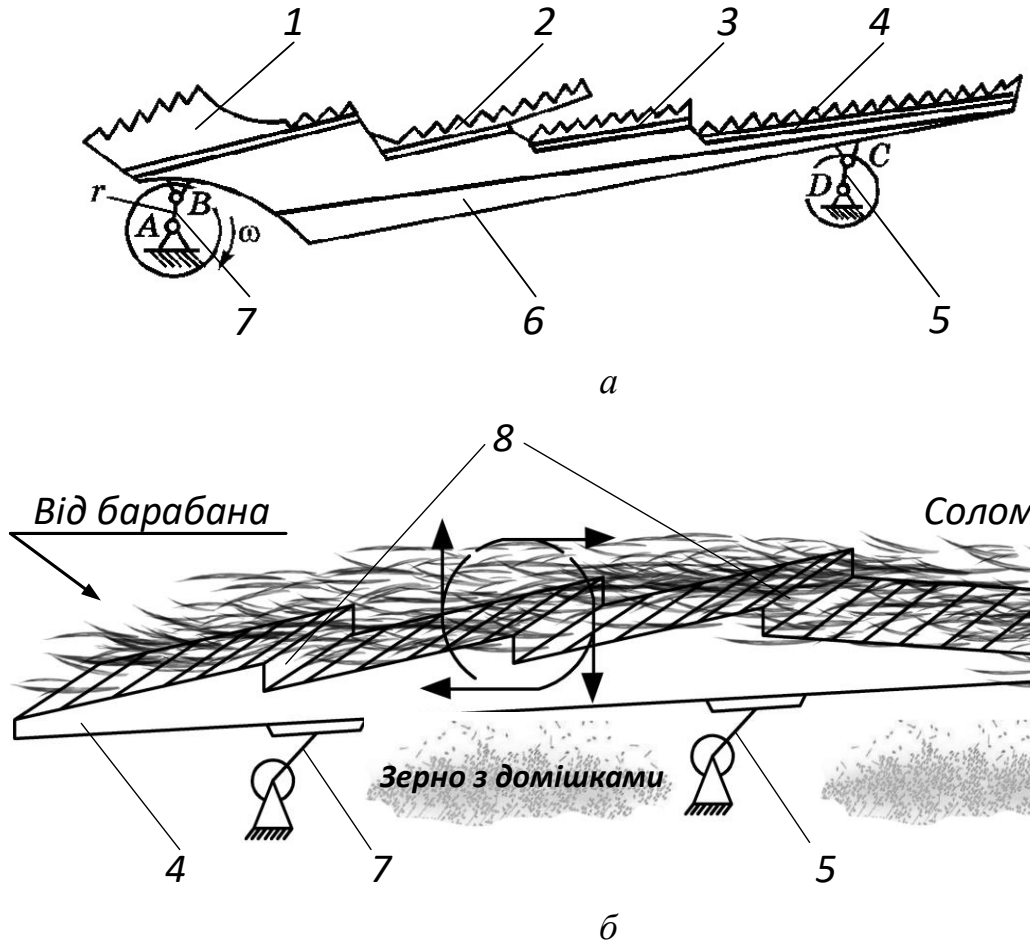


Рис. 2.16. Клавішний соломотряс: *а* – загальна будова; *б* – схема робочого процесу; 1 – гребінка, 2 – граблина, 3 - решітчаста поверхня, 4 - корпус клавіші, 5, 7 – колінчасті вали, 6 – клавіша, 8 – вертикальна стінка клавіші

Опишемо процес перетрушування грубого вороху та переміщення соломи до виходу соломотряса. Під час руху клавіші соломотряса вгору, як показано стрілками на рис. 2.16, б, відбувається підкидання вороху. Вільне зерно, яке має меншу площу поверхні та більшу масу порівняно із соломою, проходить крізь шар соломистої маси і просипається через отвори решітчастої поверхні клавіші.

Соломиста частина грубого вороху після підкидання приземляється на клавішу і поступово переміщується до виходу. Її рух у напрямку виходу забезпечується нахилом клавіші, оскільки вона має вертикальні стінки й каскади. Щоб клавіша соломотряса могла здійснювати підкидання вороху, соломистій фракції надається імпульс, під дією якого вона відривається від поверхні клавіші. Це досягається завдяки обертанню колінчастого вала соломотряса з частотою 200–230 об/хв.

Одновальний клавішний соломотряс має лише один колінчастий вал. Сусідні коліна вала розміщені під кутом 180° одне відносно одного. Клавіші своїми середніми шарнірами спираються на коліна вала. Поперек однієї з кінців кожної клавіші, переднього або заднього, шарнірно з'єднаний з підвісом, а інший кінець клавіші вільно коливається.

Така конструкція зумовлює те, що одні кінці клавіш рухаються за різними траєкторіями та мають різну за величиною і напрямком швидкість. У той час, коли середина клавіші рухається по коловій траєкторії, її крайні частини переміщуються по еліптичних траєкторіях. Через різницю траєкторій і швидкостей інтенсивність відділення вільного зерна по довжині клавіші змінюється від напрямку вільного кінця до її протилежної частини. Як показують дослідження, на кінці клавіші ця інтенсивність є найвищою, що сприяє активнішому підкиданню зерна в шарі соломи та кращому його проходженню крізь соломисту масу.

На ранніх моделях комбайнів із невеликою шириною захвату застосовували платформні каскадні соломотряси. У таких конструкціях клавіші утворювали суцільну поверхню, закріплену на одному коліні вала. Розпушування грубого вороху на цих соломотрясах виконувалося за допомогою ворушилок.

Ще в ранніх конструкціях молотарок дослідники робили спроби забезпечення перетрушування грубого вороху без застосування коливань робочих органів, замінюючи коливання на рівномірне обертання. Так виникли конвеєрно-роторні соломотряси (рис. 2.17). Громіздкість конструкції соломотряса виправдовувалась тим, що обертальні робочі елементи у порівнянні

з коливними не будуть створювати шкідливі інерційні сили і, відповідно, забезпечать надійність і довговічність молотарки.

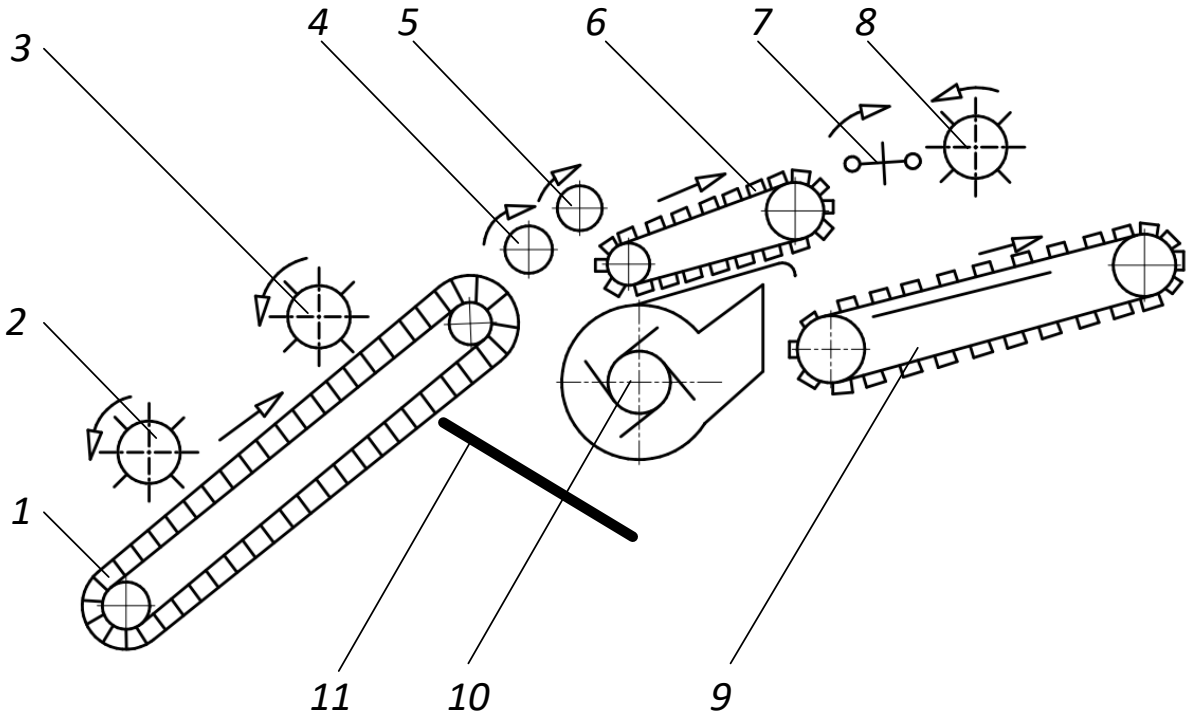


Рис. 2.17. Схема конвеєрно-роторного соломотряса:

1 - конвеєр вороху, 2 і 3 – бітери, 4 і 5 – пікери, 6 і 9 – короткий і довгий конвеєри, 7 – двопрудковий бітер, 8 – відбійний бітер, 10 – вентилятор, 11 – похила дошка

Процес роботи конвеєрно-роторного соломотряса відбувається так. Грубий ворох з молотильного апарата, потрапляє на транспортер *1,* на якому за допомогою двох голчастими валиками *2* і *3* солома прочісується. Основна частина вільного зерна потрапляючи на поверхню транспортера виноситься ним на похилу дошку *11*, а солома захоплюється двома валиками *4* і *5* (пікерами) і подається на ланцюгово-пластинчастий транспортер *6* (короткий транспортер). З короткого транспортера солома підхоплюється двопрутковим бітером *7* і передається на відбійний бітер *8*, який скидає її на ланцюгово-пластинчастий транспортер (довгий транспортер). Зерно і дрібні домішки, проходячи через робочі елементи схеми, витрушуються з соломи і падаючи донизу, потрапляючи під дію повітряного потоку створеного вентилятором *10*, А солома довгим транспортером солома виноситься за межі молотарки.

Такий тип соломотряса раніше застосовувався у деяких стаціонарних молотарках, але з часом був витіснений клавішними і пальчастими соломотрясами.

Спроби інженерів зменшити габарити комбайна сприяли появі альтернативного способу сепарації грубого вороху, який ґрунтувався на використанні соломорозчісувальних барабанів, тобто роторів, і решітчастих дек. Такі барабани оснащувалися спеціальними штифтами та формували рухому обчісувальну поверхню. Під кожним соломорозчісувальним барабаном установлювали окрему решітку, або підбарабання, через яку відбувалося просіювання зернової суміші.

Процес очищення (вивільнення) зерна відбувається так. Грубий ворох з молотильного барабана подається до обчісувальних роторів, які, обертаючись проти годинникової стрілки, почергово захоплюють його і протягують в зазори між роторами і решітчастими деками. Виділене при цьому зерно проходить через решітчасту поверхню деки і надходить до очистки, а солома останнім ротором подається до пристрою для збирання незернової частини урожаю.

На окремих комбайнах «New Holland» застосовується додатковий ротор-соломотряс, який розміщується паралельно до осі молотильного барабана. Під час роботи грубий ворох, спрямований відбійним бітером до ротора, розподіляється на два потоки, після чого солома також виходить із робочої зони машини двома потоками.

На комбайні моделі «Lexion-480» компанії «Claas», а також на окремих моделях комбайнів «John Deere» установлюються два аксіальні ротори, які, крім обмолочування, виконують функцію соломовідокремлювачів. Такі соломовідокремлювачі називають роторними роздільно-агрегатними.

Крім роторних роздільно-агрегатних соломовідокремлювальних пристроїв на сучасних комбайнах використовуються моноблокові, які розміщуються в одному агрегаті з молотильним апаратом і мають спільний ротор з кожухом. В таких пристроях обмолот відбувається на 1/3 довжини ротора, а відокремлення соломи - на 2/3 довжини одного або двох роторів з аксіальною або тангенціальною подачею.

Підводячи підсумок аналізу конструкцій та компонувальних схем технічних засобів для виділення вільного зерна із грубого вороху, можна зробити висновок, що в даний час найбільш поширеними залишаються соломовідокремлювачі клавішного типу. Щодо вітчизняної зернозбиральної техніки, цей тип соломовідокремлювача встановлюється на зернозбиральних комбайнів КЗС-9-1 «Славутич», КЗС-1580 «Лан», Скіф-280 Superior, Скіф-310.

Попри здатність якісно виконувати технологічний процес, простоту конструкції та порівняно невеликі енерговитрати, клавішні соломотряси мають певні недоліки. Якість роботи таких соломотрясів погіршується при подачі хлібної маси понад 5 кг/с на один метр ширини молотарки.

З огляду на це, повністю відмовлятися від використання роторних соломовідокремлювачів, як роздільно-агрегатного, так і моноблокового типу, наразі недоцільно. Такі пристрої забезпечують ефективніше відокремлення зерна незалежно від рельєфу поля, менше залежать від нерівномірності подачі хлібної маси, однак мають складнішу будову та є більш енерго- і матеріаломісткими.

2.6. Основні напрями розвитку молотильно-сепарувальних пристроїв

Як зазначалося раніше, на соломотряс покладено функцію відокремлення вільного зерна з грубого вороху. Ще на зорі створення перших вітчизняних причіпних зернозбиральних комбайнів С-6 «Комунар», (30-ті роки XX століття) у компонувальних схемах молотарок застосовувались конвеєрно-роторні соломотряси, які обладнувались дво- або триступеневими конвеєрів з бітерами і пікерами. Ці соломотряси відрізнялись стабільною роботою, однак при значному подрібненню соломи, яка надходила з молотарки, спостерігалось перевантаження очисного пристрою. Крім того привод такого соломотряса був занадто громіздким.

У моделях вітчизняних зернозбиральних комбайнів «Славутич», «Лан», «Скіф», а також у багатьох зарубіжних машинах і надалі використовується клавішний соломотряс. Водночас для підвищення ефективності його роботи

конструкцію соломотряса поступово вдосконалюють. Основними напрямами такого удосконалення є:

- установлення активних ворушилок над клавішами соломотряса, зокрема на комбайнах «Claas Dominator» і «Лан» (рис. 2.18);
- розміщення бітера-сепаратора на виході соломи із соломотряса;
- використання пальцевого барабана на комбайнах «John Deere W» (рис. 2.19);
- установлення системи MSS (Multi Separation System) на комбайнах «Claas Lexion» (рис. 2.20);
- збільшення довжини клавіш соломотряса, наприклад до 4350 мм у КЗС-9-1 і до 3620 мм у СК-5;
- збільшення кількості клавіш, тобто загальної ширини соломотряса, приблизно з 970 до 1660 мм.

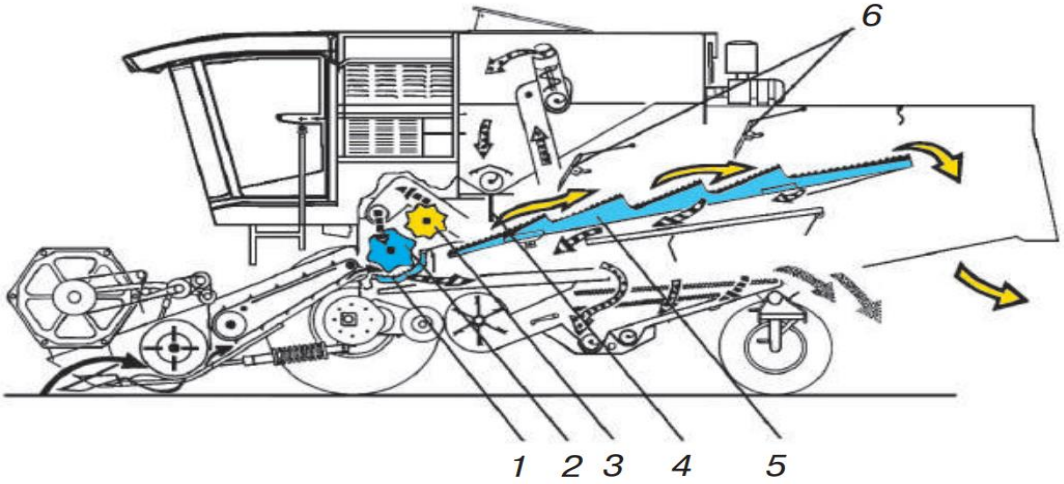


Рис. 2.18. Зернозбиральний комбайн Claas Dominator 108:

1 - підбарабання; 2 - молотильний барабан; 3 - відбійний бітер; 4 - соломозатримувальний фартух; 5 - соломотряс; 6 - пальцеві розпушувачі

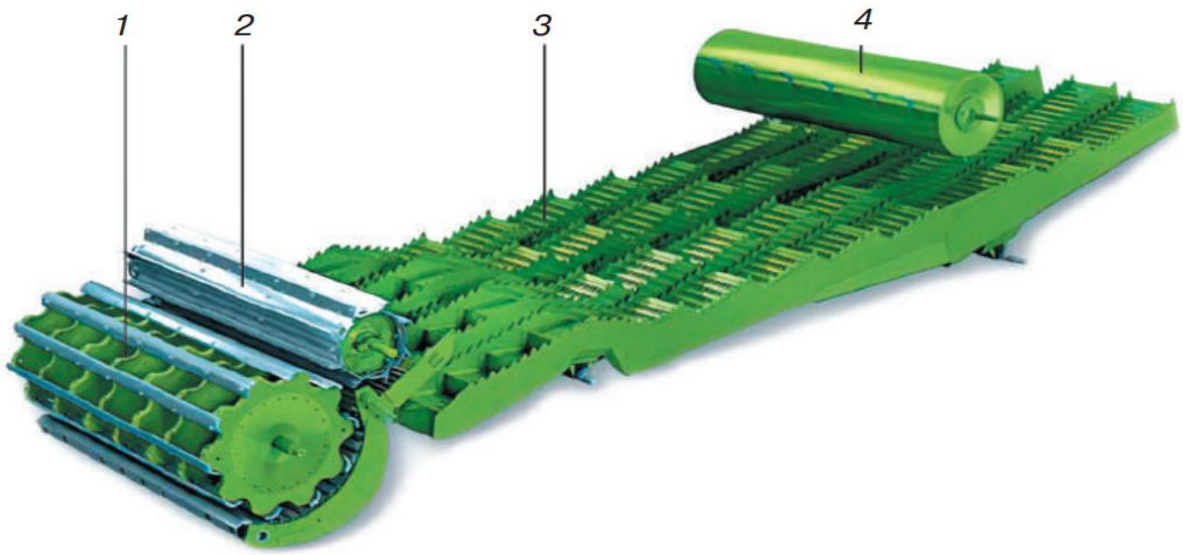


Рис. 2.19. Елементи схеми обмолочування та сепарації комбайна «John Deere W»: 1 – молотильний барабан; 2 - відбійний бітер; 3 - соломотряс; 4 - пальцевий розпушувач

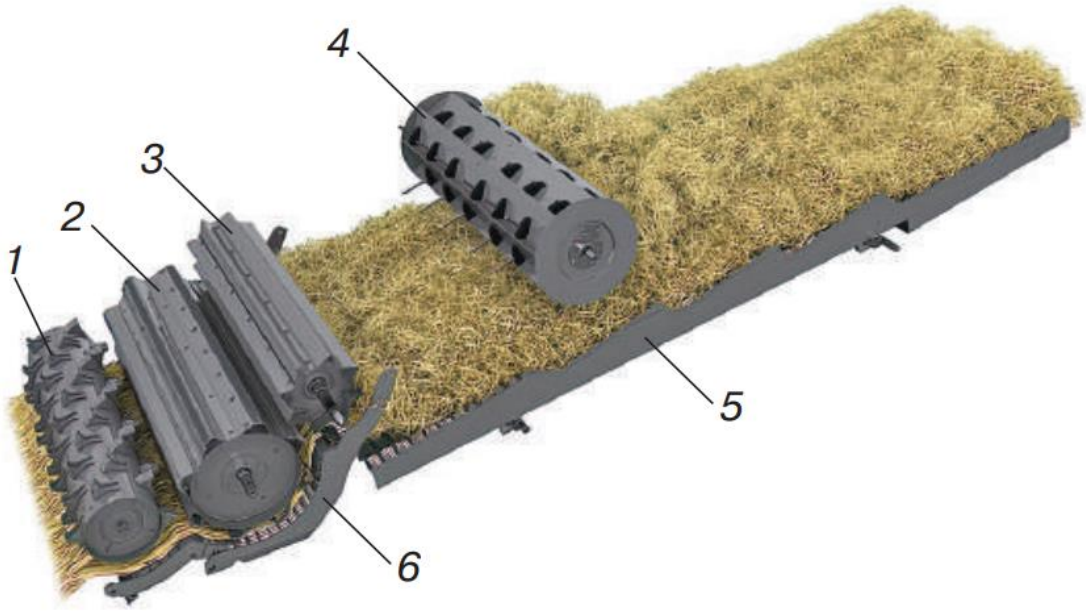


Рис. 2.20. Елементи схеми обмолочування та сепарації комбайна Claas Lexion: 1 - прискорювальний барабан системи APS; 2 - молотильний барабан; 3 - відбійний бітер; 4 - бітер з активними пальцями (барабан MSS); 5 - клавіші соломотряса; 6 - підбарабання

Однак, коли виникає потреба у збільшенні пропускної здатності молотильно-сепарувального пристрою, клавішний соломотряс уже не завжди може забезпечити потрібне виконання технологічного процесу. Саме тому сучасні зернозбиральні комбайни дедалі частіше оснащують ротаційними соломотрясами.

На сьогодні застосовують кілька основних типів ротаційних соломотрясів:

– соломотряс, у якому ротор розміщується після МСП перпендикулярно до поздовжньої осі комбайна;

– п’яти- або семироторний соломотряс, ротори якого встановлюються після МСП перпендикулярно до поздовжньої осі комбайна;

– соломотряс, у якому ротор розташований уздовж комбайна та виконує обмолочування і відділення зерна з грубого вороху;

– соломотряс, де ротор установлений у жатній частині перпендикулярно до поздовжньої осі комбайна й забезпечує обмолочування та сепарацію зерна з грубого вороху;

– соломотряс із двома роторами, розміщеними після МСП уздовж осі комбайна, які здійснюють сепарацію зерна з грубого вороху;

– соломотряс із двома роторами, установленими вздовж комбайна в його жатній частині, які виконують обмолочування та сепарацію зерна з грубого вороху.

Як зазначалося раніше, ротаційні соломотряси мають вищу інтенсивність сепарації порівняно з клавішними та менше залежать від стану хлібної маси й умов її збирання. Дослідження, проведені вітчизняними й зарубіжними науковцями, показують, що зернозбиральні машини з облатнаними роторними молотильно-сепарувальними пристроями є найбільш ефективними під час роботи в умовах високої врожайності, довгих гонів і рівнинного рельєфу поля.

2.7. Огляд конструкції прототипу зернозбирального комбайна, обраного для удосконалення

Прототипом комбайна, який був обраний для подальшого удосконалення став наявний у господарстві зернозбиральний комбайн КЗС-9-1 «Славутич» (рис. 2.21). Комбайн призначений для збирання зернових колосових культур прямим та роздільним комбайнуванням, а при обладнанні його спеціальними додатковими пристроями, може збирати кукурудзу на зерно, соняшник, зернобобові і круп'яні культури, сою, сорго, рапс, насінники трав, цукрових буряків і лікарських рослин. В залежності від технології збирання незернової частини врожаю, комбайн комплектується копнувачем (майже не використовується), подрібнювачем або капотом.



Рис. 2.21. Загальний вигляд комбайна КЗС-9-1 «Славутич»

Технічна характеристика зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич» подана у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Технічна характеристика комбайна КЗС-9-1 «Славутич»

№	Показник	Значення
1	2	3
1	Пропускна здатність, кг/с	9,0
1	2	3
2	Продуктивність по зерну за годину основного часу, т/год.	11,0...12,0
3	Місткість бункера, $м^3$	6,7
4	Місткість паливного бака, л	500
5	Суха маса з жаткою шириною 6 м і подрібнювачем, кг	14000
6	Ширина захвату жатки, м	6
7	Маса жатної частини, кг	2425
8	Ширина захвату платформи-підбирача, м	3,4
9	Суха маса платформи-підбирача, кг	1040
10	Ширина молотарки, мм	1500
11	Діаметр молотильного барабана, мм	700
12	Підбарабання:	
	- кут обхвату, град	126
	- площа сепарації, $м^2$	1,12
13	Соломотряс:	
	- довжина клавіші, мм	4350
	- площа сепарації, $м^2$	6,5
14	Площа решіт, $м^2$	4,4
15	Марка двигуна	СМД-31,16
16	Номінальна потужність двигуна, кВт (к.с.)	191(260)

Зернозбиральний комбайн КЗС-9-1 «Славутич» (рис. 2.22) рухаючись по полю подільниками *28* відокремлює смугу рослин шириною, рівною ширині захвату жатки.

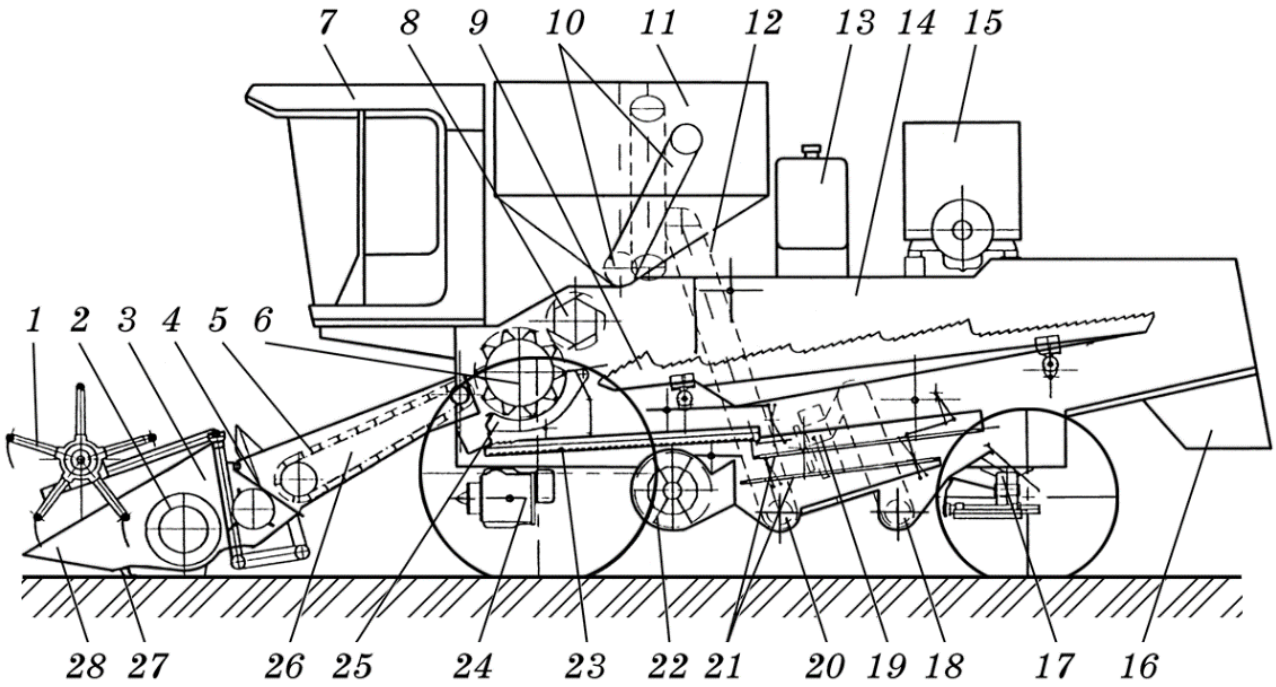


Рис. 2.22. Загальна будова зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич»: 1 - мотовило; 2 - шнек; 3 - корпус жатки; 4 – бітер-проставка; 5 - транспортер похилої камери; 6 - молотильний барабан; 7 - кабіна; 8 - відбійний бітер; 9 — соломотряс; 10 - вивантажувальний шнек; 11 - бункер; 12 - зерновий елеватор; 13 - паливний бак; 14 - молотарка; 15 - двигун; 16 - капот; 17 - міст керованих коліс; 18 - колосовий шнек; 19 - домолочувальний пристрій; 20 - зерновий шнек; 21 - решета очисника; 22 - вентилятор; 23 - стрясна дошка; 24 - міст ведучих коліс; 25 - підбарабання; 26 - похила камера; 27 - різальний апарат; 28 – подільник

Мотовило 1 під час обертання підводить стебла до різального апарата 27, утримує їх у момент зрізування, а після цього спрямовує скошену масу на шнек 2. Спіральні витки шнека переміщують її від країв жатки до центральної частини. У центрі шнека розміщений пальцевий механізм, який захоплює стебла й подає їх по днищу жатки до бітера-проставки 4. Пальці та лопаті бітера, обертаючись проти годинникової стрілки, направляють хлібну масу до транспортера 5 похилої камери, скребки якого подають її до молотильного апарата.

Під дією ударів бил барабана 6 і протягування стебел через зазор між рухомим барабаном 1 та нерухомим підбарабанням 25 відбувається обмолочування хлібної маси. Основна частина вимолоченого зерна з домішками, тобто дрібний ворох, проходить крізь отвори підбарабання і надходить на

стрясну, або транспортну, дошку 23. Грубий ворох, до складу якого входять солома, збійна маса, колоски й частина зерна, після проходження через зазор між барабаном і підбарабанням потрапляє під дію відбійного бітера 8. Бітер змінює напрямок руху вороху та спрямовує його на передню частину клавішного соломотряса 9.

Завдяки коливальному руху клавіш соломотряса грубий ворох розділяється на дві частини: дрібний зерновий ворох і солому. Дрібний ворох проходить крізь верхню решітчасту поверхню клавіш на їхню середину, після чого по похилих внутрішніх поверхнях надходить на стрясну, або транспортну, дошку.

Стрясна (транспортна) дошка також здійснює коливальний рух, завдяки якому дрібний зерновий ворох починає розділятись на фракції (пошарово самосортуватись). У такому вигляді, за рахунок коливань дошки, ворох направляється до пальцевої решітки, а далі — на верхнє і нижнє *21* решета решітного стану. На решетах завдяки їх коливанням і повітряному потоку створеного вентилятором *22* зерновий ворох, просипаючись через жалюзійні зазори решіт, очищається від легких (полови, збоїни) і великих домішок. Очищене на решетах зерно потрапляючи до зернового шнека *20*, транспортується ним до елеватора *12*, а далі до зернового бункера *11*. Великі легкі домішки і полова з решет транспортуються до половонабивача, а від нього - на поле у валок.

Недообмолочені колоски, які не проходять крізь зазори решета, надходять на подовжувач верхнього решета. Оскільки на подовжувачі зазори більші, ніж на основних решетах, колоски просипаються крізь них і потрапляють до колосового шнека 18. Разом із ними сюди надходять великі домішки з нижнього решета. Далі колосовий шнек подає цю суміш до елеватора колосків, який спрямовує її на домолочувальний пристрій 19, де відбувається повторне обмолочування.

Заповнений зерновий бункер розвантажують у транспортні засоби за допомогою вивантажувального пристрою, до складу якого входять горизонтальний і похилий шнеки.

Вільна від зерна солома переміщується соломотрясом до капота 16, який укладає її у валок на поверхні поля. Якщо комбайн працює з подрібнювачем, солома з клавіш соломотряса подається до ротора подрібнювача, після чого подрібнена маса разом із половою рівномірно розподіляється по поверхні поля.

При двофазному, або роздільному, комбайнуванні замість жатки на комбайн установлюють платформу-підбирач, яка приєднується до похилої камери. Під час руху комбайна пальцевий стрічковий транспортер із пружинними пальцями підбирає попередньо скошений валок із поверхні поля та подає його на транспортерну стрічку. Далі валок спрямовується до шнека платформи-підбирача. Шнек за допомогою пальцевого механізму подає хлібну масу до бітера-проставки, а бітер-проставка – до транспортера похилої камери. Подальший технологічний процес відбувається так само, як і під час прямого комбайнування.

Жатна частина комбайна КЗС-9-1 «Славутич» (рис. 2.23) складається з жатки, або жниварки А, проставки Б та похилої камери В.

На корпусі жатки встановлюються подільники 10, мотовило 9, різальний апарат 8, шнек 6 з пальцевим механізмом 7 і копіювальні башмаки 5. Бітер 4 розміщується в корпусі проставки, а плаваючий конвеєр, або транспортер 2, установлений у корпусі похилої камери.

Корпус жатки за допомогою центрального шарніра 8 і двох підвісок 2 механізму зрівноважування 3 з'єднується з корпусом проставки шарнірно. Водночас корпус проставки за допомогою швидкознімного гвинтового з'єднання жорстко кріпиться до корпусу похилої камери.

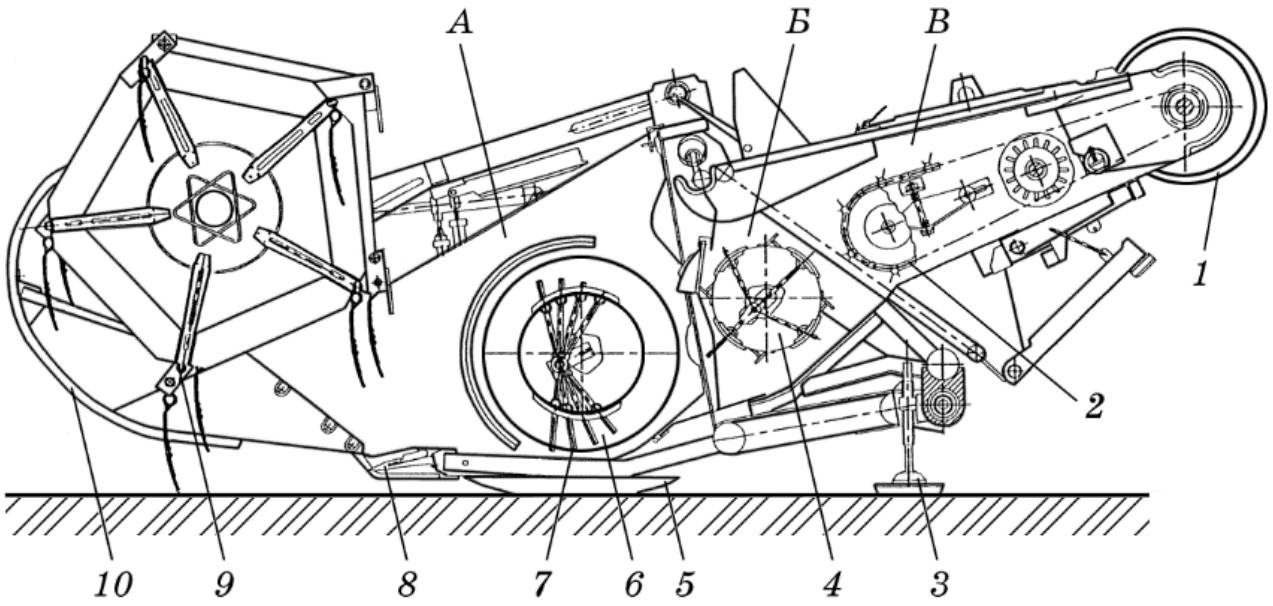


Рис. 2.23. Жатна часина комбайна КЗС–9–1 «Славутич»:

А – жатка (жниварка); Б - проставка; В - похила камера; 1 - шків верхнього вала плаваючого конвеєра; 2 - плаваючий конвеєр; 3 - гвинтовий домкрат; 4 - бітер; 5 - копіювальний башмак; 6 - шнек; 7 - пальцьовий механізм шнека; 8 - різальний апарат; 9 - мотовило; 10 - подільник

Корпус похилої камери шарнірно з’єднаний із корпусом молотарки та за допомогою двох циліндрів спирається на балку моста ведучих коліс комбайна.

Механізм зрівноважування забезпечує роботу жатки як з копіюванням рельєфу поля, так і без копіювання. При транспортуванні жатки на великі відстані механізм зрівноваження жатки блокується. Механізм зрівноваження жатки складається з правої і лівої підвісок, триплечих важелів, перехідних ланок, пружинних блоків та пружинних розтяжок. Права підвіска шарнірно приєднується до триплечого важеля, який має здатність провертатися відносно шарніра корпусу жатки. До триплечого важеля шарнірно приєднується перехідна ланка, а до неї пружинний блок, який шарнірно приєднується до корпуса жатки. Ліва підвіска має аналогічну будову і кріплення. На поверхню поля корпус жатки спирається башмаками.

Плаваючий конвеєр (транспортер) похилої камери подає хлібну масу від бітера проставки у приймальну камеру молотарки. Конвеєр складається з ведучого вала, веденого барабана та планчастих ланцюгів. На ведучому валу

жорстко закріплені зірочки приводу ланцюгового конвеєра, приводний шків із запобіжною муфтою та зірочка ланцюгової передачі приводу трансмісійного вала.

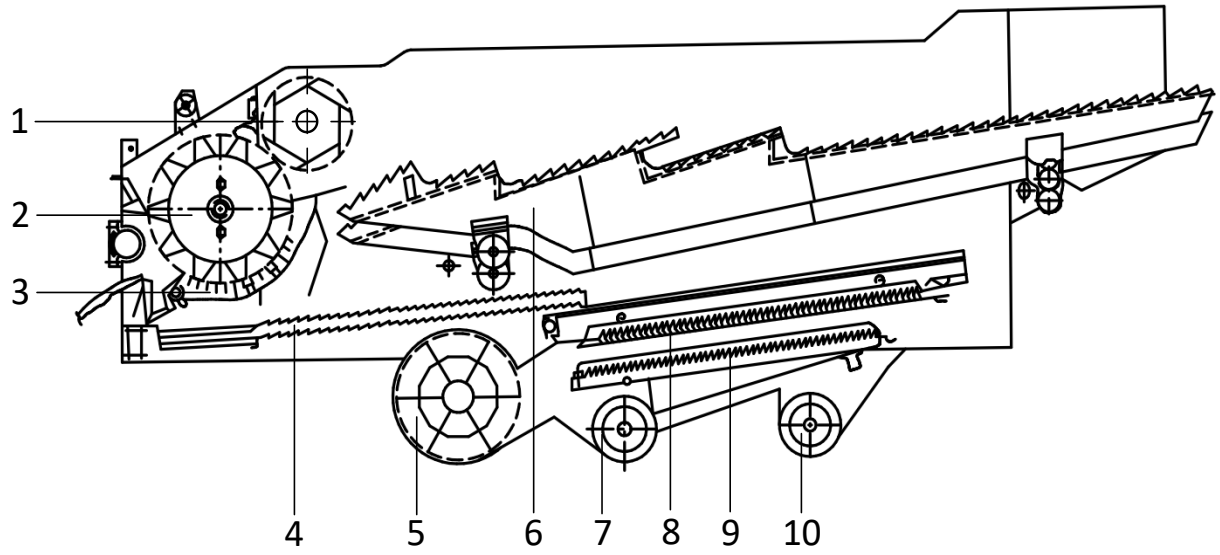


Рис. 2.24. Основні складальні одиниці молотильно-сепарувальний пристрій комбайна КЗС-9-1 «Славутич»:

1 - відбійний бітер; 2 - молотильний барабан; 3 - підбарабання; 4 - стрясна (транспортна) дошка; 5 – вентилятор; 6 – соломотряс; 7 - зерновий шнек; 8 - верхнє решето; 9 нижнє решето; 10 - колосковий шнек

Молотильно-сепарувальний пристрій (МСП) (рис. 2.24) призначений для обмолочування зерна, відокремлення його від грубого вороху, очищення від домішок, подавання зерна до бункера та його вивантаження в транспортні засоби. Крім того, МСП забезпечує транспортування незернової частини врожаю, зокрема соломи, збою і полови, до пристрою для її збирання.

Молотильно-сепарувальний пристрій складається з приймальної камери молотарки, молотильного апарата, відбійного бітера, клавішного соломотряса, вітрорешітного очисника, домолочувального пристрою, зернового бункера, транспортних органів, а також механізмів керування і приводу. Приймальна камера молотарки об’єднує боки з бічними панелями, верхню кришку, нижню

камеру каменевловлювача та передню горловину, у верхній частині якої встановлено похилу камеру жатки.

Похилу камеру встановлюють так, щоб відстань між билами молотильного барабана і планками конвеєра становила 20 мм. Такий зазор забезпечує рівномірне спрямування хлібної маси до молотильного апарата та сприяє відбиванню каміння й інших твердих предметів у камеру каменевловлювача.

Молотильний апарат призначений для відокремлення зерна з колосків або насіння з волоті, подавання насіннєвого вороху на стрясну дошку, а грубого соломистого вороху – на відбійний бітер. До його складу входять бильний молотильний барабан, решітчасте підбарабання, привід і механізм регулювання. Барабан виконаний у вигляді ротора, вал якого розміщений перпендикулярно до поздовжньої осі молотарки. Рифи бил барабана розташовані під кутом до осі барабана, а на суміжних билах їхній нахил змінюється на протилежний.

Профіль підбильника повторює форму била, повернуту на 7° у напрямку обертання молотильного барабана. Це підвищує пропускну здатність молотильного апарата та запобігає забиванню маси на вході в молотарку. Привід і регулювання частоти обертання барабана здійснюються за допомогою гідрофікованого клинопасового варіатора.

Підбарабання має односекційну прутково-планчасту конструкцію та встановлюється відносно барабана із зазором, який поступово зменшується від входу молотарки до її виходу. Регулювання зазору між барабаном і підбарабанням виконується електромеханічно за допомогою клавішного перемикача з робочого місця оператора.

Відбійний бітер приймає соломисту масу від молотильного барабана і спрямовує її на клавіші соломотряса. Бітер встановлюється з мінімальним зазором відносно бил молотильного барабана, безпосередньо над пальцевою решіткою підбарабання. Колова швидкість бітера менша ніж швидкість барабана і складає 17,5 м/с.

Функція соломотряса полягає у відокремленні зернової суміші з грубого вороху та переміщенні соломи до пристрою для збирання незернової частини

врожаю. За масовим складом грубий ворох містить приблизно 14–16% зерна, 72–77% соломи, 5–6% збійної маси та 1–3% дрібних домішок.

Основними робочими елементами соломотряса (рис. 2.25) є п’ять клавіш 1, які встановлюються на підшипниках на шийках ведучого 16 і веденого 10 колінчастих валів. Під час роботи комбайна клавіші здійснюють коливальний рух. Кожна клавіша має форму довгастого короба з оцинкованої сталі, верхня робоча поверхня якого виконана жалюзійною та має каскади. Для стримування руху вороху над клавішами встановлюється відбійний щиток.

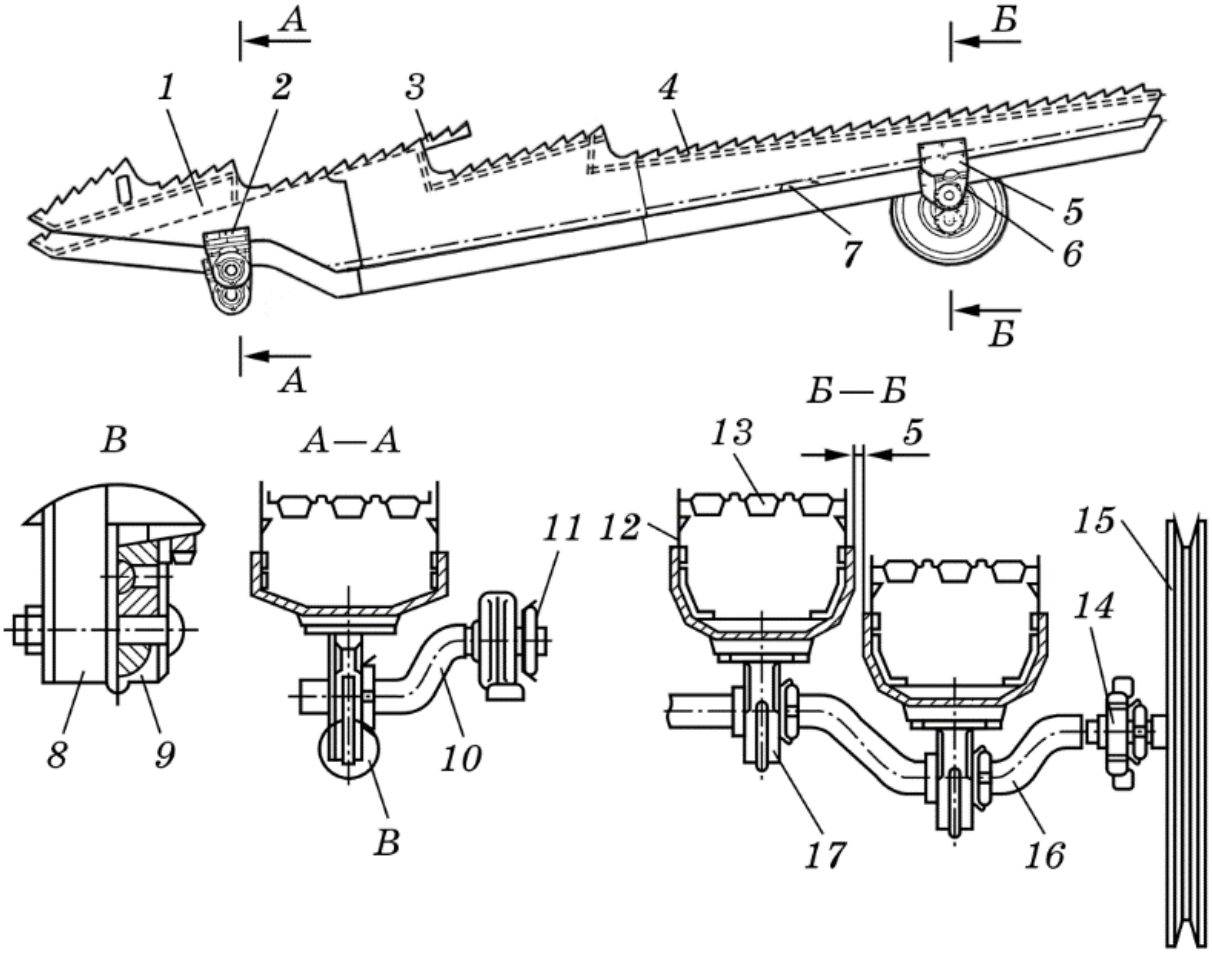


Рис. 2.25. Клавішний соломотряс комбайна КЗС-9-1 «Славутич»:

1 - клавіша соломотряса; 2 і 5 - кронштейни кріплення; 3 і 4 - гребінки; 6 - прокладка; 7 - днище; 8 - корпус підшипника кочення; 9 - амортизатор; 10 - ведений колінчатий вал; 11 - гайка; 12 - корпус клавіші; 13 - жалюзійна поверхня клавіші; 14 , 17 - підшипники кочення; 15 - приводний шків; 16 - ведучий колінчатий вал.

Очисник призначений для відокремлення зерна від дрібного вороху, який надходить із молотильного апарата, соломотряса та домолочувального пристрою.

Дрібний ворох за масовим складом містить приблизно 80–85% зерна, 7–8% збою, 5–6% полови і 3–6% інших домішок. Збійна та полова частини можуть містити обмолочені й необмолочені колоски, а також їхні частинки.

Основними елементами очисника (рис. 2.26) є стрясна, або транспортна, дошка з пальцевою решіткою, верхнє решето з подовжувачем, нижнє решето, вентилятор, дивергенційний лоток подовжувача, а також механізми приводу, підвіски та регулювання.

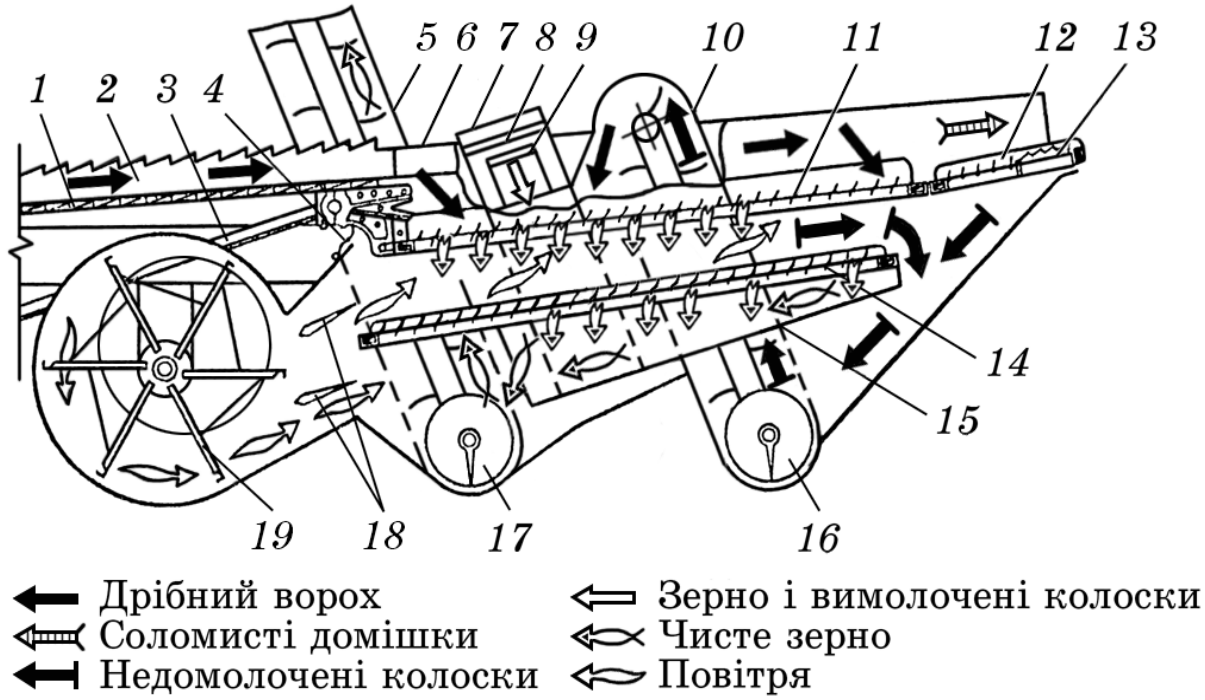


Рис. 2.26. Схема роботи очисника комбайна КЗС-9-1 «Славутич»:

1 - східчастий настил стрясної дошки; 2 - гребінка; 3 - шатун приводу стрясної дошки; 4 – фартух; 5 - зерновий елеватор; 6 - пальцева решітка; 7 - домолочувальний пристрій; 8 - терткова поверхня; 9 - домолочувальний барабан; 10 - колосовий елеватор; 11 - верхнє решето; 12 і 13 - поздовжні і поперечні жалюзі подовжувача; 14 - нижнє решето; 15 - скатна дошка решетного стана; 16 - колосовий шнек; 17 - зерновий шнек; 18 - розсікачі; 19 – відцентровий вентилятор

Стрясна, або транспортна, дошка являє собою східчастий настил 1, виготовлений з оцинкованої листової сталі. До настилу нерухомо закріплені поздовжні гребінки 2, які поділяють його на кілька окремих доріжок і запобігають зміщенню вороху вбік під час роботи комбайна на схилах. До заднього поперечного бруса стрясної дошки прикріплюються пальцева решітка 6 і фартух 4, що перекриває проміжок між стрясною дошкою та кожухом вентилятора. Пальцева решітка відокремлює із зернового вороху зернову фракцію і спрямовує її на передню частину верхнього решета, тоді як соломисту фракцію подає на менш завантажену середню частину решета.

Верхнє решето 11 є жалюзійним і регульованим. Воно встановлюється у верхній частині решітного стану. Жалюзі решета за допомогою важеля можуть змінювати своє положення в межах кута від 0 до 70°. У задній частині верхнього решета жорстко закріплений подовжувач, робоча поверхня якого також має жалюзійну будову та може регулюватися.

Нижнє решето 14, як і верхнє, є жалюзійним та регульованим. Воно розміщується в нижній частині решітного стану. Кут нахилу жалюзі нижнього решета змінюється за допомогою механізму, будова якого подібна до механізму регулювання зазорів верхнього решета.

Вентилятор очисника – відцентровий, шестилопатевий, розміщений у металевому корпусі. У горловині кожуха вентилятора встановлені розсікачі повітряного потоку. Привід вентилятора здійснюється через клинопасовий варіатор, керування яким виконується з робочого місця оператора.

Подовжувач має вигляд граблини, виконаної з труби, до якої приварені пальці та важелі. Під час роботи кінці пальців граблини рухаються по еліптичній траєкторії й спрямовують полову до пристроїв для збирання незернової частини врожаю.

Домолочувальний пристрій виконує обмолочування вороху, який подається колосовим шнеком та елеватором з очисника. Він складається з домолочувального барабана і нерухомої теркової поверхні.

Зерновий бункер призначений для акумулювання зерна і вивантаження його у транспортний засіб. На задній стінці бункера розміщуються два

гідравлічних вібратори, які створюють сприятливі умови для руху зерна будь-якої вологості до вивантажувального шнека. Частота коливань поршня вібратора 20...25 коливань за секунду, амплітуда - 5 мм.

РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ, ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ УДОСКОНАЛЕНОГО ОЧИСНИКА ГРУБОГО ВОРОХУ

3.1. Обґрунтування доцільності використання удосконаленого очисника грубого вороху у конструктивну схему зернозбирального комбайна

Одним із шляхів підвищення якісних показників роботи зернозбирального комбайна є зменшення втрат зерна у грубому воросі. З цією метою нами запропоновано замінити штатний клавішний соломотряс на ротаційно-пластинчатий. Ротаційно-пластинчатий соломотряс (рис. 3.1) вперше був запропонований у 70-х роках XX століття.

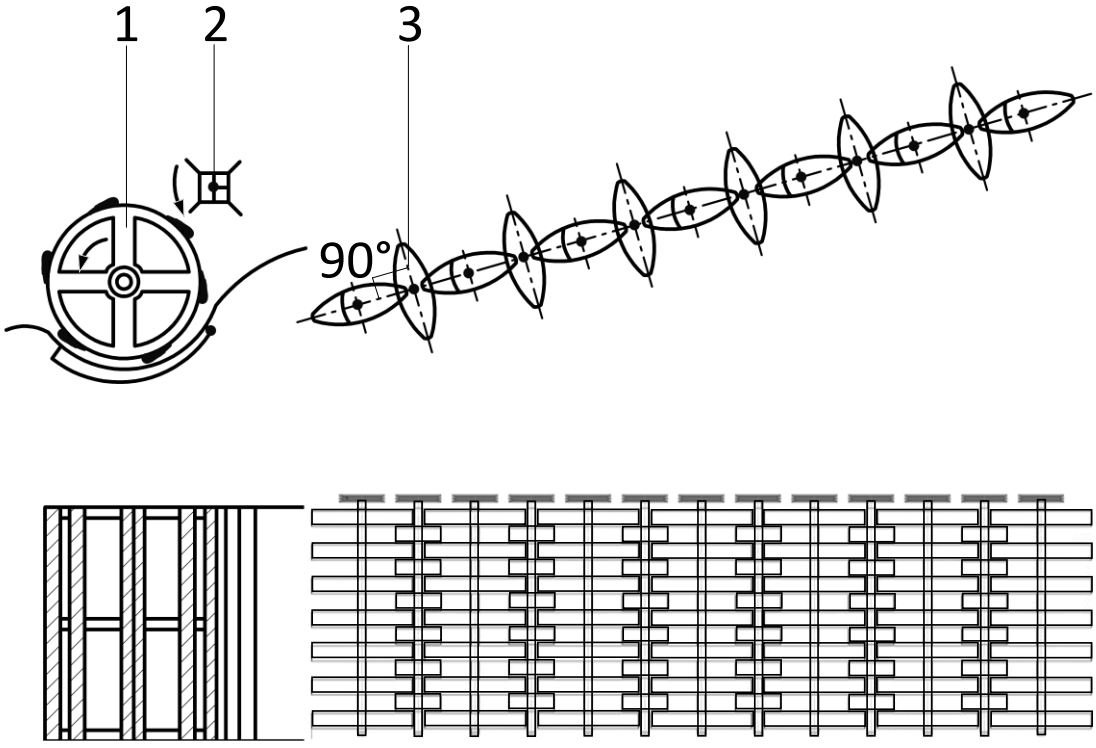


Рис. 3.1. Конструктивна схема ротаційно-пластинчатого соломотряса

Він складається з пластин еліптичної форми, установлених на валах і зібраних у батареї. П’ятнадцять паралельних батарей, розміщених упоперек напряму руху хлібної маси, утворюють роликову поверхню соломотряса [11]. Еліптичні пластини кожної батареї розміщуються в проміжках між пластинами сусідніх батарей, причому кути встановлення більших осей пластин суміжних батарей відрізняються на 90°.

Під час обертання батарей грубий соломистий ворох переміщується по поверхні пластин. Завдяки їхній еліптичній формі він інтенсивно перетрушується, а під час переходу з однієї батареї на іншу підкидається. Унаслідок цього грубий ворох отримує періодичне імпульсне навантаження однакової сили.

Експериментальні дослідження запропонованого соломотряса, проведені авторами, дали змогу встановити, що він ефективно працює на зернозбиральних комбайнах із пропускною здатністю від 5 кг/с. За умови підбору раціональних параметрів і режимів роботи такий соломотряс може застосовуватися на комбайнах із пропускною здатністю 10–12 кг/с.

Робочий процес комбайна, оснащеного запропонованим соломотрясом, відбувається так: після обмолочування хлібної маси грубий ворох спрямовується відбійним бітером на роликову поверхню соломотряса. Ролики підкидають і перетрушують грубий ворох, сприяючи виділенню з нього зернової суміші.

3.2. Розрахунок параметрів молотильно-сепарувального пристрою зернозбирального комбайна

Технологічний процес роботи будь-якого молотильно-сепарувального пристрою можна розділити на дві фази:

I. обмолочування хлібної маси - руйнування зв’язків зерен з колосом і виділення зерен з колосу,

II. виокремлення зерна від соломистої фракції.

Продуктивність молотильного апарату має чіткий кореляційний зв'язок з його параметрами і режимами роботи. Залежність між потужністю на привод,

параметрами молотильного-сепарувального пристрою і подачею хлібної маси представлена основним рівнянням молотильного барабана, яке було запропоноване академіком В.П. Горячкіним.

Залежність для визначення подачі хлібної маси до молотильного апарату має вигляд:

$$q = \frac{0{,}01\ QVB}{\beta}, \frac{\text{кг}}{\text{с}} \qquad (3.1)$$

де Q - урожайність зернових культур, ц/га;

V – швидкість руху комбайна, м/с;

B - ширина захвату жатки, м;

β - вміст вільного зерна у хлібній масі.

Після підстановки вихідних даних: Q = 30 ц/га; V = 1,67 м/с; B = 6 м; β = 0,4 подача хлібної маси q становитиме 7,53 кг/с. Відповідно до технічної характеристики комбайна КЗС-9-1 «Славутич», його пропускна здатність дорівнює 9 кг/с, тому за розрахованої подачі хлібної маси 7,53 кг/с цей комбайн може бути використаний для подальшого удосконалення.

Діаметр молотильного барабану визначається залежністю:

$$d = \frac{V_б M \Delta t}{\pi}, \text{м} \qquad (3.2)$$

де M - число планок (бичів);

Δt - інтервал часу між ударами по масі двох суміжних бичів;

$V_б$ – колова швидкість бичів, в залежності від стану і характеристики культури, що збирається, м/с;

Після виконання розрахунків встановлено, що діаметр молотильного барабана d становить 0,7 м. Під час обмолочування пшениці рекомендована колова швидкість бича барабана має перебувати в межах 28,0–32,0 м/с.

Довжина молотильного барабана описується залежністю:

$$L_б = \frac{q}{q_0 M}, \text{м} \tag{3.3}$$

де q_0 - допустима подача хлібної маси на 1 м довжини бича (для пшениці при вологості 14...18% $q_0 = 0{,}25\ldots0{,}35$ кг/с · м). При підвищені вологості пшениці на 5% значення допустимої подачі q_0 знижують на 15…20%.

Для молотильного апарата комбайна КЗС-9-1 «Славутич» довжина молотильного барабана становить 1484 мм.

Розрахункова частота обертання молотильного барабана визначається за формулою:

$$\omega_б = \frac{\pi V_б}{d}, \frac{\text{об}}{\text{с}} \tag{3.4}$$

Згідно розрахунку частота обертання молотильного барабана рівна 465…1013 об/хв або 7,75…16,88 об/с. Для подальшого розрахунку $\omega_б$ приймемо рівною 12 об/с.

Потужність, яка витрачається на привод молотильного барабана описується рівнянням:

$$N = N_1 + N_2, \text{Вт} \tag{3.5}$$

де N_1 – потужність, яка витрачається на подолання корисних сил опору при виконання технологічного процесу. Потужність N_1 - це запас потужності двигуна витраченої на подолання корисного опору при обмолочуванні;

N_2 – потужність, яка витрачаєтеся на подолання сил тертя (шкідливий опір).

Потужність витрачена на подолання корисних сил опору при виконанні технологічного процесу визначаються із виразу:

$$N_1 = P\,V_б \qquad (3.6);$$

де P – колове зусилля, яке виникає на барабані, *Н*;

Колове зусилля на барабані визначимо за формулою:

$$P = P_1 + P_2\,, \qquad (3.7)$$

де P_1 – зусилля удару бича по хлібній масі;
P_2 – зусилля, яке витрачається на протягування скошеної маси в зазор між барабаном і підбарабанням.

При цьому зусилля удару бича по хлібній масі визначаємо із залежності:

$$P_1 = q\,(U_2 - U_1), \qquad (3.8)$$

де U_1 – швидкість подачі маси до молотильного барабана, $U_1 = 3\ldots5$ м/с;
U_2 – швидкість, яка передається хлібній масі ударом бича, м/с.

Швидкість, якої набуває хлібна маса після удару бича визначається за формулою:

$$U_2 = \psi V_б \qquad (3.9)$$

при $\psi = 0{,}5 \ldots 0{,}85$ $\mathrm{P}_1 = 9 \cdot (0{,}75 \cdot 12 \cdot 0{,}7 - 4) = 20{,}7\mathrm{H}$

$$P_2 = f\, P_1 \qquad (3.10)$$

де f - коефіцієнт перетирання хлібної маси (для бильного барабана коефіцієнт $f = 0{,}65\ldots0{,}75$.

$$\mathrm{P}_2 = 0{,}7 \cdot 20{,}7 = 14{,}5\mathrm{H}.$$

Тоді колове зусилля на барабані буде дорівнювати $\mathrm{P} = 35{,}2$ Н, а потужність, яка витрачається на подолання корисних сил опору при виконанні

технологічного процесу $N_1 = 35{,}2 \cdot 12 \cdot 0{,}7 = 295{,}68$ Вт

Потужність, яка витрачається на подолання сил тертя (шкідливий опір) визначається за формулою:

$$N_2 = AV_б + CV_б^3 \qquad (3.11),$$

де A, C – коефіцієнти, які визначаються експериментально: $A = 0{,}3\ldots0{,}4$ Нм;

$$C = (0{,}8\ldots0{,}9)\ 10^{-3}\ \text{Нмс}^2$$

З урахуванням експериментальних коефіцієнтів, потужність на подолання шкідливого опору буде рівна:

$$N_2 = 0{,}35 \cdot 8{,}4 + 0{,}00085 \cdot 8{,}4^3 \approx 3{,}54\ \text{Вт}$$

Тоді, загальна потужність, яка витрачається на привод молотильного барабана $N = 299{,}22$ Вт.

У загальному вигляді залежність для визначення потужності, яка витрачається на привод молотильного барабана описуватиметься формулою:

$$N = \frac{q(U_2 - U_1)V_б}{1 - f} + AV_б + CV_б^3 \quad (3.12)$$

При проведенні початкових обрахунків приймемо у першому наближенні, що:

$$U_2 - U_1 = \gamma V_б \quad (3.13)$$

де γ - коефіцієнт, який враховує характер зміни швидкості хлібної маси за час проходження через зазор між барабаном і підбарабанням.

Тоді вираз для визначення потужності набуде такого вигляду:

$$N = \frac{q\gamma V_б^2}{1 - f} + AV_б + CV_б^3 \quad (3.14)$$

Значення для коефіцієнта γ можна одержати з виразу:

$$\gamma = \varphi - \frac{U_1}{V_б} \quad (3.15)$$

Збільшення або зменшення швидкості обертання барабана буде визначатись різницею між потужністю двигуна $N_{дв}$ та потужністю на привод барабана *N*:

$$N_{\text{дв}} - N = \pm J\ \omega_{\text{б}} \frac{d\omega_{\text{б}}}{dt} \tag{3.16}$$

де J - зведений момент інерції молотильного барабана, кг/м^2

$d\omega_{\text{б}}/dt$ – кутове прискорення молотильного барабана, рад/с^2.

Для комбайнових молотарок кутове прискорення молотильного барабана приймають у межах:

$$\frac{d\omega_{\text{б}}}{dt} = 15 \ldots 17 \text{ рад/с}^2$$

Після підстановки виразу для визначення потужності у вихідне рівняння та деяких алгебраїчних перетворень ми отримуємо основне рівняння молотильного барабана:

$$\frac{d\omega_{\text{б}}}{dt} = \pm \frac{N_{\text{дв}} - \frac{q\gamma V_{\text{б}}^2}{1-f} + AV_{\text{б}} + CV_{\text{б}}^3}{J\omega_{\text{б}}} \tag{3.17}$$

При роботі комбайна на холостому ходу рівняння прийме вигляд:

$$\frac{d\omega_{\text{б}}}{dt} = \frac{N_{\text{дв}} - AV_{\text{б}} - CV_{\text{б}}^3}{J\omega_{\text{б}}} \text{ або } \frac{d\omega_{\text{б}}}{dt} = \frac{N_1}{J\omega_{\text{б}}} \tag{3.18}$$

Витрата енергії буде виражатись залежністю:

$$\frac{d\omega_{\text{б}}}{dt} = \frac{q\ \gamma\ V_{\text{б}}^2}{J\ \omega_{\text{б}}(1-f)} \tag{3.19}$$

Оскільки колова швидкість бичів барабана $V_{\text{б}} = \omega_{\text{б}} \frac{d}{2}$, то вираз для витрати енергії набуде вигляду:

$$\frac{d\omega_б}{dt} = \frac{0{,}25\, q\, \gamma\, d^2}{J\,(1-f)}\omega_б \qquad (3.20)$$

За постійного значення величини подачі q доцільно працювати з кутовою швидкістю $\omega_{кр}$, проте на практиці подача хлібної маси може змінюватись у межах $(0{,}67 \ldots 1{,}33)q$. Тому для уникнення забивання молотильного барабана його кутову швидкість приймаємо $\omega_{роб} < \omega_{кр}$.

У такому випадку має виконуватися умова:

$$0{,}5\, \omega_{роб} d \geq V_{б\,min} \qquad (3.21)$$

де $V_{б\,min}$ - мінімально допустима колова швидкість молотильного барабана, за якої буде забезпечена повнота обмолоту хлібної маси.

У випадку невиконання вищезазначеної умови необхідно зменшувати подачу хлібної маси q, а, відповідно, і збільшувати $\omega_{роб}$ та $V_б$. Мінімально допустима величина швидкості $V_{б\,min}$ відповідає частоті $\omega_{доп}$.

Величина подачі хлібної маси при такому режимі роботи описується залежністю:

$$q_{роб} = \frac{d\omega_б}{dt}_{роб} \cdot \frac{J\,(1-f)}{\gamma \omega_{роб}\, r^2} \qquad (3.22)$$

Оскільки $q_{роб}$ відповідає максимально допустимій подачі з умови вимолочування зерна, то фактична середня подача хлібної маси буде в 1,33 рази менша, тобто:

$$q_ф = q_{роб}/1{,}33 = 0{,}75\, q_{роб} \qquad (3.23)$$

Отримане значення фактичної подачі дозволить отримати оптимальне значення швидкості руху зернозбирального комбайна:

$$V_{\text{к}} = \frac{q_{\text{ф}}\,\beta}{0{,}01\,Q\,B} \tag{3.24}$$

Щодо соломотряса, то кінематика його роботи визначається показником кінематичного режиму:

$$K = \frac{\omega_c^2 r}{g} \tag{3.25}$$

де ω_c – кутова швидкість колінчатого вала, рад/с;

r - радіус колінчатого вала соломотряса, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2.

Експериментально встановлено, що якість відокремлення зерна з грубого вороху залежить від кінематичного режиму роботи соломотряса. Зі збільшенням швидкості обертання вала зростає і швидкість переміщення вороху по поверхні соломотряса. Для чотириклавішних соломотрясів значення кінематичного показника становить K = 2,2…2,6, а для п’ятиклавішних – K = 1,1…1,5.

За такого режиму роботи клавіш грубий ворох активно підкидається і струшується, що сприяє інтенсивнішому виділенню з нього вільного зерна.

Середня швидкість переміщення грубого вороху поверхнею соломотряса визначається за формулою:

$$V_{\text{ср}} = \frac{S\omega_c}{2\pi} \tag{3.26}$$

де S – висота, на яку піднімається грубий ворох за одне підкидання, м.

Загальна ширина соломотряса:

$$B_c = 1{,}1\, L_б, \text{м} \tag{3.27}$$

Загальна довжина соломотряса визначається із урахуванням втрат вільного зерна разом із соломою.

Втрати зерна з соломою визначаються за формулою:

$$q_с = q_з\, e^{-mL}, \frac{\text{кг}}{\text{с}} \tag{3.28}$$

де $q_з$ - кількість зерна, що потрапляє з соломою на соломотряс, кг/с;

m - коефіцієнт сепарації вороху;

L - довжина клавіш соломотряса, м.

Після здійснення відповідних математичних перетворень виразу для втрат зерна отримаємо залежність для визначення довжини соломотряса:

$$L = \frac{ln\, ln\, [(1-\varepsilon)\cdot 100]/P}{\mu} \tag{3.29}$$

де ε - коефіцієнт сепарації зерна підбарабанням (значення коефіцієнта сепарації приймають на рівні $\varepsilon = 0{,}80\ldots0{,}85$;

$P = 0{,}25\%$ - відсоток допустимих втрат зерна за соломотрясом.

μ – коефіцієнт інтенсивності сепарації зерна, який описує яка частка вимолоченого вільного зерна виділяється на 1 м^2 прощі соломотряса.

Коефіцієнт інтенсивності сепарації визначається з виразу:

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{h_0}{h}\right)^m \tag{3.30}$$

де $\mu_0 = 0{,}018\ \frac{1}{\text{м}^2}$ - інтенсивність сепарації при товщині шару соломи на соломотрясі $\mu_0 = 0{,}2\text{м}$

$m = 0{,}8\ldots1{,}2$ – коефіцієнт, який описує умови роботи соломотряса. Більші значення коефіцієнта приймають при важких умов роботи, менші - при легких.

Товщину прошарку соломи на соломотрясі визначаємо за формулою:

$$h = \frac{q(1-\beta)}{B_{\text{с}}\, V_{\text{ср}}\, \rho} \tag{3.31}$$

де ρ - густина прошарку соломи на поверхні соломотрясу, кг/м^3.

3.3. Розрахунок основних параметрів удосконаленої системи очистки грубого вороху

Розрахунок основних параметрів удосконаленого соломотряса почнемо з визначення ширини ротаційного соломовідокремлювача. Ширина ротаційного соломотряса рівна довжині молотильного барабана. Тому можемо записати:

$$B_{\text{с}} = L_{\text{Б}} \tag{3.32}$$

де: $L_{\text{Б}}$ – загальна довжина молотильного барабана;

Для молотильного апарата комбайна КЗС-9-1 «Славутич» довжина молотильного барабана становить 1484 мм. У цій роботі запропоновано конструктивне рішення, яке передбачає збільшення ширини удосконаленого соломотряса до 1420 мм.

На валах ротаційного соломотряса встановлюються еліптичні пластини, або кулачки. Різниця між більшим і меншим діаметрами цих пластин має відповідати умовам динамічної дії на соломисту масу. Тому приймаємо величину більшого діаметра 200 мм, а меншого – 90 мм.

Ефективне виділення зерна з шару грубого вороху забезпечується за кінематичного режиму очисника K = 2,2.

Оскільки $K = \frac{\omega^2 \Delta}{g} = 2{,}2$, то виразивши ω із цієї залежності отримаємо:

$$\omega = \sqrt{\frac{2{,}2g}{\Delta}} = \sqrt{\frac{2{,}2 \cdot 9{,}81}{0{,}11}} \approx 14 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Для оцінки правильності вибору величини більшого діаметра еліпса пластини ротаційного соломотряса визначимо висоту прошарку соломи, яка знаходиться на поверхні соломотряса:

$$H_{\text{с}} = \frac{q_{\text{м}} \beta}{B_{\text{с}} V_{\text{по}} \rho} \qquad (3.33)$$

де $q_{\text{м}}$ - пропускна здатність зернозбиральної машини. Приймаємо $q_{\text{м}} = 9$ кг/с;

$B_{\text{с}}$ - ширина роторного соломотряса;

$V_{\text{по}}$ - лінійна швидкість роликів сепарувальної поверхні очисника. (лінійна швидкість $V_{\text{по}}$ роликів при значенні більшого радіуса R ексцентрика 0,2 м та кутовій швидкості ω =14 рад/с буде дорівнювати 2,8 м/с);

β - коефіцієнт соломистості маси. При співвідношенні маси соломи до маси зернової частини 1:1,5 коефіцієнт $\beta = 0{,}67$. Приймаємо $\beta = 0{,}7$;

ρ – об'ємна маса соломи ($\rho = 10 \ldots 20$ кг/м^3). Для розрахунків $\rho = 15$ кг/м^3.

Підставляючи вихідні данні у рівняння для висоти прошарку соломи, яка знаходиться на поверхні ротаційно-планчастого соломотряса отримаємо:

$$H_{\text{с}} = \frac{9 \cdot 0{,}7}{1{,}42 \cdot 2{,}8 \cdot 15} = 0{,}1\text{м}$$

Коефіцієнт інтенсивності сепарації визначається з виразу:

$$\mu = 0{,}009\left(\frac{1}{1{,}5}\right)^{1{,}2} = 0{,}005$$

Тоді коефіцієнт сепарації очисника буде дорівнювати:

$$\mu_{\text{с}} = \frac{\mu}{H_{\text{с}}} = \frac{0{,}005}{0{,}1} = 0{,}05$$

Оптимальна довжина соломотряса для вороху товщиною $h_0 = 10$ см визначається за формулою:

$$L_{oc} = \frac{60\varepsilon}{n^1} V_c, \tag{3.34}$$

де –кількість струшувань, яка необхідна для виділення зерна з вороху, при h_0=10 см, $(= 20\ldots22)$ Приймаємо $= 20$;

n^1 – кількість ударів, що наносить ексцентрикова пластина за 1 хвилину, об/хв (для розрахунків $n^1 = n$);

n – частота обертання валів соломотряса, об/хв;

– кутова швидкість валів привода, рад/с;

$V_{\text{с}}$ - середня швидкість переміщення грубого вороху по поверхні роторного соломотряса.

$$n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 14}{3{,}14} = 133{,}7 \text{ об/хв}$$

Середня швидкість переміщення грубого вороху по поверхні ротаційного соломотряса, м/с:

$$V_{\text{с}} = \eta \frac{g}{\omega} cos\alpha \tag{3.35}$$

де – коефіцієнт, що враховує опір переміщенню вороху, $(= 0{,}8\ldots0{,}9)$;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2;

α – кут нахилу ротаційної поверхні до горизонту, ($\alpha = 5 \ldots 15^{\circ}$ – приймаємо 10°);

Після підстановки отримаємо:

$$V_{\text{с}} = \eta \frac{g}{\omega} cos\alpha = 0{,}8 \cdot \frac{9{,}81}{14} \cdot cos10^{\circ} = 0{,}8 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}98 = 0{,}54 \text{ м/с}$$

Приймаємо $V_{\text{с}} = 0{,}5$ м/с

Маючи значення частоти обертання і кутової швидкість валів привода соломотряса, середньої швидкість переміщення грубого вороху по поверхні роторного соломотряса розраховуємо оптимальні довжину соломотряса:

$$L_{oc} = \frac{60 \cdot 20}{133{,}75} \cdot 0{,}5 = 4{,}485 \text{ м}$$

Довжина соломотряса, м:

$$L_c \geq L_{oc} \sqrt{\frac{h}{h_0}} = 4{,}485 \cdot \sqrt{\frac{0{,}1}{0{,}15}} = 3{,}548 \text{ м}$$

Приймаємо довжину ротаційного соломотряса $L_c = 3{,}550$ м

Визначимо кількість роторів z, з яких складатиметься соломотряс. Для цього визначимо відстань між осями роторів. Допустимо, що кут обхвату робочої зони ротора складає $\phi_{\text{рот}} = 140^{\circ}$. Враховуючи загальну довжину соломотряса - 3,550 м і те, що в крайніх положеннях крайні точки еліптичних пластин сусідніх роторів повинні перекривати одна одну, отримуємо $z = 15$.

Подача грубого вороха на соломотряс визначається за формулою:

$$q_c = \frac{q}{1 + \beta} \qquad (3.36)$$

При співвідношенні маси соломи до маси зернової частини 1:1,5 значенні коефіцієнта соломистості маси $\beta = 0{,}7$, кг/с і пропускній здатності зернозбирального комбайна $q = 9$ кг/с:

$$q_c = \frac{9}{1 + 0{,}7} = 5{,}29 \text{ кг/с}$$

Загальна площа соломотряса рівна:

$$F = B_c L_c = 1{,}420 \cdot 3{,}550 = 5{,}04 \text{ м}^2$$

Тоді питоме навантаження на ротаційний соломотряс буде:

$$q_{oc} = \frac{q_c}{F} = \frac{5{,}29}{5{,}04} = 1{,}05 \ \frac{\text{кг}}{\text{м}^2\text{с}}$$

Для прикладу $q_{oc} = 0{,}48 \ldots 0{,}6$ для зернозбиральних комбайнів з пропускною здатністю 5 кг/с), тобто отримані нами дані абсолютно адекватні.

Продуктивність ротаційного соломотряса визначаємо за формулою:

$$Q = B_\text{с} \cdot H_\text{с} \cdot V_\text{с} \cdot \rho \qquad (3.37)$$

де $B_\text{с}$ – робоча ширина ротаційного соломотряса, м;

$V_\text{с}$ - середня швидкість переміщення грубого вороху по поверхні ротаційного соломотряса, м/с;

$H_\text{с}$ - висоту прошарку соломи, яка знаходиться на поверхні соломотряса, м;

ρ - об'ємна маса вороху ($\rho = 15$ кг/м^3).

І на останок необхідно визначити потужність, яка витрачається на виконання ротаційним соломотрясом робочого процесу:

$$N_\text{роб} = N_\text{хх} + N_\text{тр} \qquad (3.38)$$

де $N_{хх}$ – потужність, необхідна для приведення роторів у роботу (холостий хід);
$N_{тр}$ – потужність, необхідна для транспортування соломистої маси.

Залежність для визначення потужності, яка необхідна для приведення одного ротора у роботу (холостий хід) має вигляд:

$$N_{xx} = M_{кр} \cdot \omega = \omega \cdot G \cdot \frac{D}{2} \cdot f \qquad (3.39)$$

де ω - кутова швидкість валів привода, рад/с;

G - вага ротора, кг;

D - діаметр ротора, м;

f - коефіцієнт тертя вала в підшипниках кочення;

Підставляючи значення, отримаємо:

$$N_{xx} = 14 \cdot 30 \cdot \frac{0{,}4}{2} \cdot 0{,}5 = 42 \text{ Вт}$$

На привод 15 роторів витрачаєтеся 630 Вт

Потужність, яка потрібна для транспортування соломистої маси визначимо за формулою:

$$N_{тр} = g \cdot Q \cdot S \qquad (3.40)$$

де g-прискорення вільного падіння, м/с^2;

Q - подача, яка відповідає пропускній здатності молотарки комбайна, кг/с;

S - відстань на яку транспортується ворох (довжина соломотряса), м.

Підставляючи значення пропускної здатності Q та відстані транспортування отримаємо:

$$N_{тр} = 9{,}81 \cdot 9 \cdot 3{,}55 = 313{,}43 \text{ Вт}$$

Тоді, загальна потужність для виконання технологічного процесу ротаційним очисником складе $N_{роб} = 630 + 313{,}11 = 943{,}11$Вт.

РОЗДІЛ 4. ЗАХОДИ З ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Загальний стан охорони праці в господарстві

Під охороною праці розуміють систему соціально-економічних, організаційно-технічних, правових, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності працівників у процесі виконання ними трудових обов'язків. Дія Закону України «Про охорону праці» у редакції № 4170-IX від 19.12.2024 поширюється на всі підприємства, установи й організації незалежно від форми власності та виду діяльності, а також на всіх громадян, які працюють або залучаються до праці на підприємствах [9].

У даному дипломному проєкті розглянуто стан охорони праці на підприємстві АТ «Миронівське», яке розташоване у с. Польове Обухівського району Київської області. Необхідність такого аналізу зумовлена тим, що підхід до проблематики охорони праці має бути комплексним. Забезпечення безпечних умов лише на окремому робочому місці або в одному підрозділі не може вважатися достатнім, якщо в інших структурних підрозділах господарства залишаються травмонебезпечні чи шкідливі умови праці.

Під час аналізу організації охорони праці на підприємстві АТ «Миронівське» насамперед слід зазначити, що посадовою особою, відповідальною за організацію та дотримання безпечних і здорових умов праці, є директор. Саме він повинен організовувати роботу всіх структурних підрозділів відповідно до чинної нормативно-правової бази з охорони праці, а також забезпечувати контроль за дотриманням гарантованих законодавством прав працівників у сфері охорони праці:

- створювати відповідні служби та призначати посадових осіб, до обов'язків яких належить розв'язання конкретних питань з охорони праці, а також затверджувати документи, що визначають права, обов'язки й відповідальність цих працівників;
- забезпечувати усунення причин, які призвели або можуть призвести до нещасних випадків і професійних захворювань, а також організовувати виконання профілактичних заходів, визначених відповідними комісіями за результатами розслідування таких причин;
- розробляти та затверджувати положення, інструкції й інші нормативні документи з охорони праці на підприємстві відповідно до державних, міжгалузевих і галузевих нормативно-правових актів. Такі документи встановлюють правила поведінки працівників на території підприємства загалом і безпосередньо на робочих місцях;
- здійснювати постійний контроль за дотриманням працівниками вимог технологічних процесів, правил поводження з технічними засобами, використання засобів індивідуального захисту та виконання робіт відповідно до вимог охорони праці;
- організовувати інформування й роз'яснювальну роботу серед працівників підприємства щодо безпечних методів праці, а також забезпечувати співпрацю зі спеціалістами у сфері охорони праці.

На підприємстві АТ «Миронівське» функціонує служба охорони праці, яка належить до основних виробничо-технічних служб і підпорядковується безпосередньо директору підприємства.

Спеціалісти даної служби мають право:

- видавати керівникам усіх структурних підрозділів підприємства обов'язкові для виконання приписи, які стосуються усунення виявлених недоліків і невідповідностей;
- на першу вимогу отримувати від вищезазначених керівників необхідну інформацію щодо виконання вимого охорони праці;

- вимагати відсторонення від виконання робіт осіб, що не пройшли
- медичний огляд, навчання і перевірку знань, інструктаж, не мають допуску до виконання відповідних робіт або ігнорують вимоги з охорони праці;
- втручатись та зупиняти роботу виробництва у разі виявлення порушень, які створюють загрозу життю і здоров'ю робітників;
- сповіщати (шляхом підготовки відповідного подання) керівництво підприємства про необхідність притягнення до відповідальності осіб, що порушують вимоги правил охорони праці.

Право скасування підпису спеціаліста з охорони праці має лише керівник підприємства. На АТ «Миронівське» відповідальною особою з питань охорони праці призначено головного інженера. Крім того, на підприємстві функціонує кабінет з охорони праці.

Кожен працівник під час прийняття на роботу та в процесі трудової діяльності проходить відповідний інструктаж або навчання згідно з Типовим положенням про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. Основними питаннями такого навчання є загальні положення охорони праці, надання першої медичної допомоги, правила поведінки у разі виникнення аварійної ситуації тощо [15]. Інструктажі та навчання проводяться в кабінеті охорони праці.

Посадові особи підприємства, відповідно до переліку, затвердженого Державним комітетом України з нагляду за охороною праці, перед початком виконання своїх обов'язків, а надалі один раз на три роки, проходять навчання й перевірку знань з охорони праці. Навчання та тестування здійснюються в органах галузевого або регіонального управління охороною праці за участю представників органів державного нагляду і профспілок.

Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України № 442 від 01.08.1992 р. зі змінами, внесеними постановою № 660 від 30.06.2023 р., робочі місця всіх структурних підрозділів АТ «Миронівське» мають бути приведені у відповідність до чинних умов праці. На підприємстві також дотримуються

встановленої періодичності багатоступеневого адміністративно-громадського контролю з питань охорони праці [21].

За минулі роки на підприємстві був зафіксований один травматичний випадок пов’язаний з переломом руки, після виникнення якого, відповідно положенню про Порядок розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві (НПАОП 0.00-6.02-04) службою охорони праці проводилося розслідування [16]. За підсумками даного розслідування було складено акт встановленої форми, один примірник якого, не пізніше 3 днів після закінчення розслідування, було відправлено потерпілому. Після реєстрації нещасного випадку було проведено позапланові інструктажі працівників, перевірку стану обладнання, яке стало причиною нещасного випадку.

Згідно норм законодавства, якщо нещасний випадок стався від дії людського фактору, то винуватець, в залежності від тяжкості випадку несе відповідальність у вигляді штрафу, винесення адміністративного покарання, а в особливо тяжких випадках - усунення від посади та кримінальну відповідальність.

Вимоги, які зазначені в укладеному колективному договорі забезпечують працівникам соціальні гарантії у галузі охорони праці на рівні передбаченому законодавством України. На підприємстві АТ «Миронівське» неухильно дотримуються вимог колективного договору, здійснюючи комплексні заходи у питаннях дотримання діючих нормативів безпеки та гігієни праці, підвищення рівня охорони праці, запобігання аварійних ситуацій, виробничого травматизму і професійним захворюванням. Кожне робоче місце підприємства забезпечене спецодягом, засобами індивідуального захисту, засобами пожежогасіння, інструкцією з охорони праці та пожежної безпеки, планами евакуації у випадку небезпечних ситуацій.

У відповідності зі статтею 19 Закону України «Про охорону праці», на підприємстві створено фонд охорони праці, з коштів якого фінансуються заходи спрямовані на підвищення загального рівня охорони праці [8]. Мінімальний

розмір витрат на охорону праці становить 0,5% фонду оплати праці за попередній рік.

Аналіз стану охорони праці в АТ «Миронівське» дозволяє зробити висновок, що у підприємстві питанням охорони праці приділяється значна увага, а в цілому рівень охорони праці на підприємстві можна вважати добрим.

4.2 Аналіз виробничих небезпек та причин їх виникнення

Усі робочі місця, які задіяні у виробничі процеси АТ «Миронівське» забезпечуються максимально можливим рівнем механізації, електрифікації та автоматизації виробництва. Згідно чинного законодавства робоче місце працівника повинно відповідати таким базовим критеріям:

- обладнання, інструмент і приладдя повинні бути справним, використовуватися тільки за їх прямим призначенням, знаходитися у відповідних місцях та перебувати в стані постійної технічної готовності;
- робоче місце має бути зручним для проведення відповідних технологічних операції.
- відходи виробництва, відпрацьовані матеріали та сміття повинні своєчасно видалятися з робочого місця у спеціальні контейнери, які знаходяться у відведеному місці;
- переміщення матеріалів, деталей та виробів, маса яких перевищує 20 кг повинне здійснюватися з використанням відповідних підйомно-транспортних машин та обладнання.

В процесі виконання різних технологічних операцій, ремонту машин і обладнання, їх випробувань, працівник може стикатися зі значною кількістю небезпечних і шкідливих виробничих факторів, до яких слід віднести:

- піднімання на висоту машин або їх складових частин під час ремонту або технічного обслуговування;
- відкривання/зняття кожухів та захисного обладнання з обертових і рухомих частин машин та обладнання;

- відсутність або поломка освітлювальних та контрольно-вимірювальних пристроїв;
- підтікання палива, оливи, мастильних матеріалів, охолоджувальної та інших технічних рідин;
- пошкодження ізоляції електрообладнання та проводки;
- поломка або пошкодження інструменту, приладів та обладнання, тари;
- розташування машин з порушенням інтервалу та дистанції;
- присутність на робочому місці сторонніх предметів.
- значна запиленість і загазованість повітря в робочій зоні;
- підвищена шумність робочого місця;
- високий рівень вібрації обладнання та інструментів;
- відсутність або брак природного освітлення;
- недостатність або брак освітлення у робочій зоні;
- підвищена яскравість світла;

Найбільш розповсюдженими небезпечними діями працівників, що призводять до травмування при виконанні ремонту, технічного обслуговування, випробування та роботі з технікою є:

- використання машин, обладнання, інструментів у несправному стані або не за призначенням;
- ігнорування вимог інструкції з охорони праці, інструкцій з експлуатації машин та обладнання;
- робота без засобів індивідуального захисту або спецодягу;
- виконання робіт в стані алкогольного чи наркотичного сп’яніння;
- здійснення розгерметизації гідросистем підйомно-транспортних машин і механізмів без встановлення під ними міцних, страхувальних опорних конструкцій;
- усунення технічних несправностей на працюючому двигуні;
- використання випадкових підручних предметів в якості опори або підставки під час ремонту, випробування техніки та обладнання.

При здійсненні виробничої діяльності на будь-якому підприємстві повинні забезпечуватись такі вимоги:

- використання в технологічному процесі або у технологіях ремонту шкідливих виробничих факторів, рівень яких або не перевищує допустимих значень або такі фактори взагалі відсутні;
- використання машин, інструментів, обладнання, робочі органи яких у випадку технологічної або технічної відмови не стануть джерелом травмування;
- використання технологічного засобів і машин, обладнаних захисними пристроями, які нівелюють або знижують наслідки небезпечних і шкідливих виробничих факторів;
- використання виробничих приміщень та площ, які повністю відповідають вимогам нормативно-правових актів у сфері охорони праці;
- використання матеріалів, заготовок, сировини, які не чинять шкідливий і небезпечний вплив на працівників;
- використання у робочому процесі пристроїв протиаварійного захисту, а також контрольно-вимірювальних приладів, які знаходяться у зоні видимості оператора та інформація з яких легко зчитується.
- раціональне компонування машин та обладнання на території підприємства.
- забезпечення комфортного виконання робіт, яке виключає фізичне або психічні перенавантаження працівників, особливо в процесі контролю за протіканням технологічного процесу;
- організація професійного відбору, навчання робітників, перевірки їх знань та навиків щодо безпечного виконання технологічних процесів.
- розроблення та інтегрування у навчальний процес підготовки працівників спеціального програмного забезпечення, яке сприяє відпрацюванню вмінь та навиків запобігання типовим травмонебезпечним/аварійним ситуаціям;
- розроблення та використання соціально-економічних важелів стимулювання безаварійної роботи.

4.3. Вимоги до збирання зернових, зернобобових та круп'яних культур

Згідно Інструкції з охорони праці при збиранні комбайнами зернових, насінників трав та інших культур [10] до роботи на зернозбиральних комбайнах можуть допускатись особи, які досягли 18-ти річного віку, закінчили спеціальні навчальні курси, отримали посвідчення тракториста-машиніста відповідної категорії, за рішенням медичної комісії не мають медичних протипоказань для виконання даної роботи, пройшли курс навчання і перевірку знань з питань охорони праці, пройшли вступний та первинний інструктажі, пройшли стажування протягом від двох до п'ятнадцяти змін від наглядом досвідченого комбайнера, на достатньому рівні володіють знаннями з будови машини та Правил дорожнього руху.

Тракторист-машиніст повинен виконувати тільки ту роботу, яка йому доручена відповідним керівником, не допускати на своє робоче місце сторонніх осіб та не передоручати виконання дорученої роботи іншим особам. Відпочинок та паління дозволяється тільки в спеціально відведених і обладнаних для цього місцях. Робота машин для збирання зернових культур має відповідати вимогам Збирання зернових та зернобобових культур. Вимоги безпеки (ДНАОП 2.1.10-2.08-81) [6].

Перед початком виконання збиральних робіт власниками або керівниками підприємств повинні бути здійснені такі організаційні заходи:

- завершена підготовка і формування збирально-транспортних агрегатів;
- закріплена техніка за відповідними працівниками;
- організовані ланки технічного обслуговування та ремонту машин;
- на відведених ділянках поля обладнані стани і місця для відпочинку робітників, майданчики для зберігання машин і пально-мастильних матеріалів;
- проведена підготовка полів та здійснено перевірку провисання дротів ліній електропередач;
- проведено інструктажі з питань охорони праці та пожежної безпеки серед залучених працівників.

Під час проведення збирання зернових, зернобобових та круп'яних культур необхідно неухильно дотримуватися правил пожежної безпеки, які викладені в розділі 7.9.1 ДНАОП 0.01-1.01-95. 4.3.3 [5].

При організації проведення інструктажів з охорони праці на робочому місці потрібно враховувати: погодні умови, стан культури, що збирається, стан збиральної техніки і супроводжувальних транспортних засобів, кількість і рівень кваліфікації
працівників, а також інформацію про можливі виробничі небезпеки та випадки травмування, які можуть виникнути в процесі збирання урожаю.

У випадку здійснення технічного обслуговування комбайнів і транспортних засобів у темну пору доби потрібно забезпечити наявність штучного освітлення майданчиків з рівнем освітленості поверхні в будь-якому місці робочої зони обслуговування не менше 50 люкс.

При виборі способів та технологій збирання зернових культур перевагу слід надавати технологіям, які забезпечують вищу надійність і безпеку виконання технологічного процесу.

Під час роботи в полі, руху польовими дорогами та дорогами загального призначення не дозволяється знаходження у кабіні комбайна сторонніх осіб. Заборонено перебування людей у кузові автомобіля або тракторного причепа при заповненні їх збіжжям, а також при транспортуванні збіжжя до місця складування.

Для зниження негативної дії низькочастотних коливань комбайна на організм оператора напрям косовиці повинен співпадати з напрямом ґрунтообробки і бути впоперек або під невеликим кутом до напряму посіву.

З метою проштовхування злежаного зерна з бункера до вивантажувального шнека, комбайн слід укомплектувати дерев'яною лопатою. Додатково збиральні машини мають бути обладнані міцними підкладками для встановлення домкрата. Перед підніманням комбайн необхідно загальмувати, а під його колеса встановити захисні противідкатні башмаки. Домкрат необхідно установлювати тільки у місцях зі спеціальними позначками.

Під час здійснення переїздів вивантажувальні шнеки та інші робочі органи збиральної машини мають бути переведені у транспортне положення. У разі користування дорогами загального призначення з метою забезпечення комфортного руху інших учасників дорожнього руху, дистанція між комбайнами має бути не менше 50 м.

При експлуатації комбайна із запропонованим нами ротаційним соломотрясом потрібно дотримуватися вимог техніки безпеки. У випадку забивання робочих органів зернозбирального комбайна або його ремонті виникає потреба контакту людини із робочими органами. У цьому випадку небезпеку можуть спричинити потрапляння частин тіла до різальних елементів, мотовила, шнека жатки, а також до соломотряса. Як уже зазначалось раніше, для того щоб уникнути можливого травмування у процесі роботи або обслуговування комбайна необхідно виконувати усі роботи з непрацюючим двигуном.

Небезпечні ситуації при збиранні зернових культур комбайном КЗС -9-1 «Славутич» можуть виникнути при заправленні його паливом. Небезпечною умовою при цьому може бути відсутність обладнаного для заправлення місця.

На рисунку 4.1 наведено логічну таблицю потенційних небезпек, які можуть виникнути при заправленні комбайна.

Вид робіт, виробниче обладнання,склад агрегату	Виробнича небезпека			можливі наслідки	заходи запобігання небезпечним ситуаціям
	небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	небезпечна ситуація (НС)		
Збирання зернових культур комбайном КЗС Славутич	Необладнано і непозначено місце для заправки комбайнів(А)	Заправка комбайнів у загоні біля хлібної маси(В)	Загорання розлитого палива(С) Загорання копиць соломи(D) Загорання поля (Е)	Пожежа	організувати постійний пожежний контроль за роботою комбайнів і добитися суворого працюючими правил пожежної безпеки(Т)

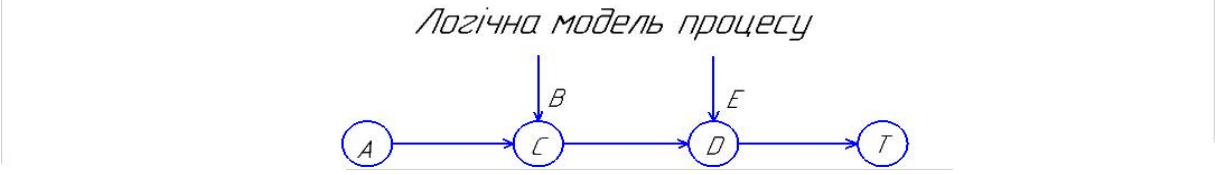


Рис. 4.1 Логічна таблиця потенційних небезпек при заправленні зернозбирального комбайна

Небезпечною також може бути заправлення комбайнів у загінці у безпосередній близькості до хлібної маси, що може спричинити виникнення загорання розлитого палива, займання соломи та займання хлібів. В екстрених випадках для гасіння пожежі кожний комбайн обладнується двома вогнегасниками і спеціальним брезентом.

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ОЧИСНИКА ГРУБОГО ВОРОХУ

Розрахунок економічних показників, які описують ефективність використання удосконаленої конструкції комбайна будемо визначати за існуючою методикою згідно ДСТУ-4397:2005 «Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування».

Базовою моделлю комбайна було обрано самохідний зернозбиральний комбайн КЗС-9-1 «Славутич», а в якості удосконаленої машини - цей самий комбайн, на якому замість штатного клавішного соломотряса встановлений ротаційний. Вихідні дані для розрахунку техніко-економічних показників (ТЕП) ефективності удосконаленої машини наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1.

Вихідні дані для розрахунку ТЕП ефективності удосконаленого зернозбирального комбайна

Показник	Базова машина	Удосконалена машина
Марка машини	КЗС-9-1 «Славутич»	КЗС-9-1 «Славутич» з роторним соломотрясом
Урожайність, т/га	3,5	3,5
Ширина захвату жатки, м	6	6
Робоча швидкість, км/год	5,0	6,0
Обслуговуючий персонал, чол.	2	2
Маса комбайна, кг	14000	14455

Загальний економічний ефект від використання удосконаленої машини визначається як різниця прямих експлуатаційних витрат базової і удосконаленої машини:

$$\text{Е}_{\text{заг}} = \text{П}_{\text{б}} - \text{П}_{\text{м}}, \frac{\text{грн}}{\text{га}} \quad (5.1)$$

де $П_б$ і $П_м$ – приведені експлуатаційні витрати по базовій і удосконаленій машини, грн/га

Приведені експлуатаційні витрати визначаються за формулою:

$$\text{П} = \text{еК} + \text{С}, \frac{\text{грн}}{\text{га}} \quad (5.2)$$

де e – нормативний коефіцієнт ефективності використання капіталовкладень ($e = 0{,}15$);

$К$ – розмір капіталовкладень, грн/га.

Розмір капіталовкладень визначається як співвідношення балансової вартості машини до добутку змінною продуктивності на коефіцієнт використання часу зміни:

$$\text{К} = \frac{\text{Б}_{\text{м}}}{\tau_{\text{м}} W_{\text{з}}}, \frac{\text{грн}}{\text{га}} \quad (5.3)$$

де $\text{Б}_{\text{м}}$ – балансова вартість машини, грн.

$W_{\text{з}}$ – продуктивність, за зміну, га/год;

$\tau_{\text{м}}$ – коефіцієнт ефективності використання часу зміни ($\tau_{\text{м}} = 0{,}8$).

Значення продуктивності за зміну визначаємо з виразу:

$$W_з = W_0\tau_м = 0.1BV\tau_м \quad (5.4)$$

де B –ширина захвату жатки зернозбирального комбайна, м;

V – робоча швидкість комбайна, км/год.

Приведені експлуатаційні витрати визначаються за формулою:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4, \frac{грн}{га} \quad (5.5)$$

В даній формулі прямі експлуатаційні витрати C визначаються як сума витрат на оплату праці C_1, витрат паливно–мастильних матеріалів C_2, витрат на реновацію збиральної машини C_3, а також витрат на технічне обслуговування і ремонт C_4.

Витрати на оплату праці визначаються:

$$C_1 = \frac{Л_i СТ_i}{W_з}, \frac{грн}{га} \quad (5.6)$$

де $Л_i$ – кількість працівників відповідної кваліфікації, які зайняті на збиральній операції, $Л_i = 2$;

$СТ_i$ – тарифна ставка працівника відповідної кваліфікації, грн/год (для комбайнера тарифна ставка складає 104 грн/год).

Витрати паливно-мастильних матеріалів (ПММ) визначаються з виразу:

$$C_2 = \frac{Nqn Ц_П}{W_з\tau}, \frac{грн}{га} \quad (5.7)$$

де n – коефіцієнт використання потужності двигуна ($n = 0{,}61$);

$Ц_П$ – комплексна ціна дизельного палива, грн/кг (84,39 грн/кг);

N – потужність дизельного двигуна $N = 191$ кВт,

q – питома витрата палива $q = 0{,}18$ кг/кВт.

$$C_з = \frac{Б_м a_м}{\tau W_з}, \frac{грн}{га} \quad (5.8)$$

де $a_м$ - норма відрахувань на проведення реновації комбайна ($a_м = 0{,}16$)

$Б_м$ - балансова вартість комбайна (для базової машини – 974000 грн, для модернізованої – 1070075 грн).

Витрати на технічне обслуговування та ремонт машини визначаються із залежності:

$$C_4 = \frac{Б_м b_м}{\tau_м W_з}, \frac{грн}{га} \quad (5.9)$$

де $b_м$ – норма відрахувань на проведення ремонту і технічного обслуговування комбайна ($b_м = 0{,}065$).

Річний економічний ефект від впровадження удосконаленої конструкції комбайна визначається:

$$E_р = E_{заг} \tau W_з, грн \quad (5.10)$$

Результати розрахунку техніко-економічної ефективності удосконаленої машини наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2.

Результати розрахунку показників економічної ефективності

Показник	Базовий комбайн	Удосконалений комбайн
1	2	3
Продуктивність основного часу, га/год	3	3,6
Прямі експлуатаційні витрати на оплату праці, грн/га	69,33	57,78
Прямі експлуатаційні витрати на ПММ, грн/га	623,31	519,42
Прямі експлуатаційні витрати на реновацію, грн/га	110,52	101,19
Прямі експлуатаційні затрати на ремонт і ТО, грн	44,90	41,11
Сумарні прямі експлуатаційні затрати, грн/га	848,07	719,50
Розмір капіталовкладень, грн/га	690,78	632,43
Приведені експлуатаційні витрати, грн/га	951,69	814,36
Зменшення приведених експлуатаційних витрат, грн/га	137,32	
Річний економічний ефект, грн	232347,13	

За результатами розрахунків можна зробити висновок, що при використанні комбайна з удосконаленим очисником грубого вороху спостерігається зростання показників економічної ефективності роботи.

Термін окупності розробки розраховується як співвідношення вартості машини до чистого річного прибутку (прибуток мінус витрати). Розрахунки вказують на те, що термін окупності удосконаленої машини становитиме 4,6 роки.

ВИСНОВКИ

Значного підвищення ефективності роботи зернозбиральних комбайнів можна досягти шляхом використання робочих органів, які забезпечують ефективнішу сепарацію грубого вороху. Аналіз існуючих конструкцій робочих органів зернозбиральних комбайнів вказує на перспективність інтегрування в компонувальну схему зернозбирального комбайна соломоочисника ротаційно-пластинчастого типу.

В проєкті обґрунтовано доцільність використання вищезазначеного типу соломоочисника в схемі наявного в господарстві зернозбирального комбайна, що у перспективі дозволить суттєво зменшити рівень втрат вільного зерна у грубому воросі.

В результаті розрахунків конструктивних і кінематичних параметрів удосконаленого робочого органу нами рекомендуються роторний соломотряс довжиною 3550 мм і шириною – 1420 мм, який складається з 15 валів з розміщеними на них кулачками з розмірами півосей– 200 і 90 мм. Кутова швидкість кулачкового вала – становить 14 рад/с, пропускна здатність молотарки 9 кг/с.

Розглянуто можливі небезпечні умови і небезпечні ситуації, які можуть виникнути при роботі удосконаленої машини та намічено шляхи їх запобігання.

Річний економічний ефект від застосування зернозбирального комбайна удосконаленої конструкції становить 232347,13 грн. Термін окупності – 4,6 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агровигляд України 2024 - 2033 /[Електронний ресурс]: Режим доступу вільний: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/03/Agroviglyad-2024-2033.pdf.

2. Войналович О.В. Працеохоронні засади у схемах, таблицях і графіках: навч. посібник. Видання 2-ге, доопрацьоване. – К.: Основа, 2020. – 144 с.

3. Гайденко Олег Правильна заготівля біомаси. /[Електронний ресурс]: стаття /Гайденко Олег //Режим доступу вільний: https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1063-pravylna-zahotivlia-biomasy.html.

4. Гайденко Олег, Темченко Анатолій Обґрунтування вибору зернозбирального комбайна /[Електронний ресурс]: стаття /Гайденко Олег, Темченко Анатолій //Режим доступу вільний: https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1228-obhruntuvannia-vyboru-zernozbyralnoho-kombaina.html.

5. ДНАОП 0.01-1.01-95. Правила пожежної безпеки в Україні. Затверджено наказом Міністерства внутрішніх справ України від 22 червня 1995 р. № 400. Київ: МВС України, 1995. URL: https://vspu.edu.ua/content/instruct/in2/w19.pdf.

6. ДНАОП 2.1.10-2.08-81. ОСТ Збирання зернових. Вимоги безпеки. Київ: Держнаглядохоронпраці, 1981. URL: https:// dbn.co.ua/load/normativy/dnaop/6.

7. ДСТУ 4397:2005. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. Київ: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2005. - 19 с. (URL: http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/dstu-4397-2005-metody-ekonomichnoho-ocinjuvannja-tehniky-na-etapi-vyprobovuvannja.pdf.).

8. Закон України «Про охорону праці». Стаття 19. Фінансування охорони праці. Київ: Верховна Рада України, 1992. Остання редакція: 2025. URL: https://protocol.ua/ua/pro_ohoronu_pratsi_stattya_19/.

9. Закон України № 4170-IX. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо реформування медико-соціальної експертизи та впровадження оцінювання повсякденного функціонування особи: редакція від 19 грудня 2024 року. Київ: Верховна Рада України, 2024. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/532021___779196.

10. Інструкція з охорони праці при збиранні комбайнами зернових, насінників трав та інших культур. Затверджено Державною службою України з питань праці. Дата прийняття: 01.09.2018. Київ: Держпраці України, 2018. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78248.

11. Колесніков К.Д., Балашов В.П. Ротаційний пластинчатий соломотряс //Ж. Механізація і електрифікація сільського господарства. - №8. – 1971. – С. 18-19.

12. Комбайни зернозбиральні: Навч. посібн. для здобувач. проф. (проф.-тех.) освіти /Микола Макаренко, Ольга Мельник. — Київ: Грамота, 2023. — 256 с.

13. Макаренко М.Г. Яким комбайном збирати зерно? //Агробізнес сьогодні. /[Електронний ресурс]: стаття /Макаренко М.Г. //Режим доступу вільний: http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1055-iakym-kombainom-zbyr.

14. Машини для збирання зернових культур. Методичні вказівки /Волянський М.С., Деркач О.П. та ін. – К.: Видавництво НАУ, 2003. – 35 с.

15. НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. Затверджено наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26 січня 2005 р. № 15. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 15 лютого 2005 р. за № 231/10511. Дата початку дії: 25.10.2024. Київ: Держнаглядохоронпраці, 2005. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=24622.

16. НПАОП 0.00-6.02-04. Порядок розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 25 серпня 2004 р. № 1112. Київ: Кабінет Міністрів України, 2004. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48643.

17. Основи охорони праці:. /В.В. Березуцький, Т.С. Бондаренко, Г.Г. Валенко та ін.; за ред. проф. В.В. Березуцького. – Х.: Факт, 2020. – 480 с.

18. Погорілець О.М., Погорілець Ю.О. Основи теорії технологічного процесу зернозбирального комбайна. – К.: 2005. - 72 с.

19. Погорілець О.М., Живолуп Г.І. Зернозбиральні комбайни.- К.: Український центр духовної культури, 2003. - 203 с.

20. Погорілець О.М., Живолуп Г.І. Зернозбиральні комбайни. - К.: Урожай, 1994.- 232с.

21. Постанова № 442 від 01 серпня 1992 року «Про порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці». Остання редакція від 30 червня 2023 року (№ 660-2023-п). Київ: Кабінет Міністрів України, 2023. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/151866___754883.

22. Проектування моделей вивчення технічних дисциплін у відкритих освітніх ресурсах: навчально-методичний посібник /О.М. Самойленко, В.І. Гавриш, І.В. Бацуровська, та ін. – Миколаїв: Гринь Д.С., 2016. – 275 с.

23. Свидинюк Іван Оптимальна щільність продуктивного стеблостою /[Електронний ресурс]: стаття /Свидинюк Іван //Режим доступу вільний: https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/11706-optymalna-shchilnist-produktyvnoho-steblostoiu.html.

24. Сільськогосподарські машини: навч. посіб. /Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, М.С. Волянський, В.М. Мартишко, Ю.О. Гуменюк – К.: «Агроосвіта», 2017. – 180 с.

25. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник /Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.М. Барановський та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. — 2-ге вид., перероб. та допов. - Київ: НУБіП України, 2018. - 508 с.

26. Сільськогосподарські машини: підручник /Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич [та ін.]; За ред. Д. Г. Войтюка. - К.: Агроосвіта, 2015. - 678 с.

27. Сучасні тенденції розвитку конструкції сільськогосподарської техніки / за ред. В.І. Кравчука, М.І. Грицишина, С.М. Коваля. — Київ: Аграрна наука, 2004. - 396 с.

28. https://agriculture.newholland.com/eu/uk-ua

29. https://www.caseih.com/emea/ua-ua/home

30. https://www.claas.ua/

31. https://www.deere.ua/uk/

32. https://www.fendt.com/ua/index

ДОДАТКИ

					01.01 – ДП. 510 «С» 2025.10.22. 035 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Любинецька			ДОДАТКИ	Літ.	Арк. / Акрушів
Перевір.		Гуменюк Ю.О.					
Реценз.						AI-2304ст	
Н. Контр.							
Затверд.							