Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою СГМ
к.т.н., професор
_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ
“___“ _____2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

«Удосконалення зернозбирального комбайна із дослідженням подрібнювача незернової частини врожаю»

Виконав здобувач вищої освіти ІІ курсу,
групи ГМ-23М-1.1
ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
_____ Мереуца Сергій Андрійович
«____»_____2025 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ Сергій ЛЕЩЕНКО
«_____»_____2025 р.

Рецензент
доцент, канд. техн. наук
_____ Володимир ЯЦУН
«_____»_____2025 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти_____

Галузь знань _____

Спеціальність_____

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма

_____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ
«___» _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту)

_____

_____

_____

_____

2. Керівник роботи (проекту)

_____

_____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту _____

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи (проекту)_____

_____

_____

_____

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка

Дата видачі завдання
«____» _____20___ р.
Підпис керівника

_____ _____
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«____» _____20___ р.

Підпис здобувача _____ _____
(прізвище та ініціали)

Зміст

1. Вступ 6
2. Інженерна частина 8
3. Наукова частина 56
4. Охорона праці 65
5. Економічна частина 67
6. Висновок 69
Список використаної літератури 70
Додатки 73

1. ВСТУП

Незважаючи на війну аграрний сектор України продовжує розвиватися і значна кількість населення залишається працювати на полях господарства, вирощуючи продукцію рослинництва та наповнюючи бюджет і гарантуючи продовольчу безпеку країни. Однією з найвідповідальніших операцій агровиробництва, яка є завершальним етапом вирощування культур, а також залишається однією з найскладніших і найбільш енерговитратних процесів рослинництва є збирання врожаю. Саме насамперед технологія збирання врожаю визначає загальну економічну ефективність усіх виконаних робіт у рослинництві. Для зернових культур збирання врожаю передбачає послідовне здійснення таких робіт, як скошування, обмолот, часткове очищення зерна та його транспортування до місця зберігання.

У більшості випадків зернові у фермерських господарствах нашої держави збирають методом прямого комбайнування. В Україні, особливо у середніх і дрібних фермерських господарствах, для цього використовують здебільшого застарілі зернозбиральні комбайни, такі як ДОН-1500, Нива, Колос, Єнисей, Славутич, Лан тощо. Значна частина таких машин є застарілою та енергоємною, однак завдяки численним дослідженням і вдосконаленням вдалося досягти поліпшення окремих показників продуктивності цих збиральних агрегатів, та наблизити їх роботу до чинних державних стандартів, які висуваються до прямого комбайнування.

Водночас актуальною проблемою залишається ефективне збирання та переробка незернової частини врожаю, особливо в умовах застосування ресурсозберігаючих і ґрунтозахисних технологій землеробства. Багато моделей комбайнів не оснащені пристроями для подрібнення соломи, полови та рослинних решток, а ті, що мають подрібнювальні механізми, часто не відповідають сучасним вимогам якості виконання цієї операції. До таких

машин належить і комбайн ДОН-1500.

Отже, основна мета даної роботи – удосконалення конструктивних параметрів подрібнювача соломи комбайна ДОН-1500 для підвищення ефективності та якості роботи модернізованого подрібнювача.

2. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

2.1. Опис об’єкту розробки та обґрунтування запропонованих вдосконалень

Залежно від стану хлібної маси, сорту зернових та ґрунтово-кліматичних умов вирощування, зернові, зернобобові, круп’яні культури рядового способу сівби збирають одним із двох методів: однофазним, або як його називають способом прямого комбайнування та двофазним чи роздільним способом збирання врожаю. Розглянемо більш детально кожен із перелічених способів.

При ***однофазному збиранні*** зернозбиральний комбайн одночасно виконує кілька операцій: проводить зрізання або очісування хлібної маси, відокремлює із збіжжя зерно, очищує обмолочене і відділене зерно та завантажує його в бункер комбайна. Крім того, при однофазному способі збирання, комбайн збирає незернову частину врожаю (солому та полову), яку може укладати у валки, розкидати по поверхні поля або подрібнювати та завантажувати у причіп. Цей метод є найбільш придатним для збирання рівномірно дозрілих, малозабур’янених, розріджених (менше 300 рослин на 1 м^2) і низькорослих (менше 50 см) зернових культур. Збирання розпочинають коли зерно досягає повної стиглості, за умови, що його вологість не перевищує 25%.

Двофазний (роздільний) спосіб передбачає використання валкових жаток, які спочатку скошують стебла та укладають їх у валки, а через 4…6 діб ці валки підбираються зернозбиральними комбайнами для обмолоту. Цей метод дозволяє почати збирання зернових на 4…12 діб раніше, ніж при прямому комбайнуванні, коли зерно досягає середини воскової стиглості (вологість зерна складає 25…35%). У валках стебла підсихають, а зерно дозріває завдяки запасам поживних речовин, що покращує його щільність і вагу зернівок.

Роздільний спосіб використовують для збирання сільськогосподарських культур, які дозрівають нерівномірно (горох, овес, ячмінь, просо тощо),

схильні до осипання та вилягання, а також для високостебельних рослин і засмічених посівів. Втрати зерна при цьому способі збирання є меншими, ніж при однофазному, оскільки зерно менш піддається осипанню та вибиванню робочими органами жатки. Оптимальними умовами для двофазного способу збирання врожаю є густота стояння рослин понад 250 шт. на 1 м², висота рослин понад 60 см і висота зрізання 12…25 см, а для рису висота зрізання складає 25…30 см. В умовах підвищеної вологості формують тонкі широкі валки, а в засушливих районах – товсті та нешироκі. Зібране зерно транспортують на зерноочисно-сушильні комплекси для післязбиральної обробки та зберігання.

Індустріально-потокові способи чи технології збирання зернових культур і насіннєвих посівів трав використовуються разом із комбайновими методами. Вони передбачають транспортування всього врожаю або його частини на стаціонарні комплекси для обмолоту, сепарації та очищення зерна. Існує кілька варіантів таких технологій.

При збиранні високоврожайних зернових культур за нормальної вологості зерна та насіннєвих посівів трав застосовують метод, за якого мобільна молотарка здійснює обмолот хлібної маси, розділяючи її на два потоки: солому та невійку (суміш зерна з половою). Невійку транспортують на стаціонарні пункти, де за допомогою високопродуктивних зерноочисних машин (до 50 т/год) проводять розділення збіжжя на зерно та полову. Подальша обробка включає подачу зерна на зерноочисні агрегати, а полови – у кормоцехи господарств.

У разі збору вологих хлібів індустріально-потоковий метод передбачає скошування або підбір хлібної маси з валків, її транспортування на стаціонар для сушіння, обмолоту та розподілу на зерно, солому і полову.

У деяких регіонах нашої держави іноді використовується потокова технологія, за якої хлібна маса вивозиться на край поля, складається у стоги та після певного проміжку часу пересувною молотаркою обмолочується. У разі

несприятливих погодних умов сушіння здійснюється за допомогою установок для активного вентилювання збіжжя.

Збирання врожаю за допомогою простих жнивних машин супроводжується значною кількістю технологічних операцій, перевантажень і транспортних робіт, що призводить до збільшення втрат зерна. Саме тому цей спосіб збирання врожаю поступово втрачає актуальність.

Окремі труднощі виникають у фермерів під час збирання зернобобових культур через нерівномірне дозрівання та високу ймовірність обсипання. Це особливо актуально для сланких культур (чина, горох) та низькорослих рослин із низьким розташуванням стручків (соя, квасоля, нут). Для збирання зернобобових культур використовують стандартні зернові жатки і комбайни, обладнані спеціальними пристроями, а також спеціалізовані жниварки та спеціальні адаптери для косарок, причому промисловістю вони виготовляються різних моделей.

Незалежно від способу збирання основного врожаю зернових та зернобобових культур, значною проблемою і невирішеним питанням залишається збір незернової частини врожаю. Враховуючи те, що для багатьох господарств тваринництво стало не пріоритетним напрямком, транспортування соломи та полови з полів стає економічно недоцільним.

Чинні агротехнічні вимоги, що висуваються до збирання зернових культур передбачають забезпечення високої якості виконання робіт за умови правильного вибору та налаштування робочих органів зернозбиральних комбайнів відповідно до властивостей сільськогосподарських культур. Крім того, важливу роль відіграє пристосованість рослин до механізованого збирання.

Придатність сільськогосподарської культури до механізованого збирання визначається її фізико-механічними характеристиками, біологічними особливостями та фактичним станом у період збирання. Тому при розробці нових моделей зернозбиральної техніки враховують

агробіологічні властивості рослин, а при виведенні нових сортів – їхню адаптацію до механізованого збирання, що передбачено методиками селекційних досліджень.

На ефективність роботи зернозбиральних комбайнів впливають структура та будова рослин, довжина стебел і густота посіву, рівень вилягання рослин, міцність і вологість всієї рослинної маси, розміри та вага зернівок, співвідношення зерна до незернової частини врожаю у збіжжі, фаза стиглості та рівень засміченості посівів на полі.

Під час збирання низькорослих і полеглих хлібів необхідно зменшувати висоту зрізання рослин, що може спричиняти певні технічні складнощі. Водночас, високорослі культури створюють підвищене навантаження на робочі органи машини, що призводить до додаткових втрат вирощеного урожаю на етапі збирання. Бажана довжина стебел рослин для збирання колосових культур має становити від 55…60 см до 100…110 см, а коефіцієнт варіації довжини рослин – не повинен перевищувати 15%.

Вирощування у господарствах короткостеблових сортів зернових, із висотою стебел 60…80 см сприяє зниженню ризику вилягання посівів на полі і забезпечує зростання загальної продуктивності зернозбиральних комбайнів. Допустимий рівень вилягання посівів для довгостеблових сортів зернових становить до 55%, для короткостеблових – не більше 20%.

Крім того, сорти з міцними стеблами менше схильні до вилягання, що полегшує процес збирання. Навпаки, слабкі стебла піддаються значному подрібненню робочими органами, що призводить до перевантаження системи очищення зернозбиральної машини. Саме тому культури з міцними стеблами є більш придатними для механізованого збирання врожаю комбайнами.

Продуктивність зернозбирального комбайна та якість зібраного врожаю значною мірою залежать від співвідношення маси зерна, полови та соломи. Під час комбайнового збирання зернових з високою соломистістю зменшується продуктивність комбайна, збільшуються втрати через недомолот

і залишкове зерно в соломі. Водночас, при збиранні малосоломистих хлібів продуктивність підвищується, проте збільшується ступінь подрібнення зерна. Оптимальне співвідношення маси зерна до соломи має бути в межах від 1:1,2 до 1:0,5.

Дозрівання насіння зернових культур відбувається нерівномірно. Для колосових спочатку достигають зерна в середній частині колосу, потім у верхній та нижній. У проса першими дозрівають зерна у верхівці мітелки. Найбільша нерівномірність дозрівання спостерігається у зернобобових культур і багаторічних бобових трав, що спричиняє значні варіації у масі, вологості, розмірі насіння та міцності його зв'язку з колосом, ускладнюючи процес обмолоту.

Стійкість зернівок до механічних пошкоджень робочими органами під час збирання визначається міцністю зернівки та способом обмолоту. Ударні методи обмолоту, які широко застосовуються в сучасних зернозбиральних комбайнах, можуть призводити до суттєвого пошкоджень зерна. Особливо критичними є мікропошкодження, що можуть сягати 50%, знижуючи товарні характеристики зерна та його схожість. Тому при селекції нових сортів необхідно приділяти увагу підвищенню стійкості зерна до механічного впливу на нього робочих органів та їх елементів під час операції збирання врожаю та його післязбиральної обробки.

Зменшити пошкодження зернівок можна завдяки використанню еластичних покриттів на робочих органах комбайнів, наприклад, гумових елементів, які зміщують поріг пошкодження зернівок у бік вищих швидкостей. Отже, для мінімізації втрат і збереження якості зерна доцільно використовувати еластичні елементи на молотильних пристроях зернозбиральних комбайнів.

Кондиційна вологість зерна та інших частин рослин знаходиться в межах 14…15%. Перевищення цього показника призводить до утворення вільної вологи, що спричиняє самозігрівання зерна і його псування. В період

жнив вологість зерна часто перевищує нормативні показники і може коливатися від 11% до 50%. Збирання врожаю з підвищеною вологістю спричиняє зростання втрат врожаю через недомолот, тоді як пересушена хлібна маса збільшує ступінь подрібнення зерна та соломи і наростаючі втрати зерна разом із половою.

Засміченість посівів у господарствах також негативно впливає на роботу зернозбиральних комбайнів. Наявність зелених бур'янів підвищує втрати та збільшує загальну вологість зібраного збіжжя. Тому контроль за рівнем засміченості посівів є одним із ключових резервів підвищення врожайності та ефективності використання комбайнів.

Агротехнічні вимоги до зернозбиральних комбайнів наступні. При роздільному способі збирання зернових допустимі втрати зерна за валковою жаткою не повинні перевищувати 0,5% для прямостоячих хлібів та 1,5% для полеглих рослин. Втрати при підбиранні валків із поверхні поля мають становити не більше 1%, а чистота зерна в бункері після обмолоту повинна бути не менше 96%.

Для прямого комбайнування зернових чистота зерна у бункері комбайна повинна бути 95% і вище. Втрати зерна за жаткою зернозбирального комбайна допускаються в межах 1% для прямостоячих хлібів і 1,5% для полеглих рослин. Загальні втрати через недомолот і залишки зернівок у соломі не повинні перевищувати 1,5% для зернових культур і 2% для рису. Подрібнення зерна робочими органами комбайна має бути в межах: до 1% для насіннєвого зерна; до 2% для продовольчого зерна; до 3% для зернобобових та круп'яних культур та до 5% для рису.

В Україні значна частина дрібних і середніх господарств до цих пір використовує для збирання врожаю комбайн традиційної схеми обмолоту ДОН-1500, який включає до своєї будови молотильний агрегат (молотильно-сепаруючу частину та систему очищення із вентилятором), бункер з вивантажувальним механізмом, двигун із механізмами передач, ходову

частину, гідравлічну систему, кабіну, електрообладнання, а також передні та задні адаптери: жниварку або платформу-підбирач та пристрої для роботи із незерновою частиною врожаю (копнувач чи подрібнювач-розкидач). Загальний вигляд зернозбирального комбайна ДОН-1500 із платформою-підбирачем і жаткою наведений на рис. 1.

а)

б)

Рис. 1. Комбайн ДОН-1500:

а – з платформою-підбирачем; б – із звичайною зерновою жаткою

Пряме комбайнування врожаю зернозбиральним комбайном класичної схеми обмолоту типу ДОН-1500 (рис. 2) відбувається так: до різального

апарату 14 стебла рослин підводяться порційно мотовилом 1. Після зрізання стебел рослин, останні захоплюються і транспортуються шнеком 13 жатки, зміщуюсь до центру зернозбирального агрегату. В центральній зоні жатки зрізане збіжжя захоплюється висувними пальцями та спрямовуються до бітера проставки 12, що далі подає матеріал до транспортера похилої камери 11 зернозбирального агрегату. Саме транспортером похилої камери 11 скошена і звужена хлібна маса подається на обмолот до молотильного барабану (молотарки) 2.

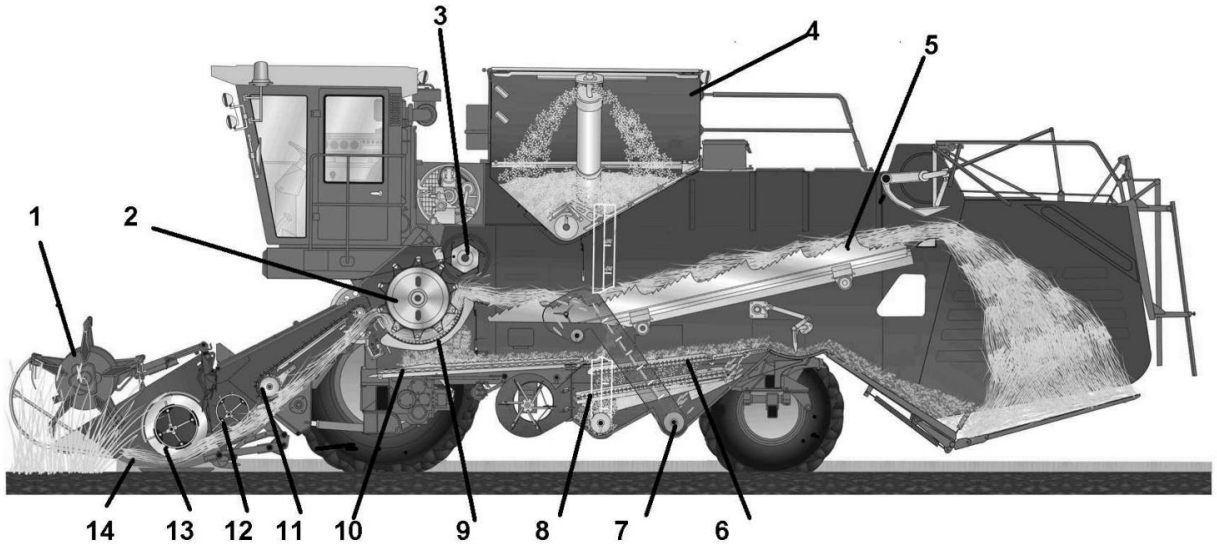


Рис. 2. Схема роботи класичного зернозбирального комбайна ДОН-1500 при прямому комбайнуванні зернових культур:

1 – мотовило комбайна; 2 – молотильний барабан; 3 – бітер відбійний; 4 – бункер-накопичувач зібраного врожаю; 5 – клавішний соломотряс; 6 – верхнє решето очистки; 7 – шнек колосовий; 8 – решето нижнє; 9 – підбарабання молотарки; 10 – дошка струсна; 11 – транспортер похилої камери; 12 – бітер проставка; 13 – шнек; 14 – різальний апарат

Молотильний барабан 2 працюючи у парі із підбарабанням молотарки 9 виконують обмолот. У цьому процесі основна частина зерна, що відділяється від колосків, разом із значною кількістю полови та збоїни проходить через решітку підбарабання 9 і просівається на струсну дошку 10. Решта зернового вороху відкидається відбійним бітером 3 на клавішний соломотряс 5.

На клавішах соломотряса 5 відбувається струшування та виділення зерна із загальної соломистої маси. Солома транспортується клавішами соломотряса до виходу із комбайна, а зерно, що виділяється із маси під час цього процесу, спрямовується на решітний стан.

Після проходження крізь отвори підбарабання тонкий зерновий ворох потрапляє на струсну дошку 10 і надходить до верхнього решета 6. Під час переміщення відбувається попередній поділ фракцій: зерно осідає вниз, а збоїна підіймається вгору. У зоні перепаду між струсною дошкою та верхнім решетом відбувається продування вороху повітряним потоком, за рахунок чого полова та дрібні домішки видуваються назовню. Після просіювання крізь отвори решета, зерно направляється до зернового шнеку, потім подається у елеватор і через завантажувальний шнек надходить у бункер 4.

Недомолочені колоски, які проходять через верхнє решето та його подовжувач, потрапляють на нижнє решето 8, звідки транспортуються в колосовий шнек 7, далі у колосовий елеватор, після чого піддаються повторному обмолоту в домолочуючому пристрої й розподільчим шнеком спрямовуються назад на струсну дошку.

Робота зернозбирального комбайна з платформою-підбирачем має певні відмінності від технології прямого комбайнування. Зокрема, комбайн рухається вздовж заздалегідь скошеного валка, розташовуючи його між колесами, у центральній частині ширини підбирача (рис. 3).

Підіймальні пальці платформи-підбирача забезпечують підбирання валка, прочісують стерню на полі, піднімаючи стебла, що провалилися в неї, і спрямовують хлібну масу до шнека. Після скидання маси пальці входять у ковзаючий контакт із краєм стеблепідіймача, що дозволяє їм очиститися від залишкових стебел. Нормалізатор притискає хлібну масу до транспортера, при цьому запобігає її розпорошенню вітром, і спрямовує зібране збіжжя під шнек платформи.

Шнек, оснащений спіралями правого та лівого напрямку, переміщує валок до центральної частини каркасу підбирача. Пальцевий механізм шнека захоплює зібране збіжжя та подає на бітерні вставки, звідки маса потрапляє на транспортер похилої камери, що спрямовує врожай на обмолот в молотарку.

Зведені технічні характеристики зернозбирального комбайна ДОН-1500 представлені у вигляді таблиці 1.

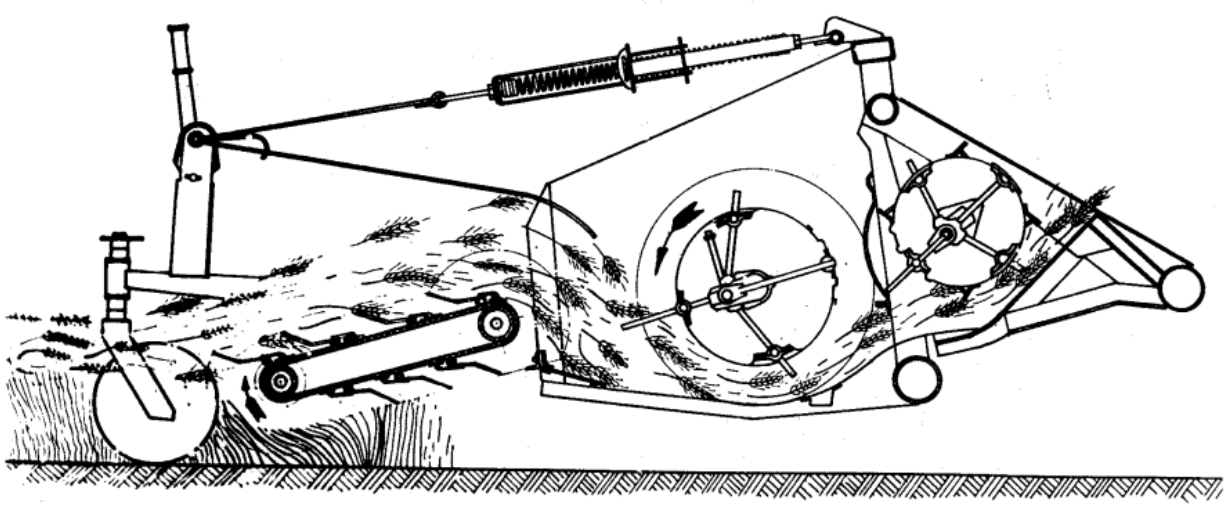


Рис. 3. Функціональна схема роботи платформи-підбирача зернозбирального комбайна ДОН-1500

Таблиця 1

Зведені технічні показники зернозбирального комбайна ДОН-1500

Показник	Одиниця вимірювання	Значення
1	2	3
Загальна характеристика		
Марка агрегату		РСМ-10
Позначення		«ДОН-1500»
Тип		колісний, самохідний, однобарабанний зерновий комбайн
Габаритні розміри із жаткою 6 м, з ділильниками пруткового типу, з копнувачем, в робочому положенні, - довжина - ширина - висота	м	 12 9,0 4,2

Продовження таблиці 1

1	2	3		
Суха маса комбайна з жаткою шириною захвату 6 м та копнувачем для соломи	кг	13300±400		
База	мм	3775±50		
Дорожній просвіт, не менше	мм	370		
Колія: - керуючих коліс - ведучих коліс	мм	 2900±20 2805±20		
Швидкість агрегату: - транспортна - робоча	км/год	 від 0 до 20 від 0 до 10		
Жатка				
Тип жатки		фронтальна, шнекова, з реверсним пристроєм та шарнірно підвішеним врівноваженим корпусом, автоматично копіюючим рельєф		
Ширина захвату зернозбирального комбайну	м	6	7	8,6
Діапазон копіювання поверхні поля: - в поздовжньому напрямку - в поперечному напрямку	мм	±150		
		±190	±230	±280
Величина зрізання рослин під час копіювання рельєфу поля	мм	50±15; 100±15; 145±15		
Характеристика мотовила жатки		ексцентрикове, універсальне із підпружиненими граблинами (пальцями)		
Вага жатної частини (без додаткових пристосувань)	кг	2107	2254	2490
Вага платформи-підбирача	кг	1205		
Сумарне навантаження на опорні колеса	Н	100		
Ширина захвату підбирача	мм	2,75	3,4	
Молотарка комбайна				
Конструктивна ширина молотарки	мм	1500		
Характеристика молотильного барабану		бильний з десятьма бичами різного напрямку рифів		

Продовження таблиці 1

1	2	3
Розміри молотильного барабану: - довжина - діаметр - частота регулювання	 мм мм хв$^{-1}$	 1484 800 445±25…900±45
Спосіб регулювання частоти обертання молотарки комбайна		за допомогою клинопасового варіатора
Характеристика підбарабання молотарки		односекційне, решітчасте
Відбійни бітер		шестилопатевий
Частота обертання відбійного бітера	об/хв	794
Характеристика соломотряса		п’ятиклавішний
Площа очистки соломотрясом	м^2	6,15
Довжина клавіш соломотряса	мм	4100
Загальний тип поверхні соломотряса		жалюзійна поверхня із каскадами
Радіус колінчастого валу	мм	60
Частота обертання ведучого валу соломотряса	об/хв	199
Характеристика очистки комбайна		дворешітна
Решета, що встановлені в агрегаті		регульовані жалюзійні
Площа решіт - нижнього - верхнього	м^2	 2,15 2,59
Характеристика вентилятора очистки комбайна		шестилопатевий
Частота обертання вентилятора	об/хв	від 340±40 до 1000±100
Характеристика елеваторів очистки		скребкові елеватори із верхньою подачею
Крок скребків елеваторів - колосового - зернового	мм	 228 152
Ширина скребка елеватора	мм	200
Частота обертання шнеків агрегату: - зернового - колосового верхнього - колосового нижнього - зернового похилого	об/хв	 357 469 352 346
Частота обертання домолочуючого пристрою комбайна	об/хв	1329

Продовження таблиці 1

1	2	3
Характеристика бункера-накопичувача для врожаю		із сигналізацією наповнення бункера та вібраційним дном
Загальна місткість бункера для зерна	$м^3$	6
Частота обертання шнеків-вивантажувачів - похилого - горизонтального	об/хв	 667 434
Характеристика транспортера похилої камери		плаваючого типу, ланцюгово-планчастий
Швидкість руху транспортера похилої камери	м/с	3,2
Тип подрібнювача-розкидача		навісний
Вага подрібнювача-розкидача	кг	700±20
Тип подрібнюючого барабану		молотковий
Привід подрібнюючого барабану		привід від молотарки
Діаметр подрібнюючого барабану	мм	518
Кількість ножів на барабані	шт	80
Частота обертання подрібнюючого барабану	об/хв	2810±50
Сумарна місткість копнувача сіна	$м^3$	14
Марка двигуна комбайна		ЯМЗ-238АК
Експлуатаційна потужність двигуна комбайна	кВт (к.с.)	165 225
Номінальна потужність двигуна комбайна	кВт (к.с.)	173 235

Існуюча у господарствах технологія збирання зернових культур спрямована на раціональне використання всього врожаю, включаючи як зернову, так і незернову частину врожаю, що дозволяє підвищити ефективність сільськогосподарського виробництва. Зокрема, солома та полова можуть бути використані в тваринництві й рослинництві, а рештки стебел, залежно від висоти зрізання, використовуються для підвищення родючості ґрунту і заробляються в ґрунтове середовище та є джерелом органіки. Одним із ключових завдань є якісне подрібнення стеблової маси зібраного збіжжя під

час жнив, що потребує вдосконалення серійних конструкції подрібнювачів зернозбиральних комбайнів, здатних забезпечити подрібнення соломи на частки розміром 3…5 см, що регламентовано агровимогами.

Зоотехнічні вимоги у тваринництві передбачають включення близько 18% подрібненої соломи до раціону годівлі великої рогатої худоби та овець. Подрібнену масу незернової частини врожаю укладають у кормові траншеї пошарово разом із соковитими культурами, що сприяє її збагаченню та підвищенню поживної цінності до 0,35…0,45 кормових одиниць. Завдяки цьому, така суміш у зимовий період може служити цінною альтернативою сіна середньої якості. Таким чином, ефективна робота подрібнювача зернозбирального комбайна забезпечує значний економічний ефект у сільськогосподарському виробництві.

Однією з найбільш ефективних технологій збирання незернової частини врожаю є система, за якою полова накопичується у спеціальних причіпних візках, а подрібнена солома рівномірно розподіляється по поверхні поля. Для максимального ефекту розкидану по полі подрібнену солому та полову слід загортати в ґрунт із використанням дискових борін або лущильників, причому час виконання таких операцій має бути не пізніше ніж через три години після комбайнування. Це відповідає вимогам потокової механізованої технології та сприяє оптимальному анаеробному розкладанню органічної маси, що прискорює процес утворення гумусу та збагачує ґрунт органічними речовинами. Дотримання такої технології дозволяє знизити потребу в добривах на 30% у наступному аграрному циклі.

Враховуючи ці аспекти, модернізація подрібнювача соломи комбайна ДОН-1500 має важливе стратегічне значення, оскільки сприяє підвищенню ефективності збору незернової частини врожаю. Автоматизований процес збирання дозволяє повністю відмовитися від ручної праці, підвищуючи рівень механізації робіт у рослинництві.

Застосування жаток великої ширини захвату сприяє зниженню енерговитрат, оскільки зменшує навантаження на ходову систему й одночасно перерозподіляє ресурси на технологічні операції, зокрема обмолот зерна та подрібнення соломи. Основні напрями вдосконалення включають скорочення довжини подрібнених часток, рівномірне розсіювання стеблової маси по полю та запобігання її накопиченню в окремих зонах.

Для досягнення цього подрібнювач слід встановити нижче в корпусі, що допоможе уникнути забивання соломотрясів. Крім того, подовження саморегульованої заслінки забезпечить стабільне навантаження подрібнювального барабана, оптимізуючи подачу подрібненої маси через конфузор подрібнювача.

2.2. Інженерний розрахунок зернозбирального комбайна ДОН-1500

Обґрунтування ширини захвату жатки та розрахунок загального завантаження зернозбирального агрегату

Ширина захвату жатки зернозбирального комбайна пов'язана із продуктивністю молотильного барабану (пропускною здатністю молотарки) q, середньою швидкістю виконання прямого комбайнування $V_к$, усередненим значенням врожайності тієї культури, що збирається на поточному полі Q та дійсним співвідношенням вмісту зерна та соломи у хлібній масі, що збирається $(3:C)$. Наведені параметри дозволяють розрахувати максимальне значення ширини захвату жатки комбайна, для чого використаємо формулу:

$$B = \frac{\nu \cdot q}{Q \cdot V_к},$$

де ν – коефіцієнт, що визначає вміст зерна у скошеному збіжжі;

q – значення пропускної здатності молотарки зернозбирального агрегату, кг/с;

Q – польова врожайність сільськогосподарської культури (усереднена), кг/м^2;

$V_к$ – середня швидкість виконання комбайном збирання врожаю, м/с.

Щоб розрахувати значення коефіцієнту ν скористаємося наступною залежністю:

$$\nu = \frac{З}{З + С}.$$

Враховуючи, що співвідношення між зерном і соломою $З:С = 1:1{,}5$, отримаємо наступне значення коефіцієнту, що відображає вміст зерна в збіжжі

$$\nu = \frac{1}{1+1{,}5} = 0{,}4.$$

Розрахуємо ширину захвату жатки прийнявши наступні значення: середня врожайність зернових – $Q = 40$ ц/га = 0,4 кг/м^2; коефіцієнт, який показує вміст зерна у скошеному збіжжі при співвідношенні зерна до соломи $З:С = 1:1{,}5$ складає $\nu = 0{,}4$; робоча середня швидкість збирального агрегату при прямому комбайнуванні $V_к = 1{,}8$ м/с; максимальна пропускна здатність молотарки для ДОН-1500 – $q = 10$ кг/с. Враховуючи наведені числові значення маємо:

$$B = \frac{0{,}4 \cdot 10}{0{,}4 \cdot 1{,}8} = 5{,}55 \text{ м}.$$

Обрати жатку до комбайна можна використовуючи стандартний розмірний ряд жаток, а саме за шириною захвату вони бувають 15; 12; 10; 7; 6; 5; 4,1; 3,2 м. Користуючись стандартним рядом приймемо для роботи комбайна жатку шириною захвату $B = 6$ м.

Також приймемо, що розрахункова максимальна і мінімальна врожайність пшениці складає $Q_{\max} = 0{,}6$ кг/м^2 та $Q_{\min} = 0{,}2$ кг/м^2.

Прийнявши максимальну і мінімальну врожайність на полі можемо визначити допустимий діапазон робочих швидкостей зернозбирального агрегату із врахуванням даних показників. Отримаємо:

$$V_{м\max} = \frac{q \cdot \nu}{B \cdot Q_{\min}}; \quad V_{м\min} = \frac{q \cdot \nu}{B \cdot Q_{\max}}.$$

$$V_{м\max} = \frac{10 \cdot 0,4}{6 \cdot 0,2} = 3,33 \text{ м/с};$$

$$V_{м\min} = \frac{10 \cdot 0,4}{6 \cdot 0,6} = 1,1 \text{ м/с}.$$

Таким чином, під час проведених розрахунків встановлено, що при співвідношенні $З:С = 1:1,5$ комбайн ДОН-1500 повинен працювати із жаткою, що має ширину захвату $B = 6$ м. За умов, коли на полі буде спостерігатися коливання врожайності в діапазоні $Q_{\min} = 0,2$ кг/м^2 до $Q_{\max} = 0,6$ кг/м^2 зернозбиральний агрегат має забезпечувати змінну швидкість виконання робіт від 1,1 м/с до 3,33 м/с. для максимальної і мінімальної врожайності відповідно.

Обґрунтування параметрів різального апарату комбайна

Для якісного збирання врожаю зернових культур комбайном, незалежно від положення стебел рослин в полі – прямостоячого чи полеглого, – різальний механізм жатки повинен забезпечувати задану висоту зрізання стебел. Це досягається шляхом дотримання заданих геометричних і кінематичних параметрів різального апарату. У конструкціях різальних апаратів жаток зернозбиральних комбайнів, в більшості випадків, використовуються стандартні конструктивні елементи, такі як сегменти, пальці, притискні лапки та тильна частина ножа. Відповідальним завданням є раціональний вибір кінематичного режиму роботи та перевірка відповідності геометричних характеристик підібраних елементів заданим умовам експлуатації.

При розрахунку різального апарату вихідними даними служать максимальна швидкість руху комбайна в полі $V_{\max}$ та мінімальна висота зрізання стебел пшениці в полі $H_{x\min}$. Під час розрахунку різального апарату здійснюють вибір стандартних деталей і визначають необхідні значення подачі h, частоти обертання кривошипа n, величини відгину стебел рослин, а також перевіряється відповідність кута нахилу леза обраного сегмента умовам різання. Згідно з практичними спостереженнями, для різальних апаратів

комбайнів найбільш ефективними є сегменти з верхньою насічкою леза та вкладиші пальця з гладким лезом (рис. 4). На етапі підбору параметрів сегментно-пальцевого різального апарату приймемо, що кут тертя стебел зернових по лезу сегмента складає $\varphi_i = 32°$, а об лезо вкладиша апарату – $\varphi_i = 16°$. Кут нахилу обраного сегмента різального апарату дорівнює $\alpha_1 = 34°45'$, а кут нахилу вкладиша становить $\alpha_2 = 0°$.

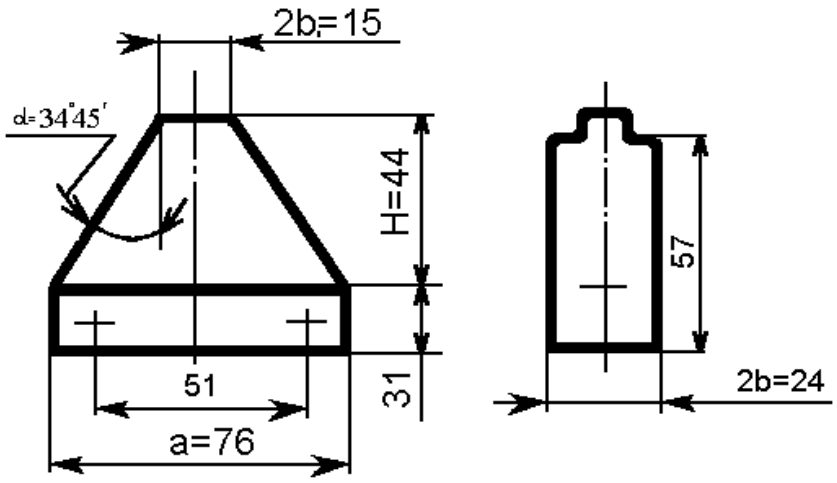


Рис. 4. Розрахункова схема різального апарату зернозбирального комбайна

Найчастіше у зернозбиральних комбайнах використовуються сегментні апарати нормального різання, для яких:

$$S = t = t_0 = 76,2 \text{ мм.}$$

Для нормальної роботи різального апарату має виконуватися умова защемлення в різальній парі стебла рослини, яка має наступне математичне вираження:

$$\varphi_1 + \varphi_2 \geq \alpha_1 + \alpha_2 .$$

Після підстановки описаних вище значень отримаємо наступну умову:

$$30° + 16° \geq 34°45' + 0° .$$

Розв'язавши останню нерівність отримаємо умову защемлення, що має вигляд:

$$48° \geq 34°45' .$$

Таким чином, умова виконується, що підтверджує вірність обрання вкладишів і сегментів різального апарату. Відомо, що нормальна якість зрізання стебел буде тоді, коли мінімальна швидкість ножа різального апарату буде дорівнювати $V_{\min} = 1{,}5$ м/с. Крім цього, є фактом, що найменша швидкість ножа апарату буде спостерігатися в кінці чи на початку процесу різання.

Для розрахунку швидкості ножа різального апарату під час його зміщення на дистанцію (відстань) X (рис. 5) відносно самого крайнього положення скористаємося відомою формулою:

$$V = \omega \cdot \sqrt{x \cdot (s - x)},$$

де ω – фактичне значення кутової швидкості механізму кривошипа різального апарату, об/с.

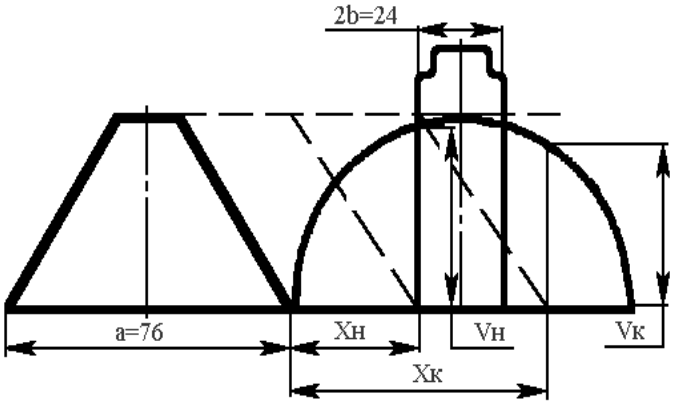


Рис. 5. Розрахункова схема по обґрунтуванню швидкості ножа різального апарату

Для визначення зміщення ножа різального апарату до початку різання і кінця процесу скористаємося розрахунковою схемою (рис. 5), на основі якої отримаємо:

$$X_{н.р.} = S - \frac{a + 2 \cdot b}{2};$$

$$X_{к.р.} = S - \frac{2 \cdot b_1 - 2 \cdot b}{2}.$$

Підставивши відомі значення параметрів різального апарату комбайна і в результаті розрахунків маємо:

$$X_{н.р.} = 76,2 - \frac{76 + 2 \cdot 12}{2} = 26,2 \text{ мм} = 0,0262 \text{ м};$$

$$X_{к.р.} = 76,2 - \frac{2 \cdot 15 - 2 \cdot 12}{2} = 56,7 \text{ мм} = 0,0567 \text{ м}.$$

Розрахунок швидкості руху ножа на початку різання і в кінці проведемо за формулами:

$$V_{н.р.} = \omega \cdot \sqrt{X_{н.р.} \cdot \left(S - X_{н.р.}\right)};$$

$$V_{к.р.} = \omega \cdot \sqrt{X_{к.р.} \cdot \left(S - X_{к.р.}\right)}$$

Після підстановки і розрахунків маємо:

$$V_{н.р.} = \omega \cdot \sqrt{0,0262 \cdot \left(0,0762 - 0,0262\right)} = 0,0362 \cdot \omega \text{ м/с};$$

$$V_{к.р.} = \omega \cdot \sqrt{0,0567 \cdot \left(0,0762 - 0,0567\right)} = 0,033 \cdot \omega \text{ м/с}.$$

Таким чином, підтверджено, що мінімальна швидкість ножа різального апарату буде в кінці різання і ця швидкість повинна бути не меншою за 1,5 м/с, або ж $V_{к.р.} = 0,033 \cdot \omega \geq 1,5$ м/с.

Остання нерівність дозволяє знайти розрахункове значення колової швидкості кривошипа різального апарату, яка становить

$$\omega = \frac{1,5}{0,033} = 45,5 \text{ об/с}.$$

Враховуючи відому залежність можемо знайти частоту обертання кривошипа різального апарату

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi}.$$

Після підстановки значень маємо:

$$n = \frac{30 \cdot 4,5}{3,14} \approx 435 \text{ об/хв}.$$

З метою виключення просковзування стебел рослин під час їх підведення сегментом різального апарату до його пальця і таким чином ці стебла не виштовхувалися із різальної пари має забезпечуватися така умова:

$$tg\alpha_1 > \frac{V_{м\max}}{\omega \cdot r},$$

де r – значення радіусу кривошипа, м.

Цей радіус кривошипа різального апарата знайдемо за формулою:

$$r = \frac{S}{2} = \frac{76,2}{2} = 38,1 \text{ мм} = 0,0381 \text{ м}.$$

Врахуємо наведені умови роботи, а саме – $tg\alpha_1 = tg34°45' = 0,694$.

Перевіримо достатню умову роботи різальної пари, підставивши цифрові значення, отримаємо:

$$0,694 > \frac{3,33}{45,5 \cdot 0,0381}, \text{ після розв'язку } 0,694 > 1,92.$$

Це значить, що умова роботи різальної пари, при робочій швидкості комбайна $V_{м\max} = 3,33$ м/с та знайденій раніше частоті кривошипу різального апарату $n = 435$ об/хв не виконується. Невиконання умови може привести до висковзування стебел зернових під час робочого ходу агрегату із ріжучої пари, а отже може мати місце підвищення втрат за комбайном у вигляді незрізаних колосків. Щоб все-ж таки умова виконувалася, в даному випадку слід підвищити оберти кривошипа механізму приводу різального апарату. Враховуючи таку необхідність, можемо записати:

$$\omega \geq \frac{V_{м\max}}{r \cdot tg\alpha_1} = \frac{3,33}{0,0381 \cdot 0,694} = 125,93 \text{ об/с};$$

$$n = \frac{30 \cdot 125,93}{3,14} = 1203 \text{ об/хв}.$$

Така кутова швидкість і частота обертання виконає всі умови з точки зору кінематики ножа різальної пари різального апарату зернозбирального комбайна.

Враховуючи проведені обґрунтування, приймемо кількість обертів кривошипа $n = 1203$ об/хв, за таких умов визначимо подачу, використовуючи формулу:

$$h = \frac{V_{м\max} \cdot \pi}{\omega}.$$

Підставивши цифрові значення, отримаємо подачу

$$h = \frac{3{,}33 \cdot 3{,}14}{88{,}12} = 0{,}119 \text{ м.}$$

Визначена подача є нижчою за допустиму границю подач різальних апаратів нормального різання, допустимі значення яких на етапі скошування зернових мають знаходитися в діапазоні значень $h_{доп} = 0{,}18...0{,}195$ м, за умови, що висота зрізання стеблостою складає $H_x = 138...150$ мм.

Проведемо перевірку можливої висоти зрізання стебел зернових при роботі комбайна на максимальній швидкості. Щоб розрахувати висоту зрізання стерні скористаємося відомою залежністю:

$$H = \sqrt{H_x^2 + \delta^2},$$

де H_x – параметр, який відображає висоту встановлення різального апарату зернозбирального агрегату над поверхнею поля, м;

δ – значення відхилення стебел зернових у поздовжньому чи поперечному напрямку, м.

Щоб визначити величину поперечного відгинання стебла потрібно використати залежність:

$$\delta_{non} = (t_0 - b) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{V_{м\max} \cdot \pi}{\omega \cdot S}\right)^2},$$

або в цифровому вигляді маємо:

$$\delta_{non} = (0{,}0762 - 0{,}012) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{3{,}33 \cdot 3{,}14}{125{,}93 \cdot 0{,}0762}\right)^2} = 0{,}095 \text{ м.}$$

З іншої відомої формули маємо можливість розрахувати поздовжній відгин стебла різальним апаратом

$$\delta_{повзд} = A \cdot \frac{V_{м\max} \cdot \pi}{\omega} - h,$$

де A – емпіричний коефіцієнт, який для різального апарату нормального зрізу складає $A = 1,29$.

Після підстановки даних і розв'язку маємо:

$$\delta_{повзд} = 1,29 \cdot \frac{3,33 \cdot 3,14}{125,93} - 0,119 = 0,012 \text{ м.}$$

Провівши співставлення відгинів є очевидним, що поперечний відгин стебла в декілька раз перевищує поздовжній, а отже – висота стерні на полі буде забезпечуватися враховуючи саме поперечний відгин. До того ж під час роботи найбільше стебел зазнають саме поперечного відгину, а кількість стебел, що відчувають вплив поздовжнього відгину апаратом є невеликою. Таким чином, далі для розрахунку слід підставити у залежність, що наведено вище величину поперечного відгину та значення висоти стерні в полі H. Це дозволить нам знайти потрібну висоту установки різального апарату зернозбирального комбайна H_x, яку обов'язково має забезпечити механізм регулювання висоти зрізання. Отримаємо:

$$0,15 = \sqrt{H_{x\min}^2 + 0,095^2};$$

$$H_{x\min} = \sqrt{0,15^2 + 0,095^2} = 0,116 \text{ м} = 116 \text{ мм.}$$

Таким чином, за результатами проведених розрахунків і обґрунтувань оберемо стандартні сегмент і палець різального апарату типу $S = t = t_0 = 76,2$ мм, і апарат має частоту обертання кривошипу на рівні $n = 1203$ об/хв.

Та потужність, як потрібна для приведення в дію різального апарату комбайна є функцією подачі, гостроти леза апарату, густини рослин в полі, ширини захвату жатки агрегату та ін. Для визначення цієї потужності використаємо залежність:

$$N = N_n \cdot B,$$

де N_n – потужність, що потрібна для роботи 1 м захвату жатки комбайна, кВт/м;

B – значення ширини захвату жатки зернозбирального комбайна, кВт/м.

Підставивши дані отримаємо:

$$N = 0,34 \cdot 6 = 2,04 \text{ кВт/м.}$$

Варто відмітити, що для подібних механізмів з метою уникнення пошкоджень різального апарату застосовують клинопасовий механізм привода, який дозволяє забезпечити пробуксовування приводу у випадку забивання різального апарату.

Обґрунтування параметрів мотовила зернозбирального комбайна

З ціллю забезпечення технологічного етапі спрямування стебел зернових під час роботи комбайна до різального апарату слід виконувати умову, за якою колова швидкість кожної планки мотовила, яка описується наступною залежністю:

$$U = \omega \cdot R,$$

має бути на певну величину більшою за робочу швидкість руху $V_м$ зернозбирального агрегату в полі. Відомо, що співвідношення цих швидкостей описується наступним чином і залежить від робочої швидкості комбайна:

$$\frac{U}{V_м} = \lambda = 1,64...1,83.$$

Таким чином, на етапі визначення параметрів мотовила маємо обравши значення коефіцієнта λ розрахувати швидкість руху планки мотовила, з якою ця планка буде діяти на стебло рослини. Теж за довідниковими даними є відомим, що швидкість руху планки не може бути вищою за 0,6 м/с, в протилежному випадку буде спостерігатися обмолот планкою колоска зернових, що описується наступною нерівністю:

$$\omega \cdot R - V_м < 0,6 \text{ м/с.}$$

Отже, враховуючи наведену вище інформацію можемо розрахувати крайні значення колової швидкості планок мотовила комбайна, скориставшись наступними залежностями, та перевіримо чи не буде спостерігатися при даній швидкості обмолот мотовилом зерна із колоска:

$$U_{\min} = \omega_{\min} \cdot R = V_{м\min} \cdot \lambda_{\min} = 1{,}1 \cdot 1{,}64 = 1{,}6 \text{ м/с};$$

$$U_{\max} = \omega_{\max} \cdot R = V_{м\max} \cdot \lambda_{\max} = 3{,}33 \cdot 1{,}15 = 3{,}83 \text{ м/с};$$

$$\omega_{\min} \cdot R - V_{м\min} = 1{,}6 - 1{,}1 = 0{,}5 < 0{,}6 \text{ м/с};$$

$$\omega_{\max} \cdot R - V_{м\max} = 3{,}83 - 3{,}3 = 0{,}53 < 0{,}6 \text{ м/с}.$$

Останні два вирази підтверджують, що як за мінімальної так і за максимальної швидкості руху планок мотовила нормальна його робота забезпечується.

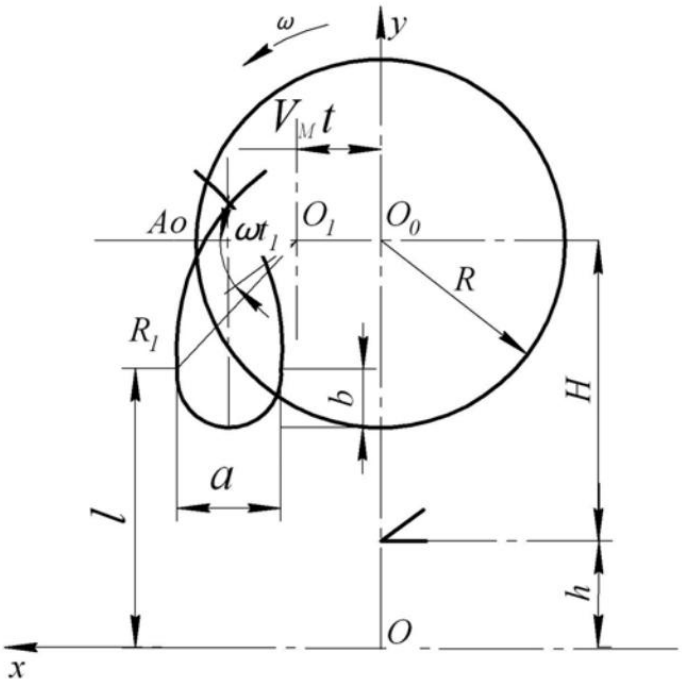


Рис. 6. Розрахункова схема до визначення параметрів мотовила зернозбирального комбайна

Враховуючи проведені розрахунки, в знайденому діапазоні швидкостей роботи зернозбирального комбайна швидкість роботи планки мотовила теж має змінюватися в наступному інтервалі: $U = \omega_{\min} \cdot R = 1{,}6$ м/с … $U = \omega_{\max} \cdot R = 3{,}83$ м/с. Якщо скористатися схемою по визначення параметрів

мотовила (рис. 6) то можна дійти до висновку, що його радіус можна визначити із умови дії робочої планки цього елементу конструкції на стебло рослини, що має відбуватися в центрі ваги. Якщо наведена умова не буде виконуватися у такому випадку стебло буде перевалюватися за планку мотовила та падатиме не на транспортер жатки комбайна а на землю, що відповідно буде забезпечувати підвищення втрат на цьому етапі роботи комбайна. Під час розрахунків вважатимемо, що центр ваги стебла зернових буде знаходитися на відстані від верху колоска, що дорівнює 1/3 від його сумарної довжини. Враховуючи це, розрахувати радіус мотовила комбайна можна із використанням відомої формули:

$R \le \frac{1}{3 \cdot \left(1 - \frac{1}{\lambda_{\max}}\right)}$, якщо скористатися більш точним виразом, можемо записати:

$$R \le \frac{k \cdot 1}{1 - \frac{1}{\lambda_{\max}}},$$

де $k = \frac{L_0}{l} = \frac{1}{1,6 \cdot (1+1)} = 0,278$.

Після підстановки числових значень, маємо розрахункове значення радіусу мотовила:

$$R \le \frac{0,278 \cdot 1}{1 - \frac{1}{1,83}} = 0,612 \text{ м.}$$

Після визначення радіусу мотовила розрахуємо відповідні діапазони його частот обертання, використовуючи залежності:

$$\omega_{\min} = \frac{U_{\min}}{R} = \frac{1,6}{0,612} = 2,61 \text{ об/с;}$$

$$\omega_{\max} = \frac{U_{\max}}{R} = \frac{3,83}{0,612} = 6,26 \text{ об/с;}$$

$$n_{\min} = \frac{30 \cdot \omega_{\min}}{\pi} = \frac{30 \cdot 2,61}{3,14} = 24,94 \approx 25 \text{ об/хв};$$

$$n_{\max} = \frac{30 \cdot \omega_{\max}}{\pi} = \frac{30 \cdot 3,83}{3,14} = 36,59 \approx 37 \text{ об/хв}.$$

Враховуючи проведені розрахунки, очевидно, що механізм приводу мотовила, тобто його варіатор повинен забезпечувати частоту обертання цього робочого органу в межах 25…37 об/хв. Щоб знайти кількість планок мотовила слід скористатися умовою, згідно із якою вісь мотовила має бути винесеною вперед а для підведення стебел до різального апарату повинна бути використаною повна ширина петлі трохоїди (рис. 6), яку описує під час роботи планка мотовила. З врахуванням цього для визначення кількості планок мотовила можемо використати формулу:

$$z = \frac{\pi}{\left(\varphi - \frac{\pi}{2} + \sqrt{\lambda^2 - 1}\right) \cdot \eta},$$

де η – узагальнений коефіцієнт, що враховує взаємодію стебел рослин між собою під час їх підведення мотовилом до різального апарату комбайна, і який за довідниковими даними складає $\eta = 1...1,7$;

λ – можна визначити скориставшись залежністю $\sin\varphi = \frac{1}{\lambda_{ср}} = \frac{1}{1,49} = 0,67$,

або відповідно $\varphi = 0,736$ рад.

На етапі розрахунку мотовила слід прийняти таку залежність:

$$\lambda_{ср} = \frac{\lambda_{\max} + \lambda_{\min}}{2}.$$

Таким чином, підставивши числові значення знайдемо розрахункову кількість планок мотовила, що дорівнює:

$$z = \frac{3,14}{\left(0,736 - \frac{3,14}{2} + \sqrt{1,49^2 - 1}\right) \cdot 1,7} = 6,8 \text{ од.}$$

Приймемо 7 планок.

Діапазон переміщення мотовила за висотою по відношенню до положення різального апарату зернозбирального комбайну залежить від характеристики рослин, безпосередньо – від висоти стебел рослин $L_{\max}$ та висоти установки різального апарату комбайна над поверхнею поля, $h_{\min}$. Ці параметри пов'язані між собою таким співвідношенням:

$$H_{\max} = L_{\max} + \frac{R}{\lambda_{\min}} - h_{\min},$$

де $L_{\max}$ – висота рослин (хлібостою) в полі, для розрахунків приймемо максимальну висоту рослин зернових $L_{\max} = 1$ м.;

$h_{\min}$ – мінімальна висота розміщення над поверхнею поля різального апарату комбайна, що складає $h_{\min} = 0{,}1$ м.

Підставивши числові значення в останню формулу знайдемо максимальну висоту встановлення мотовила:

$$H_{\max} = 1 + \frac{0{,}736}{1{,}15} - 1{,}54 \text{ м.}$$

Відповідно, мінімальна висота розміщення мотовила над різальним апаратом повинна перевищувати радіус мотовила на розмір, що дозволяв би забезпечити безперешкодний рух планки мотовила над поверхнею жатки. Це описується наступною емпіричною залежністю:

$$H_{\min} = R + (30...50 \text{ мм}) = 0{,}736 + 0{,}044 = 0{,}78 \text{ м.}$$

Максимальне винесення мотовила перед різальним апаратом комбайна не повинно перевищувати відстань e, яка знаходиться за формулою:

$$e = R \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{\lambda_{\max}^2}}.$$

Підставивши відомі величини отримаємо:

$$e = 0{,}736 \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{1{,}83^2}} = 0{,}616 \text{ м.}$$

З метою створення умов для можливості підіймання граблинами мотовила рослин зернових, які звалені вітром чи іншими впливами, слід забезпечити відхилення цих граблин на планці мотовила від вертикального положення в діапазоні значень: назад – 15º; вперед – 35º.

Потужність, яка витрачається на привід мотовила є функцією, що залежить від питомого опору переміщення стебел рослин до різального апарату комбайна. Встановлено на основі довідникових даних, що цей опір знаходиться в межах $P = 30...60$ Н/м.

Враховуючи проведені розрахунки і обґрунтування можемо знайти розрахункове значення потужності на привід мотовила, враховуючи робочу ширину захвату жатки B. Для цього використаємо формулу:

$$N_м = \frac{\pi \cdot P \cdot B \cdot R \cdot n_{\max}}{30000}.$$

Після підстановки, отримаємо:

$$N_м = \frac{3{,}14 \cdot 60 \cdot 6 \cdot 0{,}736 \cdot 41{,}8}{30000} = 1{,}16 \text{ кВт}.$$

З ціллю уникнення поломок планів мотовила комбайна на етапі проектування в механізмі приводу цього робочого органу передбачають запобіжні механізми, що мають спрацьовувати якщо тиск на планку мотовила стає більшим за 50…60 Н/м.

Обґрунтування параметрів транспортера шнекового зернозбирального комбайна

Для безперебійної роботи зернозбирального комбайна шнековий транспортер жатки має на етапі транспортування зрізаної хлібної маси по показникам продуктивності своєї роботи перевищувати максимальну продуктивність молотарки зернозбирального агрегату. Виходячи із існуючих даних, можна обрати наступні окремі параметри і режими роботи шнекового транспортера, а саме: діаметр спіралі шнека (зовнішній) $D = 460...630$ мм, крок спіралі шнекового транспортера пов'язаний із діаметром $S = (0{,}8...1) \cdot D$,

висота витків шнекового транспортера $h = 100...125$ мм, осьова швидкість витків спіралі транспортера $V_{ос} = 1,1...1,65$ м/с, колова швидкість $V_{окр} = 4,8...6,0$ м/с.

Цілком логічно, що для усунення ймовірності намотування стебел на шнек, колова довжина шнека має перевищувати максимальну довжину стебел рослин, збирання яких відбувається. Це описується наступною нерівністю:

$$d > \frac{L + \Delta}{\pi},$$

де L – середня довжина стебел рослин зернових на полі, приймемо $L = 0,8$ м;

Δ – необхідне значення запасу довжини колового розміру труби шнека.

Враховуючи те, що збіжжя під час збирання транспортується до центру жатки комбайна від її країв, то як ліва так і права частини шнека працюють в режимі окремих транспортерів, що мають забезпечувати таку продуктивність:

$$q_p = 0,5 \cdot q = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ кг/с}.$$

Враховуючи це, визначимо розрахункове значення потрібного діаметра труби шнека, скориставшись формулою:

$$d = \frac{L + \Delta}{\pi} = \frac{0,8 + 0,15}{3,14} = 0,3 \text{ м}.$$

Прийнявши висоту витків шнеків транспортера $h = 0,125$ м, можемо визначити значення наружного діаметру спіралі цього робочого органу, який складає:

$$D = d + 2 \cdot h;$$

$$D = 0,3 + 2 \cdot 0,125 = 0,55 \text{ м}.$$

Для розрахунку необхідного кроку витків шнека скористаємося формулою:

$$S = 0,9 \cdot D,$$

або в числовому вираженні:

$$S = 0,9 \cdot 0,55 = 0,495 \text{ м}.$$

Далі можемо розрахувати потрібну для роботи шнекового транспортера частоту обертання шнека. Для визначення частоти обертання скористаємося формулою:

$$n = \frac{240 \cdot g_p}{\pi \cdot \left(D^2 - d^2\right) \cdot S \cdot \gamma \cdot \varphi},$$

де γ – об'ємна маса збираної хлібної маси на даному полі, приймемо $\gamma = 45$ кг/м^3.

φ – коефіцієнт, що демонструє заповнення шнека під час його роботи, для шнекового транспортера зернозбирального комбайна приймемо $\varphi = 0,3$.

Після підстановки даних і розв'язування рівняння отримаємо розрахункове значення частоти обертання шнека:

$$n = \frac{240 \cdot 3,5}{3,14 \cdot \left(0,55^2 - 0,3^2\right) \cdot 0,495 \cdot 45 \cdot 0,3} = 188,3 \text{ хв}^{-1}.$$

Далі можемо розрахувати колову та осьову швидкості шнека під час роботи комбайна, отримаємо:

$$V_{окр} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60};$$

$$V_{ос} = \frac{S \cdot n}{60};$$

$$V_{окр} = \frac{3,14 \cdot 0,55 \cdot 188,3}{60} = 5,423 \text{ м/с};$$

$$V_{ос} = \frac{0,495 \cdot 188,3}{60} = 1,553 \text{ м/с}.$$

Знайдені числові значення швидкостей перебувають в рекомендованих діапазонах для подібних робочих органів, а значить робота шнекового транспортера буде забезпечена. З ціллю уникнення защемлення хлібної маси витками шнека і нижньою частиною днища жатки на етапі його встановлення слід забезпечити зазор на рівні 10…15 мм.

Для визначення потужності, необхідної на привід шнекового транспортера скористаємося формулою:

$$N = 0,01 \cdot q \cdot B \cdot V_{oc} \cdot \omega_0 .$$

Враховуючи ширину захвату жатки комбайна 6 м., отримаємо:

$$N = 0,01 \cdot 10 \cdot 6 \cdot 1,55 \cdot 1,2 = 1,116 \text{ кВт},$$

де ω_0 – коефіцієнт, що прийнято керуючись довідниковими та експериментальними даними.

Враховуючи аналогічні конструкції, вихід пальців із труби шнека має становити близько $H = 136$ мм, шаг пальців має бути 250 мм та кількість рядів пальців 4.

Обґрунтування параметрів транспортера похилої камери комбайна

Транспортер хлібної маси комбайна, що встановлено в похилій камері, під час своєї роботи має забезпечувати розтягування зібраного врожаю та рівномірну подачу збіжжя до приймальника молотарки, причому швидкість скребків транспортера $V_{тр}$ має на 25…40% перевищувати значення максимальної швидкості (колової) пальців шнекового транспортера, та враховуючи значення колової швидкості шнека жатки, має дорівнювати $V_{тр} = 3,1...6,3$ м/с.

Фактичний крок скребків транспортера похилої камери повинен становити $S = 165...235$ мм.

Враховуючи те, що плаваючий транспортер похилої камери комбайна транспортує зрізану масу нижньою ланкою, яка і є робочою, то визначити величину необхідної потужності на його привід розрахунковим методом неможливо, оскільки не можна повноцінно врахувати дію маси зібраного збіжжя на ланки транспортера і силу тиску пружин цього транспортера.

Встановлення параметрів відбійного бітера комбайна

Відбійний бітер має скидати із барабану ґрубий зерновий ворох та спрямовувати цей ворох на початок соломотрясу. Діаметр цього робочого

органу приймають в діапазоні значень 330…400 мм., за умови, що колова швидкість роботи бітера є не меншою за 10…18 м/с. Крім цього, кількість лопатей приймаємо на рівні 6 одиниць.

Визначення параметрів соломотрясу зернозбирального комбайна

На етапі визначення параметрів соломотрясу комбайна варто обрати радіус його кривошипу та частоту обертання колінчастого валу, геометричні розміри соломотрясу, тобто його довжину та ширину, кількість клавіш на соломотрясі тощо. Всі ці параметри необхідно визначити з врахуванням продуктивності молотильного пристрою комбайна та виходячи із необхідності неперевищення максимально допустимих втрат за соломотрясом.

Враховуючи конструкцію серійного комбайна та керуючись результатами досліджень і практичного використання аналогічних систем, можна прийняти, що раціональне значення радіусу колінчастого валу складає $r_к = 50$ мм, частота обертання колінчастого валу соломотряса повинна знаходитися в межах $n_к = 195...215$ об/хв. Під час виконання операцій збирання врожаю зернозбиральним комбайном необхідно, щоб для нормальної роботи соломотряса була забезпечена швидкість руху по ньому грубого зібраного збіжжя на рівні $V_c = 0,33...0,4$ м/с.

Для забезпечення можливості сумісної роботи окремих конструктивних елементів комбайна приймемо, що ширина молотильного апарату та ширина соломотрясу є однаковими і складає $B_c = 1500$ мм, а число встановлених на ньому клавіш є рівною 4. Таким чином, у парі із молотаркою, яка має пропускну здатність $q = 10$ кг/с та ширину 1500 мм буде працювати чотирьохклавішний соломотряс, який теж має ширину $B_c = 1500$ мм, частоту обертання колінчастого валу $n_к = 200$ хв$^{-1}$ та радіус колінчастого валу $r_к = 50$ мм.

З метою розрахунку довжини соломотрясу комбайна L скористаємося виразом:

$$q_в = q_{з.п.} \cdot e^{-\mu \cdot L},$$

де $q_в$ – втрати повноцінного зерна після проходження соломотрясу, які є допустимими, кг/с;

$q_{з.п.}$ – кількість зерна врожаю, що проходить через соломотряс, кг/с;

μ – коефіцієнт сепарації збіжжя, м$^{-1}$.

Використовуючи наведене вище у розрахунках співвідношення між зерном та соломою, яке є дійсним для зернового вороху, що збирається і яке складає $З:С = 1:1,5$ та знаючи, що пропускна здатність молотарки комбайна складає $q = 10$ кг/с можемо знайти ту кількість зерна, що обмолочується молотаркою:

$$q_з = \frac{q}{З + С} \cdot З,$$

Після підстановки числових значень маємо кількість зерна:

$$q_з = \frac{10}{1 + 1,5} \cdot 1 = 4 \text{ кг/с}.$$

Можна встановити, що загальна кількість обмолоченого зерна, яке проходить крізь деку молотарки складає:

$$q_д \approx 0,8 \cdot q_з = 0,8 \cdot 4 = 3,2 \text{ кг/с}.$$

Тоді, відповідно кількість зерна, яке потрапляє на соломотряс агрегату буде дорівнювати:

$$q_{з.п.} = q_з - q_д = 4 - 3,2 = 0,8 \text{ кг/с}.$$

Керуючись допустимим відсотком втрат врожаю після проходження соломотрясу, що становить 0,5…1,0% від загальної кількості зерна, яке подається до молотарки, маємо можливість розрахувати допустиму вагу втрат зерна, за умови, що ці втрати не перевищують 0,5%. Це можемо провести використовуючи рівність:

$$q_в = 0,005 \cdot q_з = 0,005 \cdot 4 = 0,02 \text{ кг/с}.$$

Відомо, що загальний коефіцієнт сепарації μ є залежним від товщини шару збіжжя, що рухається по соломотрясі комбайна. Якщо товщина шару збіжжя дорівнює $H_0 = 0{,}17$ м, співвідношення між зерном і соломою у воросі становить $З:С = 1:1{,}5$ то коефіцієнт сепарації складає $\mu_0 = 1{,}8$ м$^{-1}$. З метою визначення коефіцієнту сепарації для іншої товщини шару збіжжя слід скористатися рівнянням:

$$\mu = \mu_0 \cdot \left(\frac{H_0}{H} \right)^m,$$

де $m = 0{,}8...1{,}2$.

Для розрахунку товщини шару збіжжя на соломотрясі використаємо формулу:

$$H = \frac{q \cdot \left(1 - \frac{З}{З + С} \right)}{B \cdot \gamma \cdot V_c},$$

де γ – об'ємна маса зернового збіжжя, що рухається по соломотрясі, для розрахунків $\gamma = 10...20$ кг/м^3;

V_c – швидкість руху зернового збіжжя по соломотрясу комбайна, $V_c = 0{,}4$ м/с

Підставивши знайдені величини отримаємо:

$$H = \frac{10 \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + 1{,}5} \right)}{6 \cdot 15 \cdot 0{,}4} = 0{,}16 \text{ м.}$$

Враховуючи проведені розрахунки можемо підставити знайдені параметри у залежність для визначення коефіцієнту сепарації і отримаємо:

$$\mu = 1{,}8 \cdot \left(\frac{0{,}17}{0{,}16} \right)^{0{,}8} = 1{,}89 \text{ м}^{-1}.$$

Теж проведемо підстановку знайдених параметрів у залежність для визначення втрат повноцінного зерна за соломотрясом, яка наведена вище і отримаємо:

$$0,02 = 0,8 \cdot e^{-1,89L}.$$

Проведемо перетворення останнього рівняння і розв'яжемо його, що дозволить знайти розрахункове значення довжини соломотрясу, яка становить:

$$L = \frac{\ln(0,025)}{-1,89} = 1,95 \text{ м.}$$

Обґрунтування параметрів очистки комбайна та визначення кількості незернової частини, що підводиться до подрібнювача

Розрахункові значення геометричних розмірів очистки зерноочисного комбайну є кількісною функцією дрібного вороха, що надходить на очистку за певний момент часу. Це можна описати залежністю:

$$Q_B = q \cdot (1 - \nu \cdot \alpha),$$

де q – подача зібраного збіжжя на очистку в молотарку комбайна, кг/с;

ν – коефіцієнт, який відображає співвідношення повноцінного зерна до незернової частини врожаю;

α – узагальнений коефіцієнт, залежний від вологості зібраного збіжжя та режиму роботи молотарки комбайну.

Враховуючи, що подача збіжжя до молотарки складає $q = 10$ кг/с, за середньої вологості врожаю $W = 15\%$ та співвідношенням зерна до незернової частини врожаю $З:С = 1:1,5$, коефіцієнт $\alpha = 0,9$. Підставивши наведені величини розрахуємо навантаження на очистку, що складає:

$$Q_B = 10 \cdot (1 - 0,4 \cdot 0,9) = 6,4 \text{ кг/с.}$$

Щоб розрахувати потрібну площу решітного очищення врахуємо допустиме питоме навантаження на одиницю площі решета, яке складає $q_F = 1,5...2,5$ кг/с·м^2. Враховуючи це, необхідна площа очищення може бути знайдена за формулою:

$$F = \frac{q_B}{q_F};$$

$$F = \frac{4,48}{2} = 2,24 \text{ м}^2.$$

Традиційно для подібних розрахунків приймемо, що ширина решітної очистки має узгоджуватися за розмірами із параметрами молотарки, що описується таким рівнянням:

$$B_p = (0,9...0,95) \cdot B_м .$$

Після підстановки значення ширини молотарки $B_м$ отримаємо:

$$B_p = 0,9 \cdot 1,5 = 1,35 \text{ м}.$$

Теж, враховуючи значення ширини молотарки визначимо довжину решета очистки

$$L = \frac{F}{B_p}.$$

Підставимо цифрові значення і отримаємо довжину решета:

$$L = \frac{2,24}{1,35} = 1,66 \text{ м}.$$

Враховуючи сумісну роботу приймемо розміри нижнього і верхнього решіт ідентичними.

З ціллю отримання після прямого комбайнування чистоти зібраного зерна на рівні 98% та вище навантаження на одиницю довжини решітної очистки комбайна має бути не більшим за $q_B = 1,5...1,7$ кг/с·м. Якщо в господарстві проводиться після збирання на току попереднє очищення зерна зерноочисними агрегатами, в такому випадку допустима якість комбайнового очищення збіжжя може становити 96%, що досягається за умов питомого навантаження за довжиною на решітну очистку на рівні $q_B = 2,5...3,8$ кг/с·м. Враховуючи зазначену інформацію, приймемо, що

$$q_B = \frac{Q_B}{B} = \frac{4,4}{1,35} = 3,26 \text{ кг/с·м},$$

а отже, навантаження на одиницю довжини решітного очищення перебуває в допустимому діапазоні значень, що описано раніше.

Таким чином, приймемо розміри решітної очистки зернозбирального комбайна наступні: $B_p \times L = 1350 \times 1660$ мм.

Знайдемо розміри довжини пальців, які встановлюються на подовжувачу решета очистки комбайна за співвідношенням:

$$l_y = (0{,}15...0{,}2) \cdot L = 0{,}25 \cdot 1{,}66 = 0{,}249 \text{ м.}$$

Варто зазначити, що має забезпечуватися кут нахилу решіт до горизонту на рівні 0…2º та відстань на подовжувачі між пальцями 12…12 мм. Для нормальної роботи решіт очистки розмах коливань нижнього решета повинен бути 30…40 мм, верхнього решета – 60…80 мм. За умови, що частота коливань повинна бути 260…300 об/хв.

Суттєво впливає на якісь роботи очистки комбайна характеристика повітряного потоку. Так, нахил потоку повітря до горизонту має бути близько 25…30º. Швидкість повітряного потоку в очистці комбайна слід забезпечити на рівні: 5…6 м/с – для каскадного очищення; 5,8…6 м/с – над передньою частиною решета та 3,8…4 м/с – над задньою і середньою частинами.

Слід зазначити, що струсні дошки комбайна з ціллю унеможливлення ковзання матеріалу під час очищення в зворотньому напрямку повинні мати ступінчасту робочу поверхню та повинні здійснювати синхронні коливальні рухи разом із верхнім решетом очистки комбайна. З метою створення сприятливих умов для просіювання основного вороха в кінці струсної дошки встановлюють пальцеву решітку, яка забезпечує відведення крупних домішок, переважно соломистих із зібраного збіжжя в середню частину решета. Теж, традиційно на етапі обґрунтування конструкції, ширину вихідного вікна вентилятора роблять рівною ширині решета очистки комбайна, а отже

$$B_B = B_p = 1{,}35 \text{ м.}$$

Щоб визначити висоту вихідного вікна вентилятора очистки комбайна використаємо відому формулу:

$$H_B = \frac{Q}{V_B \cdot B_B},$$

де V_B – величина швидкості потоку повітря, що встановлюється при роботі комбайна в зоні його виходу із вентилятора, приймаємо $V_B = 8...12$ м/с;

Q – значення витрат повітря в очистці комбайна, $Q = 1,04 \cdot Q_B = 1,04 \cdot 6,4 = 6,656$ м^3/с.

Після підстановки наведених значень, отримаємо висоту вікна, яка складає:

$$H_B = \frac{6,656}{12 \cdot 1,35} = 0,41 \text{ м.}$$

Під час роботи повітряний потік має обдувати решето очистки повністю по всій його довжині. Враховуючи це, висота вікна (рис. 7) може бути розрахована за формулою:

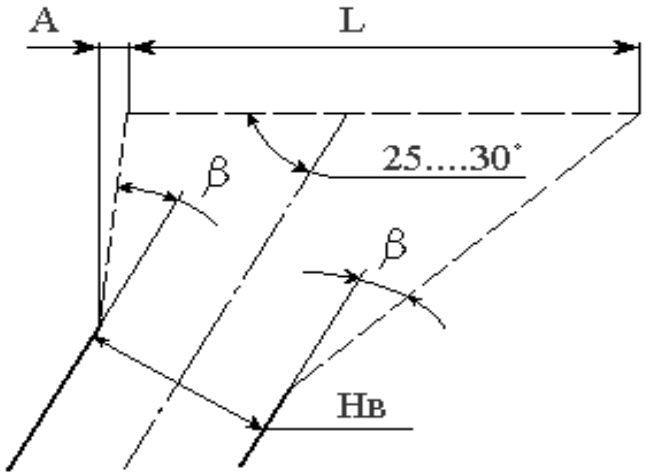


Рис. 7. Розрахункова схема параметрів вихідного вікна джерела повітряного потоку очистки зернозбирального комбайна

$$H_B = \frac{L + a}{\frac{\cos\beta}{\sin(\delta - \beta)} - K_0},$$

де a – розмір, що обирають виходячи із конструктивних міркувань, приймемо $a = 100$ мм;

β – кут, який вказує на ступінь розширення струменя потоку, $\beta = 12...16°$;

δ – кут нахилу повітряного потоку до робочої поверхні решета очистки, $\delta = 25...30°$;

K_0 – коефіцієнт, що враховує під час роботи відхилення робочого повітряного потоку очистки решетом, приймемо $K_0 = 0,5...0,6$.

Після підстановки числових значень у останню формулу отримаємо висоту вихідного вікна вентилятора:

$$H_B = \frac{1,66 + 0,1}{\frac{\cos 16}{\sin(26-16)} - 0,55} = 0,3529 \text{ м.}$$

У тому випадку, коли знайдена величина вихідного вікна H_B (рис. 7) перевищує попереднє значення слід вибрати інше значення розміру a.

Враховуючи відому формулу можемо визначити динамічний тиск, який створюватиме вентилятор комбайна:

$$H_д = \frac{\rho \cdot V_B^2}{2},$$

де ρ – густина повітря, яке нагнітає вентилятор, приймемо $\rho = 1,25$ кг/м^3.

Після підстановки отримаємо динамічний тиск:

$$H_д = \frac{1,25 \cdot 12^2}{2} = 90 \text{ Па.}$$

За відомою залежністю розрахуємо і статичний тиск

$$H_{ст} = \frac{1 - K^2}{K^2} \cdot H_д,$$

де K – коефіцієнт, що дорівнює $K = 0,35...0,4$.

Підставивши цифрові значення знайдемо статичний тиск

$$H_{ст} = \frac{1 - 0,35^2}{0,35^2} \cdot 90 = 644,7 \text{ Па.}$$

Враховуючи проведені розрахунки можемо визначити повний тиск вентилятора, що дорівнює:

$$H = H_{ст} + H_д = 644,7 + 90 = 734,7 \text{ Па.}$$

Враховуючи коефіцієнт корисної дії вентилятора комбайна, який не перевищує $\eta = 0,5$, можемо знайти теоретичний тиск за формулою:

$$H_T = \frac{H}{\eta};$$

$$H_T = \frac{734,7}{0,5} = 1469,4 \text{ Па}.$$

Скористаємося залежністю, яка дозволяє розрахувати діаметр вхідного отвору джерела повітряного потоку у такому вигляді:

$$D_0 = 2,78 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{n}},$$

де n – фактична частота обертання джерела повітряного потоку, приймемо $n = 725$ об/хв.

Підставивши значення, отримаємо:

$$D_0 = 2,78 \cdot \sqrt[3]{\frac{6,656}{725}} = 0,582 \text{ м}.$$

Тоді знайдемо зовнішній діаметр колеса вентилятора комбайна за залежністю:

$$D_2 = \frac{2}{n} \cdot \sqrt{\frac{H_T}{0,01 \cdot \rho}};$$

$$D_2 = \frac{2}{725} \cdot \sqrt{\frac{1469,4}{0,01 \cdot 1,25}} = 0,9458 \text{ м}.$$

Внутрішній діаметр колеса вентилятора розрахуємо так:

$$D_1 = 0,4 \cdot D_2 = 0,4 \cdot 0,9458 = 0,378 \text{ м}.$$

Після визначення геометричних параметрів джерела повітряного потоку розрахуємо потужність, яка потрібна для приводу вентилятора, використовуючи рівняння:

$$N = \frac{Q \cdot H_T}{\eta_n},$$

де η_n – коефіцієнт корисної дії механізму приводу вентилятора, приймемо $\eta_n = 0,95...0,98$.

Після підстановки числових значень маємо:

$$N = \frac{6,656 \cdot 1469,4}{0,95} = 10295,1 \text{ Вт} \approx 10,3 \text{ кВт}.$$

Оскільки швидкість повітряного потоку визначається характеристиками зернової маси, зокрема її вологістю та іншими параметрами, у конструкції вентилятора або його приводу необхідно передбачити механізм для регулювання швидкості потоку повітря. Найефективнішим методом керування повітряним потоком в очистці комбайна є регулювання частоти обертання вентилятора, що дозволяє прямо впливати на швидкість повітряного потоку на виході, змінюючи її пропорційно зміні частоти обертання самого вентилятора.

Обґрунтування параметрів подрібнювача незернової частини врожаю

Для ефективної роботи із незерновою частиною врожаю в конструкції зернозбирального комбайна ДОН-1500 вдосконалено подрібнювач незернової частини, схему роботи якого наведено на рис. 8.

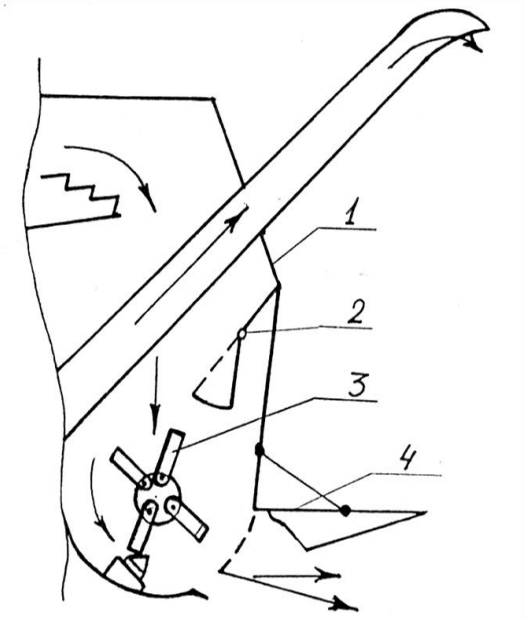


Рис. 8. Принципова схема роботи подрібнювача незернової частини врожаю зернозбирального комбайна:

1 – подовжена стінка корпусу зернозбирального агрегату;

2 – саморегулювальна заслінка; 3 – подрібнюючий барабан; 4 – автоматичний дефлектор

Процес роботи подрібнювача незернової частини врожаю зернозбирального комбайна відбувається наступним чином: обмолочена маса із соломотряса самопливом потрапляє до подовженої стінки корпусу зернозбирального агрегату 1, де осідає на саморегулювальній заслінці 2 і дозовано подається до молотків подрібнюючого барабана 3. Під дією повітряного потоку молотки втягують солому до протирізальних ножів, на яких за рахунок різальної пари ніж-протирізальна пластина і відбувається подрібнення соломи та інших частин незернової частини врожаю. Після цього подрібнена маса спрямовується на регульований автоматичний дефлектор, який забезпечує рівномірне розсіювання потоку подрібнених рослинних решток по всій ширині захвату зернозбирального агрегату.

З ціллю обґрунтування параметрів вдосконаленого подрібнювача незернової частини врожаю проведемо розрахунок деяких його елементів. На першому етапі визначимо можливість роботи зварної конструкції. Так, поворотна заслінка подрібнювача 2 (рис. 8) кріпиться на двох тягах, що фіксується до вух методом зварювання. Зварювання проводиться електродом Е-42, зварний шов має бути двостороннім тавровим із загальною його довжиною l=0,12 м, катет зварного шва становить $k = 0,005$ м.

Зазначимо, що із сторони рами на елемент кріплення діє сила P, яка дорівнює величині $P = 10$ кН. Розрахункова схема зварного нероз'ємного шва наведена на рис. 9.

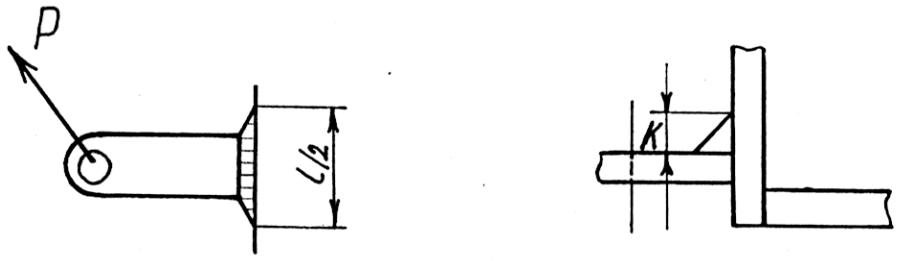


Рис. 9. Розрахункова схема нероз'ємного з'єднання

Для визначення зусилля, що виникає на нероз'ємному з'єднанні скористаємося відомою формулою:

$$\varepsilon'_{ср} = \frac{P}{0,7 \cdot k \cdot l},$$

де $\varepsilon'_{ср}$ – напруженість зрізання, що виникає на зварному шві, МПа;

k – величина катету зварного шва, м;

l – довжина зварного шва, м.

Підставивши цифрові значення отримаємо:

$$\varepsilon'_{ср} = \frac{1000}{0,7 \cdot 0,005 \cdot 0,12} = 23,8 \text{ МПа}.$$

Для того, щоб виконувалася умова міцності нероз'ємного з'єднання повинна виконуватися наступна умова:

$$\tau'_{ср} \le [\tau_{ср}].$$

Приймемо, що матеріалом з якого виготовлюються відповідні деталі є Ст3, для якого $\left[\sigma_p\right] = 160$ МПа, або ж відповідно $[\tau_{ср}] = 0,6 \cdot [\sigma_p]$. Тобто, $[\tau_{ср}] = 0,6 \cdot 160 = 96$ МПа. Це значить, що умова $\tau'_{ср} \le [\tau_{ср}]$ виконується, а отже міцність з'єднання забезпечена.

Розрахуємо на зрізання осі кріплення (рис. 10). В результаті роботи сили P у з'єднанні виникає напруженість зрізання і зминання, яка діє по довжині l (рис. 10).

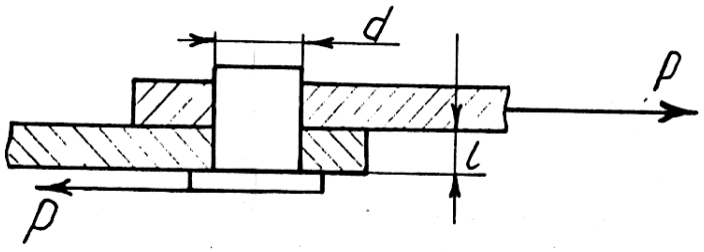


Рис. 10. Схема до розрахунку міцності з'єднання

Враховуючи наведену схему (рис. 10), працездатність осі буде повністю відображати умову її міцності на зрізання та зминання. Цю умову можна задати у наступному вигляді:

$$\tau'_{ср} \le [\tau_{ср}]; \qquad \tau'_{ср} \le [\tau_{м}].$$

Аналогічно приймемо, що матеріалом із якого виготовляють вісь є Ст3, а отже $[\tau'_{ср}] = 50$ МПа та $[\tau'_{см}] = 135$ МПа.

Для визначення напруженості на зрізання осі скористаємося формулою:

$$\tau_{ср} = \frac{P}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}},$$

де P – величина сили тяжіння, що припадає на кожну окрему точку приєднання, Н;

d – фактичний діаметр осі, м.

Підставивши значення отримаємо:

$$\tau_{ср} = \frac{10000}{2 \cdot \frac{3{,}14 \cdot 0{,}03^2}{4}} = 7{,}14 \text{ МПа}.$$

Враховуючи це, можна констатувати, що умова міцності осі на зрізання $\tau'_{ср} \le [\tau_{ср}]$ виконується.

Проведемо розрахунок різьбового з'єднання за рахунок якого відбувається кріплення підшипникової опори подрібнювача рослинних решток до боковини комбайна, що відбувається за допомогою гайки М12 (рис. 11). Під час затягуванні гайки М12, використовують стандартний гайковий ключ у якого $l = 0{,}2$ та прикладається зусилля затягування на рівні $P_р = 250$ Н. Під час такого затягування стержень боковини зернозбирального агрегату буде розтягуватися із осьовою силою F. Для закручування гайки слід прикласти момент сили тертя у різьбовому з'єднанні $T_р$, який продовжить діяти на стержень кріплення навіть після того, коли затягування з'єднання закінчилося (рис. 11).

Параметри кріплення опори за допомогою різьбового з'єднання наступні:

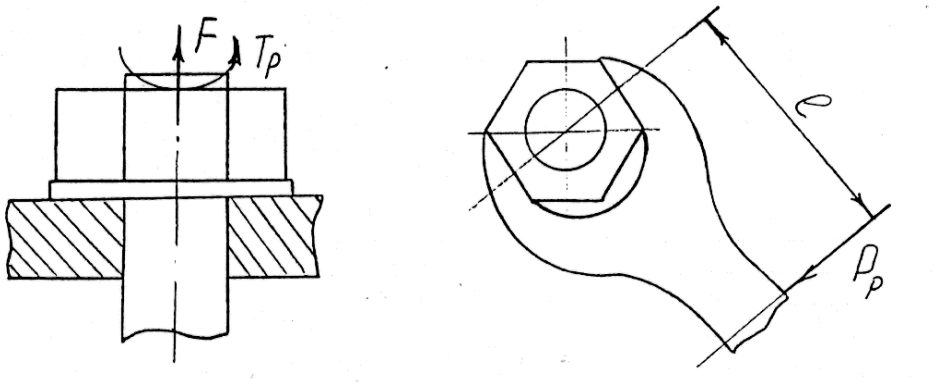


Рис. 11. Розрахункова схема кріплення опори з допомогою різьбового з'єднання

- внутрішній діаметр різьби – $d_p = 0,010$ м;
- середній діаметр опорної поверхні гайки – $d_м = 0,0206$ м;
- кут профілю різьби – $\alpha = 60°$;
- кут підйому різьби – $\beta = 3°12'$;
- коефіцієнт тертя у різьбі, що розвивається на торцях гайки – $f = 0,15$;
- зведений кут тертя у різьбі – $\varphi' = 10°91'$;
- середній діаметр різьби – $d_2 = 0,011$ м.

Для визначення працездатності різьбового з'єднання скористаємося наступною умовою міцності:

$$\sigma_{екв} \le [\sigma_p],$$

де $[\sigma_p]$ – допустима напруженість на розрив, МПа;

$$[\sigma_p] = 0,6 \cdot \sigma_T,$$

σ_T – дійсна межа міцності для матеріалу, враховуючи матеріал виготовлення – Сталь 40Х, слід приймати текучість для цієї сталі, що становить $\sigma_T = 784$ МПа.

Враховуючи це, допустима напруженість на розрив складає:

$$\left[\sigma_p\right] = 0,6 \cdot 784 = 470 \text{ МПа}.$$

Для визначення нормальної напруженості у небезпечному перерізі скористаємося залежністю:

$$\sigma = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_p^2},$$

де F – величина осьової сили у з'єднанні, Н.

Осьову силу знайдемо скориставшись рівністю:

$$F = \frac{M_3}{\frac{d_2}{2}\left[tg(\beta + \varphi) + f \cdot \frac{d_м}{d_2} \right]};$$

$$M_3 = P_p \cdot l.$$

Підставивши числові значення отримаємо:

$$M_з = 250 \cdot 0,2 = 50 \text{ Н×м};$$

$$F = \frac{50}{\frac{0,010}{2}\left[tg\left(3,72 + 10,91\right) + 0,15\left(\frac{0,0206}{0,0110}\right)\right]} = 18181 \text{ Н};$$

$$\sigma = \frac{4 \cdot 18181}{3,14 \cdot 0,010^2} = \frac{72724}{0,000314} = 231 \text{ МПа}.$$

Для визначення дотичної напруги у з'єднанні скористаємося наступною формулою:

$$\tau = \frac{0,5 \cdot F \cdot d_2 \cdot tg(\beta + \varphi)}{0,2 \cdot d_p^3},$$

після підстановки даних маємо:

$$\tau = \frac{0,5 \cdot 18181 \cdot 0,011 \cdot tg(3,72 + 10,91)}{0,2 \cdot 0,01^3} = 131 \text{ МПа}.$$

Значить, що еквівалентна напруга може визначитися з допомогою залежності:

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2},$$

або

$$\sigma_{екв} = \sqrt{231^2 + 4 \cdot 131^2} = 349 \text{ МПа}.$$

Отже $\sigma_{екв} \leq [\sigma_p]$, адже $349 < 470$ МПа. Значить, умова міцності повністю виконується а матеріал Сталь 40Х підібраний для виготовлення вірно.

Короткі висновки за розділом

У процесі виконання інженерних розрахунків і обґрунтувань було досліджено основні параметри і режими роботи зернозбирального комбайна ДОН-1500. Аналіз показав, що незалежно від прийнятого способу збирання зернових культур, залишається актуальною проблема якісного подрібнення незернової частини врожаю. Це пов'язано з тим, що збирання або подальша утилізація незернової частини врожаю потребують додаткових технологічних рішень. Існуючі соломоподрібнювачі, які встановлюються на серійних зернозбиральних агрегатах вітчизняного виробництва, зокрема й на моделі ДОН-1500, не повною мірою відповідають сучасним вимогам щодо ефективності та якості роботи, при цьому характеризуються підвищеною енергоємністю.

З метою усунення цих недоліків була запропонована нова конструкція ножа-подрібнювача зі збільшеною кількістю подрібнювальних елементів. Така модернізація дозволяє значно покращити якість подрібнення без збільшення загальних витрат енергії. У межах даного розділу були виконані необхідні розрахунки, які підтверджують ефективність та працездатність оновленого комбайна для збирання зернових культур.

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

Упродовж останніх десятиліть науковці та фахівці-практики провели велику кількість досліджень, спрямованих на визначення оптимальних конструктивних і технологічних параметрів подрібнювачів незернової частини врожаю, які застосовуються в зернозбиральних комбайнах різних типів і принципів дії. Результати цих робіт засвідчили, що в реальних умовах експлуатації сформулювати чіткі висновки щодо конструкційних рішень та оптимальних режимів роботи подрібнювальних пристроїв досить складно. Це зумовлено значною залежністю ефективності їх роботи не лише від конструкції і налаштувань, але й від зовнішніх факторів – насамперед, фізико-механічних властивостей рослинних залишків, а також енергетичних витрат, пов’язаних із процесом подрібнення.

Проблематика якісної роботи подрібнювачів незернової частини врожаю є особливо актуальною для комбайнів попередніх поколінь, оскільки в період їх розробки цьому питанню не приділяли достатньої уваги. Виходячи з вищезазначеного, можна зробити висновок, що пошук ефективних параметрів подрібнювача незернової частини для комбайна ДОН-1500 є важливою прикладною задачею. Модифікація цього вузла з урахуванням умов експлуатації та характеристик оброблюваної маси дозволить комплексно вирішити проблему утилізації рослинних залишків за умов збереження родючості ґрунтів.

Метою даної кваліфікаційної роботи є покращення ефективності та однорідності процесу подрібнення рослинних решток зернозбиральним комбайном шляхом аналізу та вдосконалення конструкції подрібнювача незернової частини, а також визначення раціональних технологічних режимів його функціонування.

Об’єктом дослідження виступає процес механічного подрібнення незернової частини в зернозбиральному комбайні, який реалізує класичний принцип обмолоту зернових культур.

Предмет дослідження охоплює закономірності, що визначають конструктивні характеристики, технологічні параметри та режими експлуатації подрібнювача незернової частини, встановленого у зернозбиральний комбайн класичної схеми.

На основі аналізу попередніх досліджень і виконаних інженерних розрахунків окремих елементів подрібнювача сформульовано основні завдання подальшої наукової роботи, які полягають у наступному:

- здійснити детальний огляд існуючих конструкцій подрібнювачів незернової частини, визначити їх переваги та недоліки, а також виокремити перспективні напрямки модернізації таких систем;
- виконати технічне обґрунтування конструктивних рішень для окремих елементів модернізованого барабанного подрібнювача, пристосованого до експлуатації в комбайні ДОН-1500, що працює за традиційною схемою обмолоту;
- за результатами експериментальних досліджень визначити раціональні параметри ножів подрібнювача незернової частини врожаю, визначити раціональну частоту його обертання та інтенсивність подачі незернової фракції, орієнтуючись на агротехнічні вимоги до якості подрібнення й забезпечення запланованої продуктивності вдосконаленого механізму.

Порядок проведення досліджень

Для виконання експериментальних випробувань було задіяно поля базового господарства, на яких проводили збирання пшениці з використанням зернозбирального комбайна марки ДОН-1500. Для аналізу ефективності функціонування подрібнювача соломи його конструкція була розроблена таким чином, щоб забезпечити можливість зміни конфігурації ножів, регулювання інтервалів між ними на протирізальному брусі, а також варіювання частоти обертання барабана в широкому діапазоні.

Перед початком основних досліджень виконувались усі необхідні регламентні налаштування комбайна ДОН-1500, після чого перевірялась його

працездатність. Лише після цього приступали безпосередньо до експериментів. Окремо здійснювалися регулювання параметрів подрібнювача соломи, серед яких основними були такі:

- запуск подрібнювача без навантаження, аналогічно іншим робочим елементам машини;
- налаштування основних вузлів подрібнювача, включаючи встановлення протирізального брусу з необхідною кількістю ножів, перевірку фіксації молотків на диску, легкість і плавність обертання вала, встановлення потрібної частоти обертання барабана тощо;
- виконання контрольного проїзду по полю з оцінкою якості подрібнення соломи – зокрема, ступеня подрібнення та рівномірності розподілу часток по поверхні ґрунту. У разі потреби здійснювалися додаткові налаштування.

Експериментальна частина досліджень була організована згідно з класичними методами, із триразовим повторенням кожного досліду. Планування здійснювалося відповідно до загальноприйнятої багатофакторної методики. Для аналізу результатів застосовувався програмний комплекс STATISTICA 12, а отримане моделювання та результати обробки подано нижче.

Результати експериментальних досліджень

Використовуючи класичну методику факторного експерименту, зокрема і в напрямку підбору факторів, визначимо, що найбільш впливовими факторами для роботи подрібнювача незернової частини врожаю та їх рівні варіювання є такими:

- величина зазору між протирізальною пластиною та ножами подрібнюючого барабану b, мм;
- подача незернової частини на подрібнення Q, кг/с;
- частота обертання подрібнювача n, об/хв.

До таблиці 2 зведені значення і рівні варіювання впливових факторів та наведені їх кодові позначення

Таблиця 2

Фактори та рівні їх варіювання

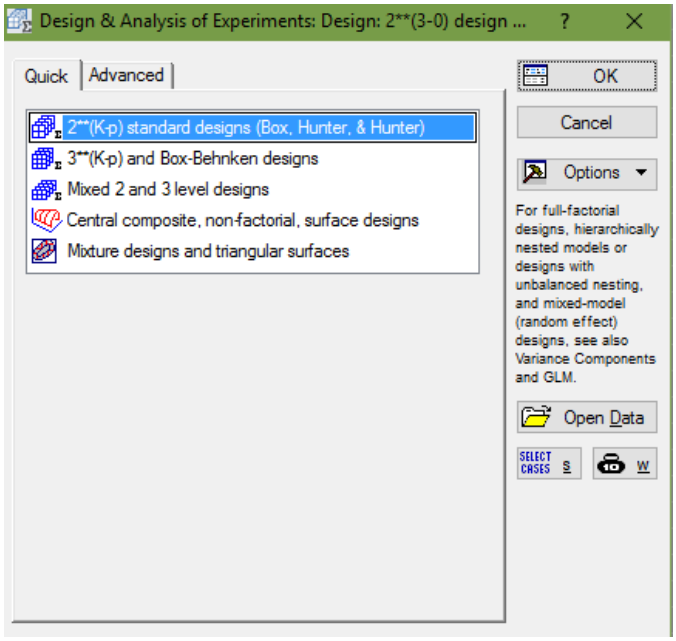
№	Фактори		Рівні варіювання		Інтервал варіювання
	Найменування	Позначення	Нижній (-)	Верхній (+)	
1	Величина зазору між протирізальною пластиною та ножами подрібнюючого барабану b, мм	x_2	10,0	50,0	20
2	Подача соломи на подрібнення, Q кг/с	x_1	0,5	6	2,75
3	Частота обертання валу подрібнювача n, об/хв.	x_3	200	1000	400

Результати моделювання в системі STATISTICA

Формування матриці планування експерименту здійснювалося з використанням програмного забезпечення STATISTICA 12. Зважаючи на наявність трьох факторів, які мають найбільший вплив на ефективність подрібнення незернової частини урожаю в зернозбиральному комбайні, була реалізована класична статистична модель, що має вигляд $n = 2^3 = 8$. Послідовність операцій моделювання та їх візуалізація в середовищі STATISTICA 12 представлені на рисунку 12.

Наступним етапом стало введення у програму рівнів варіювання факторів, що впливають на процес подрібнення – ці дані зведені в таблицю 2. Це дало змогу сформувати план експерименту у вигляді матриці (рисунок 13), у яку залишалося додати четвертий стовпець із середніми значеннями результатів досліджень, отриманих шляхом триразового повторення кожного варіанта досліду. Як основний результат експерименту розглядалася якість подрібнення незернової частини врожаю, що виражалася у відсотковому співвідношенні часток, розміри яких відповідали заданим параметрам або були меншими, за умови відсутності забивання робочих елементів –

подрібнюючого барабана та протирізального бруса. Узагальнені табличні результати експериментального дослідження наведені на рисунку 14.



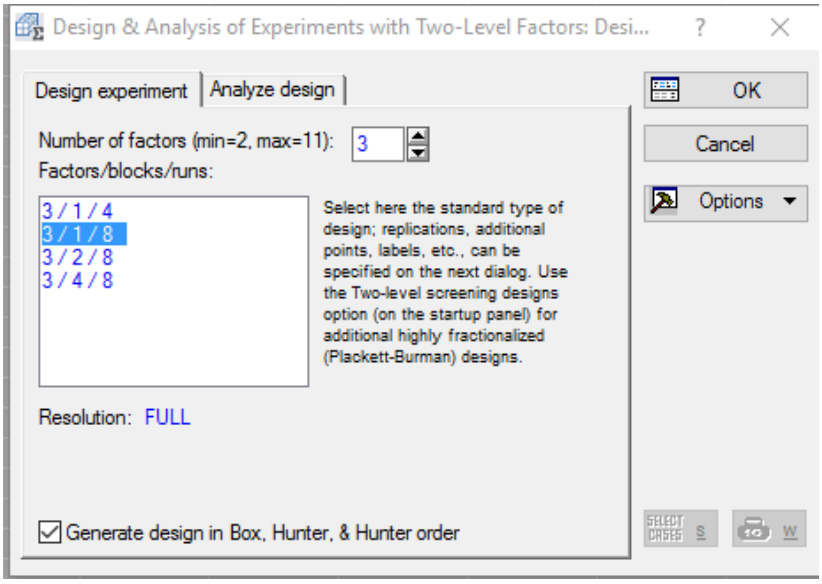


Рис. 12. Вигляд вікна програми STATISTICA 12 під час обробки результатів досліджень по оцінці якості роботи подрібнювача незернової частини врожаю зернозбирального комбайна

За результатами планування факторного експерименту в програмі STATISTICA 12 отримано результати обробки у вигляді таблиці, що представлено на рис. 14.

	1 b, мм	2 Q, кг/с	3 n, об/хв	4 Y, %
1	10	0,5	200	82
2	50	0,5	200	76
3	10	6	200	65
4	50	6	200	64
5	10	0,5	1000	90
6	50	0,5	1000	84
7	10	6	1000	85
8	50	6	1000	78

Рис. 13. План експерименту та результат проведених досліджень

Effect Estimates; Var.:Y, %; R-sqr=,99267; Adj:,9487 (Spreadsheet4.sta)
2**(3-0) design; MS Residual=4,5
DV: Y, %

Factor	Effect	Std.Err.	t(1)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	78,0000	0,750000	104,0000	0,006121	68,4703	87,52965	78,00000	0,750000	68,4703	87,52965
(1)b, мм	-5,0000	1,500000	-3,3333	0,185547	-24,0593	14,05931	-2,50000	0,750000	-12,0297	7,02965
(2)Q, кг/с	-10,0000	1,500000	-6,6667	0,094786	-29,0593	9,05931	-5,00000	0,750000	-14,5297	4,52965
(3)n, об/хв	12,5000	1,500000	8,3333	0,076031	-6,5593	31,55931	6,25000	0,750000	-3,2797	15,77965
1 by 2	1,0000	1,500000	0,6667	0,625666	-18,0593	20,05931	0,50000	0,750000	-9,0297	10,02965
1 by 3	-1,5000	1,500000	-1,0000	0,500000	-20,5593	17,55931	-0,75000	0,750000	-10,2797	8,77965
2 by 3	4,5000	1,500000	3,0000	0,204833	-14,5593	23,55931	2,25000	0,750000	-7,2797	11,77965

Рис. 14. Табличний результат ефективності роботи подрібнювача незернової частини врожаю

Таким чином, аналіз результатів досліджень дозволяє записати статистичну модель оцінки впливу обраних факторів на критерій оптимізації, який у даному випадку виступає відсоток подрібнених часток, розміри яких знаходяться в межах агровимог. Рівняння регресії має такий вигляд:

$$Y = 78 - 2,5x_1 - 5x_2 + 6,25x_3 + 0,5x_1x_2 - 0,75x_1x_3 + 2,25x_2x_3.$$

Система STATISTICA 12 дозволяє в напівавтоматичному режимі перевірити коефіцієнти рівняння на значущість, а саму математичну модель на відтворюваність та адекватність. З метою візуальної оцінки попарного впливу факторів на якість подрібнення незернової частини врожаю на рис 15, 16, 17 побудовані графіки попарного впливу факторів та поверхні відгуку.

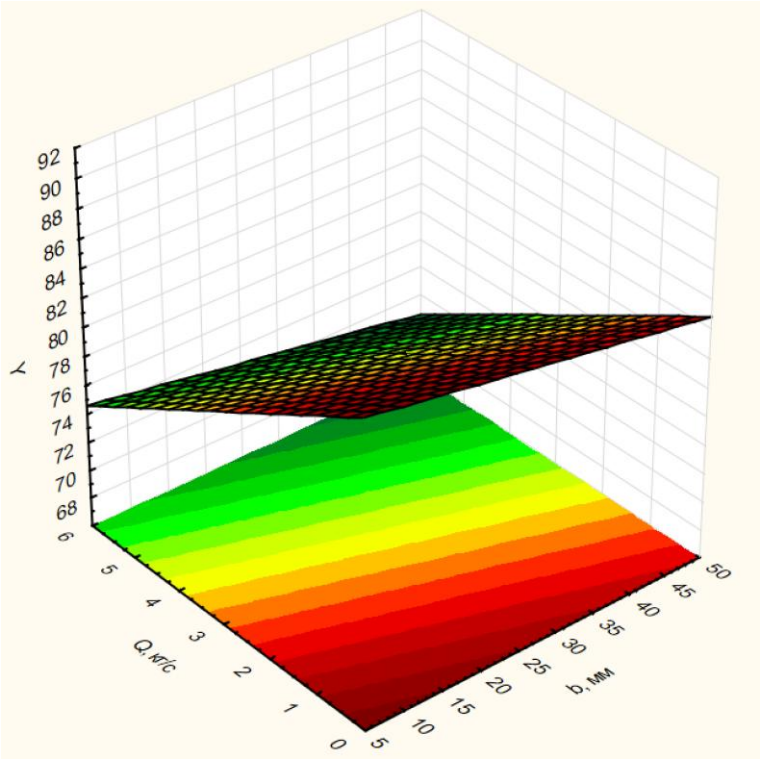


Рис. 15. Графіки попарного впливу величини зазору між протирізальною пластиною та ножами подрібнюючого барабану b і подачі соломи на подрібнення Q на ефективність подрібнення незернової частини Y

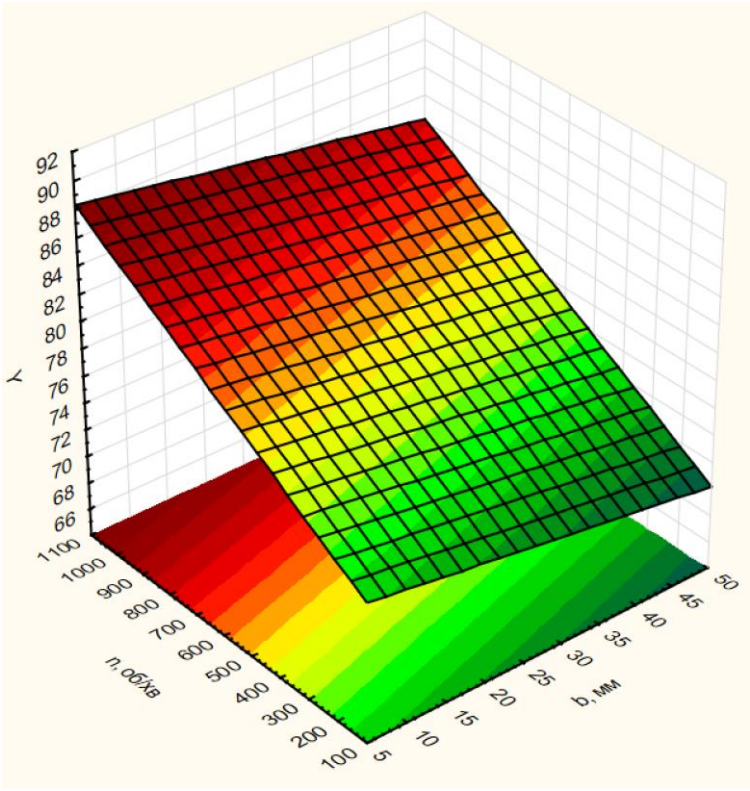


Рис. 16. Графіки попарного впливу величини зазору між протирізальною пластиною та ножами подрібнюючого барабану b і частоти обертання валу подрібнювача n на ефективність подрібнення незернової частини Y

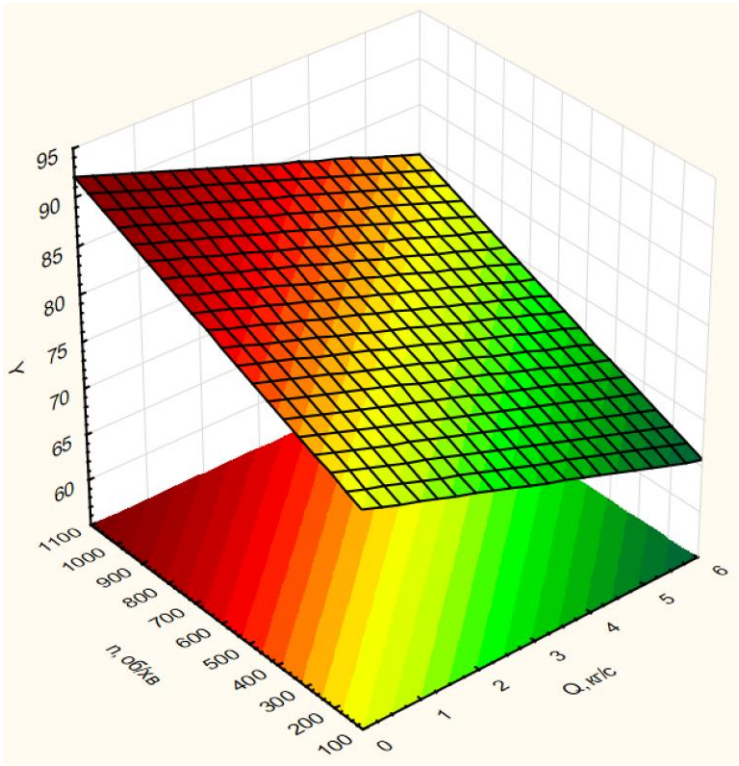


Рис. 14. Графіки попарного впливу подачі соломи на подрібнення Q і частоти обертання валу подрібнювача n на ефективність подрібнення незернової частини врожаю Y

Аналіз регресійного рівняння та графіків, що відображають комбінований вплив досліджуваних факторів на обраний критерій оптимізації, свідчить про те, що найвагоміший вплив на якість і продуктивність подрібнення соломи мають швидкість обертання вала подрібнювача та інтенсивність подачі маси на обробку. Очікувано, що збільшення частоти обертання вала позитивно позначається на якості подрібнення. Водночас підвищення подачі соломи, навпаки, призводить до зниження ефективності, що зумовлено перевантаженням робочої зони подрібнювача.

Отримані дані дозволяють визначити оптимальні інтервали для основних параметрів процесу. Зокрема, частота обертання вала подрібнювального механізму повинна знаходитися у межах 800…900 об/хв, а подача соломи – у межах 0,9…1,5 кг/с, залежно від вимог до агротехнічної якості та продуктивності подрібнення.

Варто окремо відзначити суттєвий вплив відстані між ножами барабана і протирізальною пластиною на результат подрібнення незернової частини врожаю. Зменшення зазору в певних межах може погіршити якість подрібнення через ймовірність забивання робочих елементів соломою. Для визначення оптимального значення цього параметра враховували бажаний розмір часток рослинних решток після подрібнення, а також необхідність мінімізації ймовірності забивань подрібнюючого барабану. Рекомендований інтервал для зазору становить 20…25 мм.

Підсумовуючи, можна зробити висновок, що проведені експериментальні випробування дали змогу встановити оптимальні режими роботи подрібнювача соломи, що забезпечують ефективне подрібнення незернової частини врожаю зернозбиральним комбайном. Доведено, що при зазорі 20…25 мм, частоті обертання 800…900 об/хв і подачі соломи 0,9…1,5 кг/с, ефективність роботи подрібнювального механізму досягає 90…94 %, що значно перевищує аналогічний показник серійного подрібнювача, встановленого на комбайні ДОН-1500, ефективність якого не перевищує 70…75 % за результатами польових випробувань.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час експлуатації зернозбирального комбайна при прямому збиранні зернових культур виникає низка шкідливих та небезпечних виробничих чинників, зокрема:

- наявність великої кількості рухомих частин, таких як мотовило, ріжучий апарат, молотарка, транспортуючі механізми, вентилятори та елементи системи очищення;
- функціонування агрегатів та вузлів, що обертаються з високою швидкістю – двигун, колеса, трансмісійні механізми, транспортери та інші складові;
- значний рівень шумового навантаження як у кабіні комбайна, так і поблизу агрегату, джерелом якого виступають двигун, вентилятор, молотарка, подрібнювач соломи, соломотряс тощо;
- перевищення допустимих значень вібрації в зоні перебування комбайнера, а також під час виконання налаштувань чи технічного обслуговування – вібрації виникають від силового агрегату, трансмісії, робочих органів та гідроприводу;
- підвищена запиленість і загазованість повітря в кабіні та навколо комбайна, особливо при обслуговуванні, перевантаженні зерна чи очищенні вузлів;
- в процесі збирання врожаю використовуються шкідливі речовини: паливно-мастильні матеріали, охолоджувальні рідини, рідини трансмісії, компоненти кондиціонування повітря;
- високий ризик займання через наявність гарячих поверхонь, іскроутворення, коротких замикань в електромережі, витоки пального чи інших легкозаймистих рідин, а також через наявність сухої рослинної маси;

- загроза ураження електричним струмом, зокрема при роботі поблизу ЛЕП, трансформаторних підстанцій, можливості накопичення статичної електрики або удару блискавки;
- високе розташування робочого місця в кабіні та потреба виконання обслуговування на значній висоті над рівнем поверхні поля;
- наявність відкритих та гострих конструктивних елементів, які можуть спричинити травмування працюючих або оточуючих;
- нестабільні параметри мікроклімату в кабіні, зокрема температурні коливання;
- потреба в роботі комбайна за умов недостатнього природного освітлення (ранкові або вечірні години), що зумовлює необхідність встановлення додаткових освітлювальних приладів як для освітлення поля, так і для підсвітки критичних зон зернозбирального агрегату.

Усі перелічені загрози та небезпеки можуть бути значною мірою усунені або зведені до мінімуму при дотриманні вимог техніки безпеки та правил охорони праці, які є обов’язковими при роботі з зернозбиральними комбайнами.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Використання удосконаленого подрібнювача незернової частини врожаю при збиранні пшениці комбайном ДОН-1500 дозволяє досягти суттєвих економічних переваг завдяки підвищенню якості подрібнення, рівномірному розподілу рослинних решток по полю, зниженню витрат на подальшу обробку ґрунту та покращенню агротехнічного стану поля.

1. Зниження витрат на післязбиральну обробку ґрунту

Завдяки рівномірному подрібненню та розкиданню соломи не виникає потреба в додатковому проході спеціалізованої техніки для подрібнення чи збирання незернової частини врожаю. Це дозволяє зменшити:

- витрати пального;
- амортизаційні витрати на трактор і причіпний інвентар;
- витрати на оплату праці механізаторів.

Орієнтовна економія:1 проход техніки ≈ 2–2,5 л/га пального
На площі 300 га — це до **750 л дизельного пального**, що еквівалентно понад **40 тис. грн** (за цінами 2025 року).

2. Підвищення агротехнічного ефекту

Якісне подрібнення соломи забезпечує:

- рівномірне розкладання органіки у ґрунті;
- покращення водопроникності та повітрообміну;
- зниження потреби у внесенні органічних добрив.

Це може зменшити потребу в внесенні добрив у наступному сезоні, що дає **додаткову економію**.

3. Підвищення ефективності збирання

Модернізований подрібнювач незернової частини врожаю не створює навантаження, яке б перевантажувало двигун або призводило до простоїв через забивання. В результаті:

- зменшуються втрати часу;
- знижується ймовірність поломок;

- зростає загальна **продуктивність комбайна** (до +5–7%).

4. Економія на ремонті та обслуговуванні

Сучасна конструкція дозволяє швидше змінювати ножі, регулювати частоту обертання і зазор, що сприяє зниженню зносу та частоти виходу з ладу модернізованого подрібнювача.

5. Загальна економічна ефективність

У результаті проведених розрахунків (на прикладі господарства з площею збирання 300 га пшениці), сумарна економія від використання модернізованого подрібнювача складає:

Стаття економії	**Орієнтовна сума, грн**
Витрати на додатковий обробіток соломи	40 000
Зменшення витрат на добрива	15 000
Підвищення продуктивності (скорочення часу)	10 000
Економія на ремонті та обслуговуванні	5 000
Загальна орієнтовна економія	**70 000 грн/сезон**

Висновок

Використання модернізованого подрібнювача незернової частини врожаю у складі зернозбирального комбайна ДОН-1500Б є **економічно доцільним**. Це забезпечує:

- зменшення витрат на обробіток поля;
- підвищення ефективності машинно-тракторного парку;
- покращення агротехнічного стану ґрунтів;
- скорочення термінів збирання врожаю.

6. ВИСНОВОК

У процесі виконання цієї роботи було проаналізовано значення вирощування озимої пшениці та економічну цінність отриманої продукції. Встановлено переваги та недоліки існуючих технологій зернових, окреслено ключові проблеми в реалізації операцій прямого комбайнування та запропоновано шляхи його удосконалення. Особливу увагу приділено обробці незернової частини врожаю — запропоновано модернізувати конструкцію подрібнювача соломи, встановленого на зернозбиральному комбайні ДОН-1500. Це дозволяє підвищити ефективність роботи з рослинними рештками та впровадити у виробництво ресурсоощадні та ґрунтозахисні технології.

У межах технічного вдосконалення зернозбирального агрегату було розроблено оновлену конструкцію подрібнювача з розширеним комплектом молотків і ножів на протирізальному брусі. Завдяки таким технічним змінам значно підвищується якість подрібнення соломи навіть при збільшенні товщини шару подачі та в умовах підвищеної вологості. Це дає змогу повністю виконати чинні агротехнічні вимоги – зокрема, необхідного ступеня подрібнення незернової частини врожаю і рівномірного їх розподілу по площі поля. Доцільність внесених конструктивних рішень підтверджена обґрунтуваннями, наведеними у відповідних розділах.

Наукова частина дослідження базується на методиці багатофакторного експерименту. Проведено серію лабораторних та польових дослідів, результати яких були оброблені за методикою статистичного моделювання. На основі отриманих даних побудовано тривимірні графіки, які ілюструють взаємозв’язок між впливовими факторами на критерій оптимізації. В результаті визначено оптимальні значення найбільш впливових факторів. Зокрема, доведено, що при міжножовому зазорі 20…25 мм, частоті обертання валу подрібнювача 800…900 об/хв і подачі соломи 0,9…1,5 кг/с досягається сумарна ефективність роботи подрібнювача незернової частини врожаю на рівні 90…94 %, що суттєво перевищує показники серійних аналогів.

Список використаної літератури

1. Методичні рекомендації до оформлення випускної кваліфікаційної роботи здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / Васильковський О.М., Петренко Д.І., Васильковська К.В., Лещенко С.М., Мороз С.М. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 38 с.
2. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 3. Машини та обладнання для переробки зерна та насіння / Сисолін П.В., Петренко М.М., Свірень М.О. За ред. Черновола М.І. – К.: Фенікс, 2007. – 432 с.
3. Сільськогосподарські машини / В.Ю. Комаристов, М.М. Петренко, М.М. Косінов. – К.: Урожай, 1996. – 240 с.
4. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
5. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини: Підручник. – К.: Каравела, 2004. – 552 с.
6. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
7. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. / [Бендера І. М. та ін.] ; за ред. І. М. Бендери, А. В. Рудя, Я. В. Козія. – Кам’янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2011. – 640 с.
8. Кочев В.І., Кушнарьов А.С., Роговий В.Д. та ін. Довідник по регулюванню сільськогосподарських машини / За ред. В.І.Кочева. – 2-е видання, перероблене і доповнене – К.: Урожай, 1993. – 264 с.
9. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва / за ред. В. В. Адамчука, М. І. Грицишина. – Київ : Аграрна наука, 2012. – 416 с.

10. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / [Войтюк Д. Г. та ін.]; за ред. С. С. Яцуна. – [2-ге вид., перероб. і допов.]. – Суми: Сумський нац. аграр. ун-т, 2011. – 444 с.
11. Бабенко Д.В. Механіка матеріалів і конструкцій: практикум: навчальний посібник / Д.В. Бабенко, О.А. Горбенко, Н.А. Доценко. – Миколаїв: МНАУ, 2017. – 384 с.
12. Іванчук А.В. Деталі машин: Навч. посібник [для студ. вищ. пед. навч. закл.] / А.В. Іванчук. – Вінниця: ТОВ фірма «Планер», 2010. – 336 с.
13. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. – Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.
14. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. / [Бендера І. М. та ін.] ; за ред. І. М. Бендери, А. В. Рудя, Я. В. Козія. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2011. – 640 с.
15. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування / Під ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2001. – 382 с.
16. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / за ред. В. І. Кравчука, М. І. Грицишина, С. М. Коваля. – Київ: Аграрна наука, 2004. – 396 с.
17. Підручник дослідника. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. / Васильковський О.М., Лещенко С.М., Васильковська К.В., Петренко Д.І. – Кіровоград, Х.: Мачулін, 2016. – 204 с.
18. Основи наукових досліджень. Перші наукові кроки: Навч. посіб. для студ. агротехн. спец. / О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, К.В. Васильковська, Д.І. Петренко. – Харків: Мачулін, 2019. – 164 с. Режим доступу: http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10486
19. Приводи сільськогосподарської техніки : метод. рекомендації до викон. практ. робіт / [уклад.: В. А. Дейкун, С. М. Лещенко, Д.І. Петренко, Р.В.

Кісільов]; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. с.-г. машинобуд. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 67 с. http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/9359.

20. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. Машини сільськогосподарського виробництва – Тернопіль:, 2005. – 228 с.
21. Ільчук М.М., Зрібняк Л.Я., Мельник С.І. Організація і планування сільськогосподарського виробництва: Підручник – К.: Вища освіта, 2013. – 535 с.
22. Андрійчук В. Г. Економіка підприємств агропромислового комплексу: підручник /. В. Г. Андрійчук. – К. : КНЕУ, 2013. – 779 с.
23. Шелюк Л.Ю. Організація і планування діяльності аграрних формувань: Підручник. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 324 с.
24. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. За редакцією М.П. Гандзюка. – К.: Каравела, 2003.– 408 с.
25. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник. – Львів: Афіша, 2002.– 320 с.

ДОДАТКИ