

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра технічного сервісу та інженерного менеджменту  
імені М.П.Момотенка**

**УДК 631.354.2**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри технічного сервісу  
та інженерного менеджменту  
імені М.П.Момотенка

\_\_\_\_\_ **Роговський І.Л.**

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему: «УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБМОЛОТУ І  
СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНА ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ»**

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»  
Освітня програма – «Агроінженерія»  
Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

**Гарант освітньої програми:**

д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_

«підпис»

**Братішко В.В.**

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_

«підпис»

**Шатров Р.В.**

**Виконав**

\_\_\_\_\_

«підпис»

**Манжос М.В.**

**Київ – 2024**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
Кафедра технічного сервісу та інженерного менеджменту  
імені М.П.Момотенка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри технічного сервісу та  
інженерного менеджменту  
імені М.П.Момотенка,

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.  
**І.Л.Роговський**

**З А В Д А Н Н Я**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Манжосу Миколі В`ячеславовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»  
Освітня програма – «Агроінженерія»  
Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

**Тема магістерської кваліфікаційної роботи:** «Удосконалення процесу обмолоту і сепарації  
зерна зернозбиральних комбайнів».

затвержені наказом ректора НУБіП України від «07» грудня 2023 року №2223 «С»

**Термін подання завершеної роботи на кафедру:** 10.11.2024 р.

**Вихідні дані до роботи:**

Існуючі технологічні процеси та технічні засоби у виробничих процесах вирощування і збирання  
зернових та маркетингові дослідження Державної служби статистики України ринку  
сільськогосподарських культур в Україні.

Науково-дослідні роботи та літературні джерела по удосконаленню молотильно-сепаруючих  
пристроїв для підвищення кості обмолоту і сепарації зерна на збиральних роботах

**Перелік питань, що підлягають дослідженню:**

1. Стан питання і дослідження особливостей конструктивних рішень покращення очистки  
зернозбиральних комбайнів
2. Аналіз теоретичних передумов удосконалення робочих органів для обмолоту
3. Програма досліджень удосконалення конструктивно-технологічної схеми
4. Результати експериментальних досліджень процесу впливу системи обмолоту на хлібну масу
5. Економічна ефективність досліджень виробництва зерна

Дата видачі завдання 18.09.2023 р.

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_ **Р.В. Шатров**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

**Завдання прийняв до виконання**

\_\_\_\_\_ **М.В. Манжос**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота містить розрахунково-пояснювальну записку на 86 стор. машинописного тексту.

Ключові слова: закономірності, залежності, параметри процесу, пряме комбайнування, зернові культури, системний, математичний аналіз, дослід, підбарабання, сепарація, інтенсифікація, зерно.

Удосконалення молотильно-сепаруючого пристрою з диференційним підбарабанням для інтенсифікації обмолоту і сепарації зерна комбайна дозволяє збільшити продуктивність зернозбирального комбайна і зменшити питомі енерговитрати на обмолот, а в кінцевому підсумку - підвищити ефективність збирання зерна.

Наукова новизна полягає в отриманні аналітичних залежностей, що дозволяють визначити площі перетинів характерних зон впливу молотильного барабана і підбарабання на обмолочують масу для МСП з урахуванням їх параметрів

Практична значимість даної магістерської роботи полягає в тому, що проаналізовано конструкції молотильно-сепаруючого пристрою з диференційним підбарабанням для інтенсифікації обмолоту і сепарації зерна комбайна КЗС-9 «Славутич» з подальшим удосконалення.

## ЗМІСТ

	ст.
ВСТУП.....	6
1. ОГЛЯД КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОМБАЙНА .....	8
1.1. Характеристика парку зернозбиральних комбайнів України.....	8
1.2. Аналіз ефективності використання зернозбиральних комбайнів .....	14
1.3. Призначення і технічна характеристика .....	21
1.4. Технологічні схеми збирання врожаю .....	22
1.5. Укладання соломи у валок для подальшого підбору і пресування.....	24
1.6. Агротехнологічні вимоги .....	26
1.7. Вимоги до робочих органів.....	27
2. АНАЛІЗ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУЮЧОГО ПРИСТРОЮ КОМБАЙНІВ .....	32
2.1. Молотильно-сепаруючий пристрій .....	32
3. РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ .....	42
3.1. Визначення ефективності молотильно-сепаруючого пристрою .....	42
3.2. Технологічні розрахунки .....	43
3.3. Розміщення штифтів на барабані .....	48
4. ТЕОРЕТИЧНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВПЛИВУ БАРАБАНА І ПІДБАРАБАННЯ НА ОБМОЛОЧУЮТЬ МАСУ .....	52
4.1. Вплив барабана і підбарабання на обмолочувану масу .....	52
5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ .....	67
ВИСНОВКИ.....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	77
ДОДАТОК .....	86

## ВСТУП

Виробництво зерна в Україні у сучасних умовах знаходиться на етапі зростання та збільшення валового збору. Так, у 2020–2023 рр. він зріс з 40 до 60 млн. тонн зерна. Поряд з цим необхідно відмітити, що показники успіху супроводжуються таким негативним явищем, як втрати вирощених урожаїв, які сягають 7–8 млн тонн, а це складає 16–18% від валового збору. Домінуючою причиною таких значних втрат урожаю є постійна нестача зернозбиральних комбайнів (ЗК), низька технічна готовність і непідготовленість персоналу застосовувати сучасну техніку. Відомо, що в агротерміни збирають лише 30 % посівів зернових культур, а тривалість збирального сезону перевищує їх в 3–5 разів.

Навантаження на один фізичний ЗК складає 189 га, на технічно справний – приблизно 218 га або 770 т. Понад 70 % комбайнів мають термін експлуатації до 30 років з ймовірним значенням коефіцієнта готовності 0,4–0,7, які намолочують 200–600 т; втрати від біологічного осипання досягають мінімум 10 % від валового збору. Причинами значних втрат вирощеного урожаю є високе фізичне навантаження на комбайн і низька ефективність використання наявного парку за потужністю двигуна та пропускну здатністю молотарки, агробіологічним станом хлібної маси, втратами зерна за молотаркою та ін. В умовах реального виробництва потужність двигунів ЗК і пропускна здатність молотарки використовуються максимально до 57–63 % від номінального завантаження. Безумовно, низьке завантаження є основною причиною низької продуктивності, затягування термінів жнив і значних втрат зерна від біологічного осипання та перевитрат палива. Втрати вирощеного урожаю через осипання і низький відсоток збирання продовольчих класів зерна у встановлені агротерміни є причиною значних збитків ( $\approx 1$  млрд \$) вітчизняних аграріїв.

Серед етапів сільськогосподарського виробництва домінуюче положення (50...55%) за витратами матеріально-технічних і енергетичних ресурсів займає збирання врожаю, особливо зернових культур. У всіх країнах світу основним засобом збирання зернових культур є зернозбиральний комбайн. При сучасних

технологіях збирання зерна однією з умов ефективної роботи є наявність достатньої кількості високопродуктивних комбайнів для збирання врожаю зерна у встановлені агротехнічні терміни.

**Мета і завдання дослідження.** Метою досліджень є інтенсифікація процесу обмолоту і сепарації зерна молотильно-сепаручим пристроєм (МСП) з диференційованим підбарабанням.

Обґрунтування раціональної конструкції, параметрів диференційованого підбарабання і режимів роботи МСП дозволить інтенсифікувати обмолот маси і сепарацію зерна.

Для досягнення даної мети необхідно:

- обґрунтувати конструктивно-технологічну схему МСП з диференційним підбарабанням, що забезпечує збільшення сепарації вимолоченого зерна через підбарабання, зниження енерговитрат на виділення зерна з колосків з виконанням якісних вимог, що пред'являються до обмолоту сільськогосподарських культур зернозбиральними комбайнами:

- вивчити характеристики деформації обмолочують стебел і необхідні енерговитрати;

- дослідити та обґрунтувати основні параметри диференційованого підбарабання;

- дослідити процес обмолоту і сепарації зерна МСП з диференційованим підбарабанням, провівши аналіз його основних параметрів і режиму роботи: наведеної подачі маси, швидкості бичів молотильного барабана, зазорів між молотильним барабаном і підбарабанням;

- експериментально уточнити і підтвердити достовірність результатів теоретичних досліджень робочого процесу МСП з диференційованим підбарабанням;

- визначити параметр оптимізації, виявити діючі фактори і за результатами дослідів побудувати модель процесу обмолоту і сепарації, провести оцінку моделі;

- реалізувати отримані результати теоретичних і експериментальних досліджень в конструкції МСУ конкретного комбайна і визначити економічну ефективність його використання при збиранні сільськогосподарських культур.

**Об'єкт досліджень** - молотильно-сепаручий пристрій з диференційованим підбарабанням.

**Предмет досліджень** - процес обмолоту і сепарації зерна МСП, основні параметри диференційованого підбарабання і режими роботи МСП.

Основні конструктивні параметри диференційованого підбарабання; в розробці методики визначення характеру вигину стебел і визначення енерговитрат на деформацію згину з урахуванням відстані між торцевими планками підбарабання і зоною стебел, яка піддається деформації; в отриманні регресійних моделей ступеня виділення зерна диференційованим підбарабанням, ступеня дроблення зерна, ступеня чистоти зерна, відсепарованої диференційованим підбарабанням, і потужності на привід молотильного барабана, що встановлюють вплив основних конструктивних і технологічних параметрів МСП з диференційованим підбарабанням на процес обмолоту і сепарації зерна.

# 1. ОГЛЯД КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОМБАЙНА

## 1.1. Характеристика парку зернозбиральних комбайнів України

Світовий ринок ЗК нараховує 167 моделей і модифікацій. Основні технічні дані ЗК світового ринку наведені в таблиці 1.1. Із таблиці видно, що чотири фірми і корпорація AGCO (Massey Ferguson + Fendt + Gleaner) виробляють 138 моделей і модифікацій комбайнів класичної компоновки і роторних з потужністю двигунів від 92 до 400 кВт. Необхідно сказати, що підприємства Білорусі виробляють 9 моделей – ЗК Лідасільмаш =  $1K+1R=2$  одиниці і Гомельсільмаш (Полессе =  $6K+1R=7$  одиниць) (таблиця 1.1).

Спільне для всіх зарубіжних виробників ЗК – це високий технічний і технологічний рівень механічної частини, а також високий рівень електронізації і комп'ютеризації контролю технічних, технологічних характеристик та експлуатаційних показників.

Насичення комбайнів електронікою спрощує оператору виробничу експлуатацію. З іншого боку, це надто ускладнює пошук недоліків у службі сервісу і підвищує вартість комбайна. Відомо, що вартість кабіни з електронним забезпеченням та із системою датчиків на комбайні коштує до 25% від вартості самого комбайна. За висновком спеціалістів, споживчі характеристики кабін сучасних ЗК забезпечують меншу втомлюваність операторів і, за різними оцінками, сприяють підвищенню продуктивності на 8-12%.

Ефективна експлуатація сучасних ЗК в Україні – вкрай необхідна і складна задача. Сумарна потужність двигунів наявного парку зернозбиральних комбайнів дорівнює орієнтовно 13 млн. кінських сил. Якщо комбайни використовуються із завантаженням двигуна до 60% від номінального завантаження, то під час жнив у холосту працюють  $\approx 4$  млн. кінських сил, або 16000 двигунів комбайнів типу ДОН-1500 (комбайн V-го класу) без обмолоту і зернові не збираються вчасно.

Таблиця 1.1

## Основні технічні дані ЗК світового ринку

Виробник	Кількість моделей	L-жатки, м	N <sub>a</sub> , кВт	Розміри барабана, d/l, мм	Кількість клавіш	Маса без жатки, т
CLAAS	28	3,05 9,12	92 390	450/1060 600/1700	4,5,6	0,732 17,95
Deutz-Fahz	16	3,1 7,2	85 331	500/1110 500/1521	5 6	5,8 12,72
John Deere	11	4,3 НД	152 395	610/1400 660/1670	5 6	10,5 15,66
Massey Ferguson	16	4,2 9,2	129 367	600/1600 600/1680	5 6	11,5 17,36
Fendt	11+1R	4,2 9,2	129 342	600/1340 600/1680	5 6	10,3 16,32
Case IH	6R	5,18 10,7	205 360	762/2623 762/2794	- -	14,47 16,624
New Holland	17+4R	3,66 7,32 5,18 10,7	125 298 286 400	607/1040 750/1200 750/1560 432/2638	4 5 6 -	8,1 13,52 14,8 16,7
Gleaner	7R	НД НД	224 276	700/3556 635/2235	- -	12,7 17,10
John Deere	11R	7,6 11	195 395	600/3130 750/3130	- -	13,917 15,636
Лида	2+1R	6,3 9	191 239	600/1300 600/1600	- -	12,7 15,5
Гомель	6+1R	15	154 239	НД НД	- -	НД НД
PCM	6+1R	5,6 7,9	154 375	НД НД	- -	НД НД

Досвід збирання урожаю сучасними комбайнами свідчить, що жнив без втрат вирощеного урожаю не буває. Втрати урожаю, за даними Міністерства Аграрної політики і продовольства України, у 2020 році становили 7-8 млн. тонн, що дорівнювало до 17% від валового збору.

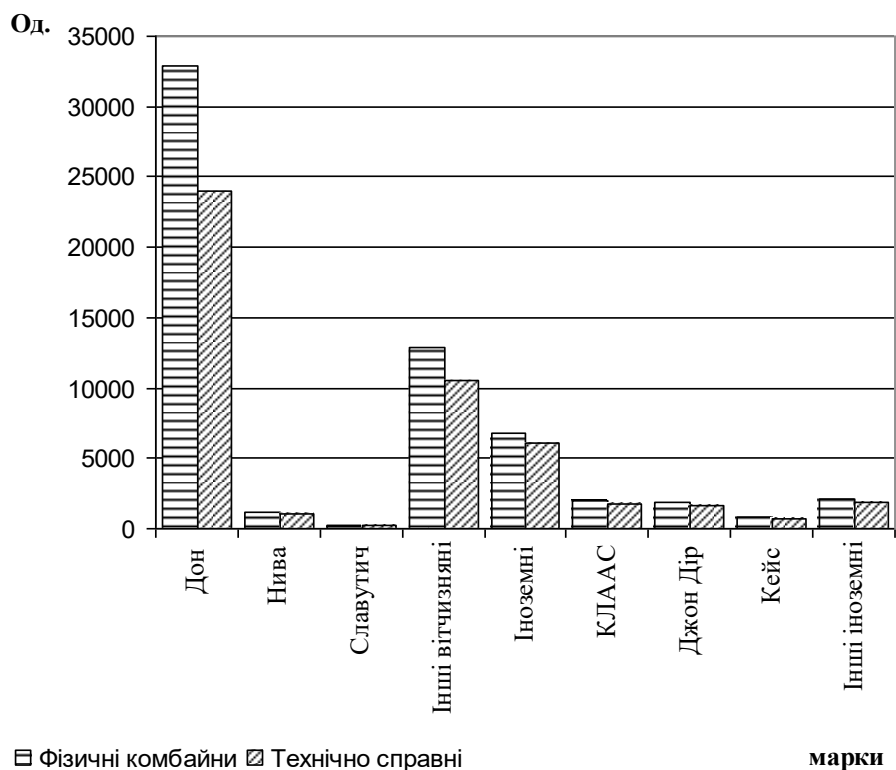
Втрати вирощеного урожаю потрібно прогнозувати при визначенні строків і темпів жнив із врахуванням кількості, структури, строків експлуатації ЗК та їх технічного стану. Не зовсім прогнозованими можуть бути природно-кліматичні умови протягом вирощування зернових культур і під час жнив – це об'єктивні фактори. Решта факторів – суб'єктивні, які можна розрахувати і прогнозувати.

Згідно з ГОСТ 70,8.1-83 до процесу збирання зернових культур висуваються такі агротехнічні вимоги:

- втрати зерна за молотильно-сепаруючим пристроєм МСП ЗК  $\leq 1,5$  %;
- чистота зерна, що надходить в бункер ЗК  $\geq 97,0$  %.

Для порівняння наведемо характеристику парку ЗК станом на 2015 рік. Парк ЗК у статистичних звітностях Державного комітету статистики України характеризується такими показниками: кількість комбайнів, структура парку за типами і за роками експлуатації; середнє сезонне навантаження на один фізичний комбайн. Якщо використати зазначені характеристики, то за станом на початок 2015 року в Україні налічувалося близько 57435 одиниць різних типів, моделей, модифікацій провідних фірм виробників ЗК зі строком експлуатації від 1 до 30 років. З них 39091 од. – знаходиться у власності сільськогосподарських підприємств, а 18344 – в господарствах сільгоспвиробників. При цьому слід розрізняти два поняття: фізична наявність комбайнів і кількість технічно справних комбайнів. Зокрема, в 2015 році ситуація виглядала таким чином: фізичних комбайнів – 57435 одиниць, технічно справних – 45381 (79%). Тобто, 12054 комбайни на початок жнив знаходилися в ремонті. Стосовно якісного складу – близько 70% парку комбайнів становлять машини виробництва країн російського виробництва:

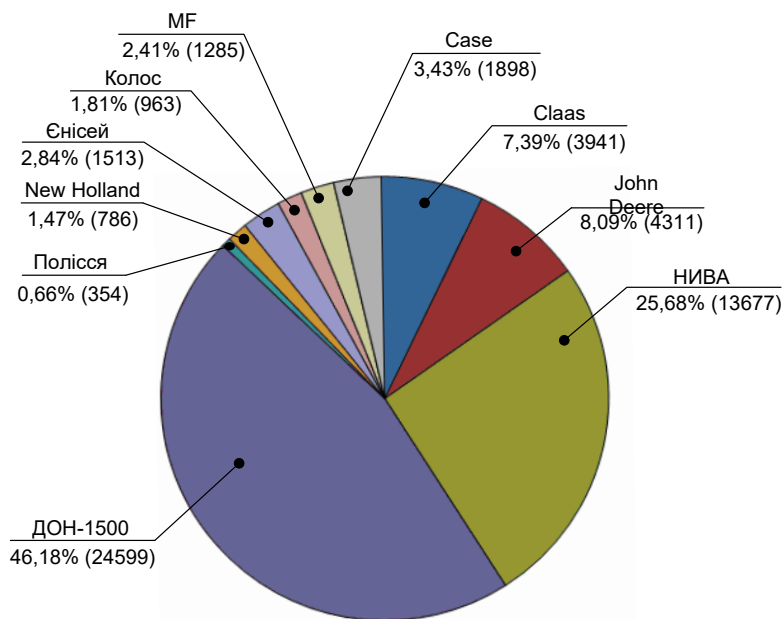
КЗС-9 «Славутич», ДОН-1500Б, ДОН-1200, Єнісей та Нива. З комбайнів вітчизняного виробництва – це Славутич, Лан (рис. 1.1, 1.2).



**Рис. 1.1. Кількісний склад парку зернозбиральних комбайнів України на початок 2022 року**

Низький технічний рівень переважної більшості наявних у сільгоспвиробників ЗК негативно впливає на їх надійність. Наробіток на відмову у більшості ЗК у 4-10 разів нижчий від зарубіжних аналогів (12-25 і 120-160 год відповідно). Що стосується техніки закордонного виробництва, то більше її половини становить техніка 8-10 року експлуатації. Це також негативно впливає на вартість підтримання їх у роботоздатному стані.

Порівняно з 2019 роком кількість ЗК, що знаходяться у сільгоспвиробників (57435), у 2022 році зменшилась до 53257 одиниць – на 4178 (<7,28%). Зменшення парку ЗК складало 1,45% або 836 одиниць щорічно.



**Рис. 1.2. Кількість комбайнів станом на початок 2022 року**

Загалом середнє навантаження на 1 комбайн у 2022 році становило 270 га або 802 т (при урожайності 2,97 т/га), а, враховуючи технічний стан, (79% справних) – відповідно 340 га або 1010 т. При цьому кожний рік незмінно простежується тенденція до зниження кількості парку комбайнів.

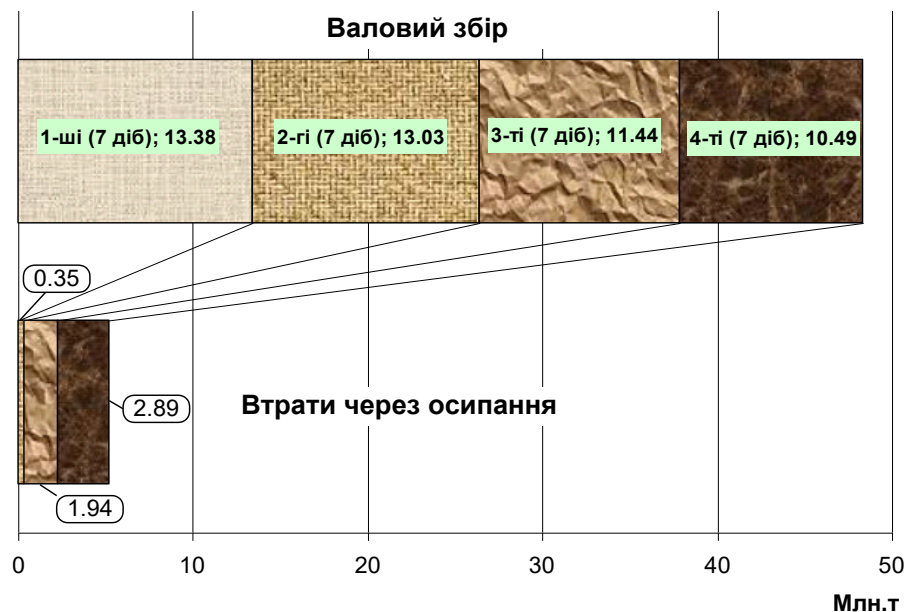
Тенденція щодо зміни кількості комбайнів суттєво не змінилася – кількість комбайнів щорічно зменшується на 3-6%. Поповнюється парк ЗК у межах 1-1,5% з потужністю двигунів до 400 кВт, які здатні намолочувати за зміну до 200-250 т зерна. Кількість комбайнів провідних виробників ЗК збільшилася до 23%, (на 12100 од.) із загальної структури парку. В тому числі, John Deere – 4311 од., CLAAS – 3941 од., Case IH – 1828 од., MB – 1285 од., New Holland – 786 од.

Недостатня забезпеченість господарств високопродуктивними ЗК, низька їх поновлюваність, незадовільний технічний стан (близько 70 % машин має термін служби понад 8-10 років) призвели до значного перенавантаження на комбайн. Низька ефективність використання наявного парку обумовлює затягування строків виконання збиральних робіт, порушення вимог агротехніки і, як наслідок, значний недобір урожаю. За наявності 70% комбайнів виробництва країн СНГ з низькими

коефіцієнтами готовності (приблизно 0,6) та ефективності використання значною мірою подовжувалися строки збирання урожаю на 25 і більше діб. Втрати зерна від осипання при цьому такі: у перші 7 діб після оптимальних строків – 2,6%; у другі 7 діб – 14,5%; у треті 7 діб – 21,6; у четверті – понад 30 %.

Для розрахунку приймемо (за даними досліджень ННЦ «ІМЕСГ») 12 годин роботи на добу. Приймаємо, що урожайність становить 3,5 т/га. Тривалість жнив, виходячи з навантаження на 1 зернозбиральний комбайн (340 га з врахуванням кількості технічно справних комбайнів) при 12 годинах роботи на добу, буде становити  $340/12 = 28,333$  діб. За одну добу весь парк комбайнів збере урожай на  $15468300/28,333 = 545940$ га.

На рис. 1.3 наведено розрахунковий валовий збір та втрати урожаю від осипання.



**Рис. 1.3. Розрахунковий валовий збір та втрати урожаю від осипання**

Втрачена сума лише від осипання дозволила б Україні придбати 2223 зернозбиральні комбайни John Deere 9660 STS, або понад 3100 одиниць Samro SR 3065L, або 5500 комбайнів AGROS-530.

## 1.2. Аналіз ефективності використання зернозбиральних комбайнів

В роботах Липковича Е.І. наведено, що проектування процесів функціонування МТА і комплексів машин побудовані на посиленні рівності сумарної продуктивності множини агрегатів у межах всієї тривалості технологічних процесів. Не зважаючи на корегування нормативної або розрахункової продуктивності МТА для конкретних умов експлуатації, метод не відображає реальної потреби господарств у технічних ресурсах. Це призводить до постійного дефіциту запасних частин і матеріалів. Розроблена Ловчиновим А.П. методика аналізу динаміки циклів і технологічних систем полягає в тому, що на основі отриманих закономірностей виявлені конкретні зони ефективного і неефективного функціонування на прикладі збирання урожаю.

Аналіз і синтез закономірності процесу збирання урожаю свідчить, що протягом одного дня максимальний темп досягав 18,2-34,9% всього обсягу, що перевищувало середній темп до 3,58 раз.

У роботі Ігнат'єва Ю.А. показано, що різноманітність умов виробничого процесу, процесів дозрівання і збирання зернових викликає значні коливання урожайності і обсягів робіт, тривалості періодів дозрівання та інтенсивності втрат урожаю, показників роботи машин у комплексах.

За висновками Єлізарова В.П., Лукіних Г.Ф., найвищі показники роботи комбайнів характерні для режиму роздільного комбайнування. Із підвищенням енергоємності процесу погіршується маневреність агрегатів і збільшується коефіцієнт технологічного обслуговування, що пов'язано із збиранням незернової частини урожаю, і тому продуктивність знижується.

У результаті аналізу робіт Іофінова С.А. і Жосана А.А. у розвитку конструктивних схем і конструкцій окремих вузлів дійшли до висновку, що продуктивність комбайнів можна підвищити, використовуючи спосіб обмолоту, який у їх висновках визнано раціональним. Концептуальний принцип раціонального обмолоту полягає у дворівневій дії на обмолочування маси культури шнеком, нанесення на неї малої кількості ударів великої інтенсивності і

великої кількості ударів малої інтенсивності. Такий характер дії найбільшою мірою відповідає властивостям зернових культур, сила зв'язку яких із зернами неоднакова.

У роботах дослідників показано, що обґрунтування типажу комбайнового парку потрібно проводити, використовуючи грошові критерії (експлуатаційні затрати, функції затрат і витрат і т.п.) через нестійкість критеріїв структури ринку, які потребують постійного уточнення. Запропоновано здійснювати обґрунтування типажу за енергоємністю. Оптимальний склад і структура парку – головні резерви зменшення затрат, втрат та його високої ефективності.

У роботі С.А. Іофінова, В.Ф. Скробач, Т.Т. Ісаєва автори при заданому обсязі робіт  $Q$  кількість комбайнів у технологічній планці потокової технологічної лінії визначають із залежності:

$$n_i = \frac{Q}{W_{ч.н.} \cdot A \cdot K_{к.в.} \cdot K_{н.у.} \cdot K_{з.м.} \cdot T_{з.м.}}, \quad (1.1)$$

де  $W_{ч.н.}$  - годинна нормативна продуктивність машинно-тракторного агрегату, продуктивність технологічної ланки, т;

$A$  - агрострок, днів;

$K_{к.в.}$ ,  $K_{н.у.}$ ,  $K_{з.м.}$  - відповідно коефіцієнти використання календарного часу, погодних умов;

$T_{з.м.}$  - час зміни, год.

Вагомою причиною частих відмов зарубіжної техніки є недостатній рівень підготовки операторів для роботи на ній. За результатами спостережень Ігнат'єва Ю.А. і Піскунова Н.С. виявлено, що 38,1% відмов припали на двигуни; 23,81% – гідравлічні системи; 19,05% – на хедери; 7,14% – на електрообладнання; 4,76% – на ходову частину і молотарку; 2,38% – на транспортери зерна. За час експлуатації комбайнів зафіксовано 32 відмови.

Ефективне використання зернозбиральних комбайнів і величина втрат зерна при комбайнуванні у сільськогосподарських виробників залежать від

класичного набору організаційних, технічних, технологічних факторів і стану інженерно-технічної служби.

З метою підвищення ефективності використання техніки доцільно використовувати «операційну технологію» збирання зернових колосових культур, яка включає карти і рисунки з таких питань: вибір технологій проведення роботи, агротехнічні вимоги, техніку безпеки, вибір і комплектування агрегатів, підготовку агрегатів до роботи, підготовку полів і загонів, організацію роботи агрегатів у загони, транспортні роботи, норми виробітку і витрату палива, контроль і оцінку якості роботи.

Встановлено, що середня денна продуктивність комбайна ДОН-1500 протягом перших 3 років використання (2018-2022 рр.) становила 14,6-16,1 га; сезонна – 302-314 га; намот зерна – 59-161 т за день і 1280-1440 т – за сезон.

Для отримання необхідної продуктивності і якості обмолоту необхідно постійно слідкувати за величиною зазору між барабаном і підбарабанням. Для підвищення продуктивності вивантаження зерна доцільно проводити під час руху без зупинки комбайна, оскільки при намоті 60 т за день втрачається приблизно 1,6 год робочого часу.

Автори Г.І. Єрохін, А.С. Решетов вважають, що швидкість ЗК при виконанні технологічного процесу є основним параметром як його продуктивності, так і рівня втрат зерна, який залежить від фактичної пропускної здатності і, відповідно, від швидкісного режиму. Рекомендована швидкість комбайна визначається за формулою:

$$V_p = \frac{36 \cdot P_n}{B \cdot U (1 + \delta_c)}, \quad (1.2)$$

де  $V_p$  - робоча швидкість комбайна, км/год;

$P_n$  - паспортна пропускна здатність молотарки комбайна, кг/с;

$B$  - ширина захвату жатки, м;

$U$  - врожайність культури, т/га;

$\delta_c$  - відношення зерна до незернової частини.

Отримані за формулою (1.2) значення швидкості руху комбайна в більшості випадків дозволяють працювати з втратами за молотаркою відповідно до пропускної здатності.

Зниження чистоти бункерного зерна від 96 до 86% (підвищення вмісту соломистих частинок у 2,8 раза) обумовлює підвищення дійсної продуктивності (ДП) комбайнів ДОН-1500 до 13,13 т/год. Підвищення ДП на 10-20% можна досягнути збільшенням забрудненості бункерного зерна в межах 90-86%. При цьому необхідно керуватися основним обмеженням – незабиванням зернового і колосового шнеків. У своїй роботі автор показує, що при підвищенні чистоти бункерного зерна від 86 до 98%, затрати збільшились від 875 до 978 грн./т, або в 1,12 раза. В абсолютному виразі це склало 103 грн/т.

Продуктивність для всіх режимів підвищується протягом 30-40 хвилин на 0,5-0,7 тонн на годину і залишається стабільно високою протягом 2,5 годин, а потім знижується. Найвища продуктивність роботи за першим режимом – від 11,3 до 12,2 т/год, потім знижується до 11,9 т/год, за четвертим варіантом продуктивність підвищується від 9,8 до 10,35 т/год, а потім зменшується до 10,25 т/год. Продуктивність із підвищенням урожайності від 3,5 до 4,7 т/год збільшується від 10,6 до 12,2 т/год.

На думку Липкович Е.І., автоматизація системи наладки параметрів комбайна має забезпечувати виконання технологічного процесу з врахуванням постійно змінних зовнішніх факторів (агрофон): урожайності, вологості зерна і соломи, полеглості, забур'яненості та інших, що дозволяє максимально ефективно використовувати сучасну техніку.

У середньому 50,2% зернозбиральних комбайнів працювали з підвищеними нормами втрат зерна [В.П. Димитрів, Л.В. Баржова]. Дослідженнями виявлено, що втрати зерна у 26,4% випадків викликані технічним станом (це стосується комбайнів, які мали 4-10 сезонів експлуатації).

Втрати врожаю значною мірою залежать від своєчасного початку і строків проведення збирання. За даними Новосибірського СГІ, втрати зерна на 6-й день після настання повного дозрівання дорівнюють 4,5%, на 11-й день –

12%, а після 20 днів – інколи досягають 30% при значному погіршенні посівних і хлібопекарських якостей зерна.

На Валківській сортоділянці (Харківська область) врожайність пшениці сорту Одеська 3 в період воскової зрілості дорівнювала 45,1 ц/га, через 7 днів після збирання – 43,5ц/га, через 12 – 37,4 ц/га і через 17 днів – 33,6 ц/га, тобто втрати досягли 11,59 ц/га, або 26%.

У роботі Кравчука В.І. розроблені математичні і графічні багатофакторні моделі показника втрати зерна за молотаркою ЗК залежно від солomистості і вологості технологічної культури та параметрів молотарки.

Автори досліджували втрати за молотаркою,  $\Delta g$ , %, залежно від групи факторів:

$$\Delta g = f(u_i; x_j; z_j), \quad (1.16)$$

де  $x_j$  - ( $i = 1, n$ ) - технічні параметри технологічних систем;

$z_j$  - ( $i = 1, m$ ) - характеристики хлібної маси (умов роботи);

$u_i$  - ( $i = 1, k$ ) - технологічні режими роботи.

Значна кількість факторів, які впливають на результати в подальшому, не знаходять відображення у вигляді залежності, закономірностей або моделей і факторів, що стосуються умов роботи. Основні фактори – це вологість соломи і солomистість, що відображається у виразі:

$$\Delta q = f(W_c; H; Q; L), \quad (1.17)$$

де  $W_c$  - вологість соломи (6,5...46,8) ;

$H$  - солomистість (0,69...1,6);

$Q$  - пропускна здатність, кг/с;

$L$  - ефективна довжина КМСС (довжина дек МСП і довжина сепаруючої поверхні соломотряса).

Підвищення солomистості від 0,69 до 1,6 призводить до збільшення втрат на 0,3%. Із зменшенням вологості від 35% до 7% і солomистості до 1,23 втрати зменшуються від 1,7 до 1,37%.

У роботі Белова М. І. автор стверджує, що площа сепарації поверхні вітчизняних комбайнів менша, ніж у такого ж класу зарубіжних комбайнів у 1,2-1,6 рази, що обумовлює підвищення втрат із соломою, другий чинник – вихід вільного зерна в колосовий шнек, тобто формування в молотарці процесу циркулювання маси і збільшення її травмування. При збиранні врожаю на полях з крутизною схилів більше 8° у колосовий шнек попадає понад 40% вимолоченого зерна.

У роботі Ожерельєва В.І. на спеціальній запатентованій установці визначено енергомісткість виділення зерна від колоса залежно від зазору між барабаном і підбарабанням 25,8 мм – 0,027; 0,030; 0,035 ДЖ.

Затрати енергії на виділення зерна з колоса барабаном бильного типу розраховано за формулою:

$$A = \frac{K \cdot N \cdot m}{G \cdot B}, \quad (1.3)$$

де  $K$  - коефіцієнт, що визначає потужність (безпосередньо на видавлення зерна із колоса),  $K=0,15...18$ ;

$N$  - потужність на валу молотарки (40% від загальної потужності двигуна), кВт,  $N = 165 \cdot 0,4 = 66$  кВт;

$m$  - середня маса однієї зернини,  $m = 0,055$  г;

$G$  - пропускна здатність молотарки, кг/с (8 кг/с);  $B$  - доля маси у воросі.

З врахуванням даних було визначено  $A=0,14$  ДЖ.

Автори дійшли до висновку, що з використанням знакоперемінних навантажень у молотильному апараті енергомісткість обмолоту зменшується в 4-5 разів. Раціональний обмолот зернових колосових культур забезпечує комплексне покращання всіх показників обмолоту і зменшення втрат зерна у виробничих умовах з класичною схемою обмолоту (табл. 1.7).

## Питомі показники обмолоту

Марка комбайна	Питома пропускна здатність, кг/см <sup>-1</sup>		Питома матеріалоемність, т/кгс <sup>-1</sup>		Питома енергоємність, к.с./кгс <sup>-1</sup>	
	Реальна	Можлива	Реальна	Можлива	Реальна	Можлива
Vector	6,42	7,70	1,62	1,35	27,2	22,7
Acros	6,47	7,76	1,64	1,37	25,8	21,5
Niva Effect	4,46	5,59	1,46	1,22	27,6	23,0

Якість роботи молотарки і очищення визначали на трьох робочих швидкостях, які забезпечували подачу. У результаті була визначена продуктивність комбайнів при заданому рівні втрат за молотаркою 1,5% та їх пропускній здатності до 10 кг/с для комбайнів ДОН-1500Б. Комбайни ДОН-1500Б забезпечували збирання зернових культур врожайністю 4,0...5,0 т/га з робочою швидкістю не більше 4 км/год. При більш високих швидкостях (які забезпечували потужність двигунів до 140 кВт) стали втрати зерна до 5%. Найбільш висока продуктивність за 1 годину основного часу була зафіксована у комбайна ДОН-1500Б – 12,1 т. Наробіток на відмову комбайнів ДОН-1500Б за період з 2017 р. до 2022 р. становив від 16 год до 32 год.

В сучасних зернозбиральних комбайнах система очистки не відрізняється від раніше вироблених, лише пропускна здатність збільшилася в 2...2,5 рази. При такому навантаженні вона не забезпечує необхідної якості очистки бункерного зерна, його забрудненість досягає до 21%, вхід у колосовий шнек – до 45%, втрати за очисткою – до 24%. Крім того, серійна система не задовольняє надійності через високі динамічні навантаження.

Автори П.М. Лапшин, С.Г. Огнєв, А.М. Суханов вважають, що необхідно вдосконалювати комбайновий спосіб збирання зернових, оскільки в структурі затрат на виробництво зернових колосових культур майже 50% припадає на

збирання урожаю. За умов звичайної експлуатації комбайнів середнє значення втрат зерна за молотаркою дорівнює 4,4...5,5 %. Величина втрат обумовлена недосконалістю конструкції більшого молотильного апарату, чутливістю до погодних умов збирання. Більшість втрат зерна стостерігається в ранішні і нічні часи роботи. Крім того, у виробничих умовах низька ймовірність правильної технологічної наладки комбайнів. За результатами багатьох досліджень вона становить всього 0,2. При цьому втрати зерна в 3,3 раза перевищують нормативні внаслідок неналежного налагодження МСП.

Аналіз наведених вище матеріалів дозволяє зробити висновок, що проблема підвищення ефективності використання ЗК була і залишається актуальною для сільгоспвиробників на сучасному етапі. В опублікованих роботах у переважній більшості розглядається вплив на ефективність використання ЗК класичного набору факторів і чинників. Поза увагою залишається вагомий фактор – завантаження двигуна залежно від механічних втрат зерна за молотильно-сепаруючим пристроєм зернозбирального комбайна.

### **1.3. Призначення і технічна характеристика**

Призначений для прибирання різних зернових культур прямим і роздільним комбайнуванням.

Класична однобарабанная система. Молотильний барабан найбільшого діаметру. Набір широкозахватних жаток. Зерновий бункер оптимального об'єму в поєднанні з швидкістю вивантаження. Гідростатичний привід ходової частини - легкість управління і маневреність. Збільшений паливний бак - скорочення часу на дозаправку. Комфортна кабіна - всі умови для продуктивної праці.

Жатки з копіюючим апаратом, каміння уловлювач - високопродуктивна прибирання на важких полях. Похила камера особливої конструкції. Механізм реверса похилої камери, глибокі скидання дека - швидке відновлення працездатності. Вібробункера - вивантаження в умовах підвищеної вологості.

Велика площа односекційного підбарабання - м'який і ретельний обмолот. Двоступенева система очищення з потужним вентилятором і пристроєм

автономного домолу - ціле і чисте зерно. Однобарабанний обмолот з клавішним соломотрясом - низькі витрати енергії і висока якість зерна.

Широкий вибір додаткового обладнання - ефективна прибирання різноманітних культур. Гнучка робота з незерновою частиною врожаю - пристосованість до будь-якої агротехнології.

Проста і раціональна конструкція - запорука експлуатаційної надійності. Нове гідрообладнання - високоякісне комплектуючі, вдосконалені технології складання. Посилені зварні шви, зміцнені елементи відповідальних вузлів - підвищення запасу міцності. Висока збереженість - невимогливість до умов зимового зберігання. Збір статистичної інформації про роботу комбайнів - безперервне підвищення надійності і довговічності.

Знижена споживана потужність, невибагливий двигун, потужна система фільтрації - економічне споживання ПММ. Нові ремені, зносостійкість ножів - збільшений ресурс деталей планової заміни. Зручний доступ, мінімум точок змащення - просте і швидке техобслуговування.

Просте і зрозуміле пристрій - легкий пошук несправності. Поширеність і доступність запасних частин - мінімум витрат на ремонт.

Для прибирання незернової частини зернових колосових, зернобобових, круп'яних культур, насінників трав і соняшника комбайн КЗС-9 «Славутич» агрегатується подрібнювачем типу ПКН-1500Б (ПКН-1500Б-01).

#### **1.4. Технологічні схеми збирання врожаю**

Прибирання незернової частини врожаю може здійснюватися за такими шістьма технологічними схемами:

1. Збір подрібненої соломи з половиною в змінний візок, причеплений до комбайна.

2. Збір подрібненої соломи з половиною в постійно причеплений до комбайна візок, що використовується як копичник великої місткості і розвантажувати на прибирати поле гідросистемою комбайна.

3. Збір полови у візок і укладання соломи у валок.

4. Збір полови у візок і розкидання подрібненої соломи по полю.
5. Укладання соломи з половиною в валок для подальшого його підбору.
6. Розкидання подрібненої соломи з половиною по полю.

Таблиця 1.1 - Подрібнювач

Агрегатується з комбайном	КЗС-9 «Славутич»
Робоча швидкість, км / год	дорівнює швидкості комбайна
Транспортна швидкість, км / год	дорівнює швидкості комбайна
Маса пристосування, кг	927 ± 27
Розщеплення соломи уздовж волокон, %	70
Довжина, мм	2450
Ширина, мм	2160
Висота, мм	2520
Висота від ґрунту, мм	3520
продуктивність	не обмежує продуктивності комбайна

Нові подрібнювачі-розкидачі типу 10Б.14,60, виготовлялися для КЗС-9 Славутич серійно з серпня 2003 р На відміну від універсального подрібнювача ПКН-1500Б-01 мають більш просту і надійну конструкцію, підвищений ступінь подрібнення.

Подрібнювач-розкидач ІРС-10 працює за двома технологічними схемами:

1. Подрібнення і розкидання соломи по полю.
2. Укладання неподрібнених соломи у валок.

Переваги нового подрібнювача-розкидача 10Б.14.60:

Відповідність сучасним вимогам прибирання. Сучасні способи збирання незернової частини врожаю на увазі:

1. Подрібнення соломи і розкидання по полю для подальшої оранки з метою освіти перегною;

### 1.5. Укладання соломи у валок для подальшого підбору і пресування

Подрібнювач розташований нижче, що значно полегшує обслуговування і ремонт.

Підвищена надійність і довговічність: спрощена конструкція і зменшений розмір подрібнювального барабана дозволили знизити кількість вузлів і зменшити ударні навантаження.

Ступінь подрібнення соломи (відсоток вмісту часток менше 10 м) найвища і дорівнює 97%. Для порівняння, ступінь подрібнення у ПКН-1500- 01 - 69%. Це досягнуто за рахунок збільшення числа ножів, ріжучих крайок ножа і частоти обертання барабана.

Для зміни схеми технологічного процесу на новий подрібнювач- розкидач потрібно близько 7 хв, для ПКН-1500 витрачалось 15 хв.

Таблиця 2.2

Подрібнювач-розкидач типу ІРС-10

Модель	10Б.14.60
маса, кг	680
Число ножів, шт	80
Число ріжучих крайок ножа, шт	2
Діаметр барабана, мм	518
Частота обертання барабана, об / хв	2890
Ширина розкиду, м	4-8
Ступінь подрібнення,%	97,1

Для застосування роздільного збирання врожаю зернозбиральний комбайн КЗС-9 «Славутич» комплектуються підбирачами. Підбирач навішується на спеціальну платформу шириною 4,0 м, що складається з корпусу, шнека і проставки. До складу підбирача входить транспортер, нормалізатор і врівноважує пристрій. Копіювання рельєфу ґрунту в

поздовжньому і поперечному напрямках забезпечується шарнірною підвіскою транспортера до платформи.

Таблиця 1.4

Платформа-підбирач

Продуктивність, т / год	відповідає продуктивності комбайна
Робоча ширина захвату, м	2,75-3,4
Навантаження на опорні колеса, Н	100
Втрати при підборі зернових колосових не більше, %	0,5
Довжина, мм	1315
Ширина, мм	2736-3380
Висота, мм	1035
маса, кг	235-290

Таблиця 1.5

Технічні характеристики

КЗС-9 «Славутич»	
Продуктивність, т / год	14
Пропускна здатність, кг / с	10
БУНКЕР	
Ємність зернового бункера, л	6000
Швидкість спорожнення, л / с	42
Габаритні розміри і маса	
Маса без жатки, кг	9983
Довжина, мм	17500 (з жаткою 6 м)
Ширина, мм	4400
Висота, мм	3980
Маса з жаткою, кг	13300 (жатка 6 м)
Висота вивантаження, мм	3980
ЖАТКА	
Ширина захвату жатки, м	6,0 / 7,0 / 8,6
Ширина захвату підбирача, м	2,75-3,4
Попередні установки висоти зрізу, мм	35-65/85-115/130-160/170-200
Швидкість руху ножів, хід/хв	473
Частота обертання мотовила, об/хв	15-49

МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУЮЧИЙ ПРИСТРІЙ	
Діаметр молотильного барабана, мм	800
Ширина молотильного барабана, мм	1 184
Кут обхвату підбарабання, °	130
Площа підбарабання, м <sup>2</sup>	1,38
Частота обертання молотильного барабана, об / хв	445-900
Тип соломотряса	5 клавішний
Довжина соломотряса, мм	4,1
Площа соломотряса, м <sup>2</sup>	6,15
Моторна установка і ходова частина	
Марка двигуна	ЯМЗ-238АК
Тип двигуна	4-х тактний, водяного охолодження без турбонаддува
Номінальна потужність двигуна, кВт	173
Номінальна потужність двигуна, к.с.	235
Ємність паливного бака, л	540
Питома витрата палива, г / к.с. ч	162
Обробка незернової частини врожаю	
Пристосування для збирання незернової частини врожаю	подрібнювач-розкидач, копичник
система очищення	
Площа решіт очищення, м <sup>2</sup>	4,74
Частота обертання вентилятора очищення, об / хв	380-1000
Тип вентилятора системи очистки	шести лопатева

#### 1.6. Агротехнологічні вимоги

При роздільному збиранні втрати зерна за валковою жаткою допускаються не більше 0,5% для прямостоячих хлібів і 1,5% для полеглих. Втрати зерна при підборі валків не повинні перевищувати 1%, чистота зерна в бункері повинна бути не менше 96%.

При прямому комбайнуванні чистота зерна в бункері повинна бути не нижче 95%. За жаткою комбайна допускається до 1% втрат для прямостоячих хлібів і 1,5% для полеглих. Загальні втрати зерна через недомолоту і з соломкою повинні бути не більше 1,5% при збиранні зернових і не більше 2% при збиранні рису. Дроблення не повинно перевищувати 1% для насінневого зерна, 2% для продовольчого, 3% для зернобобових і круп'яних культур і 5% для рису.

### 1.7. Вимоги до робочих органів

Крізь проміжки між прутами і планками прокидається 70...80% вимолоченого зерна разом з дрібними домішками. Якість роботи МСП оцінюють за коефіцієнтами недомолоту  $K_n$ , сепарації  $K_c$ , дроблення зерна  $K_a$  і засміченості  $K_3$  дрібного зернового купи, що надходить на очистку. Коефіцієнти  $K_n$ ,  $K_c$  і  $K_a$  визначають діленням маси зерна, відповідно невимолоченого з колоса, виділеного з потоку рухомих стебел в межах МСП та дробленого, на загальну масу зерна, намолоченого за час проведення вимірювань. Коефіцієнт засміченості  $K_3$  знаходять розподілом маси полови на масу дрібного зернового купи, виділеного в МСП. При налаштуванні МСП на оптимальний режим прагнуть досягти мінімально можливих значень коефіцієнтів  $K_n$ ,  $K_c$ ,  $K_3$  і максимального значення коефіцієнта  $K_c$ .

#### 2. Аналіз існуючих конструкцій молотильно-сепаруючих пристроїв комбайнів

Класифікація і пристрій МЗП. У напрямку введення потоку хлібної маси і руху її в робочій зоні (рис. 1.1) розрізняють поперечно-потоківі (а, б), аксіально-роторні (в, з) і комбіновані МСП (г). По конструкції ударних елементів МСП бувають бильні (д) і штифтові (е), а за кількістю елементів, що обертаються (барабанів, роторів, дисків і т. П.) - одно-, дво- і багатобарабанних (ж, з).

Поперечно-потоківі пристрої включають в себе обертовий барабан (циліндр) 1 (рис. 1.1, а, б) і нерухоме підбарабання 2. Напрямок подачі хлібної маси і її руху в робочій зоні перпендикулярно осі обертання барабана. Барабан складається з дисків 7 (рис. 1.1, д, е) з закріпленими на них планками-підбічниками 9, розташованими паралельно осі барабана. До планок штифтових барабанів прикріплені штифти 16, а до планок бильних - рифлені бичі 8.

Одна половина бичів виконана з правим напрямком рифлів, а інша - з лівим. Бичі з правим і лівим напрямком рифлів монтують на барабані по черзі, що сприяє рівномірному розподілу обмолочуваної маси по поверхні підбарабання. Бичі або штифти з великою швидкістю ударяють по хлібній масі, захоплюють її і протягують через вузький простір.

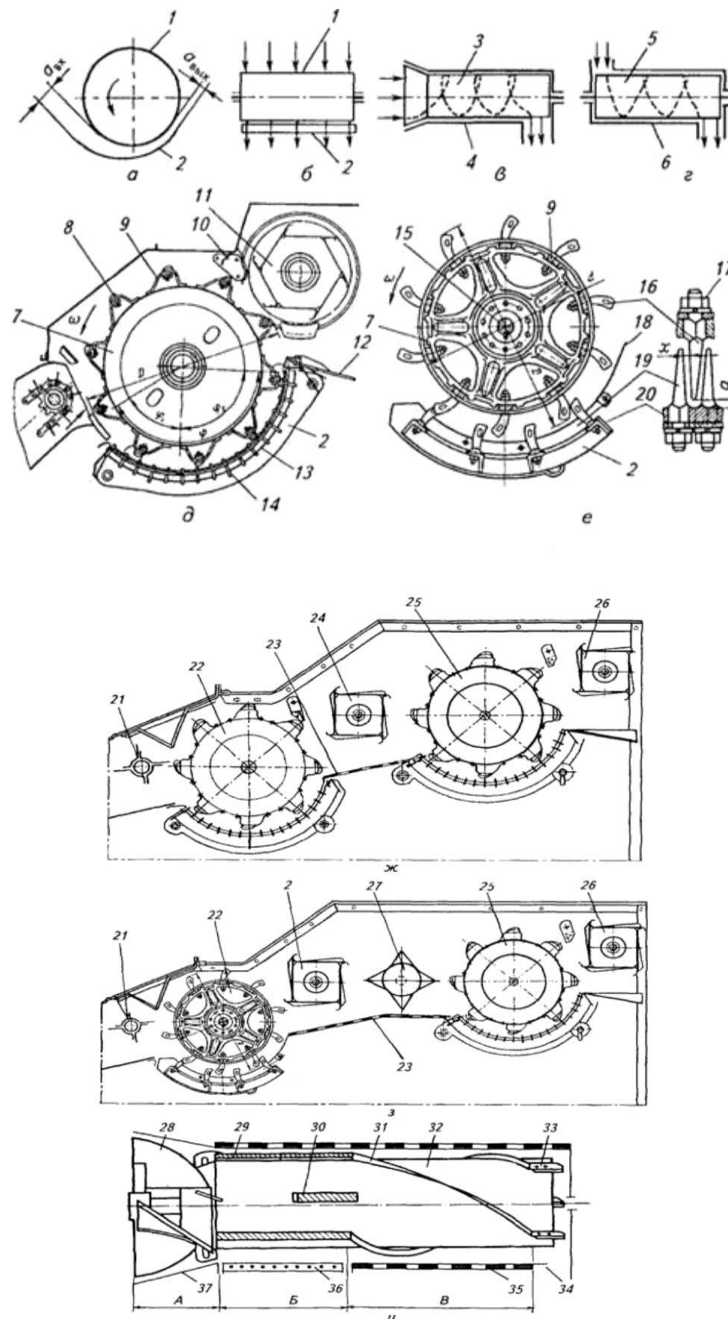


Рис. 1.1 – Молотильно-сепаруючі пристрої:

а, б-поперечно-потоківі; в, і -аксіально-роторні; г-комбіноване; д - Більні комбайна КЗС-9 «Славутич»; е - штифтове; ж - двобарабанних комбайна «СКІФ-280»; з - двобарабанних комбайна «Енісей- 1200р»; 1, 22, 25- барабани; 2, 36 - підбарабання; 3, 5, 32 - ротори; 4, 6, 37- кожухи; 7-диски; 8, 29, 30- бичі; 9- планки-подбичнікі; 10 відсікач повітряного потоку; 11, 21, 24, 26, 27- бітери; 12, 18, 23, 35 - решітки; 13- прутки; 14, 20 планки; 15 - вал; 16, 19- штифти

відповідно барабана і підбарабання; 11- гайка; 28, 33 - лопаті; 31 - ударна планка; 34- вивантажний вікно

Підбарабання бильного молотильного апарату заготоване. Воно виготовлене з боковин (рис. 1.1, д) і поперечних планок 14. Через отвори планок пропущені прутки 13. Крізь проміжки між прутами і планками прокидається 70...80% вимолоченого зерна разом з дрібними домішками. Підбарабання охоплює знизу барабан на деякий кут. Для барабанів комбайнів КЗС-9 «Славутич» цей кут дорівнює 130 °, СК-5М - 146 °, «СКІФ-280» - 127 °. Зі збільшенням кута охоплення а вимолотила зерна зростає. Підбарабання встановлено так, що відстань між бичами барабана і планками підбарабання (зазору) від входу до виходу поступово зменшується (див. рис. 1, а).

Підбарабання штифтового молотильного апарату (рис. 1.1, е) забезпечено штифтами 19, розташованими рядами так, що кожен штифт 16 барабана при його обертанні проходить між двома штифтами 19 підбарабання. Штифти барабана і підбарабання мають форму клина, лобова грань штифтів барабана відхилена в бік, протилежний напрямку обертання, а штифтів підбарабання - в напрямку обертання барабана. При правильній установці барабана зазор  $x$  між штифтами барабана і підбарабання з двох сторін штифтів повинен бути однаковим. Між рядами штифтів розташована нерухома решітка, через отвори якої прокидається частина вимолоченого зерна.

Зернозбиральні комбайни обладнують одним або двома молотильними апаратами. Комбайни КЗС-9 «Славутич», СК-5М (рис. 1.1, д), обладнані одним бильним молотильним апаратом, призначені для збирання зернових колосових культур.

Комбайни «СКІФ-280», «КЗС-7 ОБРІЙ» обладнані двома бильними апаратами (рис. 1.1, ж), а комбайни ««СКІФ-280р»» і «КЗС-7р ОБРІЙ» (рис. 1.1, з) - одним штифтовим і одним бильним. Перші застосовують для збирання зернових культур переважно в умовах підвищеної вологості; другі - для прибирання рису та інших труднообмолочуваних культур.

Штифтової молотильний апарат краще, ніж бильний, обмолочує вологий хліб, але більше подрібнює соломі. Бильний барабан універсальний: можна використовувати для обмолоту великого числа культур. Двобарабанні молотильні апарати можуть обмолочувати хліба на двох режимах. На першому режимі вимолочується зерна, слабо пов'язані з колоссям, при малій частоті обертання барабана; на другому - сильно пов'язані зерна, при великій частоті обертання барабана.

Аксіально-роторні пристрої забезпечують обмолот хлібної маси і сепарацію зерна з рухомого її потоку до рівня, якому відповідають значення  $K_{\text{п}} < 0,5\%$  і  $K_{\text{п}} > 99,5\%$ . Такі пристрої забезпечені ротором 32 укладеним в нерухомий або обертається кожух. У заходній зоні А на роторі закріплено три або чотири лопаті, в молотильної 8 - бичі, в сепаруючої 14 - ударні планки, закріплені за утворюючим циліндра-ротора або під кутом до них. При збиранні рису замість деяких бичів кріплять гребінки зі штифтами. У зоні вивантаження В на роторі закріплені лопаті 33.

Кожух 37 в початковій зоні виконаний конічним без отворів, а в молотильній і сепаруючих зонах - повністю або частково (в нижній і бічних частинах поверхні на кут 120...270 °) перфорованим з круглими, довгастими або прямокутними отворами. Під барабаном в молотильної зоні Б встановлюють підбарабання 3бильні решітки. У верхній частині на кожусі в молотильно-сепаруючої зоні під кутом 35...60° до котра утворює циліндричної поверхні кожуха закріплені планки (гвинтовий направлявач), які сприяють переміщенню бичами хлібної маси вздовж осі ротора від входу до виходу.

Хлібна маса вводиться в західну зону А паралельно осі обертання ротора. Потім маса під впливом лопатей 28, бичів 29 і планок 31 рухається по гвинтовій траєкторії, закрученої навколо осі ротора, здійснюючи кілька повних обертів. Вимолоченого зерно і частки полови під дією відцентрової сили виводяться з рухомого потоку хлібної маси, проходять через отвори ґрат і надходять на очистку. Солома виводиться з МСП лопатями 33 і подається в подрібнювач, копичник або укладається на поле в валок.

Для роботи в умовах підвищеної вологості комбайни оснащують обертовим з частотою  $10...20 \text{ хв}^{-1}$  перфорованим кожухом, який встановлюють на ролики. Зверху над обертовим кожухом кріплять щіткові очисники.

Обертається кожух запобігає скупчення рослинності у верхній зоні, забезпечує сепарацію зерна по всій (на кут  $360^\circ$ ) поверхні кожуха, зменшує залипання робочої поверхні.

Переваги аксіально-роторних МСП в порівнянні з поперечно-поточними: менше дроблення і втрати зерна; нижче чутливість до зміни подачі хлібної маси, поздовжнього і поперечного нахилу поверхні поля; вище якість прибирання при відхиленні частоти обертання ротора від оптимального значення. За деякими показниками комбайни з аксіально-роторними молотарками поступаються комбайнів з соломотрясом: вони більше перебивають соломку, збільшуючи завантаження решіт очищення; скручують вологу, засмічений бур'янами хлібну масу в джгути, внаслідок чого зростають втрати зерна і енергоємність процесу.

## 2. АНАЛІЗ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУЮЧОГО ПРИСТРОЮ КОМБАЙНІВ

### 2.1. Молотильно-сепаруючий пристрій

За конструкцією молотильні апарати поділяють на бильні, штифтові і комбіновані. Бильні бувають одне - і двобарабанні, а штифтові - одnobарабанні. У комбінованих молотильних апаратах - перший барабан штифтової, а другий бильний. Штифтові апарати встановлюють в поперечному напрямку до поздовжньої осі молотарки, а бильні - як в поперечному напрямку, так і в осьовому (Аксіально-роторні).

На комбайнах КЗС - 9 «Славутич», КЗС-7 ОБРІЙ, «Лан», ДОН-1500, СК-5М і ін. Встановлені в поперечному напрямку одnobарабанні бильні молотильні апарати.

Молотильно-сепаруючий пристрій комбайна КЗС-9-1 складається з барабана 1 (рис. 2.1) і гратчастого підбарабання (деки) 9 і механізмів приводу. Барабан являє собою ротор діаметром 700 мм і довжиною 1485 мм. На валу ротора змонтовані диски, до яких приєднано десять планок-подбічників 20. На планках-подбічниках закріплені сталеві рифлені бичі 23. Половина бичів має праве напрям рифлів, а решта - ліве. Бичі правого і лівого напрямків встановлюють на барабані по черзі. Це сприяє рівномірному розподілу хлібної маси по поверхні підбарабання. Вал барабана встановлений на двох підшипниках і обертається при роботі. Наводиться він в рух від вала відбійного бітера гідрофікованим варіатором (рис. 2.2).

Підбарабання 9 молотильного апарату нерухоме, заготоване, односекційний прутково-планчасте і складається з бічної і поперечних планок з отворами. У ці отвори встановлені прутки, які утворюють гратчасту поверхню. Підбарабання підвішено до бічної молотарці за допомогою підвісок і двоплечих важелів так, що відстань між бичами барабана і планками підбарабання на вході більше, а до виходу зменшується. Воно охоплює знизу барабан по дузі в  $126^\circ$ . (Для барабанів комбайнів «Дон-1500» цей кут дорівнює  $130^\circ$ , СК-5М -  $146^\circ$ , «СКІФ-280» -  $127^\circ$ . Зі збільшенням кута охоплення

вимолютила зерна зростає.) У задній частині підбарабання закріплена пальцева решітка 7.

Під час роботи молотильного апарату барабан 1, обертаючись з великою швидкістю, бичами 23 вдаряє по хлібній масі і простягає її в зазорі між барабаном і підбарабанням, таким чином, відбувається обмолот. При цьому зерно відривається і видавлюється з колоса, набуваючи можливість вільно переміщатися в потоці хлібної маси незалежно від материнської рослини, в тому числі виділятися (сепаруватися) з сукупності рухомих стебел. В результаті обмолоту однорідна хлібна маса перетворюється в суміш з трьох складових частин: соломи, полови і зерна. Солома - це стебла обмолочених рослин, половина - подрібнені частини стебел, листя, суцвіть і колосків. Зерно є цілі і травмовані зернівки. Суміш зерна і полови називають Дрібним зерновим купою; суміш зерна, полови і соломи - Грубим.

Швидкість руху хлібної маси в зазорі між барабаном і підбарабанням менше, ніж швидкість бичів, а тому хлібна маса піддається багаторазовим їх ударам і добре перетирається. Обмолочене зерно разом з дрібними домішками прокидається крізь ґрати підбарабання 9 і потрапляє на струшує дошку 10, а грубий купу (солома) з незначною частиною вільного зерна подається до відбійних бітери 4, який направляє його на соломотряс 6.

Оскільки якість роботи молотильного апарату залежить від частоти ударів бив по хлібній масі, то регулюють частоту обертання барабана. Це забезпечується гідрофікованим варіатором. При подачі масла під тиском до гідроциліндра варіатора його плунжер зміщується вправо і переміщує обойму і рухливий диск шківів.

Клиноподібний ремінь витісняється з русла і переходить на більший діаметр шківів. Зусилля від ременя передається на диски шківів барабана, і ремінь розсовує диски, стискаючи пружину, і займає менший його робочий діаметр. Якщо зменшують частоту обертання барабана, то за допомогою важеля гідророзподільника з'єднують гідроциліндр із зливною магістраллю гідросистеми.

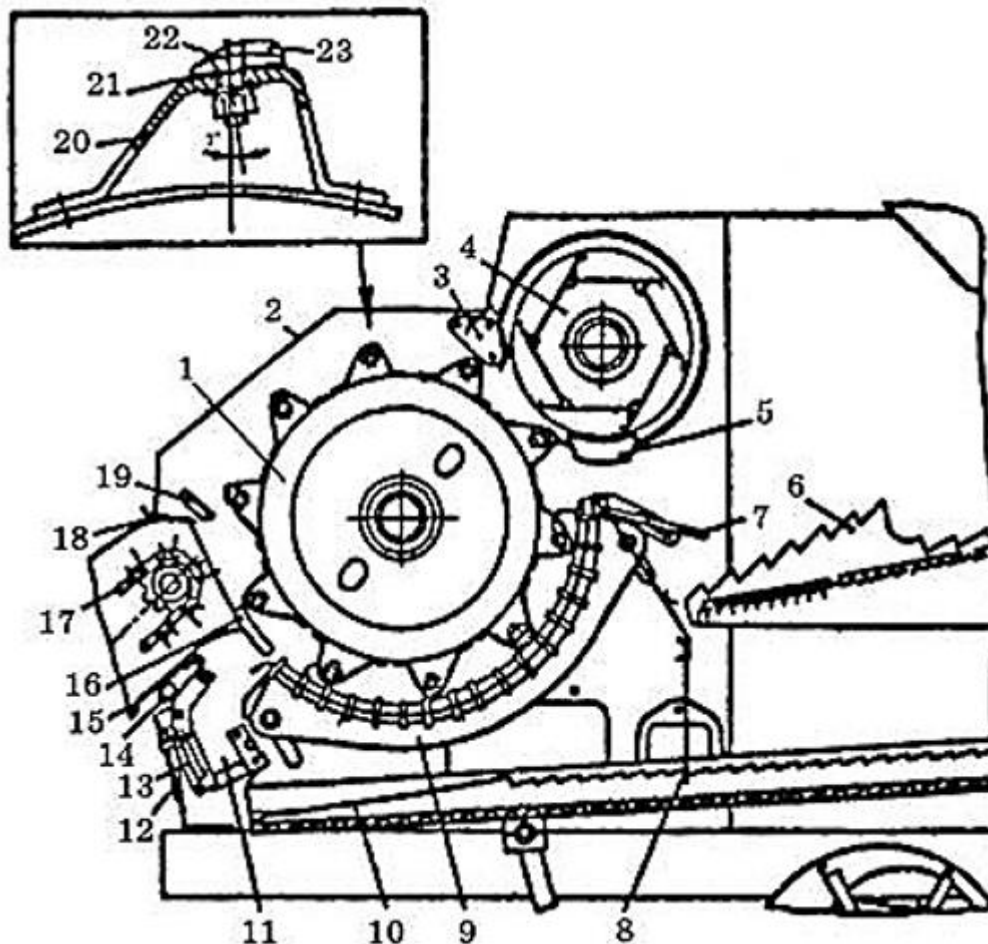


Рис. 2.1 - Молотильний апарат комбайна КЗС-9-1:

1 - барабан; 2 - кришка; 3 - відсікач повітряного потоку; 4 - відбійний бітер; 5, 16 і 19 - щитки; 6 - соломотряс; 7 - пальцева решітка; 8 - полотняний фартух; 9 - підбарабання; 10 - струшувати дошка очищення; 11- камера камнеуловителя; 12 - рукоятка; 13 - відкидна кришка; 14 - труба з роликами; 15 - перехідний щиток; 17 - плаваючий транспортер; 18 - прогумований ремінь; 20 - Планка-подбічник; 21 - регулювальна пластина; 22 - болт; 23 – бичі

Частоту обертання барабана контролюють за цифровим показником на щитку приладів. На валу барабана змонтована кулачкова муфта, яка забезпечує автоматичне натяг ремня. Частоту обертання барабана комбайна КЗС-9-1 змінюють в межах від 465 до 1013 об / хв.

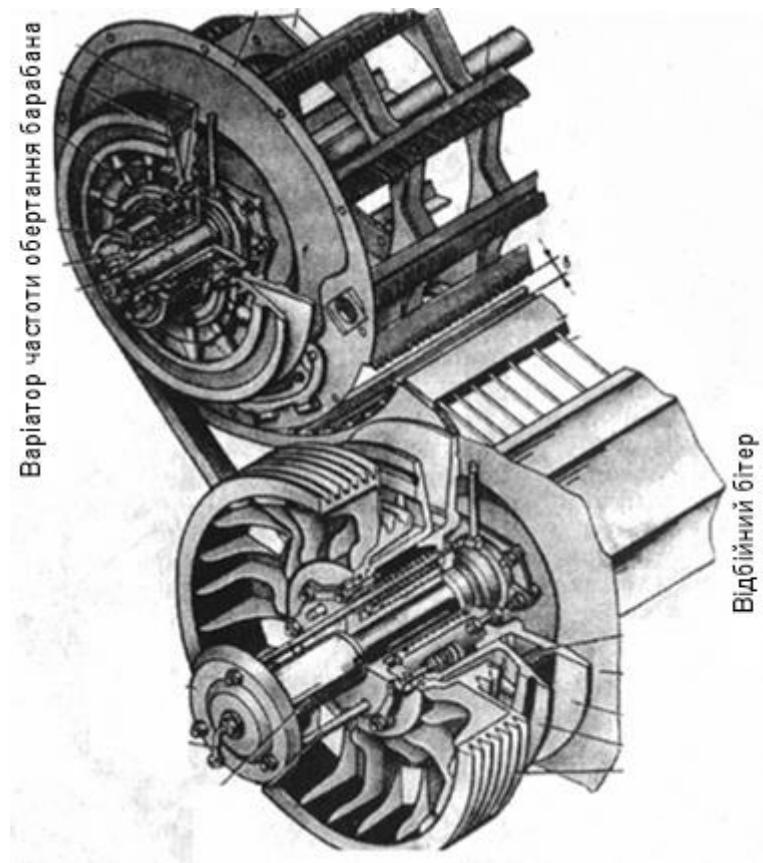


Рис. 2.2 Ремінна передача від вала відбійного бітера до гідрофікованого варіатора молотильного барабана

Якщо на комбайні встановлено понижуючий редуктор або спеціальний ланцюгової привід зі змінними зірочками, то частоту обертання регулюють від 210 до 420 об/хв.

Зазор між барабаном і підбарабанням регулюють електромеханічним способом, клавішним перемикачем з кабіни комбайнера. Він повинен забезпечити максимальний вимолотила і мінімальне пошкодження, подрібнення зерна. Якщо зазор малий, то краще відбувається обмолот, проте збільшується пошкодження зерна і значно перетирається і подрібнюється солома. При великому зазорі не всі зерно вимолочується з колосків.

Якість роботи молотильного апарату залежить також від подачі хлібної маси. Збільшення подачі призводить до підвищення кількості недостатньо обмолоченого і значних втрат вільного зерна.

Зазори між бичами барабана і підбарабаням знаходяться в межах 14-55 мм на вході і 2-43 мм на виході. Їх регулюють електромотором-редуктором за допомогою вимикача. Для збору зернових культур встановлюють зазори на вході 14-16 мм, а на виході - 3-5 мм. Зазори можна коригувати зміною довжини передніх і задніх підвісок підбарабання (рис.3). Контролюють зазори через люки в боковинах корпусу молотарки.

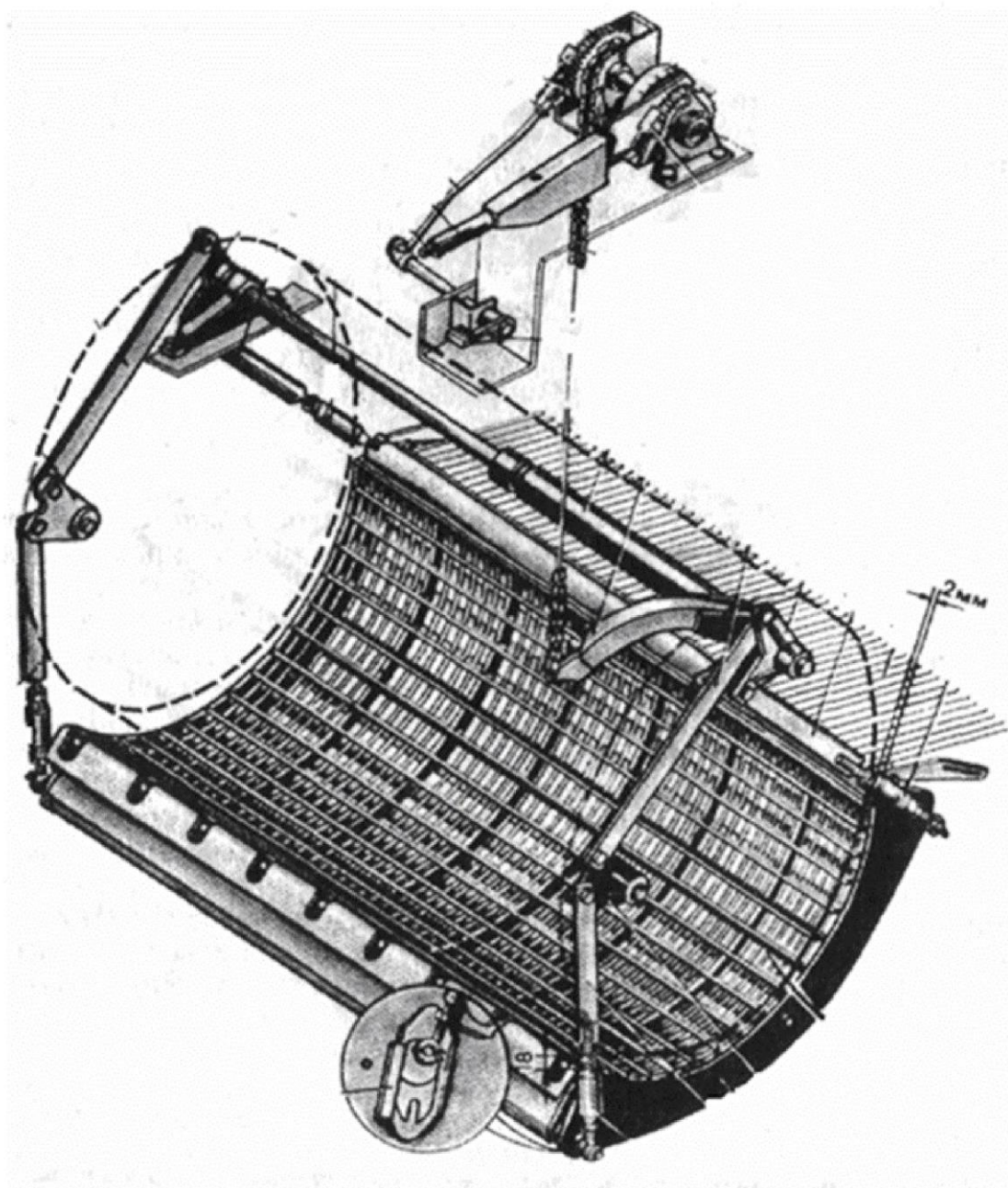


Рис. 2.3 - Загальний вигляд підбарабання

На зернозбиральних комбайнах встановлюють також і двобарабанні молотильні апарати з двома бильними барабанами. Ці апарати складаються з приймального бітера 6 (рис. 1.4, б), барабанів 7 і 10, проміжного 9 і відбійного 11 бітерів. Вони мають односекційні підбарабання і сепаруючі грати. Під час роботи хлібна маса спочатку надходить в перший молотильний апарат і обмолочується в першій стадії. Тут вимолочується стигле і велике зерно, яке просівається крізь грати підбарабання і потрапляє на струшувати дошку.

Хлібна маса з першого молотильного апарату йде на проміжний бітер, який направляє її на другий молотильний апарат. На проміжній решітці під дією лопатей бітера 9 з хлібної маси виділяється вільний зерно і просівається на струшувати дошку. Другий барабан 10 має велику частоту обертання, ніж перший, і остаточно обмолочує хлібну масу. Зерно просівається крізь підбарабання 13, а солома відбійним бітером подається на соломотряс. Зазори між барабаном і підбарабанням у другого молотильного апарату менше, ніж в першого.

Такі молотильні апарати встановлюють переважно на комбайнах для роботи в умовах підвищеної вологості. Комбайн "Єнісей-1200" обладнаний таким двобарабанним молотильно-сепаруючий пристрій.

Штифтовий молотильний апарат складається з ротора, на поверхні якого закріплені планки зі штифтами 16 (рис. 4, в) і підбарабання 18. На підбарабанням встановлено кілька рядів штифтів 17. Штифти барабана і підбарабання клиновидні. Передня частина штифта барабана відхилена назад, проти напрямку його обертання, а штифти підбарабання, навпаки, за напрямком обертання. Кожен штифт барабана під час його обертання проходить між двома штифтами підбарабання. Зазор з обох сторін штифтів повинен бути однаковий. Штифтовий молотильний апарат проводить обмолот більш інтенсивно, ніж бильний, але значно перебиває і подрібнює соломі.

Використовують такі апарати на комбайнах для збирання рису і хлібів підвищеної вологості. Двухбарабанне молотильно-сепаруючі пристрої, які

мають перший барабан штифтовий, а другий - бильний - встановлюють на комбайнах, призначених для збору рису і зернових культур значною вологості.

Особливістю конструкцій молотильних апаратів бильного типу комбайнів зарубіжних фірм є наявність одного або двох сепаруючих барабанів, встановлених за молотильним барабаном (рис. 2.4, д, е, ж). Деякі фірми, наприклад, "Ford New Holland" за сепарується барабанами встановлюють ще додатково відбійний бітер (рис. 2.5). А фірма "Deutz Fahr" сепаруючий барабан виконала регульованим по висоті, з метою зменшення подрібнення соломи. За даними зарубіжних фірм установка сепаруючих барабанів на молотильних апаратах підвищує пропускну здатність молотарок до 20%. Комбайни фірми "Фіатагрі" мають сепаруючі барабани над передньою частиною соломотряса з можливістю регулювання зазору між барабаном і підбарабанням або демонтажу останнього.

На деяких комбайнах фірми "Claas" перед молотильним барабаном встановлюють барабан-прискорювач (рис. 2.4-25). Він має частоту обертання на 20% менше, ніж молотильний барабан. Це підвищує якість обмолоту і сепарації (рис. 2.4, з).

Комбайни фірми "John Deere" можуть бути обладнані двома молотильними барабанами. Перший має діаметр 660 мм, а другий 450 мм. При такій конструкції забезпечується обмолот і набагато менше пошкоджується зерно.

Аксіально-роторні молотильно-сепаруючі пристрої проводять обмолот хлібної маси з поздовжнім переміщенням її в молотильного апарату.

МСУ комбайна КЗСР - 9 складається з циліндричного корпусу (кожуха) 11 (рис. 2.4, а) і ротора 10. Корпус складається з вхідних, молотильної, сепаруючої та вихідної частин. Молотильна частина кожуха складається з підбарабання і гладкої внутрішньої поверхні з направляючими ребрами 12. Підбарабання - це трьохсекційна прутково-планчаста молотильна решітка. Кожна секція решітки має нерухому 9, середню 8 і рухливу 7 частини.

Нерухомі частини секцій встановлені з зазором 42 мм на вході і нерегульованим ступінчастим зазором на виході (23, 29 і 35 мм).

Рухомі частини секцій решітки з'єднані планками 2 з механізмом регуляції. Зазор на виході регулюють в межах 2-32 мм. Зазор В на вході нерегульований і становить 35 мм.

Сепаруюча частина кожуха має сепаруючі решітки з отворами. Вона приводиться в обертальний рух з частотою 9 об / хв, що сприяє підвищенню сепаруючої здатності. Секції рухомих і нерухомих частин підбарання і решітки сепаруючої частини змінні відповідно до культури, яка збирається.

Ротор - це порожнистий циліндр 5 (рис. 2.4) з лопатями 2 в передній частині, криволінійними рифленими 4, короткими 3 і гладкими прямолінійними 6 бичами. У задній частині ротора закріплені планки 7. Вал ротора встановлений на підшипники в кожусі.

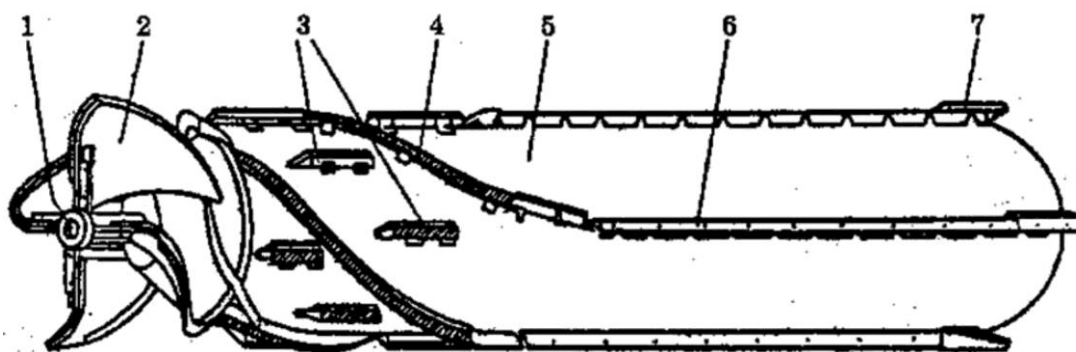


Рис. 2.4 - Ротор МСУ:

1 - вал; 2. - лопать; 3 - прямолінійні рифлені бичі; 4 - вигнутий рифлений бич; 5 - циліндр; 6 - прямолінійний гладкий бич; 7 - планка

При обертанні ротора лопаті 2 захоплюють хлібну масу і направляють в зазор між ротором і підбаранням. Бичі ротора вдаряють по хлібній масі, простягають її, і відбувається обмолот. Дрібний купу проходить крізь ґрати підбарання і потрапляє на транспортну дошку. Солома (грубий купу) переміщається до сепаруючої частини кожуха, де закінчується виділення дрібного купи, а солома виштовхується ротором через вікно кожуха назовні.

Нові молотильно-сепаруючі пристрої зарубіжних зернозбиральних комбайнів представлені на рис. 1.5, 1.8.



Рис. 2.5 - Claas «LEXION 560/510»

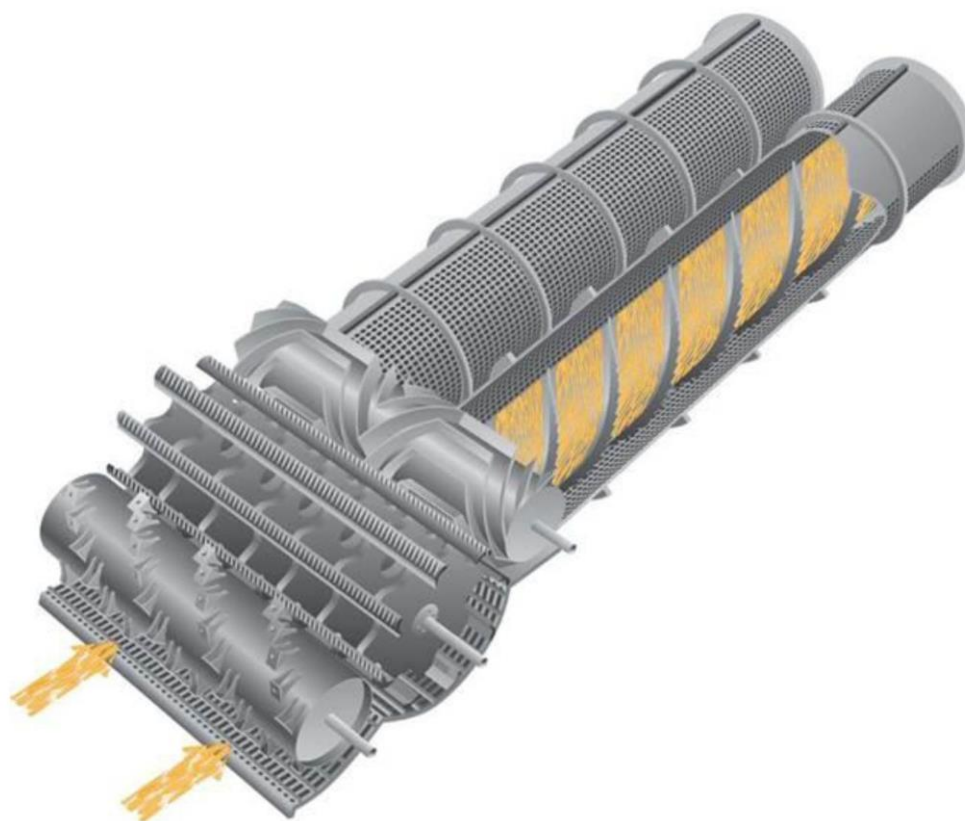


Рис. 2.6 - Claas «LEXION 570/580»

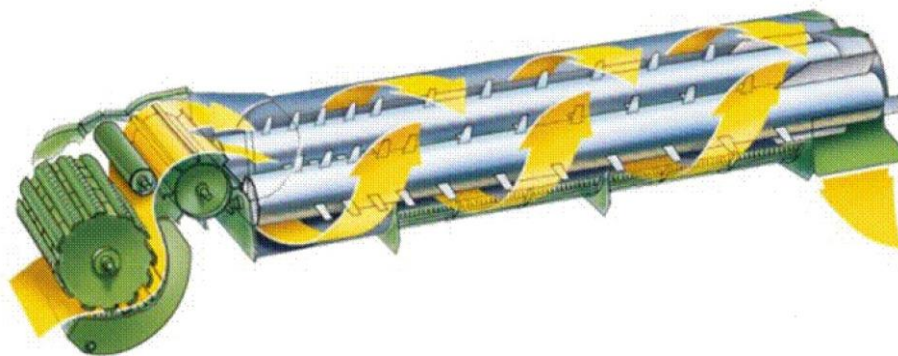


Рис. 2.7 - Jon Deere 9780 CTS

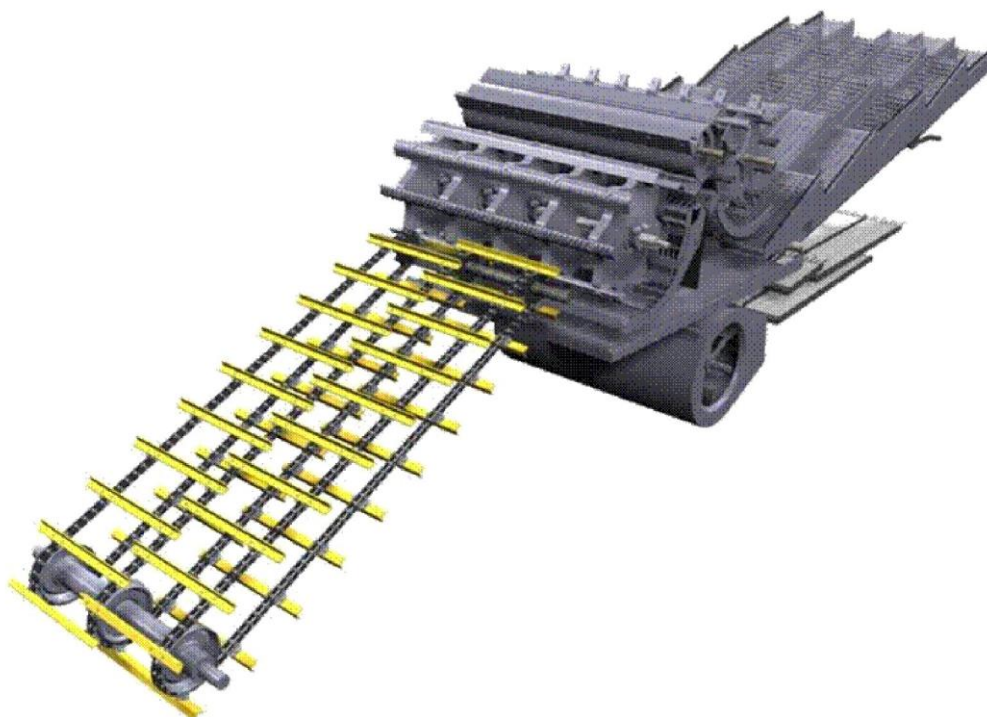


Рис. 2.8 - New Holland CS

### 3. РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

#### 3.1 Визначення ефективності молотильно-сепаруючого пристрою

На комбайнах «Дон» встановлені ефективні молотильно-сепаруючі пристрої (зі збільшеним діаметром барабана і площею очищення); бункера більшої місткості з високопродуктивним вивантажним пристроєм; копнители або подрібнювачі для соломи. Молотильно-сепаруючий пристрій (МСУ) комбайна включає більний барабан діаметром 800 мм, Решетньов односекційні деку з кутом обхвату 130 ° і відбійний бітер. У МСУ комбайна входить також домолачівающее пристрій, розташоване на лівій панелі молотарки. Приймальний бітер в молотарці відсутня.

Однією з основних проблем при збиранні рису є підвищена вологість скошувано маси. Кондиційної вологістю зерна та інших частин рослин є відносна вологість 14...15%, перевищення якої призводить до появи вільної води, самозігрівання і псування зерна. У період збирання вологість зерна зазвичай перевищує кондиційну, а в деяких зернах вона коливається від 11 до 50%. При збиранні хлібів з високою вологістю зростають втрати від недомолоту, частина зерна виходить з соломною, при збиранні пересохлої хлібної маси зростають дроблення зерна подрібнення соломи, втрати зерна з половиною. Так само знижується якість насіння при їх дробленні. Експериментально встановлено, що дробильність залежить від маси, розмірів і вологості насіння, числа і швидкості ударів, матеріалу робочих органів. Великі насіння сильніше пошкоджуються, ніж дрібні.

Покриття робочих органів еластичним матеріалом (наприклад, гумою) знижує пошкодження насіння і відсуває поріг дроблення в сторону великих швидкостей. Тому при обмолоті бажано застосовувати молотильних пристрій з еластичними ударними елементами.

В даному проекті пропонується вдосконалення наявного зернозбирального комбайна КЗС-9 «Славутич». Зокрема молотильно-сепаруючі

пристрої (МСП). Пропонується оснастити комбайн двома молотильними барабанами: одним штифтовим і одним бильним.

Штифтової молотильний апарат краще, ніж бильний, обмолочує вологий хліб, але більше подрібнює соломі. Бильний барабан універсальний: можна використовувати для обмолоту великого числа культур. Двобарабанні молотильні апарати можуть обмолочувати хліба на двох режимах.

На першому режимі вимолочується зерно, слабо пов'язані з колоссям, при малій частоті обертання барабана; на другому - сильно пов'язані зерна, при великій частоті обертання барабана. Підбарабання штифтового молотильного апарату забезпечено штифтами, розташованими рядами так, що кожен штифт барабана при його обертанні проходить між двома штифтами підбарабання. Штифти барабана і підбарабання мають форму клина, лобова грань штифтів барабана відхилена в бік, протилежний напрямку обертання, а штифтів підбарабання - в напрямку обертання барабана. Підбарабання бильного молотильного апарату заграбоване. Воно виготовлене з боковин і поперечних планок. Через отвори планок пропущені прутки. Крізь проміжки між прутами і планками прокидається 70...80% вимолоченого зерна разом з дрібними домішками. Між барабанами пропонується встановити бітер.

Дана конструкція дозволить так само підвищити продуктивність комбайна.

Та ж покриття робочих органів еластичним матеріалом (наприклад, гумою) знижує пошкодження насіння і відсуває поріг дроблення в сторону великих швидкостей. Тому при обмолоті бажано застосовувати молотильних пристрій з еластичними ударними елементами.

### **3.2. Технологічні розрахунки**

Потужність  $N$ , витрачається на обертання барабана, складається з двох складових

$$N = N_1 + N_2 = 5,9 + 25333 = 25338,9 \text{ Вт}$$

де  $N_1$ - потужність, що витрачається на першу категорію опорів;

$N_2$  - потужність, що витрачається на другу категорію опорів.

Величина  $N_1$  включає в себе потужності, що витрачаються на подолання тертя (приймається пропорційною швидкості обертання) і подолання опору повітря (приймається пропорційної кутової швидкості барабана в третього ступеня):

$$N = A\tau + B\tau_3 = 2,6 \cdot 20 + 7,3 \cdot 10^{-4} \cdot 203 = 25,9 \text{ кВт}$$

де  $A$  - коефіцієнт, що представляє собою момент сил тертя (за даними М. А. Пустигіна, на кожні 100 кг маси барабана  $A$  його приймають рівним 2,6 Н-м для штифтового і 0,2 Нм для стабільного);  $B$  - коефіцієнт пропорційності, що залежить від щільності повітря, форми і розмірів обертових частин барабана і має розмірність осьового моменту маси. (Для кожного метра довжини стандартних барабанів  $B$  можна приймати рівним  $7,3 \cdot 10^{-4} \text{ Н/мс}^2$  для штифтового і  $9,7 \cdot 10^{-4} \text{ Н/м} \cdot \text{с}^2$  для стабільного).

Для визначення  $N_2$  слід враховувати, що дія барабана на хлібну масу супроводжується ударами і протягуванням її в робочій щілині. Удари по хлібній масі слідують через короткі проміжки часу (0,0045...0,0075 с).

Повне окружне зусилля  $P$  на батоги або штифтах барабана складається з сили  $P$  на удар і сили  $P_2$  на подолання опору протягування маси крізь робочу щілину, що супроводжується перетиранням стебел:

$$P = P_1 + P_2 = 1800 + 1560 = 3360 \text{ Н}$$

Скориставшись законом про зміну кількості руху (імпульсу), визначимо силу і момент удару.

Позначимо час удару через  $t$ . Тоді при рівномірній подачі захоплена маса за час одного удару одним билом буде дорівнює

$$\Delta m = m' \Delta t = 100 \cdot 0,0045 = 0,45 \text{ кг}$$

Так як солома має слабку пружність, вона після удару набуває швидкість  $v$  захопив її била, що представляє собою колову швидкість барабана  $\omega_6$ .

Отже, кількість руху, яке набуває солома масою  $\Delta m$ , дорівнюватиме  $\Delta D_{\text{ТГ}}$ . За збільшенню кількості руху визначається значення імпульсу сили з рівності

$$P_1 \Delta t = \Delta m (v - v_0)$$

Так як  $v_0 = 0$ , сила удару

$$P_1 = \Delta mv / \Delta t = 0,45 \cdot 8 / 0,0045 = 1800 \text{ Н}$$

момент сили удару

$$M = P_1 r_2 \tau = 1800 \cdot 0,42 \cdot 20 = 21560 \text{ Нм}$$

За теорією В.П. Горячкіна, сила  $P_r$  пропорційна повного окружному зусиллю  $P$ , тобто

$$P_2 = fP = 0,7 \cdot 1800 = 1560 \text{ Н}$$

де  $f$  - коефіцієнт пропорційності, що враховує всі опору при протягуванні хлібної маси і званий коефіцієнтом перетирання.

Коефіцієнт перетирання залежить від конструктивних особливостей барабана і підбарабання, фізико-механічних властивостей обмолочують продукту і подачі. Його приймають рівним 0,6...0,75 до бильних апаратів і 0,7...0,8 для штифтових.

З урахуванням значень  $P_1$  і  $P_2$  і вид залежність буде мати

$$P = mv / (1-f) = 3360 \text{ Н}$$

Помноживши обидві частини цієї рівності на  $v$ , отримаємо вираз для потужності  $N_2$ , необхідної для здійснення технологічного процесу обмолоту:

$$N_2 = m v^2 / (1-f) = 100 \cdot 82 / (1-0,7) = 25333 \text{ Вт}$$

Процес роботи молотильного апарату характеризується трьома елементами: працездатністю двигуна як джерела енергії, працездатністю барабана і опорами оброблюваного матеріалу.

Механічна енергія, що передається двигуном барабану, поглинається прискоренням руху останнього, яке, в свою чергу, поглинається опорами хлібної маси, в зв'язку з чим при рівномірній подачі і сталому режимі замість можливого прискореного руху барабана відбувається його рівномірний рух.

Якщо потужність, що дорівнює повній потужності  $N$  двигуна, то в період холостого ходу, тобто коли немає подачі хлібної маси, різниця  $N - N_1$  піде на підвищення кутової швидкості барабана:

$$N - N_1 = J (d\tau / dt) \tau = N_2 = 25333 \text{ Вт}$$

де  $d\tau/dt$  - надається барабану кутове прискорення,  $\text{с}^{-2}$ ;

барабана,  $J$  момент інерції барабана  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ .

Для більш точного розрахунку замість  $J$  слід брати приведений момент інерції  $J_{\text{пр}}$  барабана і пов'язаних з ним обертових мас.

Потужність двигуна  $N$ , підведена до барабану, без подачі хлібної маси буде витрачатися на прискорення його руху:

$$d\tau/dt = N/(J \tau)$$

Можливе прискорення барабана буде тим більше, чим більше потужність двигуна і менше момент інерції і кутова швидкість. При постійних  $N$  і  $\tau$  кутове прискорення барабана («прихід» прискорення) зменшується з підвищенням його кутової швидкості, про що свідчить крива  $I$  (рис. II.) цієї залежності.

При завантаженні барабана хлібною масою зменшення цього прискорення («витрата» прискорення) буде визначатися залежністю

$$d\tau / dt = m r_2 / (1-f)\tau = 1000,42 / (1-0,7) \cdot 20 = 266,7 \text{ v/c}^2.$$

Підвищенню рівномірності ходу барабана сприяє збільшення моменту його інерції. Однак таке збільшення зазвичай пов'язане зі зростанням маси барабана і тривалості розбігу для відновлення втраченої кутової швидкості. Тому момент інерції барабана вибирають в залежності від потужності двигуна.

Критерієм для оцінки достатності моменту інерції може служити значення кутового прискорення, яке повідомляє двигун барабану при розбігу.

Для барабанів молотарок невеликої продуктивності, згідно з рекомендаціями В. П. Горячкина, досить прискорення  $d\tau/dt = 7,5 \text{ c}^{-2}$ , а для більш потужних барабанів  $d\tau / dt = 12...15 \text{ c}^{-2}$ . Так як у сучасних молотаро  $\tau = 100 \text{ c}^{-1}$ .

Витрата потужності на одиницю переробленої маси визначається виразом:

$$N = (J\tau \, d\tau / dt) / 1000 = (0,75...1,5) J = (0,75...1,5) 14320 = 16480 \text{ Вт}$$

звідки видно, що найменший витрата енергії на обмолот буде при малих розмірах барабана і невеликих частотах обертання. Тому прагнуть використовувати барабани можливо меншого діаметра.

Діаметр існуючих барабанів знаходиться в межах 450...800 мм. Ці розміри визначилися як найменші з практично здійснених при заданих значеннях

окружної швидкості, що визначена технологічними вимогами процесу обмолоту.

Діаметр і довжина барабанів

На додаток до вищевказаного про розміри діаметра барабана відзначимо, що при виборі цього параметра враховують умови розміщення необхідного числа бичів, забезпечення необхідного моменту інерції і зменшення можливості намотування стебел.

Число бичів у стабільних барабанів встановлюють з умов створення найкращого робочого ефекту обмолочування і приймають парних ( $M = 6...10$ ).

Діаметр бильного барабана  $d$  з числом бичів  $M$  знаходять із залежності

$$d = v \Delta t M / \pi = 30 \cdot 0,0045 \cdot 2560 / 3,14 = 783,5 = 800 \text{ мм}$$

де  $v$  - розрахункова окружна швидкість бичів, 28...32 м/с;

$\Delta t$  - проміжок часу укладання між ударами двох суміжних бичів ( $\Delta t = 0,0045...0,0075$ ).

Довжина бильного барабана  $l_6$  визначається в залежності від секундної подачі хлібної маси  $s_1$  числа бичів  $M$  і допустимої подачі  $s_0$  на 1 м довжини бича:

$$l_6 = s / s_0 M = 100 / 0,25 \cdot 2560 = 1650 = 1500 \text{ мм}$$

Допустиму подачу  $m_0$  на 1 м довжини бича для хлібної маси вологістю 14...18% при відношенні зерна до соломи 1:3 приймають рівною 0,25...0,35 кг/(с·м). При підвищенні вологості маси на 5% значення то знижують на 15...20%. Сучасні бильні барабани мають довжину 1100...1750 мм.

Аналіз роботи бильного апарату показує, що найбільша кількість зерна просівається крізь отвори деки в середній частині довжини барабана. Тут же спостерігається і найбільший недомолоту хлібної маси.

Довжина штифтового барабана  $l_{ш}$  визначається за формулою

$$l_{ш} = (Z / k_1) a, = (400/5-1) \cdot 30 = 1430 = 1500 \text{ мм}$$

де  $Z$  - число зубів на барабані;

$k_1$  - число заходів гвинтовий лінії;

$a$  - відстань між слідами зубів барабана ( $a = 28...32$  мм).

Значення  $z$  залежить від заданої продуктивності барабана  $m_f$  і допустимої подачі хлібної маси на один зуб  $s_6$ :

$$z = M / m_f = 100 / 0,025 = 400,0$$

Значення  $s_6$  для середніх умов приймають рівним  $0,025...0,035$  кг/с. Число заходів  $k$  приймають рівним 2; 3; 4 і 5. Великі значення беруть для більш продуктивних барабаном, менші - для менш продуктивних. Сучасні комбайни мають довжину штифтових барабанів  $650...1200$  мм.

довжина 1п планки барабана буде

$$l_{п} = l_{ш} + 2\Delta l = 1500 + 2 \cdot 20 = 1540 \text{ мм}$$

де  $\Delta l = 18...22$  мм.

Діаметр штифтового барабана  $d$  з числом планок  $M$ , їх кроком  $t_1$  і висотою штифта  $h$  пов'язаний залежністю

$$d = Mt_1 / \pi + 2h = 12 \cdot 120 / 3,14 + 2 \cdot 10 = 800 \text{ мм}$$

Число планок  $M$  штифтових барабанів одно  $6...12$ . Крок планок  $t_1$  становить  $100...120$  мм.

### **3.3. Розміщення штифтів на барабані**

Спосіб розміщення штифтів на барабані полягає в використанні багатозахідної гвинтової лінії. Знаючи число планок  $M$ , їх крок/діаметр по підставі штифтів  $d_0$ , відстань між слідами  $a$  й число заходів/г, можна побудувати розгортку барабана. Для цього проводять III паралельних горизонтальних ліній на відстані  $t$  одна від одної. Відклавши на лінії I крок гвинтової лінії, рівний  $I_b = 14a$ , викреслюють її розгортку. Потім паралельно їй на відстані  $B = M_a/k$  одну від одної проводять похилі лінії, що представляють собою розгортки інших гвинтових ліній. Точки перетину похилих і горизонтальних ліній визначають місце розташування штифтів барабана.

Число слідів, зображених на схемі пунктирними лініями.

По одному сліду за кожен оборот барабана проходить стільки штифтів, скільки заходів має гвинтова лінії з ростом числа заходів гвинтовий лінії збільшується число штифтів на барабані і зростає його продуктивність.

Число планок обов'язково має бути кратним числом заходів гвинтовий лінії, щоб розгортка барабана ділилась на ціле число частин і по кожному сліду проходило однакове число штифтів. Це сприяє більш рівномірною. 5. Конструкторський розрахунок

Розрахувати передачу від двигуна до валу молотильно-сепаруючого пристрою.

Вихідні дані:

Потужність двигуна  $P = 165 \text{ кВт}$

Частота обертання двигуна  $n = 1410 \text{ об / хв}$

Розглядаємо розрахунок передачі вузькими клиновими ременями як найбільш поширеною.

Вибір профілю ремня і діаметра малого шківів

Номінальний обертальний момент, що розвивається електродвигуном на швидкохідному шківі

$$T_1 = 9550 \frac{P_{з\partial}}{n_{з\partial}} = 9550 \frac{3}{1410} = 20.3 \text{ Нм,}$$

За табл. 3.1 приймаємо профіль УО і діаметр малого шківів  $d_1 = 163 \text{ мм}$

Таблиця 3.1

Профіль УО і діаметр малого шківів

Тип ремня	позначення перетину	$A, \text{ мм}^2$	Граничні розрахункові довжини, мм	$d_{\min}, \text{ мм}$	$T_1$
Клинові вузькі по ТУ 38-105161-8	УО	53	630...3550	63	<150
	УА	93	800...4500	90	90...400
	УБ	159	1250 ... 8000	140	300 ... 2000
	УВ	278	2000 ... 8000	224	> 1500

Примітка: крутний момент на малому шківі, А- площа поперечного перерізу ременя.

Перевірка швидкості ременя

$$v_1 = \frac{\pi d_1 n_1}{60 \cdot 1000} = \frac{\pi \cdot 63 \cdot 1410}{60 \cdot 1000} = 4,55 \text{ м/с},$$

Швидкість ременя не перевищує допустиму, рівну  $v_T = 40 \text{ м/с}$ .

Вибір діаметра великого шківів

$$d_2 = d_1 \cdot u \cdot (1 - \xi_y) = \frac{63 \cdot 1410}{60 \cdot 1000} (1 - 0.01) = 125,6 \text{ мм},$$

Округляємо  $d_2$  до найближчого стандартного значення по табл. 3.1.

Вибір міжосьової відстані

Оптимальне міжосьова відстань визначаємо:

$$a = 1,2d_2 = 1,2 \cdot 125 = 150 \text{ мм},$$

Визначення довжини ременя.

$$L = 2a + \pi d_{cp} + \frac{\Delta^2}{a} = 2 \cdot 150 + \frac{\pi(63 + 126)}{2} + \frac{(125 - 63)^2}{4 \cdot 150} = 601,7 \text{ мм},$$

Закругляємо довжину ременя до найближчого стандартного значення по ряду довжин ременів, що збігається з рядом нормальних лінійних розмірів. Приймаємо  $L$  за табл. 3.1 перевіряємо відповідність прийнятого значення діапазону довжин ременів профілю УО.

Уточнення міжосьової відстані.

$$a = \frac{L - \pi d_{cp}}{4} + \frac{1}{4} \sqrt{(L - \pi d_{cp})^2 - 8\Delta^2} = 164,4 \text{ мм},$$

Визначення потужності, переданої одним ременем в реальних умовах.

$$[P_1] = P_0 \cdot C_\alpha \cdot C_p \cdot C_L \cdot C_u$$

Кут охоплення ременем малого шківів

$$\alpha = 180^\circ - \frac{2\Delta}{a} 57.3 = 158.4^\circ,$$

$$C_a = 1.24 \left( 1 - e^{-\frac{\alpha}{10}} \right) = 0,946.$$

Коефіцієнт режиму роботи при роботі в одну зміну дорівнює 1, при двозмінній 0,87, при тризмінній 0,72, в даному випадку  $C_a = 1$

Коефіцієнт довжини ременя

$$C_L = \sqrt{\frac{L}{L_0}} = 0,856$$

$$L_0 = 1600 \text{ мм.}$$

В даному випадку

$$[P_1] = 1 \cdot 0,946 \cdot 1 \cdot 0,856 \cdot 1,13 = 0,92 \text{ кВт}$$

Визначення необхідної кількості ременів.

$$z = \frac{P_{з\delta}}{[P_1] C_z},$$

де приймають  $C_z = 0,95$  при числі  $z = 2..3$  ременів,  $0,9$  при  $i$   $0,85$  при  $z > 6$ .

Приймаємо  $C_z = 0,9$ , тоді

$$z = \frac{3}{0,92 \cdot 0,9} = 3,62$$

Округляєм значення  $z$  до найближчого більшого цілого, остаточно число ременів  $z = 4$ .

Визначення сили, що діє на вали.

Напруга від попереднього натягу  $\sigma_0$  для вузьких клинових ременів приймають 3МПа, площа перетину ременя  $A$  по табл.3.1. Сила попереднього натягу

$$F_0 = \sigma_0 \cdot A = 3 \cdot 56 = 168 \text{ Н.}$$

Кут між гілками ременя

$$\gamma = \frac{2\Delta}{a} = \frac{2 \cdot 31}{164,4} = 0,377^\circ$$

Сила, що діє на вали

$$F_\Sigma = 2F_0 \cdot z \cdot \cos \gamma / 2 = 1650 \text{ Н.}$$

## 4 ТЕОРЕТИЧНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВПЛИВУ БАРАБАНА І ПІДБАРАБАННЯ НА ОБМОЛОТ МАСИ

### 4.1. Вплив барабана і підбарабання на обмолочувану масу

Встановлено, що характер руху обмолочуваної маси вздовж підбарабання є не безперервним, а має порційно-переривчастий характер руху. Маса, проходячи в зазорі, піддається ударам і вигинає поверхні бичів барабана і планок підбарабання. При цьому в різних зонах молотильного зазору обмолочувана маса відчуває різний вплив (рис. 4.1).

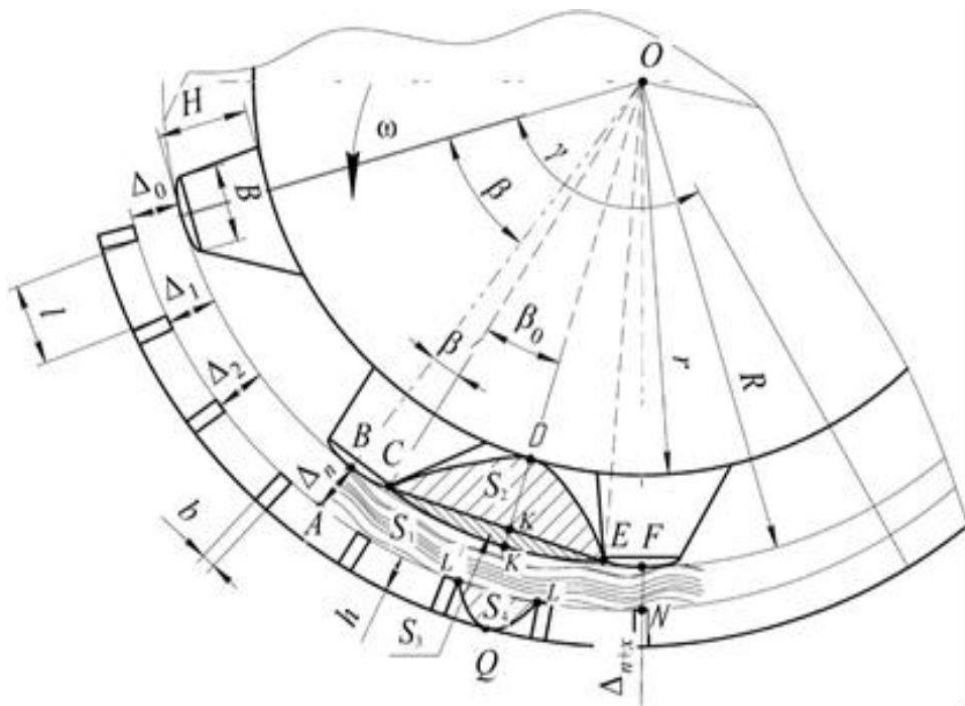


Рис. 4.1. - Схема для визначення площ перетинів характерних зон впливу на обмолочують масу

Колове зусилля, що діє на елементи конструкції МСП, можна визначити за уточненою формулою академіка В. П. Горячкина:

$$P = \frac{M'v_m}{1-f},$$

де  $M'$ - маса порції, приведена до одиниці часу, кг/с;

$v_m$  - середня швидкість руху порції обмолочуваної маси в зазорі, м/с;

$f$  - коефіцієнт перетирання соломи.

Частина (порція) обмолочуваної маси ( $M$ ), що знаходиться між центрами сусідніх бичів барабана, по зонах розташування в молотильного зазорі може бути представлена наступними складовими:

$$M = (S_1 + S_2 + S_3 + S_4) L_b \gamma_{cp}.$$

де  $S_1$  - площа перерізу, яку займає маса між бичами барабана і планками підбарабання, яка піддається ударно перетиральному впливу,  $m^2$ ;

$S_2$  - площа перерізу, яку займає масою в верхній частині проміжку між барабаном, переважно ударна сила,  $m^2$ ;

$S_3$  - площа перерізу, яку займає масою в нижній частині проміжку між бичами барабана, що піддається переважно ударному впливу,  $m^2$ ;

$S_4$  - площа перерізу, яку займає масою в проміжку між планками підбарабання, яка піддається переважно ударному впливу,  $m^2$ ;

$L_b$  - робоча довжина молотильного барабана, м;

$\gamma_{cp}$  - середнє значення об'ємної маси матеріалу, що знаходиться в зоні обмолота,  $кг/м^3$ .

Користуючись виразами, можна обчислити площі таких зон, як  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$ , які визначаються за відомими розмірними параметрами МСУ:

$$S_2 = \frac{1}{2} \sqrt{2R^2 - 2R^2 \cdot \cos 2\beta_0} \cdot ((R - r) - R(1 - \cos \beta_0));$$

$$S_3 = \frac{1}{2} \sqrt{2R^2 - 2R^2 \cdot \cos 2\beta_0} \cdot (R(1 - \cos \beta_0));$$

$$S_4 = \frac{1}{2} l_i h_i;$$

де  $R$  - радіус молотильного барабана, м;

$\beta_0$  - кут між радіусами, проведеними до середини відстані між підбичниками і внутрішньою кромкою бича, рад.;

$r$  - радіус диска підбичника, м;

$l_i$  - відстань по дузі між планками розглянутої частини підбарабання, м;

$h_i$  - висота планок підбарабання над прутами підстави, м.

У межах площі  $S_1$  маса відчуває ударно-перетирають вплив при різних швидкостях руху шарів матеріалу.

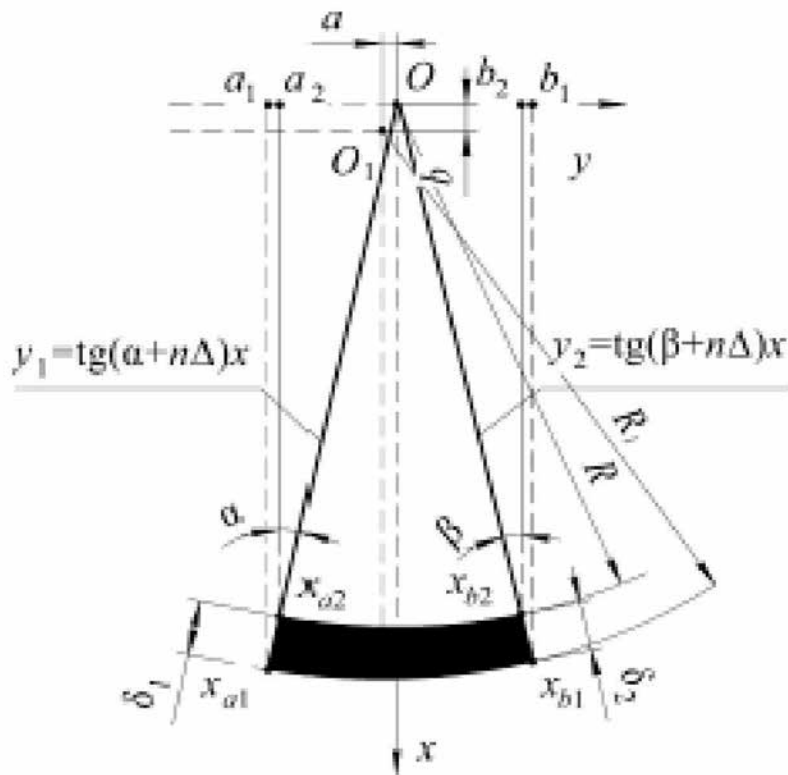


Рис. 4.2. - Схема для визначення площі  $S_1$

Внаслідок цього перетину утворені точки  $x_{a1}$ ,  $x_{a2}$ ,  $x_{b1}$  і  $x_{b2}$ . Формула для визначення площі  $S_1$  в залежності від кута повороту молотильного барабана має вигляд:

$$S_1 = S_{a_1 x_{a1} x_{b1} b_1} - S_{a_2 x_{a2} x_{b2} b_2} - S_{a_1 x_{a1} x_{a2} a_2} - S_{b_1 x_{b1} x_{b2} b_2};$$

Кожна з площ визначається залежністю:

$$S_{a_1 x_{a1} x_{b1} b_1} = \int_{b_1}^{a_1} f_2(x_1) dx;$$

$$S_{a_2 x_{a2} x_{b2} b_2} = \int_{b_2}^{a_2} f_1(x_1) dx;$$

$$S_{a_1 x_{a1} x_{a2} a_2} = \frac{f_2(a_1) + f_1(a_2)}{2} (a_1 - a_2);$$

$$S_{b_1 x_{b_1} x_{b_2} b_2} = \frac{f_2(b_1) + f_1(b_2)}{2} (b_1 - b_2).$$

Підставивши вирази отримаємо вираз для визначення площі  $S_1$ :

$$S_1 = \int_{b_1}^{a_1} f_2(x_1) dx - \int_{b_2}^{a_2} f_1(x_1) dx - \frac{f_2(a_1) + f_1(a_2)}{2} (a_1 - a_2) - \frac{f_2(b_1) + f_1(b_2)}{2} (b_1 - b_2)$$

де  $a_1, a_2, b_1$  і  $b_2$  - межі інтегрування (постійно змінюються при обертанні молотильного барабана координати даних точок по осі  $X$ , м.

Швидкість руху порції маси  $v_m$ , Уздовж підбарабання можна визначити за формулою:

$$v_m = B_{жс} v_{до} U / L_{б} \Delta_{ср} \gamma_{ср};$$

де  $B_{жс}$  - ширини захвату жатки, м;

$v_{до}$  - швидкість руху комбайна, м/с;

$U$  - врожайність рослинної маси, кг/м<sup>2</sup>;

$\Delta_{ср}$  - середнє значення молотильного зазору, м.

Після приведення до одиниці часу значення маси порції  $M$  і підстановки в вираз середньої швидкості руху порції маси в молотильного зазорі ум значення окружного зусилля одно

$$P = \frac{(S_1 + S_2 + S_3 + S_4) k \cdot v_{б} \cdot B_{жс} \cdot v_{к} \cdot U}{\pi D \Delta_{ср} (1 - f)},$$

де  $k$  - число бичів молотильного барабана;

$v_{б}$  - швидкість бичів молотильного барабана, м/с;

$D$  - діаметр молотильного барабана, м.

Значним окружного зусилля, визначеним за даним висловом, можна користуватися при визначенні параметрів МСП на стадії проектування.

Вираз для визначення числа поперечних планок диференційованого підбарабання має вигляд

$$n_n = \frac{\pi R_1 \beta_{ox}}{360} \left( \frac{1}{l_{\min} + b} + \frac{1}{l_{\max} + b} \right),$$

де  $R_1$  - радіус кривизни підбарабання, м;

$\beta_{ox}$  - кут обхвату підбарабання, радий;

$l_{min}$  - нижня межа інтервалу зміни відстані між поперечними планками, м;

$b$  - ширина планки, м;

$l_{max}$  - верхня межа інтервалу зміни відстані між поперечними планками, м.

Вираз для визначення мінімальної відстані між поперечними планками диференційованого підбарабання має вигляд:

$$l_{min} = \frac{\frac{2L_{II}}{n_{II}} d_1 (n_{II} - 1)}{2},$$

де  $L_{II}$  - довжина підбарабання, м;

$d_1$  - крок зміни відстані між поперечними планками, м.

Вираз для визначення максимальної висоти поперечної планки відносно поздовжніх прутків має вигляд:

$$h_{max} = \frac{2\Delta S_1 + d_h (l_2 + 2l_3 + \dots + (n-1)l_n)}{l_1 + l_2 + \dots + l_n},$$

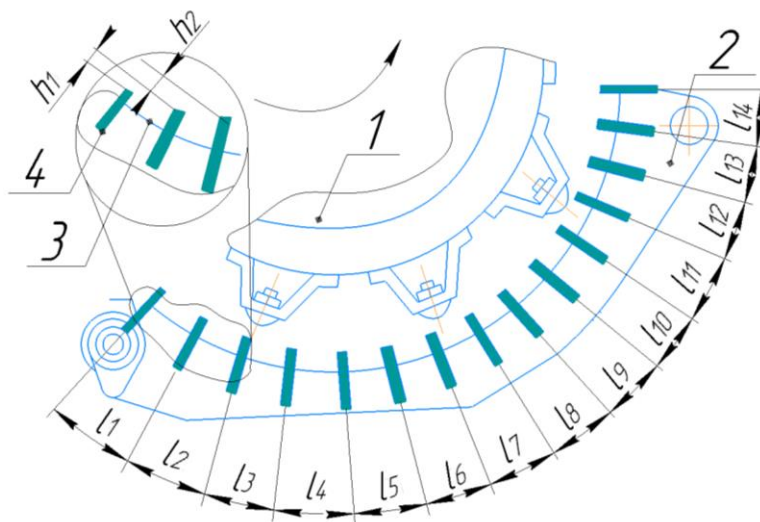
де  $S_1$  - зміна площі перетину  $S_1$  від максимального значення  $S_{1min}$  в зоні входу в МСУ до мінімального  $S_{1min}$  в зоні виходу з МСУ, м<sup>2</sup>;

$d_h$  - крок зміни висоти поперечних планок, м;

$l_1, l_2, \dots, l_n$  - відстані між поперечними планками, м;

$n$  - число поперечних планок, що знаходяться між центрами сусідніх бічних.

Наведена програма і методики лабораторних та виробничих досліджень визначення деформації стебел між планками підбарабання і процесу обмолоту і сепарації зерна МСУ з диференційованим підбарабанням.



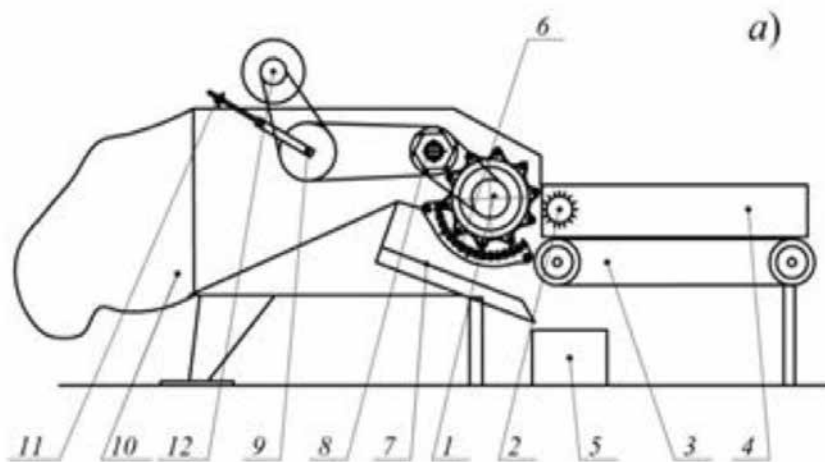
а - схема диференційованого підбарабання; б - загальний вигляд;  
 1 - молотильний барабан; 2 - підбарабання; 3 - пруток; 4 - планка.  
 Рис. 4.3 - Диференційоване підбарабання

Програмою лабораторних досліджень передбачалося розробити конструкцію молотильного апарату з використанням переваг диференційованого підбарабання, досліджувати параметри деформації обмолочують матеріалу на робочій поверхні підбарабання, визначити інтервали варіювання значень основних факторів, що впливають на процес обмолоту і сепарації зерна МСУ з диференційованим підбарабанням, визначити раціональні параметри запропонованої конструкції підбарабання і отримати математичну модель процесу обмолот і сепарації.

Етапи експериментів в виробничих умовах передбачали перевірку результатів теоретичних і експериментальних досліджень у виробничих умовах, проведення порівняльних випробувань зернозбиральних комбайнів з серійним і диференційованим підбарабанням.

Дослідження процесу деформації стебел між планками підбарабання проводилося за допомогою спеціально виготовленої лабораторної установки.

Дослідження процесу обмолоту і сепарації, а також впливу параметрів МСУ на якісні показники його роботи .



а - схема установки; б - загальний вигляд установки;

1 - молотильний барабан; 2 - подає бітер; 3 - транспортер; 4 - огорожа;  
 5 - ємність для збору маси, що пройшла через підбарабання; 6 - підбарабання;  
 7 - лоток; 8 - відбійний бітер; 9 - клиноремінний варіатор; 10 - мішок для збору соломки; 11 - гвинт регулювання обертів; 12 - електродвигун.

Рис. 4.4. - Схема і загальний вигляд установки

При дослідженнях деформації стебел встановлено, що вигин стебел в значній мірі залежить від відстані між планками підбарання. За усередненими даними, питомі енерговитрати на вигин стебел більш значні при відстані між планками  $(50...80) \cdot 10^{-3}$  м і становлять  $(2...10) \cdot 10^{-3}$  Дж/м, при збільшенні відстані між планками понад  $(90...120) \cdot 10^{-3}$  енерговитрати стабілізуються на рівні до  $(1,5...2,0) \cdot 10^{-3}$  Дж/м (Рис. 4.5).

Встановлений інтервал змін відстаней між поперечними планками підбарання дозволив визначити за виразом число планок диференційованого підбарання ( $n_{\Pi} = 15$ ). За висловом визначено мінімальну відстань між поперечними планками ( $l_{\min} = 53,5 \cdot 10^{-3}$  м) при кроці зміни відстані між ними  $d_1 = 2 \cdot 10^{-3}$  м. За висловом (16) визначена максимальна висота поперечної планки щодо поздовжніх прутків  $h_{\max} = 26 \cdot 10^{-3}$  м.

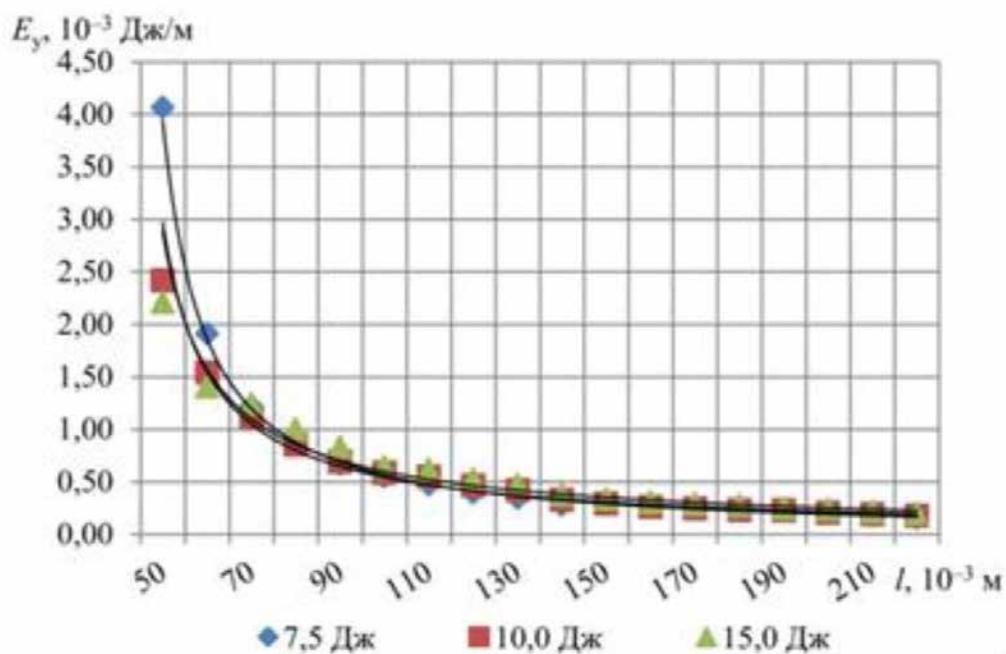
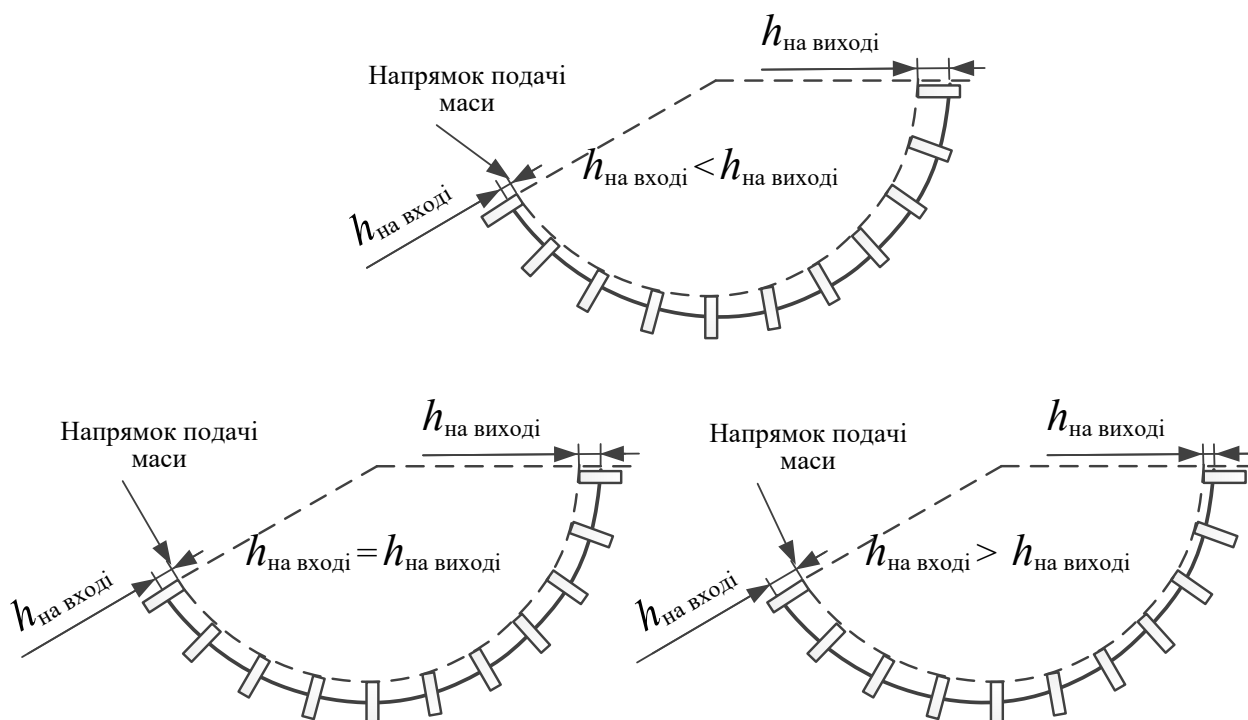


Рис. 4.5 - Залежності питомих енерговитрат на деформацію стебел  $E_y$  при випадковому розташуванні стебел від відстані між планками

Під час однофакторних експериментів досліджені три підбарання з різними робочими поверхнями, утвореними поперечними планками і прутками.

Варіанті «Підбарабання 1», що має диференційовану робочу поверхню (Рис. 4.6, а), висота планок щодо прутків від входу до виходу з МСУ збільшується ( $h$  на вході  $<$   $h$  на виході). «Підбарабання 2» (Рис. 4.6, б) має однаково висоту планок щодо прутків ( $h$  на вході  $=$   $h$  на виході). У варіанті «Підбарабання 3» (рис. 4.6, в), також має диференційовану поверхню, висота планок щодо прутків від входу до виходу зменшується ( $h$  на вході  $>$   $h$  на виході).



а - підбарабання з збільшується висотою планок щодо прутків від входу до виходу з МСУ; б - серійне підбарабання з постійними параметрами планок; в - підбарабання з зменшується висотою планок щодо прутків від входу до виходу з МСУ.

Рис. 4.6 - Схеми досліджуваних підбарабань

Встановлено, що підбарабання з диференційованою робочою поверхнею («Підбарабання 1» і «Підбарабання 3») мають більшу сепаруючу здатність в у порівнянні з підбарабання серійного виконання. З рисунків 4.6 і 4.7 видно, що А (77,7%) при менших затратах потужності забезпечує «Підбарабання 1». Більш високу продуктивність показало МСУ з варіантом «Підбарабання 1», у якого при Споживана потужність 7500 Вт була досягнута наведена подача 0,075

кг/м. У варіанті «Підбарання 3» максимальна наведена подача при тій же потужності склала 0,065 кг/м.

Проведені експерименти дозволили визначити інтервали варіювання значень факторів при роботі МСУ з диференційованим підбаранням: наведена подача  $\mu_0 = 0,045 \dots 0,075$  кг/м; лінійна швидкість бичів  $v_{\phi} = 20 \dots 40$  м/с; Проміжок між барабаном і підбаранням на вході в МСУ  $l_{вх} = 0,018 \dots 0,04$  м; Проміжок між барабаном і підбаранням на виході з МСУ  $l_{вих} = 0,002 \dots 0,018$  м.

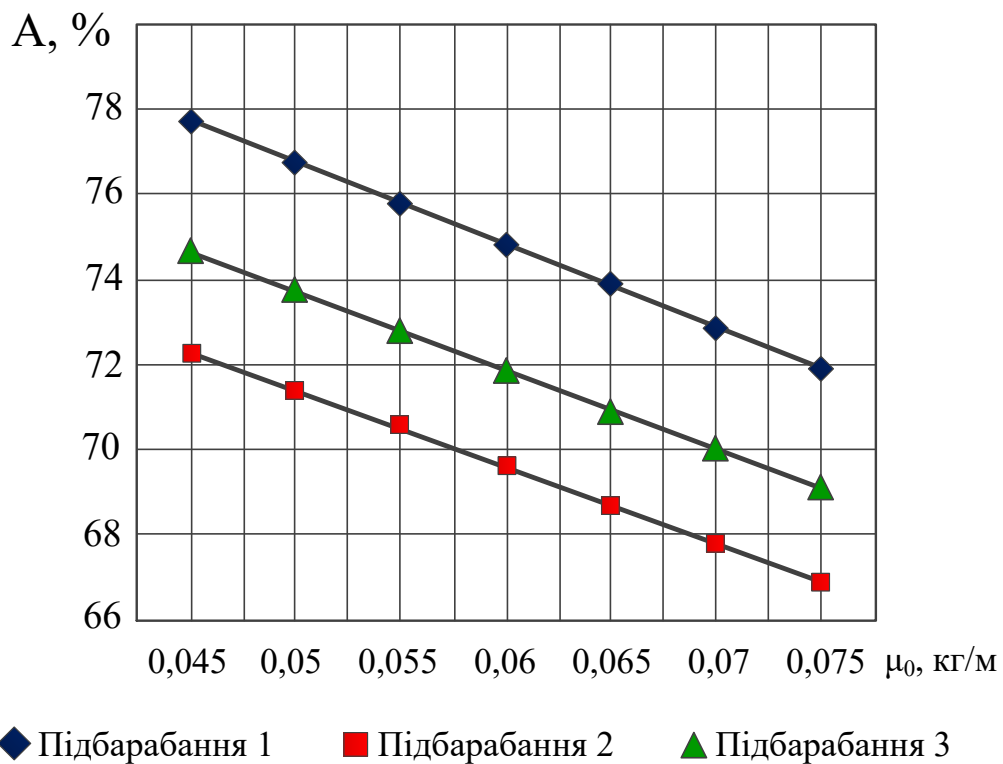


Рис. 4.7 - Залежність сепарації зерна А від наведеної подачі  $\mu_0$

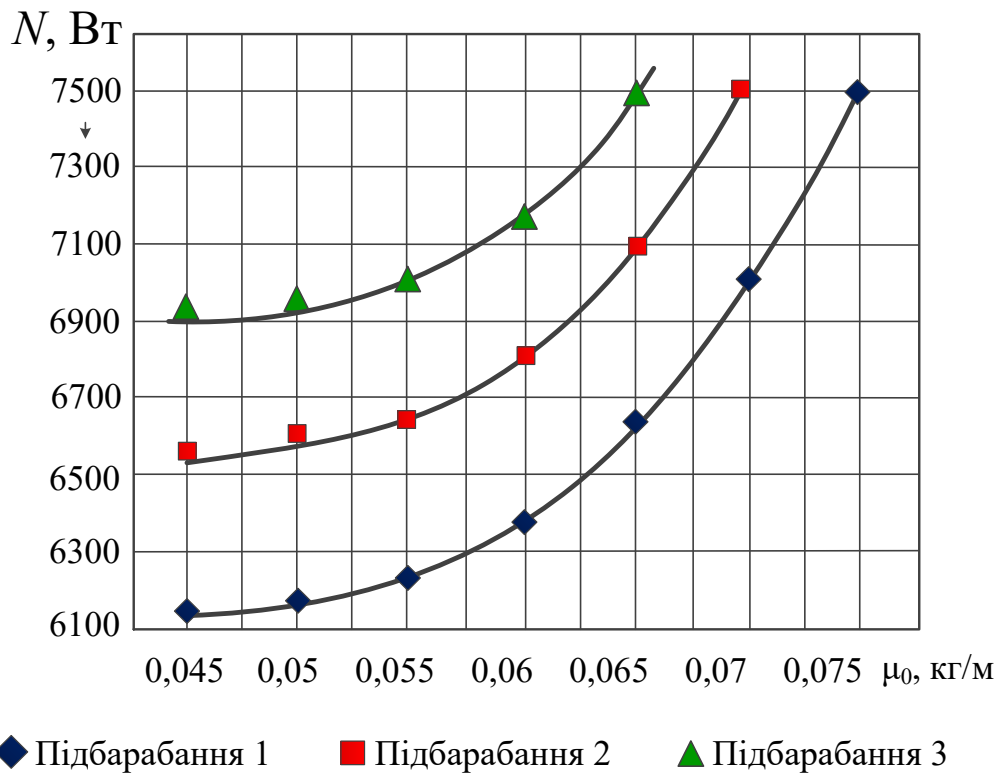


Рис. 4.8 - Залежність споживаної потужності на привід молотильного барабана  $N$  від наведеної подачі  $\mu_0$

Внаслідок обробки експериментальних даних отримані рівняння регресу для кожного з результуючих параметрів, відповідні експериментальних даних (перевірка відповідності проводилася за критерієм Фішера):

- ступінь виділення зерна через підбарабання

$$B = -3,33 + 0,264 \cdot v_{\bar{\sigma}} - 38,21\Delta_{ex} - 0,0036v_{\bar{\sigma}2} + 897,066\Delta_{ex2} - 95,747\mu_0\Delta_{ex} - 112,634\Delta_{ex}\Delta_{вих}$$

- ступінь дроблення зерна

$$D = 0,0017 \cdot v_{\bar{\sigma}} - 2,116\Delta_{ex} - 0,0018v_{\bar{\sigma}2} + 8,05\Delta_{ex2} + 87,105\Delta_{вих2} - 0,013v_{\bar{\sigma}}\Delta_{ex} - 2,074\mu_0\Delta_{ex} - 19,814\Delta_{ex}\Delta_{вих}$$

- ступінь чистоти зерна, відсепарованого підбарабанням

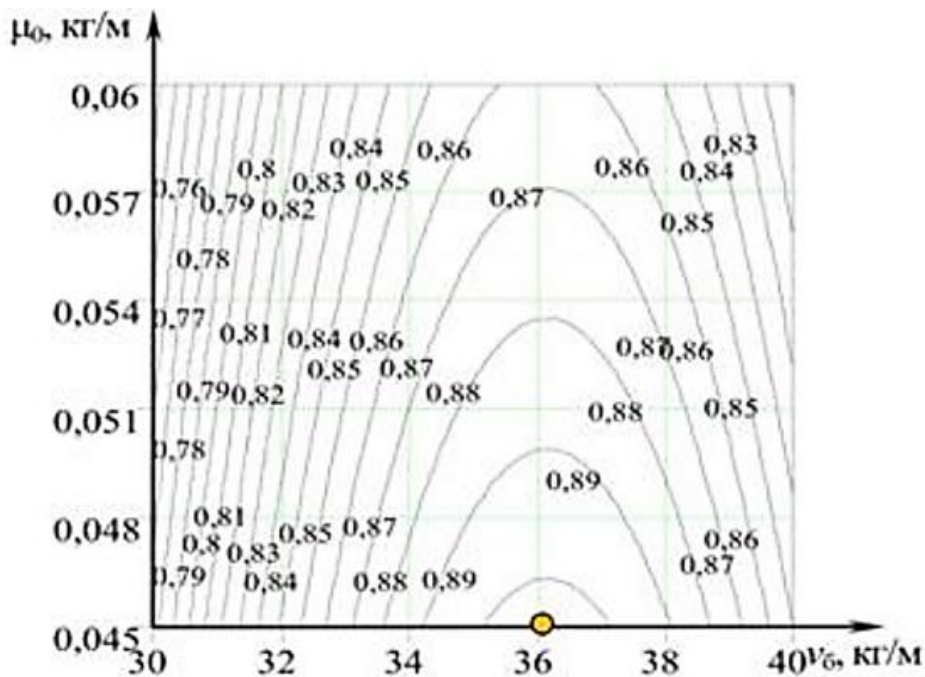
$$C = 0,387 + 8,943\mu_0 + 20,424\Delta_{вих} - 0,000028v_{\bar{\sigma}2} - 77,452\mu_0^2 - 426,857\Delta_{вих2} + 0,053v_{\bar{\sigma}}\Delta_{ex} - 0,086v_{\bar{\sigma}}\Delta_{вих} - 57,026\mu_0\Delta_{вих} + 54,507\Delta_{ex}\Delta_{вих}$$

- потужність на привід молотильного барабана

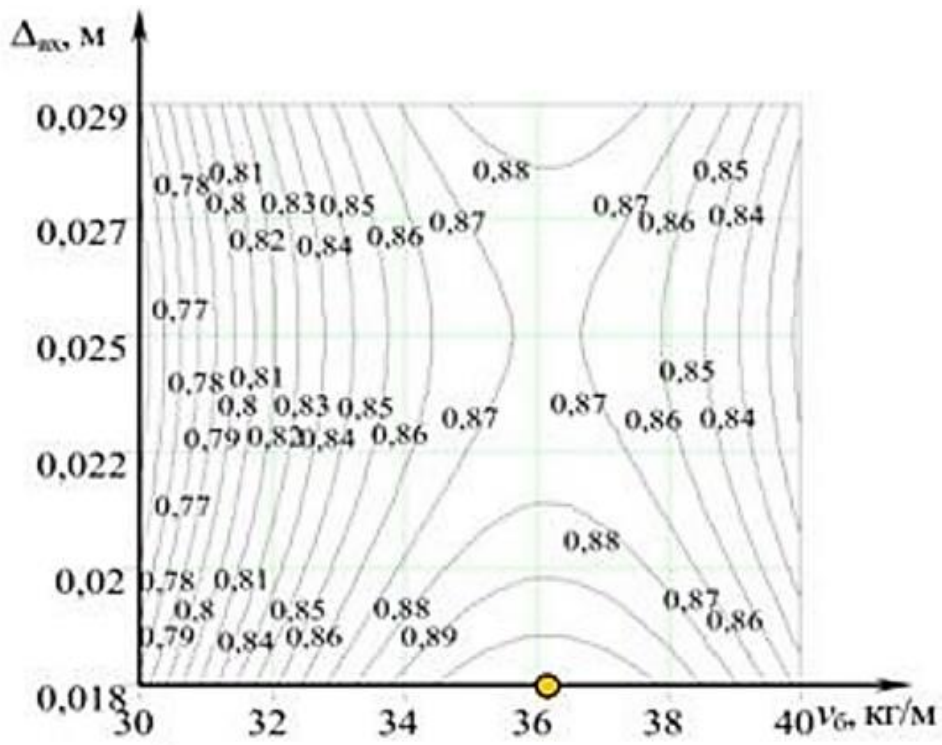
$$N = 5062,0 + 32,77v_{\sigma} + 22491,78\mu_0 - 50861,7\Delta_{\text{вх}} - 93,33v_{\sigma}\mu_0 - 435,94v_{\sigma}\Delta_{\text{вх}} - 199102,0\mu_0\Delta_{\text{вх}} + 282291,7\mu_0\Delta_{\text{вих}} + 221584,5\Delta_{\text{вх}}\Delta_{\text{вих}}$$

З аналізу рівнянь регресії другого порядку визначення знаходимо оптимум і вивчені властивості поверхонь відгуку в околицях оптимуму. Для кожного параметра визначено оптимальні значення. Так, для ступені виділення зерна оптимальні значення складають:  $v_{\sigma} = 36$  м/с;  $\mu_0 = 0,045$  кг/м;  $\Delta_{\text{вх}} = 0,018$  м;  $\Delta_{\text{вих}} = 0,002$  м, при цьому  $B = 0,936$  (93,6%). Для ступеня дроблення  $D$  оптимальні значення:  $v_{\sigma} = 20$  м/с;  $\mu_0 = 0,051$  кг/м;  $\Delta_{\text{вх}} = 0,040$  м;  $\Delta_{\text{вих}} = 0,017$  м, при цьому  $D = 0$ . Для ступеня чистоти зерна  $Ч$  оптимальні значення:  $v_{\sigma} = 20$  м/с;  $\mu_0 = 0,053$  кг/м;  $\Delta_{\text{вх}} = 0,040$  м;  $\Delta_{\text{вих}} = 0,018$  м, при цьому  $Ч = 0,855$  (85,5%). Для потужності на привід молотильного барабана  $N$  оптимальні значення:  $v_{\sigma} = 20$  м/с;  $\mu_0 = 0,045$  кг/м;  $\Delta_{\text{вх}} = 0,040$  м;  $\Delta_{\text{вих}} = 0,018$  м, при цьому  $N = 5604$  Вт.

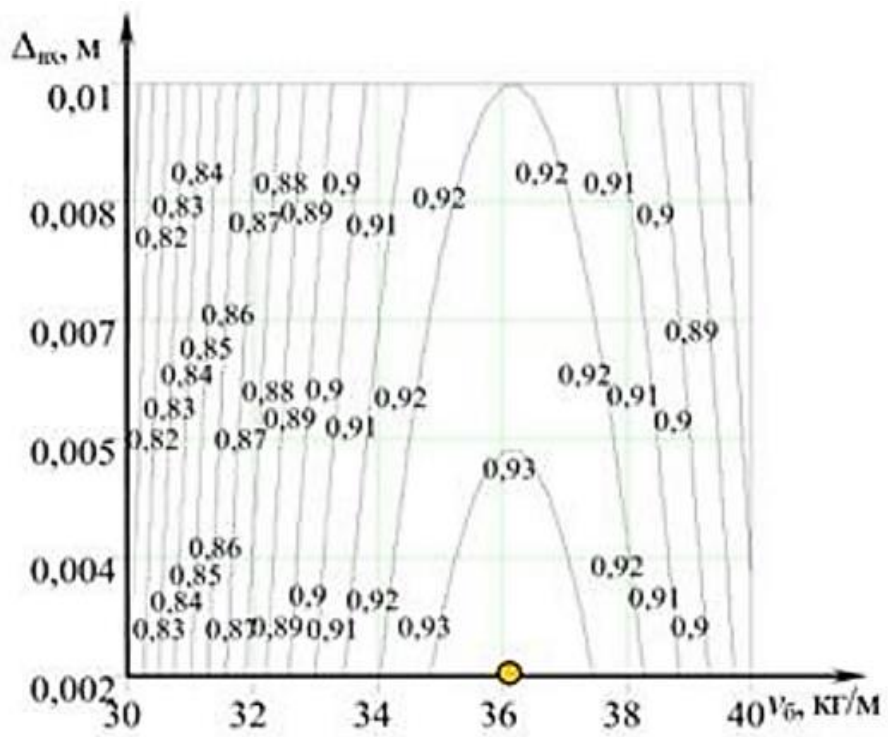
Двовимірні перерізи (Рис. 4.9) для параметра ступеня виділення зерна, прийнятого основним.



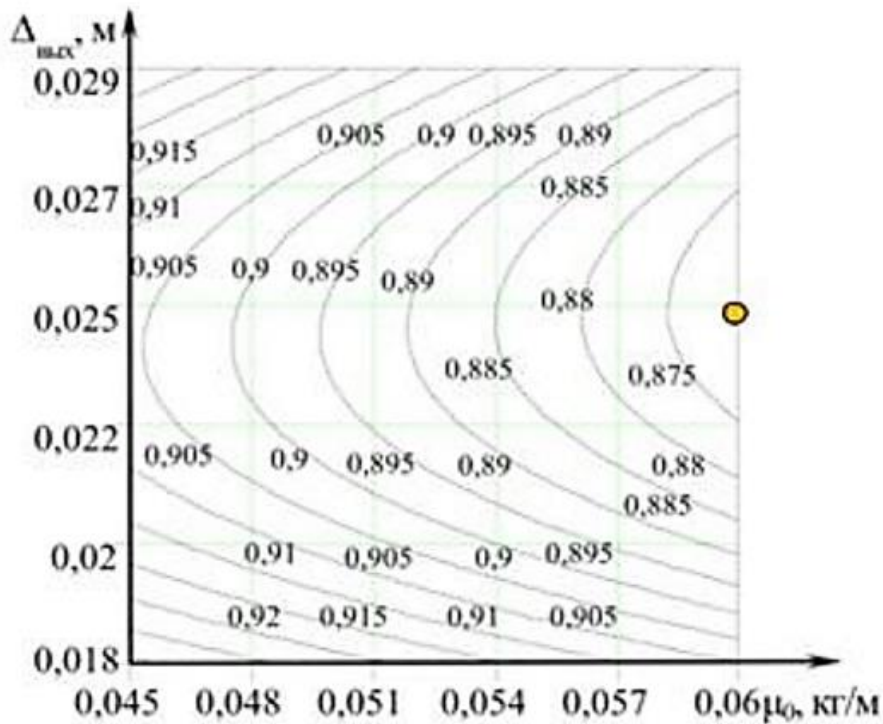
а)



б)



в)



г)

а) -  $\mu_0$  і  $v_{\delta}$ ; б) -  $\Delta_{ex}$  і  $v_{\delta}$ ; в) -  $\Delta_{вих}$  і  $v_{\delta}$ ; г) -  $\Delta_{ex}$  і  $\mu_0$ .

Рис. 4.9. - Двовимірні графіки перетину поверхонь відгуку ступеня виділення зерна диференційованим підбаранням при поєднанні діючих факторів

Аналізуючи отримані графічні залежності параметра ступеня виокремлення зерна, можна відзначити наступне:

- чинниками, що найбільший вплив на ступінь відділення зерна, є наведена подача, лінійна швидкість бичів і зазор на виході з МСУ;

- область оптимуму значень досліджуваних факторів знаходиться в межах: наведена подача - 0,045...0,06 кг/м; лінійна швидкість бичів - 30...40 м/с; зазор на виході з МСУ - 0,002...0,010 м. За допомогою математичного програмування вирішена компромісна задача для цільової функції:

$$B = -3,33 + 0,264v_{\delta} - 38,21\Delta_{ex} - 0,0036v_{\delta^2} + 897,066\Delta_{ex^2} - 95,747\mu_0\Delta_{ex} - 112,634\Delta_{ex}\Delta_{вих} \rightarrow \max$$

Рішення оптимізаційної задачі для цільової функції вироблено в Microsoft Excel за допомогою надбудови «Пошук рішення». Отримані результати

показують, що в МСУ з диференційованим підбарабанням за прийнятими показниками якості виконання технологічного процесу виділення зерна підбарабанням становить 87,6%, дроблення зерна - 0,8%, чистота зерна - 78,0% при значеннях  $v_b = 36$  м/с;  $\mu_0 = 0,055$  кг/м;  $\Delta_{ex} = 0,029$  м;  $\Delta_{вих} = 0,01$  м.

## 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Одним із основних критеріїв економічної ефективності вирощування та збирання сільськогосподарських культур, зокрема озимої пшениці, є собівартість. Вона включає в себе: прямі експлуатаційні затрати, вартість витрачених добрив, пестицидів і насіння, витрати на управління виробництвом.

Прямі експлуатаційні витрати ми визначили на персональному комп'ютері при розрахунку технологічних карт існуючої та проектованої технології виробництва озимої пшениці.

Прямі експлуатаційні витрати коштів на одиницю виконаної роботи визначили по кожній операції для кожного із можливих конкуруючих машинно-тракторних агрегатів. Згідно з методикою, розробленою на кафедрі технічного сервісу та інженерного менеджменту НУБіП України, по кожній операції технологічного процесу виробництва озимої пшениці можна застосовувати до 10 конкуруючих агрегатів.

Прямі експлуатаційні затрати на одиницю виконаної агрегатом роботи дорівнюють:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5; \text{ грн./га,} \quad (5.1)$$

де  $C_1$  – оплата праці обслуговуючого агрегат персоналу, грн./га;

$C_2$  – вартість витрачених паливо-мастильних матеріалів, грн./га;

$C_3$  – відрахування на амортизацію трактора і сільськогосподарських машин, які входять до складу агрегату, грн./га;

$C_4$  – відрахування на технічне обслуговування, грн./га.

$C_5$  – відрахування на зберігання техніки, грн./га.

Оплату праці персоналу, який обслуговує агрегат, визначаємо за формулою:

$$C_1 = \frac{m_1\Pi_1 + m_2\Pi_2 + \dots + m_n\Pi_n}{W_{зм}}, \text{ грн./га;} \quad (5.2)$$

де  $m_1, m_2, \dots, m_n$  – кількість робітників, які обслуговують агрегат, окремо по кожному розряду;

$P_1, P_2, P_n$  – оплата праці за норму виробітку робітника кожної кваліфікації, грн.

$W_{зм}$  – продуктивність агрегату за зміну, га.

За даними комп'ютерного розрахунку  $C_1 = 302,11$  грн /га.

Вартість витрачених матеріалів (паливо мастило):

$$C_2 = C_k \cdot Q, \text{ грн./га};$$

де  $C_k$  – комплексна ціна одного літра палива, грн. Приймаємо з урахуванням доставки палива в господарство:  $C_k = 41,47$  грн/л.

$Q$  = кількість витраченого палива, л/га.

За даними комп'ютерного розрахунку:  $Q = 73,05$  л/га.

$$C_2 = 41,47 \cdot 73,05 = 1568,86 \text{ грн/га.}$$

Відрахування на амортизацію машин в агрегаті визначають:

$$C_3 = \frac{B_T \cdot O_T}{100 \cdot W_z \cdot t_T} + \frac{B_{зч} \cdot O_{зч}}{100 \cdot W_z \cdot t_{зч}} + \frac{B_M \cdot n_M \cdot O_M}{100 \cdot W_z \cdot t_M}, \frac{\text{грн}}{\text{га}} \quad (5.3)$$

де  $B_T, B_{зч}, B_M$  – відповідно балансові вартості трактора, зчіпки, машини, грн.;

$O_T, O_{зч}, O_M$  – норма відрахувань на амортизацію відповідно трактора, зчіпки і машини, %;

$W_z$  – продуктивність агрегату за годину змінного часу, га ;

$t_T, t_{зч}, t_M$  – нормативне річне завантаження трактора, зчіпки і сільськогосподарської машини, год

$$\text{За даними комп'ютерного розрахунку } C_3 = 1503,10 \frac{\text{грн}}{\text{га}}$$

Відрахування на технічне обслуговування визначають за формулою:

$$C_4 = \frac{B_T \cdot P_T}{100 W_z \cdot t_T} + \frac{B_{зч} \cdot P_{зч}}{100 W_z \cdot t_{зч}} + \frac{B_M \cdot n_M \cdot P_M}{100 W_z \cdot t_M}, \text{ грн./га}$$

де  $P_T, P_{зч}, P_M$  – норма відрахувань на технічне обслуговування відповідно трактора, зчіпки, машини, %.

За даними комп'ютерного розрахунку  $C_4 = 651,34 \frac{\text{грн}}{\text{га}}$

$$C_5 = 100,21 \text{ грн./га}$$

Підставивши значення величин у формулу 5.1, одержано:

$$C'' = 302,11 + 1568,86 + 1503,10 + 651,34 + 100,21 = 4125,62 \frac{\text{грн}}{\text{га}}$$

$$C' = 3675,62 \frac{\text{грн}}{\text{га}}$$

Приведені затрати на машинно-тракторний парк визначають за формулою:

$$П_3 = C + E \cdot K, \quad (5.4)$$

де  $E$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;  $E = 0,15$ ;

$K$  – величина капітальних вкладень, грн./га

$$K = \frac{B_T}{W_2 \cdot t_T} + \frac{B_{зч}}{W_2 \cdot t_{зч}} + \frac{B_M \cdot n_M}{W_2 \cdot t_M}, \text{ грн./га} \quad (5.5)$$

Після розрахунку приведених витрат по всіх операціях технологічного процесу вирощування та збирання озимої пшениці комп'ютер видав на друк питоме значення  $П_3 = 6920,49$  грн/га.

Знайдемо вартість насіннєвого матеріалу:

$$H_{\text{мат.}} = Q_{\text{мат.}} \cdot Ц_{\text{мат.}}, \text{ грн./га}$$

де  $Q_{\text{мат.}}$  – норма висіву насіння, т/га;  $Q = 0,20$  т/га;

$Ц_{\text{мат.}}$  – ціна насіння, грн./т,  $Ц_{\text{мат.}} = 9000$  грн./т

$$H_{\text{мат.}} = 0,20 \cdot 9000 = 1800,00 \text{ грн./га.}$$

Вартість витрачених матеріалів включає затрати на органічні, мінеральні добрива, пестициди і насіння.

Для існуючої технології:

$$M' = 1840,60 + 6840,00 + 243,39 + 1800,00 = 10723,79 \text{ грн/га}$$

Для проектованої технології:

$$M'' = 3375,00 + 8707,50 + 405,00 + 1800,00 = 14287,50 \text{ грн/га}$$

Для існуючої технології:

$$П' = 3675,62 + 10723,79 = 14399,41 \frac{\text{грн}}{\text{га}}$$

Для проектованої технології:

$$П'' = 4125,62 + 14287,50 = 18413,12 \frac{\text{грн}}{\text{га}}$$

Затрати на соціальні заходи за існуючою і проектованого виробництва зерна озимої пшениці приймаємо за даними звітності господарства та комп'ютерних розрахунків:

Для існуючої технології:

$$C'_{\text{зах}} = 21560,00 \text{ або } 102,67 \text{ грн / га}$$

для проектної технології :

$$C''_{\text{зах}} = 23347,16 \text{ грн, або } 111,17 \text{ грн/га}$$

Затрати на амортизацію будівель і обладнання машинного двору, які припадають на виробництво озимої пшениці, наведено у таблиці 5.1

Таблиця 5.1

Відрахування на амортизацію будівель і обладнання машинного двору

Технологія	Затрати на амортизацію			
	Будівель		Обладнання	
	грн./га	всього, грн	грн./га	всього, грн.
Існуюча	101,93	21405,30	110,50	23205,00
Проектована	110,22	23147,74	120,25	25252,08

Загально виробничі і загально господарські витрати на вирощування та збирання озимої пшениці наведені в таб. 5.2

Таблиця 5.2

Загально виробничі та загальногосподарські витрати

Технологія	Затрати на амортизацію			
	Загально виробничі		Загально господарські	
	грн./га	всього, грн	грн./га	всього, грн.
Існуюча	312,76	65679,60	81,31	17075,10
Проектована	374,77	78702,54	90,03	18907,37

Повна собівартість з розрахунку на гектар вирощування та збирання озимої пшениці включає в себе прямі затрати відрахування на соціальні заходи на амортизацію будівель і обладнання машинного двору, загальнопромислові і загальногосподарські витрати, а також інші витрати.

За існуючою технологією:

$$C_{п'} = 14399,41 + 102,67 + 101,93 + 110,50 + 312,81 + 81,31 + 275,00 = 15383,63 \text{ грн / га}$$

За проектною технологією:

$$C_{п''} = 18413,12 + 111,17 + 110,22 + 120,25 + 374,77 + 90,03 + 275,00 = 19494,56 \text{ грн / га}$$

Знайдемо урожайність умовної продукції. Для цього побічну продукцію переведемо в основну через основну 0,1 .

Урожайність умовної продукції дорівнює:

$$Y_{ум} = Y_{осн.} + Y_{поб.} + K_{п}$$

За існуючою технологією:

$$Y'_{ум} = 4,5 + 6 \cdot 0,1 = 5,1 \text{ т/га}$$

$$Y''_{ум} = 6,5 + 8,0 \cdot 0,1 = 7,3 \text{ т/га}$$

Визначаємо собівартість основної продукції:

За існуючою технологією:

$$C'_{о} = \frac{15383,63}{5,1} = 3116,39 \text{ грн/т}$$

За проектною технологією:

$$C''_{о} = \frac{19494,56}{7,3} = 2713,48 \text{ грн/т}$$

Собівартість побічної продукції:

За існуючою технологією:

$$C'_{оп} = 3116,39 \cdot 0,1 = 301,64 \text{ грн/т}$$

За проектною технологією:

$$C''_{оп} = 2713,48 \cdot 0,1 = 271,35 \text{ грн/т}$$

Ступінь зменшення собівартості продукції за рахунок впровадження проектною технології вирощування та збирання озимої пшениці складе:

$$C_{\text{озниж}} = \frac{C'_{oi} - C''_o}{C'_o} 100, \% \quad (5.12)$$

$$C_{\text{озниж}} = \frac{3116,39 - 2713,48}{3116,39} 100 = 15\%.$$

Затрати робочого часу за існуючого і проєктованими технологіями становить відповідно 6,92 і 3,86 люд.год./га.

Ступінь зменшення затрат праці при впровадженні проєктованої технології:

$$H_{\text{зниж}} = \frac{H' - H''}{H'} \cdot 100 \% \quad (5.13)$$

$$H_{\text{зниж}} = \frac{5,03 - 3,37}{5,03} 100 = 23\%$$

Вартість валової продукції знайдемо за формулою:

$$C_{\text{в}} = V_{\text{п}} \cdot C_{\text{п}}$$

де  $V_{\text{п}}$  – валова продукція, т;

$C_{\text{п}}$  – ціна реалізації продукції грн./т

$$C_{\text{п}} = 5175,00 \text{ грн/т}$$

Валова продукція дорівнює урожайності озимої пшениці помноженої на площу їх вирощування:  $V'_{\text{п}} = 4,5 \cdot 210 = 945 \text{ т}$

$$V''_{\text{п}} = 6,5 \cdot 210 = 1365 \text{ т}$$

Вартість валової продукції:

Для існуючої технології:

$$C'_{\text{в}} = 945 \cdot 5175,00 = 4890375 \text{ грн}$$

Для проєктованої технології:

$$C''_{\text{в}} = 1365 \cdot 5175,00 = 7063875 \text{ грн}$$

Чистий прибуток визначаємо як різницю між вартістю валової продукції:

$$P_{\text{р}} = C_{\text{в}} - C_{\text{п}}, \text{ грн.}$$

Собівартість валової продукції зерна дорівнює прибутку собівартості одиниці продукції на її валовий збір:

$$C'_{п} = 3116,39 \cdot 945 = 2944988 \text{ грн}$$

$$C''_{п} = 2713,48 \cdot 1365 = 3703900 \text{ грн}$$

Прибуток за існуючою технологією:

$$\Pi'_p = 4890375 - 2944988 = 1945387 \text{ грн}$$

$$\Pi''_p = 7063875 - 3703900 = 3359974 \text{ грн}$$

Рентабельність виробництва озимої пшениці визначаємо відношенням прибутку до собівартості:

$$Y_p = \frac{\Pi_p}{C_n} 100\% \quad (5.14)$$

За існуючою технологією:

$$Y'_p = \frac{1945387}{2944988} \cdot 100 = 46\%$$

За проектованою технологією:

$$Y''_p = \frac{3359974}{3703900} \cdot 100 = 90\%$$

Річний економічний ефект від впровадження проектованої технології вирощування визначаємо за формулою:

$$E_p = (\Pi'_z - \Pi''_z) \cdot V''_п \text{ грн.}$$

де  $\Pi'_z$  і  $\Pi''_z$  – відповідно приведені затрати за існуючою та проектованою технологією, грн./т.

$$\Pi'_z = \frac{6740,23}{4,5} = 1497,83 \text{ грн/т}$$

$$\Pi''_z = \frac{6920,49}{6,5} = 1064,69 \text{ грн/т}$$

$$E_p = (1497,83 - 1064,69) \cdot 1365 = 590803 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.3

## Економічна ефективність вирощування та збирання озимої пшениці

Показники	Технології	
	існуюча	проектowana
Площа, га	210	210
Валовий збір, т	945	1365
Капіталовкладення:		
грн./га	14456,42	18623,43
грн./т	3212,53	2865,14
Затрати робочого часу, люд.год/га	5,03	3,37
Експлуатаційні затрати, грн/т	816,80	634,71
Економія робочого часу, год/га	–	1,66
Економія експлуатаційних затрат, грн/т	–	182,09
Собівартість продукції, грн/т	3116,39	2713,48
Приведені витрати, грн/т	1497,83	1064,69
Рівень рентабельності, %	46	90
Річний економічний ефект, грн,	-	590803
в тому числі від конструкторської розробки	-	70484

Таким чином, випробуваннями модернізованого зернозбирального комбайна в виробничих умовах підтверджена ефективність МСУ з диференційованим підбарабанням, що забезпечує збільшення пропускної здатності та зниження втрат за соломотрясом, втрат за решетами на виробництві озимої пшениці у господарстві економічно доцільне.

## ВИСНОВКИ

1. Отримано аналітичні залежності, що дозволяють визначити площі перетинів характерних зон впливу МСП на обмолочують масу, на основі яких визначені конструктивно-технологічні параметри диференційованого підбарання: окружне зусилля, що виникає при русі порції обмолочуваної маси; число поперечних планок (15 шт.); мінімальна відстань між поперечними планками ( $53,5 \cdot 10^{-3}$  м); максимальна висота поперечної планки щодо поздовжніх прутків ( $26 \cdot 10^{-3}$  м).

2. Встановлено закономірності деформації вигину маси в характерних зонах впливу МСП на обмолочують масу. Вигин стебел залежить від відстані між планками підбарання, при цьому впливає також і те, яка частина стебел піддається згину. Питомі енерговитрати на вигин стебел більш значні при відстані між планками  $(50 \dots 80) \cdot 10^{-3}$  м і складають  $(2 \dots 10) \cdot 10^{-3}$  Дж/м. При збільшенні відстані між планками понад  $(90 \dots 120) \cdot 10^{-3}$  м енерговитрати стабілізуються на рівні до  $(1,5 \dots 2,0) \cdot 10^{-3}$  Дж/м.

3. Отримано рівняння регресії, що описують процес роботи МСУ з диференційованим підбаранням, які дозволили визначити, що максимально виділення зерна підбаранням 87,6% досягається при оптимальних значеннях основних чинників: лінійна швидкість бичів - 36 м/с; наведена подача - 0,055 кг/м; зазор між поперечною планкою і барабаном на вході в МСУ -  $29 \cdot 10^{-3}$  м; зазор між поперечною планкою і барабаном на виході з МСУ –  $10 \cdot 10^{-3}$  м.

4. Науково обґрунтована і створена конструкція підбарання, що відрізняється диференційованим розташуванням поперечних планок, і їх висотою відносно поздовжніх прутків: відстань між поперечними планками у диференційованого підбарання змінюється від  $79,5 \cdot 10^{-3}$  м до  $53,5 \cdot 10^{-3}$  м з кроком  $2 \cdot 10^{-3}$  м, висота планок щодо прутків змінюється від  $12 \cdot 10^{-3}$  м до  $26 \cdot 10^{-3}$  м з кроком  $1 \cdot 10^{-3}$  м, що дозволяє збільшити сепарацію зерна через підбарання з виконанням вимог якості, що пред'являються до обмолоту сільськогосподарських культур зернозбиральними комбайнами.

5. Випробуваннями модернізованого зернозбирального комбайна КЗС-9 «Славутич» в виробничих умовах підтверджена ефективність МСУ з диференційованим підбарабанням, що забезпечує збільшення пропускної здатності по зерностебельній масі на 26,0%, продуктивності на 27,1%, зниження втрат за соломотрясом на 23,2%, втрат за решетами на 3,3%.

В цілому, зниження втрат за МСУ досягло 17,8%.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Комплексна механізація виробництва зерна: Навчальний посібник / В.Д.Гречкосій, М.Я.Дмитришак, Р.В.Шатров та ін.. За ред. В.Д.Гречкосія, М.Я.Дмитришака. – Київ: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2012. – 288 с.
2. Демко О.А. Обґрунтування техніко–технологічної ефективності використання зернозбиральних комбайнів // Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук / 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва . – 2016 – 260с.
3. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Степу України / Редкол.: М.В.Зубець, В.П.Ситник, В.О.Круть та ін.. – К.: Аграрна наука, 2004. – 844 с.
4. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу / Мельник І.І., Гречкосій В.Д., Бондар С.М. [та ін.]. – К.: Видавничий центр НАУ, 2004. – 151с.
5. Примак І.Д., Єщенко В.О., Манько Ю.П. та ін. Ресурсозберігаючі технології обробітку ґрунту в сучасному землеробстві України. – КВІЦ, 2007. – 270с.
6. Іванишин В.В. Організаційно-економічні засади відтворення ефективного використання технічного потенціалу аграрного виробництва: монографія / Іванишин В.В. – К.: ННЦ ІАЕ, 2011. – 350с.
7. Рослинництво: підручник / С.М. Каленська, О.Я. Шевчук, М.Я. Дмитришак; за ред. О. Я. Шевчука. - К.: НАУ, 2005. - 502 с.
8. Танчик С.П., Дмитришак М.Я., Мокрієнко В.А. Технології виробництва продукції рослинництва. Підручник. – К.: Видавничий дім «Слово», 2012. – 735 с.
9. Білоусько Я.К., Бурилко А.В., Галушко В.О. та ін. Проблеми реалізації технічної політики в агропромисловому комплексі / За ред. Я.К.Білоуська. – К.: ННЦ ІАЕ, 2007. – 216с.

10. Економічні аспекти державної технічної політики в агропромисловому комплексі / Я.К.Білоусько, М.Я.Дем'яненко, В.О.Пітулько, В.Л.Товстопят – К.: ННЦ ІАЕ, 2005. – 134с.

11. Зубець М.В., Гуков Я.С., Грицишин М.І. Актуальні проблеми технічної політики в аграрному секторі України. – К.: ДІА, 2007. – 80с.

12. Лихочвор В.В., Петриненко В.Ф., Іващук П.В. Зерновиробництво. – Львів: НВФ «Українські технології», 2008. – 624с.

13. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. – Львів: НВФ «Українські технології», 2006 – 730 с.

14. Проектування технологічних процесів у рослинництві: навчальний посібник / В.Д.Гречкосій, В.Д.Войтюк, Р.В.Шатров та ін. – Видавничий центр НУБіП України, 2011. – 364с.

15. Раціональні сівозміни в сучасному землеробстві: навч. посіб. / І.Д. Примак, В.Г. Рошко, Г.І. Демидась та ін.; за ред. І.Д. Примак. - Біла Церква: БДАУ, 2003. - 384 с.

16. Саблук П.Т. Технології вирощування зернових і технічних культур в умовах Лісостепу України / За ред. П.Т.Саблука, Д.І. Мазоренка, Г.Є.Мазнева. – 2-е вид., доп. – К.: ННЦ ІАЕ, 2008. – 720 с.

17. Танчик С.П. No Till і не тільки. Сучасні системи землеробства. – К.: Юні вест Медіа, 2009. – 160с.

18. Наукове забезпечення сталого розвитку сільського господарства в Поліссі України, Том 2., Кабінет Міністрів України, Національний аграрний університет. – К.: «Алефа», 2004. – 852с.

19. Ляшенко С. А. Математичні моделі роторів в системах діагностики вузлів сільськогосподарських машин, що обертаються.: Дис. канд. техн. наук.: 01.05.02. /С.А. Ляшенко. -Х., 2002. - 193 с

20. Приймаков О.Г. Амплітудно-частотні характеристики коливальних процесів молотильного барабана зернозбирального комбайна.

/О.Г.Приймаков, В.Г.Знайдюк. Вісник ХНТУСГ, вип. 61 -Х.: ХНТУСГ, 2007.- с.98-110.

21. Приймаков О.Г. Математичне планування експериментальної діагностики технічного стану молотильних барабанів зернозбиральних комбайнів / О.Г.Приймаков, В.Г. Знайдюк // Вісник СевНТУ. - Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2008. — С. 206-214.

22. Приймаков О.Г. Фізичний опис умов використання складальної одиниці «вал барабана - боковина». /О.Г.Приймаков, В.Г.Знайдюк. Вісник ХНТУСГ, вип. 67, том 2 -Х.: ХНТУСГ, 2007. - с. 208-211.

23. Знайдюк В. Г. Закономірності втомного руйнування та циклічна довговічність боковини молотильного барабана / В. Г. Знайдюк. - // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка - Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2009. - Вип. 80.- С. 93-100.

24. Тіщенко Л.М. Теоретичні дослідження процесу підвищення динамічної стабільності молотильних систем зернозбиральних комбайнів / Л.М. Тіщенко, В.Г. Знайдюк // Вібрації в техніці та технологіях. Всеукраїнський науково-технічний журнал, 2015. - № 4 (80). - С. xx-xx.

25. Овсянніков С І. Витривалість боковин молотильних барабанів зернозбиральних комбайнів / С.І.Овсянніков, О.Г.Приймаков, В.Г. Знайдюк // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка - Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2009. -Вип. 81. - С. 78-87.

26. Знайдюк В.Г. Розробка методики і устаткування для динамічного балансування молотильного барабана зернозбирального комбайна. В.Г.Знайдюк. Вісник ХНТУСГ, вип. 76 -Х.: ХНТУСГ, 2009. - с. 76-82.

27. Знайдюк В. Г. Дослідження напружено-деформованого стану лівої панелі молотарки зернозбирального комбайна «Скіф 230А» / В. Г. Знайдюк // Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів» - Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2014. - Вип. 2. - С. 92-101.

28. Тищенко Л.Н. До визначення довговічності валів молотильних барабанів зернозбиральних комбайнів / Л.Н. Тищенко, В.Г. Знайдюк // Матеріали ІХ Міжнародної науково -технічної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та використання сільськогосподарської техніки», 7- 8 листопада 2013. - Кіровоград, 2013. - С. 105-106.

29. Кухтов В.Г. До питання нормування рівня надійності нових зернозбиральних комбайнів вітчизняного виробництва / В.Г. Кухтов, В.Г. Знайдюк, В.В. Погорілий // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка - Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2014 - Вип. 151. - С. 5-12.

30. Кухтов В.Г. Методика оцінювання нормування довговічності молотильної системи сучасних зернозбиральних комбайнів / В.Г. Кухтов, В.Г. Знайдюк // Збірник наукових праць ХДМА - Херсон: ХДМА, 2014. - Вип.5 - С. 77-81

31. Машина для збирання зернових та технічних культур / За ред. В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника, - Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. 2009. - 296 с.

32. Войтюк Д.Г. Парк зернозбиральних комбайнів України до жнив 2001 року. /Д.Г. Войтюк, А.А. Демко, С.А. Демко // Техніка АПК - 2000. - №10. с. 9-10.

33. Шевченко С. А. Удосконалення технічних засобів та технології діагностування агрегатів сільськогосподарської техніки.: Дис. канд. техн. наук.: 05.05.11. /С.А. Шевченко - Х., 2004. - 207 с

34. Дизелі тракторів та сільськогосподарських машин. Післяремонтне балансування. СОУ 29.32.4-37-417:2006 / [В. Войтов, М. Гиренко В. Знайдюк, О. Левченко, А. Ніколенко, Г. Примакова, С. Шевченко, С. Ярошно]. - К.: Мінагрополітики України. -2006. -9с

35. Особливості ремонту і технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів, що відпрацювали свій амортизаційний строк (рекомендації) - Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ» 2002. - 38 с.

36. Машина для збирання зернових та технічних культур: посібник для

підготовки фахівців із напр. «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» в аграр. вищ. навч. закл. II-IV рівнів акредитації / [Ю.Ф.Мельник, Ю.Я.Лузан, Б.К.Супіханов та ін.]; за ред. В.І.Кравчука, Ю.Ф.Мельника. – Дослідницьке, 2009. – 296с.

37. Артемов В.Є. Удосконалення технології збирання зернових колосових культур з використанням причіпного підбирача–подрібнювача соломи. Автореферат на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук. К., 2005. – 20с.

38. Мілько Д.О. Визначення основних параметрів шнекового відокремлення рослинної сировини при боковій подачі / Д.О. Мілько // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник / КНТУ. – Випуск 43. Частина II. – Кіровоград, 2013. – С. 200 – 205.

39. Демко С.А. Визначення впливу терміну використання зернозбиральних комбайнів на їх техніко-експлуатаційні характеристики: автореферат дисертаційної роботи на здобуття кандидата технічних наук: 05.05.11 / Демко С.А./; Київ. Національний аграрний університет. - К., 2007. - 20 с.

40. Демидко М.О. Визначення впливу техніко-експлуатаційних показників і характеристик на продуктивність зернозбиральних комбайнів /М.О. Демидко, С.А.Демко// Науковий вісник Національного аграрного університету. - 2004. - Вип.73. - С.198 -206.

41. Випробування зернозбиральних комбайнів /Г.А. Удовиченко/. Полтавський інститут АПВ ім. Вавілова// Вісн. Полт.держ. аграр. акад. -2007. - Вип.3. - С. 133 -137.

42. Войтюк В.Д. Визначення коефіцієнта відновлення ресурсу агрегатів /В.Д. Войтюк, А.А. Демко, О.В. Надточій, С.А. Демко// Науковий вісник Національного аграрного університету. - К., 2003. - Вип.60. - С. 273 -280.

43. Войтюк В.Д. Визначення експлуатаційного показника технічного стану зернозбиральних комбайнів /В.Д.Войтюк, А.А.Демко, О.В.Надточій//

Науковий вісник Національного аграрного університету. - К., 2005. - Вип. 80. ч.1. - С. 171 -177.

44. Войтюк В.Д. Вплив технічного стану зернозбиральних комбайнів на їх продуктивність /В.Д. Войтюк, А.А. Демко, О.В. Надточій, С.А. Демко// Науковий вісник Національного аграрного університету. - К., 2003. - Вип.60. - С. 128 -133.

45. Стружкін І.М. Підвищення ефективності використання зернозбиральних комбайнів // Техніка сільському господарстві. - 2008. - №2. - С. 39 - 41. - 2009. - №4. - С. 42 -43.

46. Стружкін Н.І. Динаміка математичних моделей до розрахунку параметрів зернозбиральних комбайнів //Н.І. Стружкін, Е.В. Жалнін, В.Я. Гольпянин// Техніка сільському господарстві. - 2005. - №6. - С. 31 - 34.

47. Бойко А. І. Сучасні підходи до вирішення проблем забезпечення надійності складної сільськогосподарської техніки / А. І. Бойко, М. М. Мороз, К. М. Думенко // Вісник Харківського Національного технічного університету ім. П.М. Василенка. – Х. 2010. Вип 100: Проблеми надійності машин та засобів с.г. виробництва. – С. 12-16.

48. Войтюк В.Д. Вплив строків експлуатації на модель зміни працездатності комбайнів /В.Д. Войтюк, А.А. Демко, С.А. Демко// Техніка АПК. - 2005. -№8. - С.14 -18.

49. Єрохін Г.І. Обґрунтування швидкісного режиму зернозбиральних комбайнів / Г.І. Єрохін, А.С. Решетов/ Механізація та електрифікація с.- госп-ва. - 2007. - №3. - С. 18 -20.

50. Єрохін Г.І. Вплив технологічних регулювань на втрати зерна за молотаркою комбайна ДОН-1500/Г.І. Єрохін, А.С. Решетов// Механізація та електрифікація с.- госп-ва.- 2003. - №6.- С. 18 - 21.

51. Жалнін Е.В. Розвиток вчення Горячкіна В.П. в галузі зернозбиральної техніки/Е.В. Жалнін// Техніка сільському господарстві. - 2004. - №6. - С. 23 -30.

52. Липкович Е.І. Адаптування технічного оснащення товаровиробників/Е.І. Липкович// Техніка сільському господарстві. - 2010. - №4. - С. 3 -6.

53. Липовський М.І. На шляху до нового покоління зернозбиральних комбайнів /М.І. - 2013. - №3. - С. 14 -18.

54. Ломакін С.Г. Зернозбиральні комбайни: потреби покупців – пропозиція виробників / С.Г. Ломакін/ Аграрний огляд. - 2010. - №3. – 30 - 39.

55. Кравчук В.І. Вплив умов збирання на втрати зерна за молотаркою комбайна /В.І. Кравчук, Н.Д. Занько, А.В. Лисак// Трактори та сільгоспмашини.- 2013. - №6.- С.37 - 40.

56. Лапшин П.М. Зниження динамічних навантажень механізму очищення зернозбирального комбайна /П.М. Лапшин, І.І. Маніло, А.В. Драничніков, Р.М. Широжев, О.М. Шаповалов// Механізація та електрифікація с.- госп-ва. - 2007. - №2. - С. 8 -9.

57. Маслов Г.Г. Методика комплексної оцінки ефективності порівнюваних машин/Г.Г. Маслов// Трактори та сільськогосподарські машини.- 2009. - №10. - С. 13 -16.

58. Meinx, R. Saatzeitversuche mit Winterweizen. / R. Meinx. – Bundesanst. Pflb., Wein, 2013, 14:82–92.

59. Grove–Jones, N. Grain Loss a costly problem with mechanical harvesting./ N. Grove–Jones. – Austral. Country, 1995, 39, 4; с 29–32.

60. Молодик М.В. Напрямки формування і функціонування структур технічного сервісу в агропромислового комплексі України /М.В. Молодик// Механізація и електрифікація с.- хоз-ва. - Зб. наук.праць. - Глеваха, 2004. - вип. 88. - С. 15 -22.

61. Ожерельєв В.І. Енергоємність виділення зерна із колосу /В.І. Намирів, В.В. Нікітін// Техніка в сільському господарстві. - 2013. - №4. - С. 22 -24.

62. Досвід використання зернозбиральних комбайнів ДОН-1500Б. – ІМЕСХ.: – 2001. – 32 с.

63. Орабінський В.І. Вплив режимів роботи очищення зернозбиральних комбайнів на втрати зерна // Механізація та електрифікація с.-госп-ва. - 2005. - №2.- С. 6 - 7.

64. Особов В.І. Техніка фірми CLAAS на російському ринку / В.І. Особов// Трактори та сільськогосподарські машини. - 2004. - №2. - С. 3 - 7.

65. Павлюк Р.В. Підвищення ефективності використання зернозбиральних комбайнів/Р.В. Павлюк, В.С. П'янов, А.Т. Лебедев// Механізація та електрифікація с.-госп-ва. - 2010. - №1. - С. 18 -20.

66. Паланін А.В. Оптимізація типажу, складу та структури комбайнового парку з урахуванням гнучких багатофункціональних агрегатів / О.В. Паланін// Трактори та сільгоспмашини. - 2013. - №7. - С. 52 -53.

67. Extebarria V. Adaptive control with a forgetting factor with multiple samples between parameter estimation // Int. J. Control. - 1992. - 55 - №5. - P. 1189-1200.

68. Посібник з поточного ремонту зернозбирального комбайна "Дон-1500" та його модифікацій. /[Т. А. Баньківська, І.В. Гудім, В.Г. Знайдюк та ін.]; під ред. проф. Войтова В.А - Х.:НИТИ ХНТУСХ, 2006. - 292с.

69. Довідник з експлуатації машинно-тракторного парку. - В. Ю. Ільченко, П. Карасьов, та ін. - К. Урожай, 1987. - 368 с.

70. Яцковський В. І. Сучасні методи розрахунків ДВЗ / В. І. Яцковський, І. В. Гунько, О. В. Гуцаленко. - Вінниця, РВВ ВНАУ, 2016.-132 с.

71. Випробування автотракторних дизельних двигунів внутрішнього згорання / Анісімов В. Ф., Гунько І. В., Гуцаленко О. В., Музичук В. І., Комаха В. П., П'ясецький А. А., Рябошапка В. В., Кравець С. М.; за ред. В. В. Біліченка, В. М. Пришляка - Вінниця, РВВ ВНАУ, 2015.-41 с.

72. Рогач Ю.П. Індивідуальне навчально–дослідне завдання з дисципліни «Основи охорони праці» / Ю.П. Рогач, О.В. Гранкіна, Ю.А. Лисенко. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. – 22 с.

73. Русаловський, А. В. Правові та організаційні питання охорони праці: Навч. посіб. – 4-те вид., допов. і перероб. / А. В. Русаловський – К.: Університет «Україна», 2009. – 295 с.

74. НПАОП 01.41–1.01–01 «Правила охорони праці під час технічного обслуговування та ремонту машин і обладнання сільськогосподарського виробництва».

75. Стеблюк, МІ. Цивільна оборона: Підручник. – 3-те вид., перероб. і доп / МІ. Стеблюк – К.: Знання, 2004. – 490 с.

76. Рогач Ю.П. Пожежна безпека: Навчальний посібник / Ю.П. Рогач. – Сімферополь: Таврія Плюс, 2001. – 124с.

77. Markus Lips Weather Risk and Machinery Costs - A Monte Carlo Sumulation for the Wheat Harvest / Markus Lips, Simon Bally. - AgroscorpReckenholz - Tanicon Research Station ART, Tanicon, Switzerland. - 2007.

78. Kehayov D. Some technical aspects of cut height in wheat harvest / D. Kehayov, Ch. Vezirov At. Atanasov; Agrarian University of Plovdiv, Bulgaria, University of Rousse, Rousse, Bulgaria. Agronomy Research - 2004. - №2. - P. 181 - 186.

79. Larry K. Bond, The Cost of Owning and Operating Farm Machinery - Utah / Larry K. Bond, Richard Beard ;Utah State University. U.S. Department of Agriculture. - Logan, Utah. - 1997. - P. 1 - 60.

80. Machinery Management. Estimating Farm Machinery Costs : Iowa State University. - 2001.

81. Breg Butler Logistics and efficiency of grain harvest and transport systems / BregButler : Institute for Sustainable Systems and Technologies, University of South Australia. - 2009.

## **ДОДАТОК**