

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра сільськогосподарського машинобудування

«Допущено до захисту»
Зав. кафедрою СГМ
д.т.н., професор
_____ Микола СВІРЕНЬ
«___» _____ 20 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

«Вдосконалення зернозбирального комбайна із дослідженням
подрібнювача незернової частини врожаю»

Виконав здобувач вищої освіти __ІІ__ курсу,
групи ГМ(СМ)-20М(1,9)
ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
_____ Лисенко Сергій Миколайович
«___» _____ 20 р.

Керівник проекту
доцент, канд.техн.наук
_____ Сергій ЛЕЩЕНКО
«___» _____ 20 р.
Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти _____

Галузь знань _____

Спеціальність _____

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Микола СВІРЕНЬ

«__» _____ 2022 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

	стор.
1. Вступ	6
2. Інженерна частина	7
3. Наукова частина	44
4. Охорона праці	53
5. Економічна частина	55
6. Висновок	58
Список використаної літератури	60
Додатки	62

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Вступ

При вирощуванні зернових колосових культур, на чому і спеціалізується значна кількість фермерських господарств України, однією із найбільш відповідальних операцій є кінцева операція збирання врожаю, що переважно відбувається методом прямого комбайнування. Для проведення операцій збирання зернових використовуються зернозбиральні комбайни різних конструкцій, технологічний процес роботи яких є подібним і полягає в поступовій реалізації операцій підрізання і обмолоту хлібної маси, попереднього очищення зерна культури, що збирається та відвантаження зібраного збіжжя у транспортні засоби. Більшість конструктивних та технологічних рішень перелічених процесів, характеризуються високою продуктивністю та якістю виконаних робіт. Окрему увагу потребують операції по роботі із незерновою частиною врожаю.

За існуючими класичними схемами роботи із незерновою частиною врожаю під час прямого комбайнування зернових культур можливе збирання соломи та полови у копнувачі комбайнів, укладання незернової частини врожаю у валок та подрібнення і розкидання подрібненої соломи і полови по поверхні поля. З врахуванням того, що сьогодні тваринницька галузь розвивається дуже кволо, а більшість господарств тваринництвом не займається взагалі питання збирання незернової частини врожаю з метою її подальшого використання у тваринництві є мало актуальним. Реалії сьогодення такі, що більш актуальним питанням є подрібнення і рівномірне розкидання незернової частини врожаю зернових культур по поверхні поля, що дозволяє після проведення подальшого обробітку ґрунту, використовувати подрібнені рослинні рештки у якості органічної речовини. З врахуванням чого, метою даної роботи є вдосконалення зернозбирального комбайна класичної схеми обмолоту із дослідженням подрібнювача незернової частини врожаю.

					ВЗКП 00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка		
Розроб.	Лисенко						
Перевір.	Лещенко						
Реценз.							
Н. Контр.	Васильковський						
Затверд.	Свірень						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						6	61
					ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)-20М(1,9)		

2. Інженерна частина

2.1. Опис конструкції та напрямки вдосконалення машини, яка модернізується

Основним призначенням зернозбиральних комбайнів є збирання зернових колосових культур. Якщо ж комбайни дообладнують спеціальними пристосуваннями, сферу їх використання вдається розширити та проводити збирання кукурудзи на зерно, проса, соняшника, рапсу, гречки, насіння ряду культур тощо. Під час проведення збиральних операцій комбайн послідовно проводить такі технологічні процеси: скошування чи підбирання раніше скошеної хлібної маси та її транспортування по робочим елементам збирального агрегату; обмолочування зерна із колосків рослин та сепарація обмолоченого зерна; очищення зерна від різноманітних домішок та його транспортування у бункери; збирання чи подрібнення незернової частини врожаю, її копнування або ж розкидання по поверхні поля. Всі зернозбиральні комбайни поділяються на самохідні та причіпні, а за типом молотильно-сепаруючих пристроїв – з класичною або ж аксіально-роторною молотаркою.

Для проведення операцій збирання зернових культур фермерські господарства України переважно використовують зернозбиральні комбайни класичної схеми роботи різних конструкцій. У багатьох господарствах, що не володіють достатньою кількістю фінансових ресурсів, часто для збирання зернових використовують застарілі комбайни класичної схеми обмолоту типу «Дон-1500Б» (рис. 1, 2).

Комбайн зернозбиральний «ДОН-1500Б» складається із жатної частини А (рис. 1), яка включає жатку, проставку Б і похилу камеру В, молотарки Г, бункера 10, копнувача 18, двигуна 8, трансмісії, ходової системи, гідросистеми, кабіни 6, органів керування, електрообладнання та електронної системи контролю за перебігом технологічного процесу загальним станом агрегату. На цьому ж комбайні замість копнувача можна встановлювати пристосування для подрібнення соломи та розподілення її по полю.

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

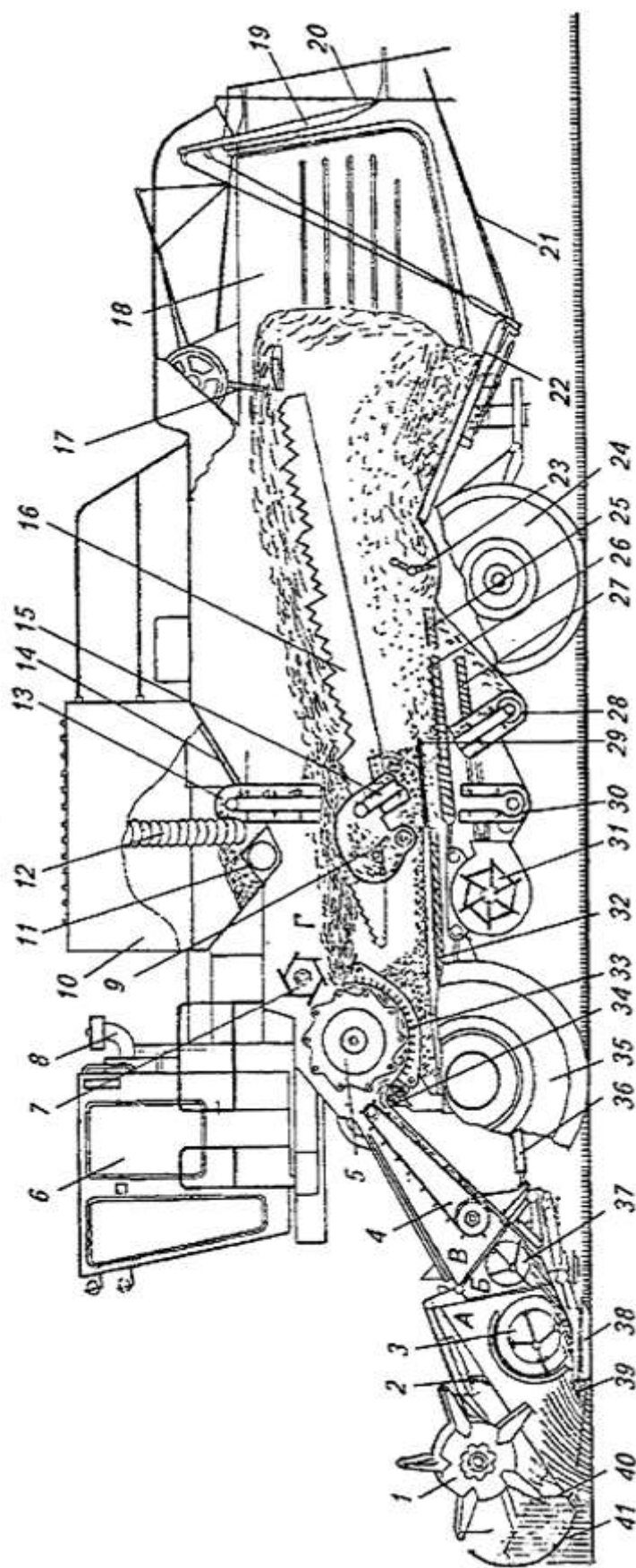


Рис. 1. Функціональна схема комбайна «Дон-1500Б»:

А – жатна частина; Б – проставка; В – похила камера; Г – молотарка;

1 – моторило; 2, 36 – гідроциліндри; 3 – шнек жатки; 4 – плаваючий транспортер; 5 – молотильний барабан;
6 – кабіна; 7 – відбійний бітер; 8 – двигун; 9 – домолочуючий пристрій; 10 – бункер; 11 – відвантажувальний
шнек; 12 – завантажувальний шнек; 13 – зерновий елеватор; 14 – вібробуджувач; 15 – колосовий елеватор;
16 – соломотрус; 17 – соломонабивач; 18 – копнувач; 19 – клапан копнувача; 20 – догчик; 21 – пальці; 22 – днище
копнувача; 23 – половонабивач; 24, 35 – колеса; 25 – подовжувач верхнього решета; 26 – верхнє решето;
27 – нижнє решето; 28 – колосовий шнек; 29 – пальцева решітка; 30 – зерновий шнек; 31 – вентилятор;
32 – транспортна дошка; 33 – підбарання; 34 – каменевловлювач; 37 – бітер проставки; 38 – копіюючі
башмаки; 39 – різальний апарат; 40 – граблини; 41 – подільник



Рис. 2. Загальний вигляд комбайна «Дон-1500Б»

Жатна частина комбайна з допомогою похилої камери В фронтально (попереду) приєднується до рами молотарки Г. Варто зазначити, що жатка з'єднується із проставкою Б шарнірно і може здійснювати коливальні рухи як у поздовжній так і у вертикальній площині. Саме така конструкція та спосіб з'єднання жатки із проставкою дозволяє під час руху башмаків 38 по поверхні поля якісно копіювати рельєф та підтримувати задану висоту зрізання рослин різальним апаратом 39.

На жатці встановлюються подільники 41, мотовило 1, різальний апарат 39, шнек 3, копіюючі башмаки 38, в проставці Б – бітер 37, а в похилій камері В – транспортер 4. Якщо комбайн працює в режимі підбирання валків на жатці встановлюють підбирач, для чого мотовило 1 знімають а різальний апарат 39 відключають.

Молотарка складається із таких основних частин та механізмів: молотильно-сепаруючого пристрою (МСП), який включає себе молотильний барабан 5, підбарабання 33 і відбійний бітер 7, соломотрусу 16, транспортної дошки 32, очистки, зернового 30 і колосового 28 шнеків, зернового 13 і колосового 15 елеваторів, домолочуючого пристрою 9, в якому

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлюється розподільчий шнек. Очистка комбайна розміщується під соломострусом, і складається із верхнього 26, нижнього 27 жалюзійних решіт, подовжувача решета 25 та вентилятора 31. На кришці молотарки встановлюється бункер 10, в який встановлюють завантажувальний 12 і вивантажувальний 11 шнеки.

На комбайн «ДОН-1500Б» встановлюють пневматичні колеса, причому передні колеса 35 є ведучими, а задні 24 – керуючими. Всі механізми і робочі органи комбайна приводяться в дію від двигуна 8. Роботою комбайна керує комбайнер за допомогою гідравлічної системи та відповідних органів керування, що розміщені в кабіні.

Порядок перебігу технологічного процесу роботи комбайна «ДОН-1500Б» Пальці підбирача, які змонтовані на жатці подають стебла із валків на платформу або ж мотовило 1 та вкладають хлібну масу на цю платформу, яка зрізається різальним апаратом 39. Шнек жатки 3 забезпечує звуження потоку хлібної маси і направляє її до бітера 37, від якого стеблі подаються до плаваючого транспортера 4. Нижня ланка транспортера переміщує хлібну масу в молотильний апарат. Молотильний барабан 5 під час швидкого обертання наносить удари по потоку хлібної маси, розтягує зібране збіжжя, переміщує цю масу по підбарабанню 33, за рахунок чого і відбувається обмолот.

Обмолочена комбайном хлібна маса є багатофракційною сумішшю, яка складається із зерна основної культури, соломи, полови та збоїни і різноманітних за розмірами і походженням домішок. Дрібні частинки грубого зернового вороху, зерно основної культури та полови називають традиційно дрібним зерновим ворохом. Переважна більшість компонентів зернового вороха, що складає близько 70...80% від загальної маси зібраного збіжжя під час обмолоту комбайном проходять крізь отвори підбарабання 33 і потрапляють на транспортну дошку 32.

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Солома та залишки зернового вороху з великою швидкістю відкидаються молотильним барабаном 5. Відбійний бітер 7 зменшує швидкість переміщення соломи та спрямовує її на соломотрус 16. Під час переміщення хлібної маси по пальцевій решітці, яка встановлена під бітером 7, відбувається подальше більш якісне виділення зерна із соломи. Бітер забезпечує неперервне відведення обмолоченої хлібної маси від молотильного барабана 5, що дозволяє уникнути намотуванню на нього стебел хлібів.

Ступінчасті клавіші соломотруса 16 під час здійснення кругових рухів забезпечують інтенсивне перетрушування соломи. Зерно основної культури та дрібні домішки просипаються крізь отвори клавіш і сходять по похилому дну на транспортну дошку 32. В свою чергу, гребінки клавіш просувають солому до виходу із молотарки.

Зерновий ворох, який виділений підбарабанням і соломотрусом по транспортній досці 32 спрямовується на верхнє жалюзійне решето 26 очистки. Зерно просипається крізь отвори решета і потрапляє на нижнє решето 27. Під решета спрямовується струмінь повітря від вентилятора 31, саме це повітря забезпечує винесення в копнувач 18 легкі домішки (дрібні частки соломи та полови). Очищене зерно, яке пройшло крізь нижнє решето, збирається в жолобі шнека 30, подається скребковим транспортером елеватора 13 до шнеку 12 та завантажується в бункер 10.

В процесі обмолоту частина колосків обломлюються від стебел та в такому необмолоченому стані потрапляють на очистку. Такі необмолочені колоски сходять із верхнього решета на подовжувач 25 та крізь його отвори просипаються на жолоб колосового шнека 28, який спрямовує на похилий транспортер (елеватор) 15, що далі відправляє колоски в домолочуючий пристрій 9. Обертаючий ротор домолочуючого пристрою 9 взаємодіючи із зубчастим підбарабанням забезпечує обмолот колосків і скидає обмолочене збіжжя на транспорту дошку 32 по всій її ширині. Далі цей обмолочений ворох

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подається на решето 26 очищення і саме на цьому етапі відбувається виділення із вороху зерна.

Крупні домішки (збоїна), які не пройшли крізь отвори подовжувача разом із легкими домішками (половою) видаляються із молотарки. Із бункера зерно вивантажується шнеком 11 під час руху комбайна або ж при його зупинках.

Для того, щоб забезпечити збір соломи і полови на комбайн навішують гідрофікований копнувач 18 або ж подрібнювач. В копнувач солома подається соломонабивачем 17, а половина – половонабивачем 23. Копна, що сформувалася автоматично викидається на поверхню поля. Комбайн, який оснащений подрібнювачем соломи здатен збирати подрібнену солому із половиною в причеплений позаду комбайна візок, вкладати рослинні рештки у валок або ж розкидати їх по поверхні поля.

Основні технічні характеристики комбайна «Дон-1500Б» зведені до таблиці 1.

Таблиця 1

Основні конструкторсько-технологічні параметри комбайна «Дон-1500Б»

Найменування показника	Одиниця виміру	Показник
1	2	3
Марка комбайна		РСМ-10
Загальноприйняте позначення		«Дон-1500Б»
Тип комбайна		колісний, самохідний, одnobарабанний, класичної схеми обмолоту
Габаритні розміри комбайну із жаткою, що має ширину захвату 6 м, в робочому положенні, не більше:	м	
- ширина		9,0
- довжина		12
- висота		4,2

Продовження таблиці 1

1	2	3		
Маса (конструкційна) комбайна разом із жаткою 6 м та копнувачем традиційної конструкції	кг	13300±400		
Дорожній просвіт агрегату, не менше	мм	370		
База	мм	3775±50		
Колія комбайна:	мм			
- ведучих коліс		2805±20		
- керуючих коліс		2900±20		
Швидкість руху збирального агрегату:	км/год			
- робоча		від 0 до 10		
- транспортна		від 0 до 20		
Жатка				
Тип		Фронтальна, шнекова, із реверсним пристроєм, та механізмом автоматичного копіювання рельєфу поля		
Ширина захвату жатки	м	6	7	8,6
Діапазон копіювання рельєфу поля:	мм			
- в поздовжньому напрямку		±150		
- в поперечному напрямку		±190	±230	±280
Величина зрізання рослин під час копіювання комбайном рельєфу поля	мм	50±15; 100±15; 145±15		
Мотовило комбайна		ексцентрикове універсальне із пружинними пальцями		
Маса жатки (без додаткових пристосувань)	кг	2107	2254	2490
Маса платформи-підбирача	кг	1205		
Навантаження на опорні колеса платформи-підбирача	Н (кгс)	100 (10)		
Ширина захвату платформи-підбирача	м	2,75		3,4
Молотарка				
Конструктивна ширина молотарки	мм	1500		

Продовження таблиці 1

1	2	3
Молотильний барабан комбайна		бильного типу із десятима бичами рифів лівого та правого напрямків
Параметри молотильного барабану: - довжина - діаметр - частота обертання	мм мм хв ⁻¹	1484 800 445±25; 900±45
Механізм регулювання частоти обертання молотильного барабану		клинопасовий варіатор
Спосіб контролю частоти обертання молотильного барабану		контролюється електронною системою
Підбарабання молотильного барабану		односекційне решітчасте із можливістю двостороннього використання
Тип відбиваючого бітера		шестилопатевий
Частота обертання бітера	хв ⁻¹	794
Тип соломотрусу		п'ятиклавішний
Робочі параметри соломотрусу: - площа сепарації - довжина клавіш - радіус колінвала - частота обертання ведучого валу	м ² мм мм хв ⁻¹	6,15 4100 60 199
Тип робочої поверхні соломотрусу		жалюзійна із каскадами та профільованою робочою поверхнею
Тип очистки		двохрешітна
Тип решіт очистки		жалюзійні, регульовані
Площа решіт: - верхнього - нижнього	м ² м ²	2,59 2,15
Вентилятор очистки		шестилопатевий
Частота обертання вентилятора	хв ⁻¹	від 340±40 до 1000±100
Тип елеваторів		скребкові із верхньою подачею

Продовження таблиці 1

1	2	3
Крок скребків зернового елеватора	мм	152
Крок скребків колосового елеватора	мм	228
Ширина скребка	мм	200
Частота обертання зернового шнека	об/хв	357
Частота обертання нижнього колосового шнека	об/хв	352
Частота обертання верхнього колосового шнека	об/хв	469
Частота обертання зернового похилого шнека	об/хв	346
Частота обертання домолочуючого пристрою	об/хв	1329
Конструкційні особливості бункера для зерна		з вібраційним дном та автоматичною сигналізацією його заповнення
Місткість бункера для зерна	м ³	6
Частота обертання горизонтального вивантажувального шнека	об/хв	434
Частота обертання похилого вивантажувального шнека	об/хв	667
Транспортер похилої камери		ланцюгово-планчастий плаваючого типу
Швидкість руху транспортера	м/с	3,2
Подрібнювач-розкидач рослинних решток		
Тип подрібнювача-розкидача		навісний
Маса подрібнювача-розкидача	кг	700±20
Тип подрібнюючого барабану		молотковий
Привід барабану		від молотарки
Діаметр барабану	мм	518
Частота обертання	об/хв	2810±50
Кількість ножів	шт	80
Місткість копнувача (якщо такий використовується)	м ³	14
Двигун		
Марка двигуна		ЯМЗ-238АК
Потужність двигуна номінальна	кВт	173
	к.с.	235
Експлуатаційна потужність двигуна	кВт	165
	к.с.	225

Загальновідомо, що під час реалізації технологій збирання врожаю, намагаються керуватись основами ресурсозбереження, максимально безвідходно використовувати вест об'єм вирощеного врожаю, включаючи і незернову його частину. Зважаючи на наведену інформацію варто відмітити, що сьогодні на різних етапах використання та вдосконалення комбайнів класичної схеми роботи, до яких відноситься і комбайн «Дон-1500Б», недостатньо уваги приділялося роботі із незерновою частиною врожаю. В багатьох випадках незернова частина використовується для потреб рослинництва, а якщо ж у господарстві тваринництво розвинуте слабо і не потребує цієї частини врожаю, то найбільш доцільно проводити подрібнення стеблової маси із подальшим її розподіленням по поверхні поля та заробкою у ґрунт, що дозволяє використовувати подрібнені рослинні рештки у вигляді органічних добрив. Виходячи із зазначеного, подрібнювачі рослинних решток зернозбиральних комбайнів мають забезпечувати подрібнення соломи на частки розміром від 5 до 3 см. Незернова частина врожаю, яка залишається на поверхні поля після комбайнування повинна бути якісно подрібнена і зароблена в ґрунт не пізніше ніж за 3 години після її розкидання дисковими боронами чи лушпильниками. Саме використання рослинних решток у якості органічних добрив дозволяє зекономити до 30% добрив під час вирощування сільськогосподарських культур у наступний період. Отже, питання покращення конструкції подрібнювача незернової частини врожаю комбайна «Дон-1500Б» є актуальним а якісне і ефективне проведення операцій подрібнення та рівномірного розподілення незернової частини врожаю по поверхні поля дозволяє комплексно вирішити питання використання рослинних решток у вигляді органічних добрив.

Для поліпшення роботи подрібнювача соломи комбайна «Дон-1500Б» варто забезпечити зменшення довжини часток стебел соломи та реалізувати більш рівномірне розподілення рослинних решток по поверхні поля. З цієї метою можна рекомендувати встановлення подрібнювача соломи в нижній

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

задній зоні комбайну, що дозволить уникнути забивання соломотрусів та дозволить збільшити довжину саморегулювальної заслінки. Такі зміни, в своїй сукупності, дозволять стабілізувати технологічне завантаження подрібнюючого барабану і вирівняє подачу подрібнених рослинних решток через конфузор комбайна.

2.2. Інженерні розрахунки

Для проведення розрахунків і обґрунтувань конструктивних параметрів, оцінки будови робочих органів та режимів роботи подрібнювача рослинних решток зернозбирального комбайна потрібно провести розрахунки, які дозволять отримати вихідні дані по роботі даного подрібнювача. З цією метою проведемо ряд інженерних розрахунків роботи зернозбирального комбайна «Дон-1500Б», результатом проведення яких і будуть вихідними даними для обґрунтування роботи подрібнювача.

2.2.1. Підбір жатки та розрахунок завантаження зернозбирального агрегату

Робоча ширина захвату жатки комбайна залежить від пропускної здатності комбайна, середньої швидкості роботи агрегату в полі під час збирання і вихідної характеристики збіжжя, що збирається а це фактично визначається співвідношенням між соломою і зерном у матеріалі, що подається до комбайна. Під час проведення розрахунків варто намагатися забезпечувати близьке до максимального завантаження молотарки, що можна досягти за умови, коли ширина захвату жатки дорівнює:

$$B = \frac{v \cdot q}{Q \cdot V_m},$$

де B – робоча ширина захвату жатки комбайна, м;

v – розрахунковий коефіцієнт, що враховує співвідношення зерна до соломи у хлібній масі, яка збирається. Цей коефіцієнт задається співвідношенням:

$$v = \frac{3}{3 + C},$$

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Z – вміст зерна у вихідному зрізаному збіжжі, од;

C – вміст соломи у зрізаному з поля врожаю, од;

q – паспортна пропускна здатність молотильних робочих органів комбайна, кг/с;

Q – дійсна середня врожайність конкретної культури, що збирається комбайном із поля, кг/м²;

V_m – робоча швидкість зернозбирального комбайна в полі під час збирання зернових, м/с.

Із достатньою для проведених розрахунків точністю та за загальноприйнятими співвідношеннями приймаємо, що співвідношення зерна до соломи під час збирання зернових культур становить:

$$Z : C = 1 : 1,5.$$

Враховуючи це, коефіцієнт, що визначає вміст зерна у хлібній масі дорівнює:

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

Під час збору врожаю зернових для розрахунків приймемо, що середня врожайність $Q = 40$ ц/га $= 0,4$ кг/м², пропускна здатність молотильних робочих органів $q = 10$ кг/с, робоча швидкість зернозбирального комбайна в полі $V_m = 1,8$ м/с. За таких вихідних умов, розрахункове значення ширини захвату жатки буде

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

Для підбору потрібної ширини захвату жатки потрібно вибрати із ряду існуючих жаток, а саме: 3,2; 4,1; 5; 6; 7; 10; 12; 15 м. За стандартною методикою приймаємо найближче більше значення, а отже, ширина захвату жатки комбайна «Дон-1500Б» дорівнює – $B = 6$ м.

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для проведення подальших розрахунків потрібно прийняти мінімальне та максимальне значення врожайності, що знаходиться в межах $Q_{\min} = 0,2$ кг/м²; $Q_{\max} = 0,6$ кг/м².

Виходячи із заданого діапазону врожайності зернових на етапі збирання можна знайти розрахункове значення потрібного діапазону швидкостей руху збирального агрегату для здійснення прямого комбайнування, що описується залежністю:

$$V_{\text{м max(min)}} = \frac{v \cdot q}{B \cdot Q_{\text{min(max)}}}.$$

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

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

Таким чином, в ході проведених розрахунків встановлено, що за умови співвідношення зерна до соломи у зібраному збіжжі $З : С = 1 : 1,5$ необхідна ширина захвату жатки комбайна становить $B = 6$ м. Швидкісні ж параметри роботи комбайна знаходяться в діапазоні значень $V_{\text{м min}} = 1,1$ м/с до $V_{\text{м max}} = 3,33$ м/с, за умови, що врожайність зібраної маси дорівнює $Q_{\min} = 0,2$ кг/м² до $Q_{\max} = 0,6$ кг/м².

2.2.2. Розрахунок параметрів і режиму роботи різального апарату

Під час своєї роботи різальний апарат комбайна повинен забезпечувати чисте і повне зрізання стебел зернових культур, як прямостоячих так і похилих, за умов заданої висоти скошування у всьому діапазоні робочих швидкостей руху збирального агрегату. Щоб забезпечити таке зрізання стебел різальний апарат повинен мати певну конструкцію та забезпечувати задані кінематичні режими роботи. Традиційно в якості різальних апаратів зернозбиральних комбайнів використовують стандартні сегментно-пальцеві апарати різних конструкцій. Тому завдання із вибору раціональної конструкції

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сегментно-пальцевого апарату зводиться до вибору конкретної конструкції та типу різального апарату і перевірці його параметрів і режимі роботи щодо відповідності до заданих режимів роботи.

У якості початкових вихідних даних для розрахунку різального апарату комбайну є максимальна швидкість руху зернозбирального агрегату V_{max} та мінімальна висота зрізання стебел зернових культур H_{min} . Весь процес розрахунку зводиться до вибору стандартних елементів різального апарату та обґрунтування частоти обертання кривошипу n , подачі h , величини вигину стебел тощо. Доведено, що достатньо добре на зернозбиральних комбайнах працюють сегментні апарати із верхньою насічкою леза, причому вкладиші пальців у яких виготовляють із гладким лезом за ГОСТ 158-74 (рис. 3). За довідниковими даними для таких сегментно-пальцевих різальних апаратів кут тертя стебла пшениці по лезу сегменту складає $\varphi_i = 32^\circ$, кут тертя по лезу вкладиша апарату – $\varphi_i = 16^\circ$, кут нахилу робочого сегменту різального апарату – $\alpha_1 = 34^\circ 45'$ та кут нахилу вкладиша різального апарату – $\alpha_2 = 0^\circ$.

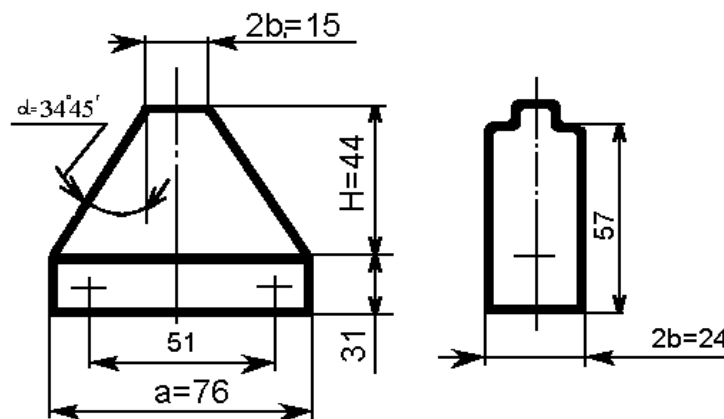


Рис. 3. Конструктивні параметри сегменту різального апарату комбайна

Для різальних апаратів сегментно-пальцевого типу нормального різання, що найчастіше використовуються у зернозбиральних комбайнах можна записати

$$S = t = t_0 = 76,2 \text{ мм.}$$

Перевіримо умову защемлення стебел пшениці різальною парою апарату, яка в загальному вигляді є такою:

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

$$30^\circ + 16^\circ \geq 34^\circ 45' + 0^\circ ;$$

Після розрахунків умова защемлення стебел наступна

$$46^\circ \geq 34^\circ 45'.$$

Виконання умови защемлення стебел пшениці підтверджує, що обрані сегменти та пальці різальних апаратів задовольняють необхідним умовам роботи та різання буде відбуватися. З тією метою щоб забезпечувалася задовільна якість зрізання стебел різальним апаратом потрібно щоб мінімальна швидкість ножа становила $V_{\min} = 1,5$ м/с. Мінімальна швидкість руху ножа різального апарату може спостерігатися на початку чи в кінці процесу різання.

Для визначення швидкості ножа сегментно-пальцевого різального апарату (рис. 4) при його зміщенні на відстань X від крайнього положення можна скористатися наступною формулою:

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

де V – лінійна швидкість руху ножа різального апарату, м/с;

ω – кутова швидкість кривошипу сегментно-пальцевого різального апарату, с-1.

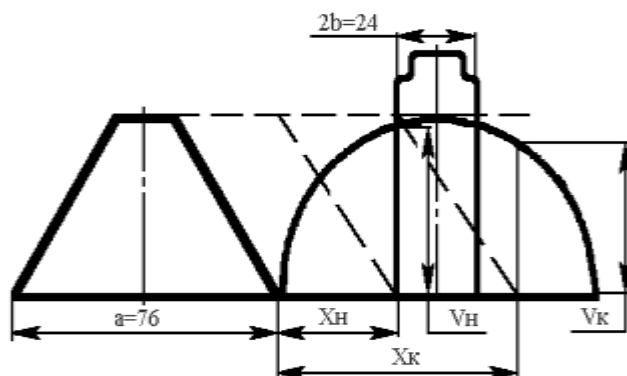


Рис. 4. Розрахункова схема до визначення швидкості ножа різального апарату

З метою розрахунку зміщення ножа різального апарату до початку та кінця різання виходячи із розрахункової схеми (рис. 4) потрібно скористатися співвідношеннями:

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

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

Після підстановки значень і розрахунків вище приведених формул маємо:

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

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

Врахуємо отримані значення зміщення ножа та підставимо їх до залежності із визначення швидкості ножа різального апарату, виходячи з чого отримаємо:

$$V_{n.p.} = \omega \cdot \sqrt{X_{n.p.} \cdot (S - X_{n.p.})};$$

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

У числовому вигляді останні залежності набувають вигляду

$$V_{n.p.} = \omega \cdot \sqrt{0,0262 \cdot (0,0762 - 0,0262)} = 0,0362 \cdot \omega \text{ м/с};$$

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

Як зазначалося вище, мінімальне значення швидкості ножа різального апарату повинно бути в кінці процесу різання та фізично ця швидкість має бути не меншою за 1,5 м/с, тобто швидкість в кінці процесу різання $V_{к.р.} = 0,033 \cdot \omega \geq 1,5 \text{ м/с}$.

Враховуючи наведену нерівність знайдемо колову швидкість кривошипу різального ножа

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

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Частоту обертання кривошипу можна знайти за відомою формулою:

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

$$n = \frac{30 \cdot 45,5}{3,14} = 435 \text{ об/хв.}$$

Важливою умовою відсутності ковзання стебел вздовж леза до вершини сегменту та недопущення висковзування стебел із ріжучої пари є умова, яка у символічному вигляді наступна:

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

$$\text{де } r = \frac{S}{2} = \frac{76,2}{2} = 38,1 \text{ мм} = 0,0381 \text{ м} - \text{радіус кривошипа різального апарату.}$$

$$\text{З врахуванням існуючих умов роботи } \operatorname{tg} \alpha_1 = \operatorname{tg} 34^\circ 45' = 0,694.$$

Підставимо отримані числові значення в умову не висковзування стебел із ріжучої пари сегментно-пальцевого різального апарату

$$0,694 > \frac{3,33}{45,5 \cdot 0,0381};$$

$$0,694 > 1,92.$$

Оскільки наведена умова не виконується, це значить, що при роботі комбайна на максимальній швидкості $V_{\text{м max}} = 3,33 \text{ м/с}$ і за умови, що кривошип різального апарату обертається із частотою $n = 435 \text{ об/хв}$ може відбуватися неповне зрізання стебел через їх висковзування з розхилу різальної пари апарату. Для уникнення цього явища слід підвищувати частоту обертання кривошипу. Таким чином потрібна частота обертання пов'язана із коловою швидкістю

$$\omega \geq \frac{V_{\text{м max}}}{r \cdot \operatorname{tg} \alpha_1} = \frac{3,33}{0,0381 \cdot 0,694} = 125,93 \text{ с}^{-1};$$

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

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримане значення частоти обертання кривошипа різального апарату забезпечить необхідні кінематичні режими роботи ножа за обраних робочих швидкостей. Після того, як вибрали робочу частоту обертання кривошипу знайдемо необхідну подачу, яка описується рівнянням:

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

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

Розраховане значення h є нижчим за допустимі граничні значення цього параметру для сегментно-пальцевих різальних апаратів нормального різання, який використовується для скошування рослин зернових культур комбайном $h_{\text{дон}} = 0,18 \dots 0,195$ м за умови, що висота зрізання стебел зернових знаходиться у діапазоні $H_x = 138 \dots 150$ мм.

Для визначення висоті стерні, яка забезпечується при роботі різального апарату на максимальній швидкості зрізання скористаємося формулою:

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

де H_x – висота встановлення різального апарату відносно поверхні поля, м;

δ – величина поперечного або ж поздовжнього зміщення стебел зернових при роботі апарату, м.

З метою визначення поперечного відгинання стебел варто скористатися залежністю:

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

Підставивши розраховані вище величини отримаємо

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

Для розрахунків поздовжнього відгинання стебел використаємо наступну емпіричну формулу:

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

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

де A – коефіцієнт, що враховує тип ріжучого апарату, для апарату нормального різання $A=1,29$.

З врахуванням наведених вище значень у числовому вигляді можна отримати

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

Після проведених розрахунків стає очевидним, що максимальний поперечний відгин соломин в кілька разів перевищує поздовжній, а отже і висота стерні зернових буде визначатися тільки цим поперечним відгином. Окрім зазначеного, переважна більшість стебел зазнає саме поперечного відгину, в той час як поздовжньому відгину піддається незначна кількість стебел. Таким чином, для визначення заданої висоти установки різального апарату відносно поверхні поля у рівняння потрібно підставляти значення поперечного відгину та мінімальної висоти стерні

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

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

Таким чином, проведені розрахунки дозволяють у якості різального апарату комбайна прийняти сегменті вкладиш за ГОСТ 158-74, у якого частота обертання кривошипу $n=1203$ об/хв, а ріжучий апарат має тип $S = t = t_0 = 76,2$ мм.

2.2.3. Розрахунок мотовила комбайна

Стебла рослин до ріжучого апарату комбайна підводять мотовилом, причому для якісної реалізації цього процесу потрібно щоб дійсна колова швидкість кожної із планок мотовила $U = \omega \cdot R$ має бути більшою за швидкість руху комбайна в полі V_m . Співвідношення наведених вище швидкостей має

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зв'язок із дійсною робочою швидкістю зернозбирального агрегату і описується рівнянням:

$$\frac{U}{V_{\text{м}}} = \lambda = 1,64 \dots 1,83.$$

Для забезпечення оптимальної роботи мотовила потрібно після вибору значення параметру λ розрахувати величину швидкості дії кожної планки мотовила на стебла зернових культур. За існуючими рекомендаціями ця швидкість не повинна перевищувати 0,6 м/с, адже при більшій швидкості може відбуватися обмолот зерна із колоска, що у символічному вигляді можна записати наступним чином $\omega \cdot R - V_{\text{м}} < 0,6$ м/с.

Виходячи з чого, діапазон можливих робочих швидкостей колової швидкості планок мотовила становить:

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

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

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

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

Проведені розрахунки підтверджують, що умова роботи планок мотовила забезпечена.

Таким чином доведено, що в потрібному робочому діапазоні швидкостей комбайна реальне значення колової швидкості планок мотовила зернозбирального агрегату має знаходитися в діапазоні від мінімальної $U_{\text{min}} = \omega_{\text{min}} \cdot R = 1,6$ м/с до максимальної $U_{\text{max}} = \omega_{\text{max}} \cdot R = 3,83$ м/с. Визначити радіус мотовила можна виходячи з того, що планка має діяти на стебло зернових приблизно в центрі його ваги, в протилежному ж випадку стебло, яке зрізається може перевалитися через планку мотовила та впасти на поверхню поля, тим самим збільшивши втрати. Для розрахунків можна вважати, що центр ваги стебла пшениці знаходиться приблизно на 1/3 його довжини від верху колоска (рис. 5). З врахуванням наведеної схеми по визначенню радіусу мотовила можемо записати нерівність:

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

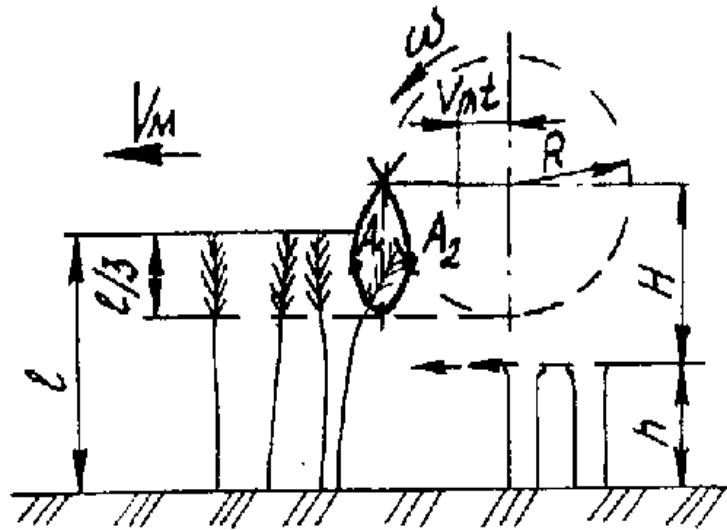


Рис. 5. Розрахункова схема по визначенню параметрів мотовила зернозбирального комбайна

$$R \leq \frac{1}{3 \cdot \left(1 - \frac{1}{\lambda_{\max}}\right)}.$$

В іншому вигляді остання нерівність має вигляд

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

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

З врахуванням чого, радіус мотовила

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

Після визначення радіусу мотовила, можна знайти діапазони колових швидкостей та частоти обертання мотовила комбайна.

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

$$\omega_{\max} = \frac{U_{\max}}{R} = \frac{3,83}{0,612} = 6,26 \text{ с}^{-1};$$

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

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

Отже, розрахунки доводять, що для якісної роботи мотовила комбайна варіатор має забезпечувати частоту обертання в діапазоні 25...42 об/хв.

Для визначення числа планок мотовила потрібно виходити із умови, що вісь мотовила має бути винесеною вперед з тією метою, щоб під час підведення планками стебел використовувалася повна ширина петлі трохоїди (рис. 5). Визначаємо кількість планок мотовила за формулою:

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

де η – коефіцієнт, що враховує взаємний вплив стебел зернових між собою під час їх підведення до ріжучого апарату, $\eta = 1...1,7$;

λ – показник кінематичного режиму мотовила, який можна визначити за

залежністю $\sin \varphi = \frac{1}{\lambda_{cp}} = \frac{1}{1,49} = 0,67$ та з врахуванням того, що

$\varphi = 0,736$ рад.

Під час розрахунків мотовила варто прийняти, що $\lambda_{cp} = \frac{\lambda_{\max} + \lambda_{\min}}{2}$.

Підставивши наведені значення у залежність для розрахунку кількості планок мотовила маємо:

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

Приймаємо після розрахунку 7 планок на мотовилі комбайна.

Для визначення максимального переміщення мотовила за висотою відносно його положення до різального апарату, враховуємо висоту

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

стеблостою хлібів, що збираються $L_{\max}$ та висоту установки ріжучого апарату відносно поверхні поля $h_{\min}$.

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

де $L_{\max}$ – максимальна висота хлібів, що збираються комбайном, $L_{\max} = 1$ м;

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

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

Мінімальна висота розміщення мотовила $H_{\min}$ повинна перевищувати радіус мотовила на величину, що забезпечує безперешкодне переміщення кожної його планки над платформою жатки

$$H_{\min} = R + (0,030 \dots 0,050) = 0,736 + 0,044 = 0,78 \text{ м.}$$

Максимальний виніс мотовила комбайна вперед відносно різального апарату знаходиться в залежності із його радіусом та показником кінематичного режиму та не повинен перевищувати

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

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

Для підймання полеглих хлібів на планках мотовила повинні забезпечуватися відхилення граблин вперед – 35° , назад – 15° .

2.2.4. Розрахунок соломотрясу комбайна та очистки

Оскільки метою даної кваліфікаційної роботи є вдосконалення подрібнювача незернової частини врожаю і решта робочих органів та елементів не будуть змінюватися а працюватимуть як і в серійному комбайні «Дон-1500Б» для обґрунтування вдосконалень достатньо провести розрахунок тих елементів конструкції, що визначають кількість та стан рослинних решток,

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

що підводяться до подрібнювача. Для цього проведемо розрахунок соломотрясу комбайна та очистки зернозбирального агрегату. Під час розрахунку соломотрясу потрібно підібрати радіус кривошипу та частоту обертання колінчастого валу, геометричні параметри соломотрясу (його довжину та ширину), кількість клавів та інші параметри, причому продуктивність соломотрясу має бути більшою за максимальну продуктивність молотарки, а втрати зерна не повинні перевищувати допустимі втрати, що регламентується агрономогами до операцій прямого комбайнування зернових.

На основі базових параметрів приймаємо радіус колінчастого валу $r_k = 50$ мм, номінальна частота обертання колінчастого валу соломотрясу знаходиться в діапазоні значень $n_k = 195 \dots 215$ об/хв. За існуючими рекомендаціями середня швидкість руху матеріалу під час транспортування по соломотрясі становить $V_c = 0,33 \dots 0,4$ м/с. Для розрахунків варто прийняти, що ширина соломотрясу є рівною робочій ширині молотильного барабану комбайна, а отже при пропускній здатності молотарки $q = 10$ кг/с, ширина молотарки і соломотрясу дорівнює $B_m = B_c = 1500$ мм. За існуючими серійними даними приймаємо чотирьохклавівний соломотряс комбайна із радіусом колінчастого валу $r_k = 50$ мм та його частотою обертання $n_k = 200$ об/хв. Для визначення довжини соломотрясу потрібно скористатися залежністю, яка враховує його продуктивність, що можна записати у вигляді:

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

де q_g – регламентовані допустимі втрати зерна після соломотрясу комбайна, кг/с;

$q_{з.п.}$ – фактична кількість зерна, що потрапляє після обмолоту на соломотряс, кг/с;

μ – коефіцієнт розділення (сепарації), m^{-1} .

Знаючи співвідношення у скошеній хлібній масі між вмістом зерна та соломи, що становить $З : С = 1 : 1,5$, та маючи пропускну здатність молотарки

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комбайна $q=10$ кг/с можна визначити кількість зерна, що потрапляє на обмолот

$$q_z = \frac{q}{3+C} \cdot 3;$$

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

Для розрахунку кількості зерна, яке просипається під час збирання через деку комбайна можна скористатися рівністю:

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

Ту кількість зерна, що після роботи молотарки потрапляє на соломотряс комбайна знаходимо за залежністю:

$$q_{z.n.} = q_z - q_o = 4 - 3,2 = 0,8 \text{ кг/с.}$$

Маючи допустимі втрати зерна за соломотрясом, які за чинними вимогами не повинні перевищувати 0,5...1,0% від всього зернового матеріалу, який потрапляє в молотарку агрегату, проведемо розрахунок дійсних втрат виходячи із максимально можливих, що не перевищують 0,5%

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

Значення коефіцієнту сепарації μ має прямий зв'язок із товщиною шару матеріалу, який очищається на соломотрясі. Якщо встановити, що товщина шару збіжжя на соломотрясі дорівнює $H_0 = 0,17$ м маючи задане співвідношення зерна до соломи у воросі $3:C = 1:1,5$ коефіцієнт сепарації знаходиться на рівні $\mu_0 = 1,8 \text{ м}^{-1}$. Якщо ж під час роботи комбайна на соломотряс матеріал потрапляє із іншою товщиною шару, то означений коефіцієнт шукається за формулою:

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

де m – коефіцієнт зміни товщини шару, $m = 0,8...1,2$.

Знайдемо товщину шару збіжжя на соломотрясі, враховуючи конкретні умови роботи

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H = \frac{q \cdot \left(1 - \frac{3}{3+C}\right)}{B \cdot \gamma \cdot V_c};$$

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

де γ – об’ємна вага матеріалу, яка опрацьовується на соломотрясі,
 $\gamma = 10 \dots 20 \text{ кг/м}^3$;

V_c – швидкість переміщення вороху по соломотрясі, $V_c = 0,4 \text{ м/с}$.

З врахуванням наведених даних та розрахунків коефіцієнт сепарації соломотряса в конкретних умовах роботи дорівнює:

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

Підставимо отримані значення у залежність для визначення коефіцієнту сепарації із врахуванням зміни товщини шару матеріалу отримаємо:

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

З останньої формули визначимо раціональне значення довжини соломотрясу

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

З метою розрахунку раціональних параметрів очистки зернозбирального комбайна потрібно виходити із кількості дрібного вороха, що за певний проміжок часу потрапляє на очищення, що можна описати формулою:

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

де q – подача скошеного жатною частиною збіжжя в молотарку комбайна,
 кг/с ;

ν – коефіцієнт, що характеризується вмістом зерна в скошеному збіжжі;

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

α – емпіричний коефіцієнт, який визначається режимом роботи молотарки комбайна та вологістю зібраного збіжжя.

Якщо подача в молотарку комбайна становить $q = 10$ кг/с, вологість хлібної маси, що збирається дорівнює $W = 15\%$, співвідношення у скошеному матеріалі зерна до соломи знаходиться за залежністю $3 : C = 1 : 1,5$ а коефіцієнт, який залежить від режиму роботи молотарки та вологості зібраного збіжжя $\alpha = 0,9$ то фактичне навантаження на очистку

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

Виходячи із максимально допустимого питомого навантаження на решето $q_F = 1,5 \dots 2,5$ кг/с·м² можна розрахувати потрібну площу решітної очистки, що описується рівнянням

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

Варто зазначити, що ширина решітного стану очистки комбайна обмежується робочою шириною молотарки та становить

$$B_p = (0,9 \dots 0,95) \cdot B_m ;$$

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

При відомих параметрах молотарки та знайденому ширині решета робоча довжина решета очистки дорівнює:

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

За відомою стандартною методикою розрахунку очистки комбайна приймаємо, що розміри нижнього решета є співрозмірними із розмірами верхнього.

З метою того, щоб чистота зерна після збирання комбайном складала не менше 98%, фактичне навантаження на одиницю ширини решета має бути не більшим $q_B = 1,5 \dots 1,7$ кг/с·м. Враховуючи те, що за технологією вирощування зернових передбачено проведення попереднього очищення

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зернових після їх збирання, існують рекомендації, за якими для підвищення продуктивності зернозбиральних агрегатів допускається зниження вимог до чистоти, яка може складати до 96%. В такому випадку зернове навантаження на ширину решета може збільшуватися до $q_B = 2,5...3,8$ кг/с·м. Для комбайна «Дон-1500Б» навантаження дорівнює

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

що не перевищує допустимі межі.

В результаті проведених розрахунків встановлені розміри решіт очистки комбайна, які складають $B_p \times L = 1350 \times 1660$ мм.

Розрахуємо геометричні параметри подовжувачів решіт, які визначаються довжиною пальців, що можна розрахувати за емпіричною залежністю:

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

Інші параметри очистки комбайна наступні: кут нахилу решіт до лінії горизонту – $0...2^\circ$; фактична відстань між пальцями подовжувача решіт – $12...15$ мм; показники колювання верхнього решета – $60...80$ мм; колювання нижнього решета – $30...40$ мм; частота колювань решітного стану очистки комбайна – $260...300$ об/хв; кут нахилу повітряного потоку, яким має продуватися матеріал під час руху каскадами – $25...30^\circ$. Швидкісні параметри повітряного потоку в зоні роботи решіт комбайна наступні: в передній зоні решіт – $5,8...6$ м/с; над середньою і задньою частинами решіт – $3,8...4$ м/с; в зоні каскадної системи очистки комбайна – $5...6$ м/с.

Стрясні дошки очистки комбайна повинні мати ступінчасту поверхню, що дозволяє уникнути ковзання зернового матеріалу назад та забезпечує здійснення коливальних рухів збіжжя разом із решетом очистки. В кінці стрясної дошки встановлюються пальцеві решітки, що дозволяють забезпечити відведення крупних соломистих домішок в середню зону решета. Таке відведення створює сприятливі умови для ефективного просіювання

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

крізь отвори основного вороха. Ширину вихідного вікна вентилятора очистки комбайна варто прийняти рівною ширині решета

$$B_B = B_p = 1,35 \text{ м.}$$

Для знаходження висоти вихідного вікна вентилятора потрібно скористатися формулою:

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

де Q – витрати повітря в робочій зоні очистки, $Q = 1,04 \cdot Q_B = 1,04 \cdot 6,4 = 6,656$ м³/с.;

V_B – середня швидкість повітряного потоку в зоні виходу із вентилятора,
 $V_B = 8...12$ м/с.

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

З іншої сторони, варто мати на увазі, що повітря має обдувати решето по всій його довжині. Враховуючи цю вимогу, висота вихідного вікна вентилятора задається наступною емпіричною залежністю:

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

де L – знайдена раніше довжина решета, м;

a – розмір, що визначається конструктивно, за рис. 6 $a \approx 100$ мм;

β – кут розширення струменів повітря в зоні вихідного вікна вентилятора,
 $\beta = 12...16^\circ$;

δ – кут нахилу повітряного потоку до решета очистки комбайна,
 $\delta = 25...30^\circ$;

K_0 – коефіцієнт, що задається відхиленням потоку повітря робочим решетом, $K_0 = 0,5...0,6$.

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Таким чином, після співставлення обох розрахованих значень H_B варто забезпечити, щоб отримане за другою залежністю значення було меншим за отримане за попередньою формулою. В нашому випадку це твердження є дійсним. У іншому ж випадку потрібно збільшувати розмір a (рис. 6).

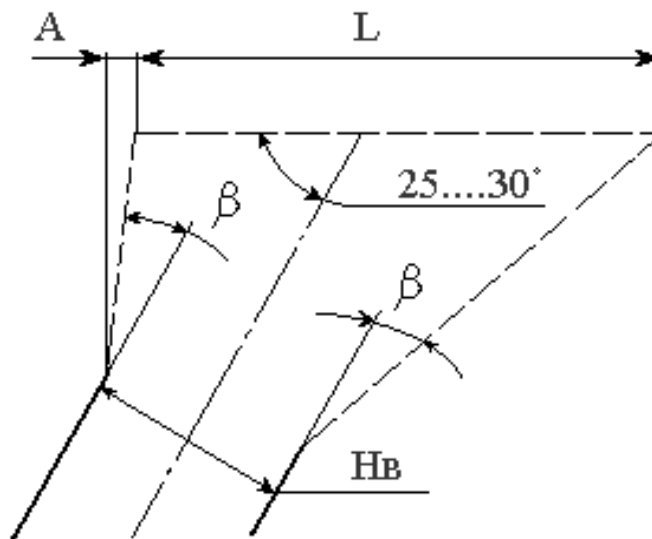


Рис. 6. Конструктивні параметри вихідного вікна вентилятора зерноочистки комбайна

Розрахуємо динамічний тиск, що створюється вентилятором

$$H_d = \frac{\rho \cdot V_B^2}{2},$$

де ρ – густина повітря, яким очищається врожай, $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$;

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

Статичний тиск в системі очистки, що створюється вентилятором знаходиться за формулою:

$$H_{cm} = \frac{1 - K^2}{K^2} \cdot H_d,$$

де K – коефіцієнт статичного тиску, $K = 0,35 \dots 0,4$.

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

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

Таким чином, повний тиск повітря, що створюється вентилятором дорівнює:

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

Далі можна розрахувати теоретичний тиск, за умови що ККД вентилятора очистки комбайна $\eta = 0,5$

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

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

Знайдемо діаметр вхідного отвору вентилятора очистки за відомою залежністю:

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

де Q – витрати повітря, що знайдені вище, $\text{м}^3/\text{с}$;

n – дійсна частота обертання вентилятора, що знаходиться в діапазоні значень $n = 450 \dots 1000$ об/хв, для розрахунків та виходячи із будови механізму передач комбайна приймаємо $n = 725$ об/хв.

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

Проведемо розрахунки інших параметрів вентилятора. Для визначення зовнішнього діаметру колеса вентилятора можна скористатися рівнянням:

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

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

Внутрішній діаметр колеса вентилятора пов'язаний із зовнішнім залежністю

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Розрахуємо загальну потужність, що витрачається вентилятором на створення повітряного потоку

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

де η_n – ККД механізму приводу вентилятора очистки комбайна,
 $\eta_n = 0,95 \dots 0,98$.

$$N = \frac{6,656 \cdot 1469,4}{0,95} = 10295,1 \text{ Вт} \approx 10,29 \text{ кВт.}$$

Відомо, що швидкість повітряного потоку вентилятора очистки комбайна напряму залежить від властивостей зернового вороху, що збирається, вологості, засміченості та інших показників. Тому в конструкції комбайна має бути передбачено пристрій для зміни швидкості повітряного потоку в певному діапазоні значень. З цією метою в зернозбиральних комбайнах рекомендується використовувати варіатор, що безступінчасто регулювати частоту обертання вентилятора, а отже і швидкість повітряного потоку в робочій зоні очистки.

2.2.5. Модернізація подрібнювача незернової частини врожаю

Після обмолоту та очистки вся незернова частина врожаю потрапляє в зону виходу із комбайна в задній його частині. Для подрібнення і розподілення рослинних решток по поверхні поля пропонуємо використовувати вдосконалений дисковий подрібнювач соломи, схема якого приведена на рис. 7. Принцип роботи вдосконаленого подрібнювача наступний: вся незернова частина врожаю після обмолоту із соломотрясу під власною вагою подається до корпусу 1 на заслінку 2 та подається порціями на молотки подрібнюючого барабана 3, який обертається із певною кутовою швидкістю, ці ж молотки повітряним потоком спрямовують солому і рослинні рештки на брус із протирізальними ножами, за рахунок цього протягування матеріалу між ножами і протирізальними пластинами відбувається подрібнення маси і її

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спрямування на підпружинений дефлектор, який вирівнює та розсіює потік подрібнених часток незернової частини врожаю по ширині захвату комбайна на стерню по поверхні поля.

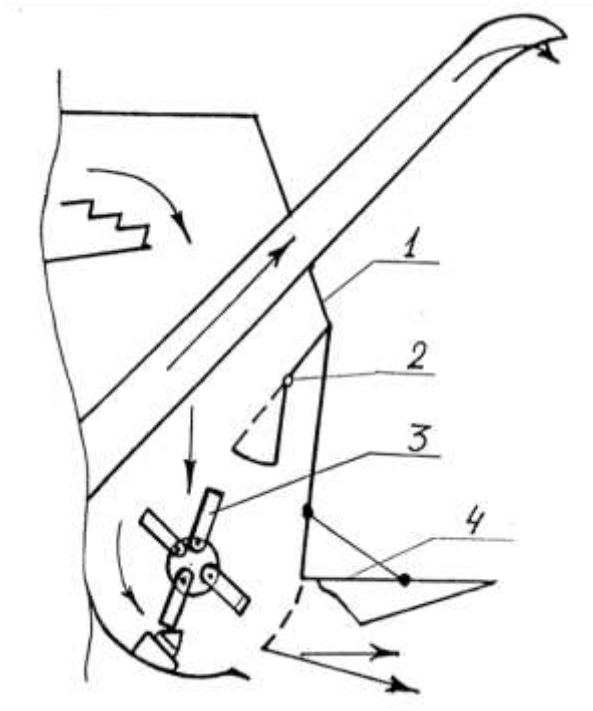


Рис. 7. Схема вдосконаленого подрібнювача незернової частини врожаю комбайна «Дон-1500Б»:

1 – подовжена задня стінка комбайна; 2 – заслінка, яка регулює потік незернової частини врожаю; 3 – подрібнюючий барабан із збільшеним числом молотків; 4 – задній регульований дефлектор

Для обґрунтування можливості роботи вдосконаленого подрібнювача незернової частини врожаю проведемо розрахунок зварного з'єднання, яким закріплюється поворотна заслінка, що кріпиться на двох тягах, які мають вигляд приварених вух із лівого та правого боку. Цей зварний шов отримано шляхом ручного зварювання електродом Е-42 за ГОСТ 5264-69. Сам зварний шов є двостороннім тавровим із катетом шва $k = 0,005$ м та загальною його довжиною $l = 0,12$ м. З боку рами на елемент кріплення прикладена сила P , яка дорівнює 10 кН. Загальна розрахункова схема зварного з'єднання наведена на рис. 8.



Рис. 8. Розрахункова схема зварного з'єднання подрібнювача незернової частини врожаю комбайна «Дон-1500Б»

Проведемо розрахунок зусилля розтягу, що має місце на зварному шві, яке можна знайти за формулою:

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

де ε'_{cp} – напруженість зварного шва на його зріз, МПа;

P – сила, що діє на елемент кріплення, Н;

k – катет зварного шва (за рис. 8), м;

l – довжина зварного шва, м.

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

Для того, щоб умова міцності виконувалася має справджуватися нерівність

$$\tau'_{cp} \leq [\tau_{cp}].$$

Так як деталі які зварюються виготовляються із матеріалу Ст3, для якої $[\sigma_p] = 160$ МПа, за таких умов $[\tau_{cp}] = 0,6 \cdot [\sigma_p] = 0,6 \cdot 160 = 96$ МПа. А отже, умова міцності виконується.

Проведемо розрахунок осі кріплення ножа на її зрізання (рис. 9). Під час роботи ножа виникає сила P , дія якої сприяє виникненню напруженості зрізання та зминання на довжині l .

Для забезпечення працездатності цієї осі мають виконуватися умови міцності на зрізання і зминання, що мають вигляд:

$$\tau'_{cp} \leq [\tau_{cp}]; \quad \tau'_{zm} \leq [\tau_{zm}].$$

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

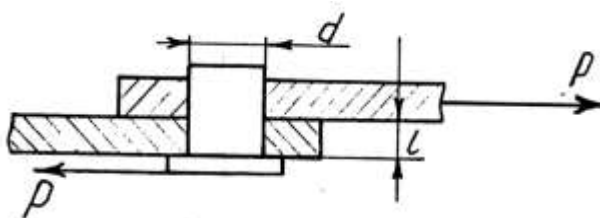


Рис. 9. Розрахункова схема осі на зрізання та зминання

Оскільки ось виготовляється із матеріалу Ст 3, для якої $[\tau'_{cp}] = 50$ МПа, $[\tau'_{cm}] = 135$ МПа.

Для визначення фактичного значення напруги зрізання, що виникає в осі під час роботи скористаємося залежністю:

$$\tau'_{cp} = \frac{P}{\left(2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)},$$

де P – сила, що діє на одну точку з'єднання, Н;

d – діаметр осі, відносно якої ведуться розрахунки, м.

$$\tau'_{cp} = \frac{10000}{2 \frac{3,14 \cdot 0,03^2}{4}} = 7,14 \text{ МПа.}$$

Проведені розрахунки доводять, що умови міцності як на зрізання так і на зминання виконуються, а отже працездатність з'єднання ножа за допомогою осі забезпечена.

Вал подрібнювача незернової частини врожаю встановлюється на підшипникових опорах, тому проведемо розрахунок різьбового кріплення підшипникової опори до боковини комбайна. Це з'єднання забезпечується шляхом кріплення підшипникової опори до боковини гайкою М12. Під час кріплення опори означені гайки (рис. 10) закручують із зусиллям $P_p = 250$ Н стандартним гайковим ключем $l = 0,2$ м. За таких умов стержень боковини зазнає розтягу осьовою силою F , а закручування гайки забезпечується прикладеним моментом сил тертя в різьбовому з'єднанні T_p . Варто зазначити,

що останній продовжує діяти на стержень навіть після закінчення затягування гайки.

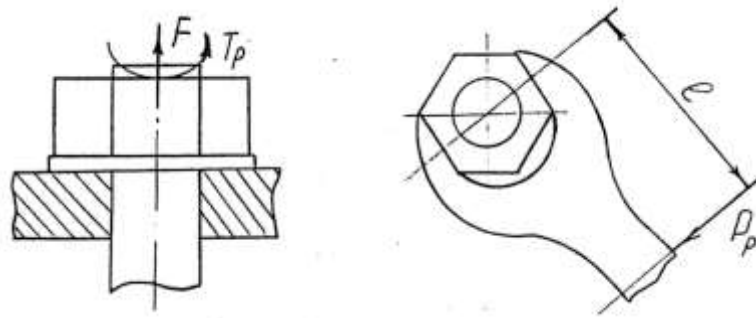


Рис. 10. Розрахункова схема різьбового з'єднання

Задаємо вихідні характеристики різьбового з'єднання, що розраховується:

- внутрішній діаметр різьби $d_p = 0,010$ м;
- діаметр опорної поверхні гайки (усереднений) $d_m = 0,0206$ м;
- середній діаметр різьби $d_2 = 0,011$ м;
- кут підйому різьби $\beta = 3^\circ 12'$;
- зведений кут тертя в різьбовому з'єднанні $\varphi' = 10^\circ 91'$;
- дійсний кут профілю різьби $\alpha = 60^\circ$;
- коефіцієнт тертя на торцях гайки в різьбовому з'єднанні $f = 0,15$.

Для забезпечення працездатності різьбового з'єднання повинна виконуватися умова міцності, яка має вигляд:

$$\sigma_{екв} \leq [\sigma_p],$$

де $[\sigma_p]$ – допустима напруженість розриву, МПа, яка пов'язана із межею міцності матеріалу

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

σ_T – межа міцності матеріалу, яка в даному випадку визначається границею текучості матеріалу, що для Сталі 40Х, з якої виготовляють гаку складає $\sigma_T = 784$ МПа.

Тоді допустима напруженість розриву складає

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

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

Щоб розрахувати нормальну напруженість стержня скористаємося відомою формулою:

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

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

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

$$M_3 = P_p \cdot l;$$

$$M_3 = 250 \cdot 0,2 = 50 \text{ Н·м;}$$

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

$$\sigma = \frac{4 \cdot 1818}{3,14 \cdot 0,010^2} = 231 \text{ МПа.}$$

З ціллю визначення дотичної напруженості в стержні потрібно скористатися рівнянням:

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

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

Тоді відповідно еквівалентне напруження дорівнює

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

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

Умова міцності $\sigma_{екв} \leq [\sigma_p]$, у числовому вигляді $349 \text{ МПа} \leq 470 \text{ МПа}$, а отже умова міцності виконується, а матеріалом для виготовлення є Сталь 45Х.

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.6. Короткі висновки по інженерній частині

Отже, під час проведення розрахунків, які наведені в інженерній частині, обґрунтовані основні конструктивні та технологічні параметри комбайна «Дон-1500Б», зокрема ті, що відносяться до роботи комбайна із незерновою частиною врожаю. Встановлено, що існуючі конструкції подрібнювачів соломи та інших рослинних решток, що використовуються у зернозбиральних комбайнах, не в повній мірі відповідають чинним вимогам щодо якості подрібнення незернової частини врожаю та рівномірності розподілу обробленого матеріалу по поверхні поля. Окрім якісних показників роботи комбайнових подрібнювачів соломи незадовільною залишається і енергетика процесу, а сама конструкція подібних пристосувань характеризується заскладною будовою, налаштуваннями та ускладненим обслуговуванням. В ході проведення вдосконалень запропоновано модернізовану конструкцію подрібнювача рослинних решток, який встановлюється в нижній частині комбайна на виході із нього незернової частини врожаю і відрізняється підвищеною кількістю молотків-подрібнювачів, які мають оригінальну конструкцію та забезпечують більш якісне подрібнення та розподіл соломи та полови по поверхні поля без підвищення енерговитрат.

3. Наукова частина

3.1. Мета і задачі експериментальних досліджень

Сьогодні відомо про цілий ряд досліджень як теоретичного так і експериментального характеру, що намагаються вирішити питання інтенсифікації та поліпшення якості подрібнення і розподілення незернової частини врожаю зернозбиральними комбайнами різноманітних конструкцій. Варто відмітити, що в реальних польових умовах задача визначення раціональної конструкції подібних пристосувань, їх режимів роботи та показники надійності виконання технологічного процесу за різних умов роботи є проблемним і до кінця не вирішеним питанням. Виходячи із

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

наведеної інформації, питання експериментального дослідження подрібнювача незернової частини врожаю комбайна «Дон-1500Б» з метою встановлення раціональних конструктивних параметрів і режимів роботи та адаптації конструкції подрібнювача до дійсних польових умов та культури, що збирається є актуальною задачею, яка дозволяє суттєво підвищити ефективність використання комбайнів при збиранні зернових культур.

Мета дослідження – підвищення ефективності подрібнення незернової частини врожаю комбайном із класичною схемою обмолоту шляхом вдосконалення конструкції подрібнювача соломи та обґрунтування його конструкторсько-технологічних параметрів.

Об’єкт дослідження: процес подрібнення незернової частини врожаю комбайном класичної схеми обмолоту.

Предмет дослідження: закономірності, що характеризують конструктивні та технологічні параметри подрібнювача незернової частини врожаю комбайном класичної схеми обмолоту.

Після проведених в інженерній частині розрахунків і обґрунтувань, проведеного огляду конструкцій подрібнювачів незернової частини врожаю та напрямків їх вдосконалення, сформульовані такі **задачі досліджень**:

- проаналізувати та систематизувати існуючі конструкції та напрямки вдосконалення подрібнювачів незернової частини врожаю, що працюють в різних зернозбиральних комбайнах;
- керуючись наведеними конструктивними рішеннями та систематизувавши ідеї щодо вдосконалення подрібнювачів соломи комбайном обґрунтувати вдосконалену конструкцію подрібнювача незернової частини врожаю та отримати раціональні параметри і режими роботи;
- обґрунтувати експериментально основні конструктивні та технологічні параметри подрібнювача незернової частини врожаю комбайном «Дон-1500Б».

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

3.2. Організація проведення експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження проводилися на полях базового господарства під час яких відбувалося пряме комбайнування озимої пшениці комбайном «Дон-1500Б», конструкція подрібнювача незернової частини врожаю якого виконана таким чином, щоб можна було змінювати режими роботи цього подрібнювача та вносити певні зміни до його конструкції.

Перед тим як почати роботу комбайна під час проведення експериментальних досліджень потрібно провести ряд стандартних регулювань перед роботою, що проводяться із зернозбиральним комбайном. Ті регулювання, які безпосередньо відносяться до подрібнювача незернової частини врожаю наступні:

- запустити всі системи комбайна в тому числі і подрібнювач незернової частини врожаю вхолосту без навантаження;
- провести основні регулювання, зокрема установку протирізального бруса, закріплення молотків ножів, легкість обертання валу подрібнювача, виставити задану частоту його обертання тощо;
- забезпечити проведення пробного проходу, оцінити якість роботи та за потреби внести корегуючі регулювання систем комбайна, що працюють із незадовільними показниками якості виконання процесу.

Під час проведення експериментальних досліджень всі експерименти проводилися із трикратною повторюваністю. Результати досліджень опрацьовували за загальноприйнятою стандартною методикою використовуючи планування багатofакторного експерименту. Для спрощення і пришвидшення обробки результатів застосовували систему прикладних програм STATISTICA 12, результати проведених робіт наведені нижче.

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3. Результати факторного експерименту по дослідженню ефективності роботи подрібнювача незернової частини врожаю

Керуючись класичною методикою проведення багатофакторного експерименту для оцінки якості роботи подрібнювача незернової частини врожаю комбайна були обрані такі найбільш впливові фактори:

- відстань між ножами на барабані-подрібнювачі та протирізальній пластині b , мм;
- подача незернової частини врожаю на подрібнення Q , кг/с;
- частота обертання валу подрібнювача n , об/хв.

Рівні та інтервали варіювання факторів, що є найбільш впливовими на процес подрібнення незернової частини врожаю подрібнювачем комбайна зведено до таблиці 2.

Таблиця 2

Фактори та їх рівні варіювання під час проведення експериментальних досліджень

№	Фактори		Рівні варіювання		Інтервал варіювання
	Найменування	Позначення	Верхній (+)	Нижній (-)	
1	Відстань між ножами на барабані подрібнювачі та протирізальній пластині b , мм	x_1	40,0	10,0	15
2	Подача збіжжя на подрібнення Q , кг/с	x_2	4	0,8	1,6
3	Частота обертання валу подрібнювача n , об/хв.	x_3	900	300	300

Порядок складання матриці планування експериментальних досліджень

Матрицю планування експерименту реалізували в системі STATISTICA 12 у вигляді $n = 2^3 = 8$. Для реалізації всієї процедури планування експериментальних досліджень в пакеті прикладних програм проводили послідовну реалізацію наступних процедур (рис. 11).

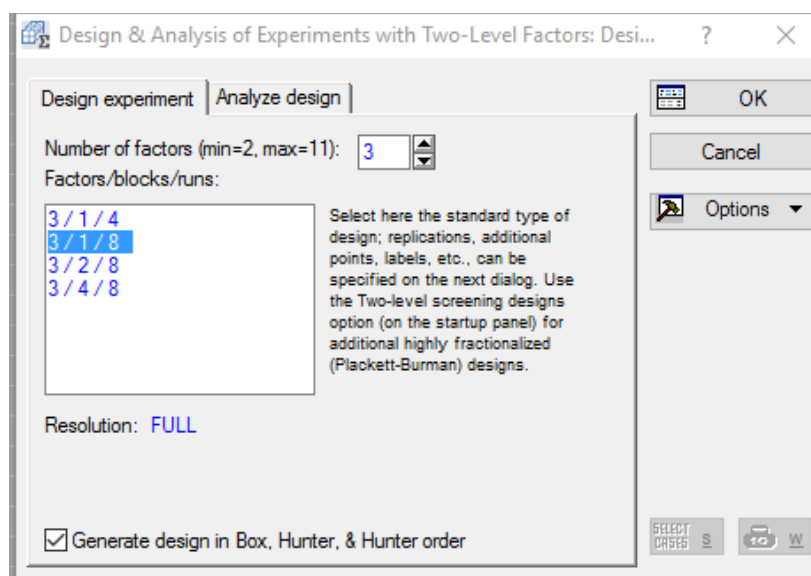
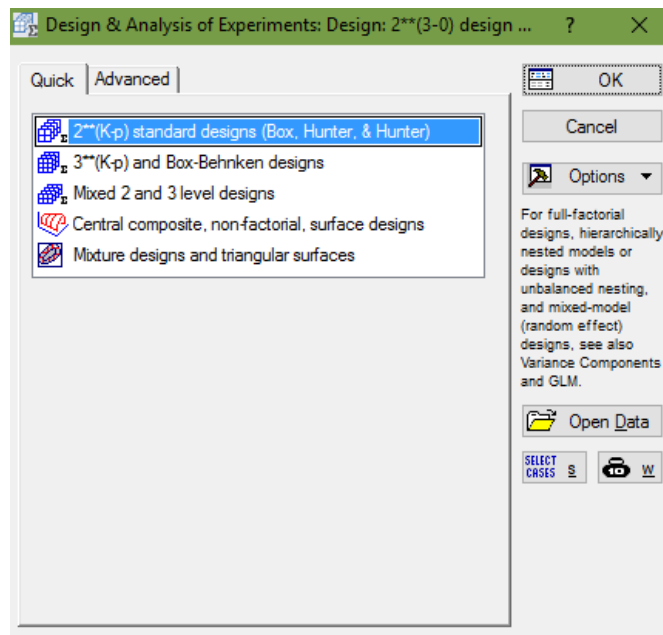


Рис. 11. Реалізація процедури планування факторного експерименту в пакеті програм STATISTICA 12

Після компіляції на комп'ютері зазначених процедур вводили рівні варіювання наведених вище в таблиці 2 факторів. Критерієм оптимізації Y , яким оцінювали якість робіт є відсоток отриманих часток необхідного чи меншого розміру, що були отримані в результаті подрібнення та розподілення по поверхні поля незернової частини врожаю за умови відсутності забивань подрібнювача. Результати проведених дослідів представлено у вигляді матриці проведеного експерименту, який реалізовано із трикратною

повторністю, а результати наведені і вигляді середнього значення реалізації досліджень (рис. 12).

	1	2	3	4
	b, мм	Q, кг/с	n, об/хв	Y
1	10	0,8	300	85
2	40	0,8	300	83
3	10	4	300	75
4	40	4	300	72
5	10	0,8	900	96
6	40	0,8	900	92
7	10	4	900	88
8	40	4	900	84

Рис. 12. Таблиця результатів досліджень ефективності подрібнення незернової частини врожаю вдосконаленим подрібнювачем

Наведемо табличний результат експериментальних досліджень (рис. 13), який отримано в системі програм STATISTICA 12

Effect Estimates: Var.: Y; R-sqr=.99972; Adj.:.99806 (Spreadsheet1) 2**(3-0) design; MS Residual=.125 DV: Y										
Factor	Effect	Std. Err.	t(1)	p	-95, % Cnf. Limit	+95, % Cnf. Limit	Coeff.	Std. Err. Coeff.	-95, % Cnf. Limit	+95, % Cnf. Limit
Mean/Interc.	84.37500	0.125000	675.0000	0.000943	82.7867	85.96328	84.37500	0.125000	82.78672	85.96328
(1)b, мм	-3.25000	0.250000	-13.0000	0.048875	-6.4266	-0.07345	-1.62500	0.125000	-3.21328	-0.03672
(2)Q, кг/с	-9.25000	0.250000	-37.0000	0.017202	-12.4266	-6.07345	-4.62500	0.125000	-6.21328	-3.03672
(3)n, об/хв	11.25000	0.250000	45.0000	0.014145	8.0734	14.42655	5.62500	0.125000	4.03672	7.21328
1 by 2	-0.25000	0.250000	-1.0000	0.500000	-3.4266	2.92655	-0.12500	0.125000	-1.71328	1.46328
1 by 3	-0.75000	0.250000	-3.0000	0.204833	-3.9266	2.42655	-0.37500	0.125000	-1.96328	1.21328
2 by 3	1.25000	0.250000	5.0000	0.125666	-1.9266	4.42655	0.62500	0.125000	-0.96328	2.21328

Рис. 13. Табличний результат досліджень оцінки якості роботи подрібнювача незернової частини врожаю

Аналізуючи отримані табличні результати досліджень є змога отримати статистичну математичну модель впливу обраних факторів на ефективність подрібнення незернової частини врожаю подрібнювача зернозбирального комбайна, яка має вигляд:

$$Y = 84,375 - 1,625x_1 - 4,625x_2 + 5,625x_3 - 0,125x_1x_2 - 0,375x_1x_3 + 0,625x_2x_3$$

Наведене рівняння регресії перевірено за стандартною методикою на відтворюваність і адекватність, а коефіцієнти рівняння регресії на їх значущість. На основі цього ж рівняння можна побудувати поверхні відгуку та лінії рівного виходу для візуальної оцінки результатів експерименту (рис. 14...16).

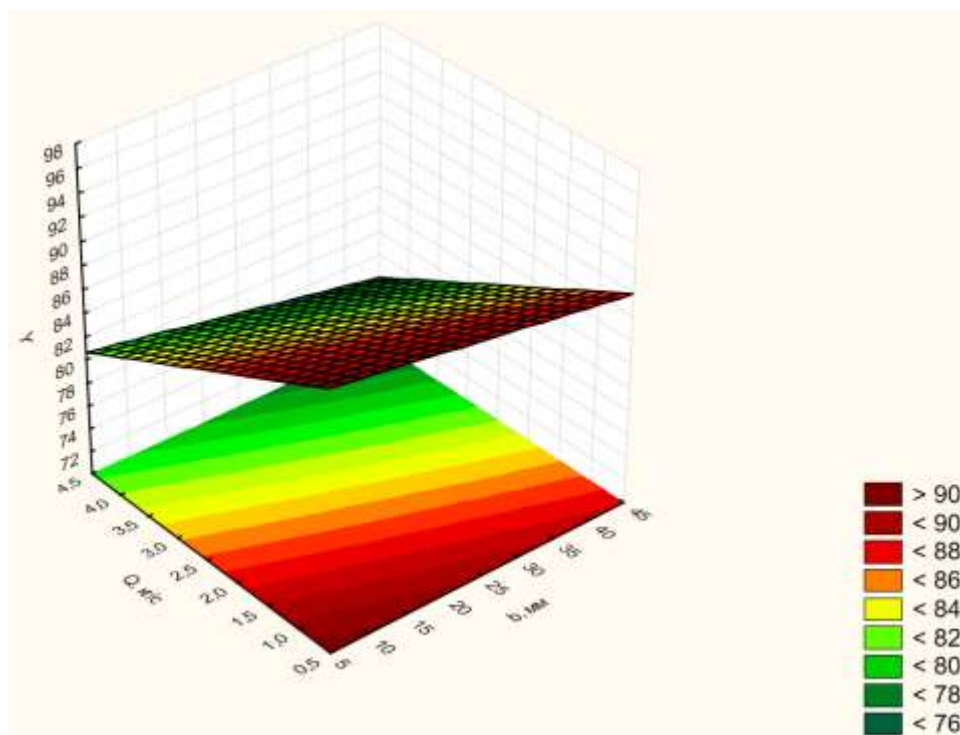


Рис. 14. Поверхня відгуку $Y = f(x_1, x_2)$ впливу відстані між ножами на барабані подрібнювачі та протирізальній пластині b та подачі збіжжя на подрібнення Q на критерій оптимізації Y (ефективність подрібнення незернової частини врожаю)

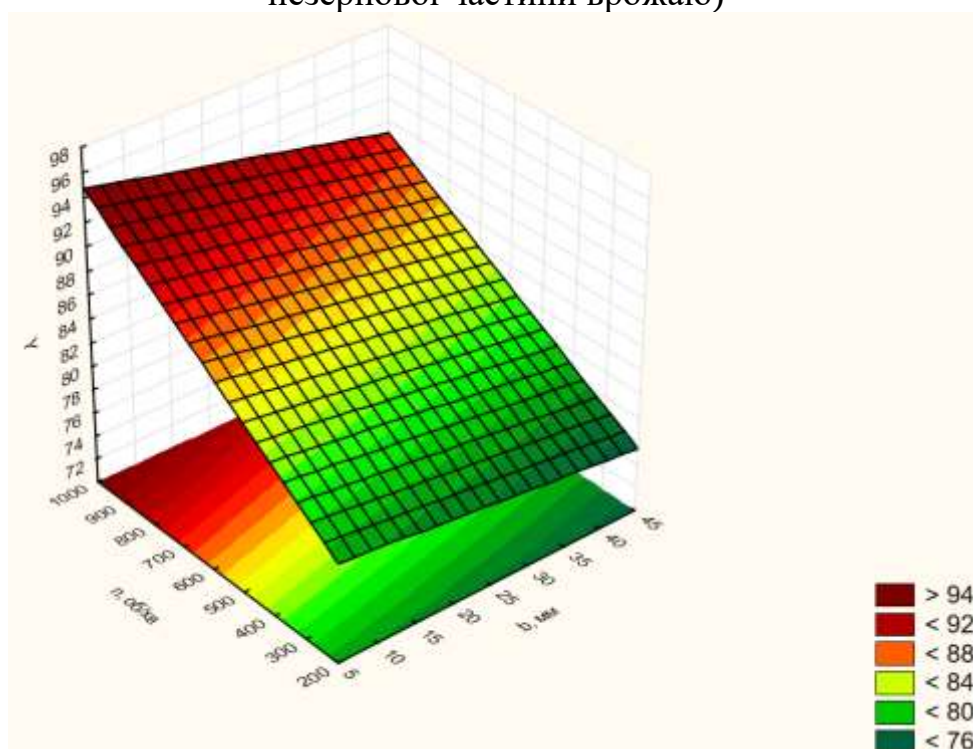


Рис. 15. Поверхня відгуку $Y = f(x_1, x_3)$ впливу відстані між ножами на барабані подрібнювачі та протирізальній пластині b та частоти обертання валу подрібнювача n на критерій оптимізації Y (ефективність подрібнення незернової частини врожаю)

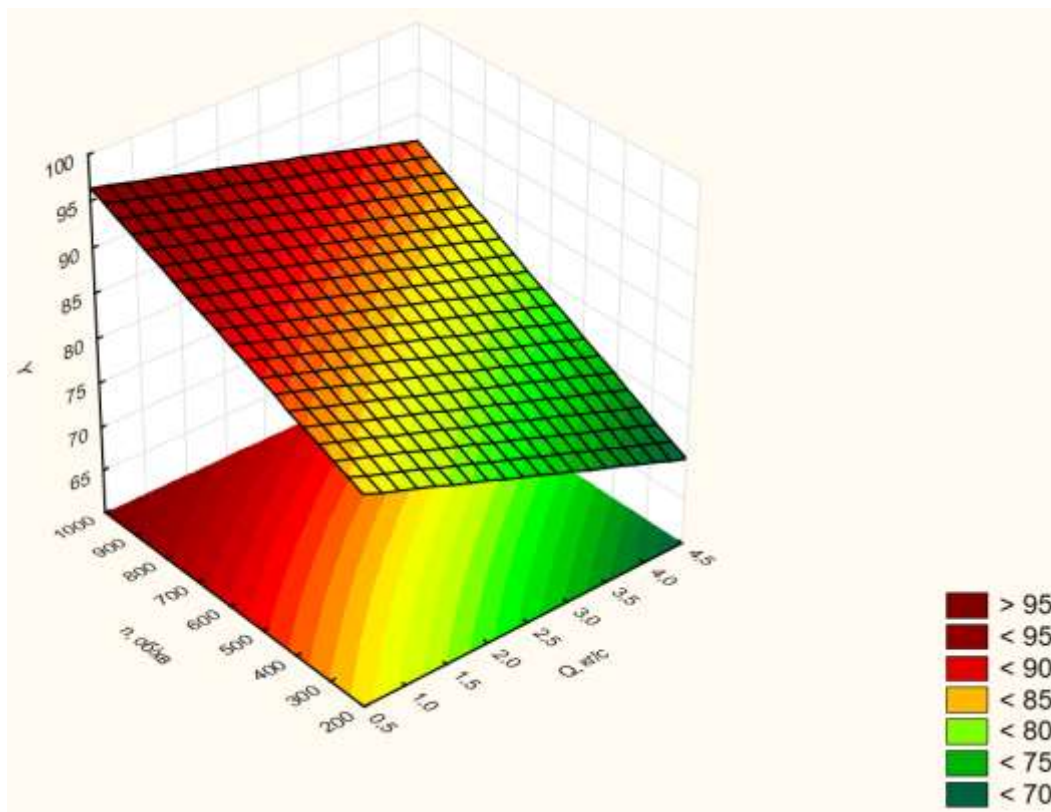


Рис. 16. Поверхня відгуку $Y = f(x_2, x_3)$ впливу подачі збіжжя на подрібнення Q та частоти обертання валу подрібнювача n на критерій оптимізації Y (ефективність подрібнення незернової частини врожаю)

Комплексний аналіз отриманих результатів досліджень дозволяє відмітити, що найбільш суттєво на ефективність подрібнення незернової частини врожаю має частота обертання валу подрібнювача та подача збіжжя на подрібнення. Причому підвищення частоти обертання позитивно впливає на якісний показник роботи подрібнювача, в той час, як підвищення подачі незернової частини врожаю на подрібнення носить обернено пропорційний характер, а зростання цього параметра призводить до погіршення якості процесу. Рациональними параметрами приведених факторів наступні: частота обертання валу подрібнювача $n = 750 \dots 850$ об/хв, подача збіжжя на подрібнення $Q = 0,8 \dots 1,4$ кг/с.

Суттєвий вплив на якість подрібнення має і відстань між ножами на барабані подрібнювачі та протирізальній пластині, хоча в обраному діапазоні значень зменшення цього параметру призводить до зниження показників

загальної якості процесу, а раціональні параметри цього фактору обираються виходячи із значень інших факторів та якщо вони знаходяться в раціональному діапазоні значень, то відстань між ножами на барабані подрібнювачі та протирізальній пластині має бути на рівні $b = 20...25$ мм. Якщо ж забезпечити роботу комбайна із встановленими раціональними значеннями факторів, що впливають на роботу подрібнювача незернової частини врожаю, то загальна ефективність роботи подрібнювача знаходиться на рівні $Y = 92...96$ %, що є значно вищим показником ніж у подрібнювача рослинних решток комбайна «Дон-1500Б» серійної конструкції, ефективність роботи якого не перевищує 76%.

Таким чином, у науковій частині кваліфікаційної роботи проведений огляд та аналіз конструкцій подрібнювачів незернової частини врожаю зерноочисних комбайнів класичної схеми обмолоту із визначенням загальних переваг і недоліків серійних конструкцій, що використовуються для означених цілей.

Проведений аналіз дозволив визначитися із метою досліджень, сформулювати предмет і об'єкт проведеної роботи та використовуючи комп'ютерну програму провести методику планування багатofакторного експерименту із розрахунком і обробкою статистичної математичної моделі дослідження впливу факторів на ефективність роботи подрібнювача незернової частини врожаю зернозбиральних комбайнів.

За класичною методикою обробки багатofакторного експерименту оцінили вплив факторів, що найбільше впливають на критерій оптимізації, та встановили раціональні значення цих факторів, а саме:

- 1) відстань між ножами на барабані подрібнювачі та протирізальній пластині $b = 20...25$ мм.;
- 2) частота обертання валу подрібнювача $n = 750...850$ об/хв.;
- 3) подача збіжжя на подрібнення $Q = 0,8...1,4$ кг/с.

4. Охорона праці

Під час роботи із зернозбиральним комбайном «Дон-1500Б» варто виділити небезпечні і шкідливі фактори, що мають місце, які за чинним на сьогодні ГОСТ 12.01.003-74 наступні:

- наявність в зернозбиральному агрегаті ряду рухомих механізмів: ріжучий апарат, мотовило, транспортери, молотарка, соломотрус, подрібнювач незернової частини врожаю тощо;
- ряд механізмів, що обертаються: двигун, рушії, трансмісія, механізми транспортерів, очисного пристрою та інші;
- вищий за нормативний рівень шуму: ним супроводжується робота двигуна, транспортерів, молотарки, подрібнювача незернової частини врожаю тощо;
- підвищений рівень вібрації: має місце в результаті роботи силової установки та виконавчих механізмів комбайна;
- надто високий рівень запиленості та загазованості робочої зони на етапі прямого комбайнування у місці роботи механізатора та під час проведення налагоджувальних робіт і обслуговування зернозбирального агрегату;
- наявність під час технологічного процесу шкідливих речовин, наприклад мастила двигуна, трансмісії, гідравлічної системи, інші паливно-мастильні матеріали;
- висока пожежонебезпека, яка може виникати через перегрівання окремих вузлів і механізмів, підтікання паливо мастильних матеріалів, занадто сухого зернового вороху, короткого замикання в електросистемі комбайна тощо;
- висока електронебезпека під час роботи збирального агрегату, яка виявляється у виникненні загрози ураження працюючого струмом під час роботи комбайна під лініями електропередач, зокрема високовольтних, виникненні статичного струму та ін.;

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- має місце розташування робочого місця комбайнера на значній висоті від поверхні поля;
- гострі краї та окремі конструктивні елементи зернозбирального комбайна;
- значні коливання параметрів мікроклімату в робочій зоні комбайна, що має прямий зв'язок із оточуючими кліматичними умовами під час виконання робіт;
- наявність значної кількості елементів і поверхонь комбайна, які мають високу температуру, наприклад система охолодження двигуна, поверхня самого двигуна, механізми передач та ін.;
- періодична необхідність виконувати роботи по збиранню врожаю в умовах недостатнього природнього освітлення, що провокує необхідність використання додаткових світлових приладів.

Варто зазначити, що рівень шуму в місці розміщення комбайнера не повинен бути більшим за 75 дБ за умови частоти коливань 1000 Гц. Це повністю відповідає дійсним санітарно-гігієнічним вимогам ССБТ ГОСТ 12.1.003-76 і ГОСТ 12.2.009-76.

З метою ефективної боротьби із шумом та вібрацією під час прямого комбайнування слід виконати такі заходи:

- робоче місце комбайнера, а саме його сидіння забезпечити амортизатором;
- використовувати дієві глушники та полумегасячі пристосування на вихлопній трубі двигунів;
- обробляти внутрішню поверхню кабіни комбайна рихлими звукопоглинаючими спеціальними матеріалами;
- підлогу кабіни комбайна забезпечити ковриками, які слід виготовляти із вібропоглинаючого матеріалу, які крім цього служать і додатковими ізоляторами, що захистять людину у

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

випадку дії електричного струму під час обриву і потрапляння електродротів на зернозбиральний агрегат;

- використовувати для проведення змащування деталей макисмально допустимі за в'язкістю мастила.

5. Економічна частина

В процесі вдосконалення комбайна «Дон-1500Б» було змінено конструкцію механізм подрібнення незернової частини врожаю. Вказані поліпшення конструкції зернозбирального комбайна дозволили частково зменшити масу агрегату, суттєво поліпшити технологічний процес подрібнення незернової частини врожаю та більш ефективно використовувати подрібнені рослинні рештки зернових культур у якості органічних добрив, розкидаючи їх по поверхні поля із подальшою заробкою.

Вихідні дані для розрахунку показників економічної ефективності проведених розробок представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

Техніко-економічні показники розробок в кваліфікаційній роботі

№ п/п	Показники	Один. вимір.	Умовні позн.	Машина	
				базова	модерніз.
1	2	3	4	5	6
1	Тип машини			самохідний	
2	Оптова ціна машини	грн.	C_{on}	1200000	
3	Собівартість виготовлення машини	грн.	C	900000	
4	Вартість покупних виробів у собівартості машини	грн.	C_n	742000	737000
5	Маса машини	кг	M	13280	13056
6	Маса покупних виробів	кг	M_n	7800	7110
7	Продуктивність машини за 1 годину чистого часу	т/год	$P_{\text{ч}}$	12	14
8	Коефіцієнти використання часу зміни: – робочого – експлуатаційного		$K_{\text{вр}}$ $K_{\text{ек}}$	0,82 0,76	

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5	6
9	Нормативне річне завантаження машини	год.	$P_{зм}$	180	180
10	Норма відрахувань на реновацію машини	%	$H_{ам}$	15,0	15,0
11	Норми відрахувань на ремонти та техогляд машини	%	$H_{рм}$	8,5	8,5
12	Середньорічна програма випуску машин	шт.	$H_{ср}$		50
14	Кількість деталей в машині	шт.	H_z	21650	21635
15	Кількість найменувань деталей в машині всього, в т.ч.: - оригінальних - стандартних	шт.	D_z $D_{ор}$ $D_{ст}$	12000 850 9630	11350 568 9650
16	Кількість найменувань деталей, які розроблені в процесі модернізації	шт.	$H_{ор}$		22

Розрахунки показників економічної ефективності запропонованих в кваліфікаційній роботі розробок були проведені за стандартною методикою. Результати розрахунку зведені до таблиці 4.

Таким чином, після внесення запропонованих змін до конструкції зернозбирального комбайна «Дон-1500Б» вдається досягти незначного підвищення робочого та експлуатаційного часу роботи агрегату до 12,04 т/га та 11,2 т/га відповідно. Запропоновані вдосконалення дозволяють отримати позитивний економічний ефект від впровадження машини у виробництво, так при середньорічній програмі випуску 50 машин виробник комбайна отримує річний економічний ефект у розмірі 19083 грн на кожну машину. Річний економічний ефект отримає і споживач модернізованого зернозбирального комбайна, який під час збирання тільки зернових культур у господарських умовах буде не нижчим за 16146 грн. Варто зазначити, що розрахований економічний ефект для споживача не враховує можливості не реалізовувати операцію післязбирального подрібнення і розподілення незернової частини врожаю по поверхні поля, що було потрібно робити після збирання зернових

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

культур базовим комбайном, а тому дійсний економічний ефект споживача буде значно вищим.

Таблиця 4

Техніко-економічні показники проведення вдосконалення
подрібнювача незернової частини врожаю зернозбирального комбайна

Показник	Одиниці вимірювання	Машина	
		Базова	Модернізо вана
Агрегаткування		самохідна	самохідна
Маса комбайна	кг.	13280	13056
Оптова ціна комбайна	грн.	1200000	1222200
Собівартість виготовлення комбайна	грн.	900000	896833
Продуктивність комбайна за годину	т/год.		
- чистого часу		14	14
- робочого часу		11,48	12,04
- експлуатаційного часу		10,64	11,2
Кількість найменувань оригінальних деталей, що розроблені під час модернізації комбайна	шт.	-	22
Узагальнений показник техніко-економічного рівня		-	1,1
Річний економічний ефект від впровадження модернізованого комбайна у виробництво	грн.	-	19083
Річний економічний ефект споживача модернізованого комбайна	грн.	-	16146

6. Висновок

Таким чином під час виконання кваліфікаційної роботи доведено, що незважаючи на способи збирання врожаю зернових залишається суттєва проблема із подрібненням соломи та інших пожнивних залишків, оскільки подальше збирання чи будь-яка утилізація незернової частини врожаю додатково вимагає проведення операцій та використання допоміжних агрегатів для реалізації цих робіт. Існуючі подрібнювачі незернової частини врожаю, що використовувалися разом із зернозбиральними комбайнами, насамперед вітчизняного виробництва, не повністю відповідають чинним вимогам до операцій подрібнення і розподілення обробленого матеріалу по поверхні поля, а енергоємність здійснення цього процесу є необґрунтовано високою.

Намагаючись вирішити означене коло проблем, запропоновано вдосконалену конструкцію подрібнювача незернової частини врожаю, проведено відповідні розрахунки, які доводять, що збільшення кількості молотків-подрібнювачів дозволяє покращити якість перерізання соломистих включень та зменшити кількість занадто крупних часток, що є недопустимим за чинними агрономогами, при цьому не збільшуючи витрати енергії на процес подрібнення. В інженерній частині роботи проведені всі необхідні технологічні, кінематичні, енергетичні розрахунки та розрахунки на міцність, що підтверджують працездатність вдосконаленого зернозбирального комбайна.

В науковій частині роботи приведений огляд та аналіз існуючих серійних подрібнювачів незернової частини врожаю зернозбиральних комбайнів з класичною схемою обмолоту. Визначено раціональну конструкцію подрібнювача та проведені експериментальні дослідження, що дозволяють визначити раціональні параметри і режими його роботи. За результатами експериментальних досліджень встановлені раціональні значення параметрів, а саме: відстань між ножами на барабані подрібнювачі

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та протирізальній пластині має бути $b = 20...25$ мм., частота обертання валу подрібнювача повинна знаходитися в межах $n = 750...850$ об/хв., раціональне значення подачі незернової частин на подрібнення не повинно перевищувати $Q = 0,8...1,4$ кг/с. Саме за таких рекомендованих параметрів подрібнювача вдається досягти ефективності його роботи на рівні $Y = 92...96$ %.

В розділі «Охорона праці» проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що можуть виникнути під час прямого комбайнування зернових зернозбиральним агрегатом «Дон-1500Б» і вжиті заходи щодо усунення деяких із цих факторів. Доцільність проведених вдосконалень підтверджується позитивним економічним ефектом, а його отримання як для виробника так і для споживача підтверджує можливість впровадження розробок у виробництво.

					ВЗКП 00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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. Сільськогосподарські машини / В.Ю. Комаристов, М.М. Петренко, М.М. Косінов.-К.: Урожай, 1996. – 240 с.
3. 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.
4. Сисолін П.В . та ін. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підручник для студентів вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладнання с.-г. виробництва» Кн. 2. Машини для рільництва / Сисолін П.В., Рибак Т.І., Сало В.М.; За ред. Черновола М.І. – Київ, Урожай, 2002. – 364 с.
5. 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.
6. 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.
7. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навч. посібник. – К.: НМК ВО, 1992. – 320 с.
8. Марченко В.В. Механізація технологічних процесів у рослинництві: Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2007. – 334 с.

					<i>ВЗКП 00.000 ПЗ</i>	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Бондаренко М.Г. Комплектування і використання машинно-тракторного парку в рослинництві / Бондаренко М.Г., Демещук В.А. – К.: Вища школа, 1995. – 237 с.
10. Довідник з машиновикористання в землеробстві / За ред. В.І. Пастухова – Харків: Веста, 2001. – 347 с.
11. Практикум із машиновикористання в рослинництві: Навч. посібник / За ред. І.І. Мельника. – К.: Кондор, 2009. – 284 с.
12. Андрійчук В. Г. Економіка підприємств агропромислового комплексу : підручник / В. Г. Андрійчук. – К. : КНЕУ, 2013. – 779 с.
13. Єрмаков О.Ю. Організація сільськогосподарського виробництва. Навч. метод. посібник– 2 –ге вид., доп. і перер. - К.: НАУ, 2007. – 266 с.
14. Ільчук М.М., Зрібняк Л.Я., Мельник С.І. Організація і планування сільськогосподарського виробництва: Підручник - К.: Вища освіта, 2013. – 535 с.
15. Шелюк Л.Ю. Організація і планування діяльності аграрних формувань: Підручник. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 324 с.
16. 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.
17. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник. – Львів: Афіша, 2002.– 320 с.

ДОДАТКИ

Центральноукраїнський національний технічний університет

Презентація графічної частини магістерської
кваліфікаційної роботи на тему:

Вдосконалення зернозбирального комбайна із дослідженням подрібнювача незернової частини врожаю

Виконав: ст. гр. ГМ(СМ)-20М(1,9) Лисенко Сергій Миколайович

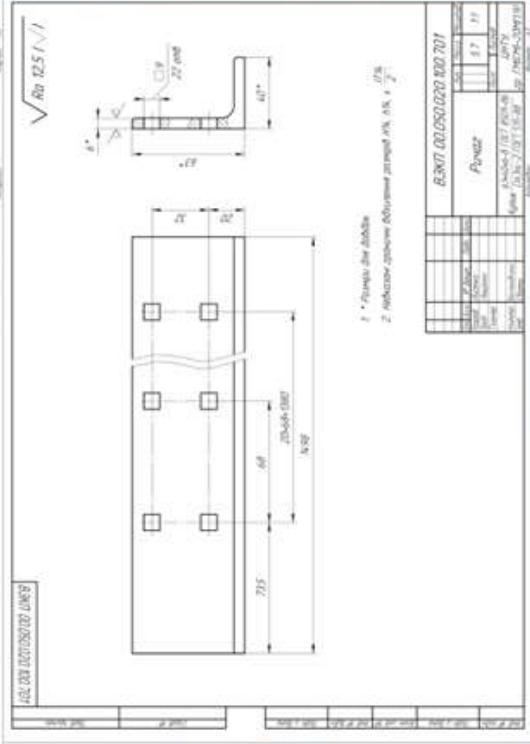
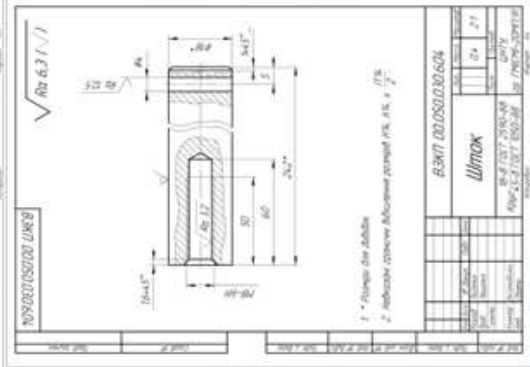
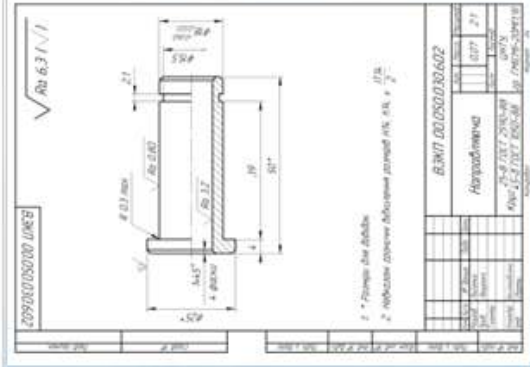
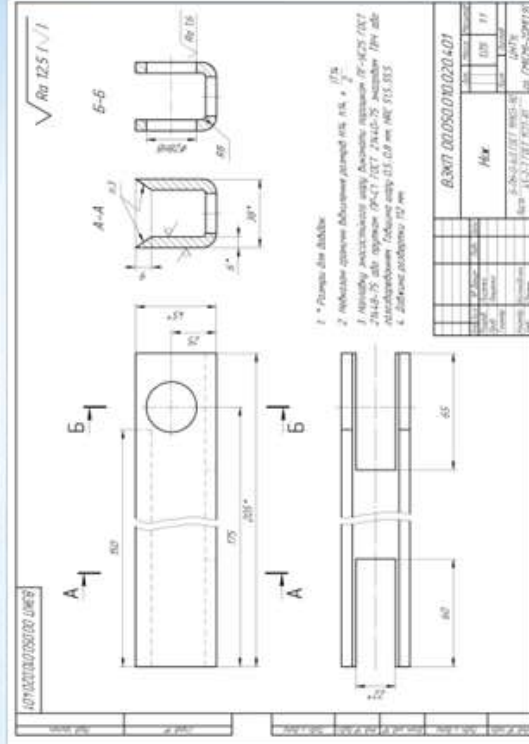
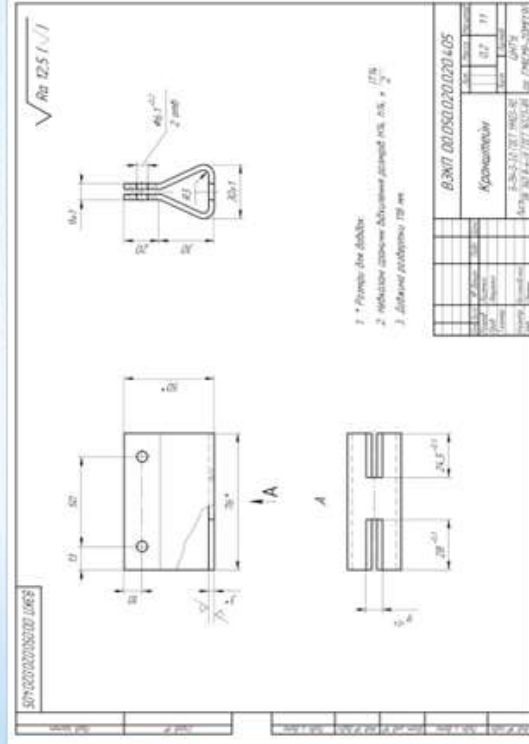
Керівник роботи: доц. Лещенко С.М.

Кропивницький, 2022 р.

[illegible]

Счетный отдел Администрации городского округа

Деталювання вдосконалених елементів подрібнювача незернової частини врожаю

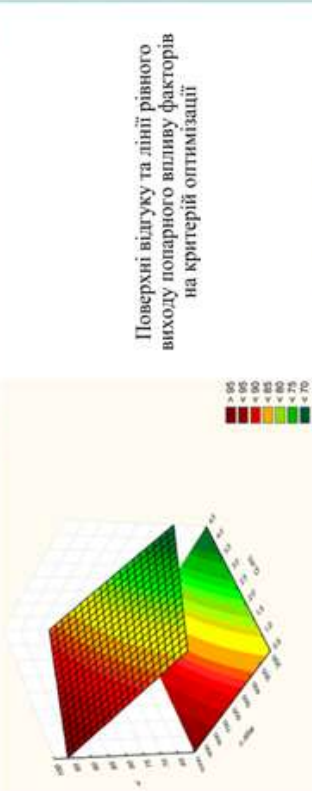
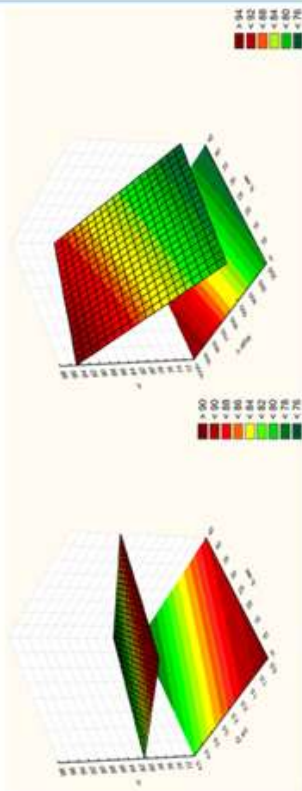


Результати експериментальних досліджень Фактори та рівні їх варіювання

№ пп	Фактори	Рівні варіювання		Інтервал варіювання
		Найменування	Позначення Верхній (+) Нижній (-)	
1	Відстань між ножами на барабані-подрібнювачі та протиірзальній пластині <i>h</i> , мм	x_1	40,0 10,0	15,0
2	Подача збіжки на подрібнення Q , кг/с	x_2	4 0,8	1,6
3	Частота обертання валу подрібнювача <i>n</i> , об/хв	x_3	900 300	300

Статистична математична модель роботи подрібнювача незернової частини врожаю

$$Y = 84,375 - 1,625x_1 - 4,625x_2 + 5,625x_3 - 0,125x_1x_2 - 0,375x_1x_3 + 0,625x_2x_3$$



Поверхні відгуку та лінії рівного виходу попарного впливу факторів на критерій оптимізації

В.С.М.Т. 02.02.01 М.Н.	
Підприємство	М.Н.Т. 02.02.01 М.Н.
Відомство	М.Н.Т. 02.02.01 М.Н.
Місце роботи	М.Н.Т. 02.02.01 М.Н.
Місце проживання	М.Н.Т. 02.02.01 М.Н.
Місце навчання	М.Н.Т. 02.02.01 М.Н.
Місце відпочинку	М.Н.Т. 02.02.01 М.Н.
Місце роботи	М.Н.Т. 02.02.01 М.Н.
Місце проживання	М.Н.Т. 02.02.01 М.Н.
Місце навчання	М.Н.Т. 02.02.01 М.Н.
Місце відпочинку	М.Н.Т. 02.02.01 М.Н.