

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**ВЛАСЕНКО СЕРГІЙ ІГОРОВИЧ**

УДК 631.3.03

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МОЛОТИЛЬНОГО АПАРАТА**  
**ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ С. І. Власенко

**Керівник роботи**

Заєць М. Л.

кандидат технічних наук

**Житомир – 2021**

## АНОТАЦІЯ

**Власенко Сергій Ігорович. Обґрунтування параметрів молотильного апарата зернозбирального комбайна.** – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В роботі проведено детальний аналіз класичних барабанних молотильно-сепаруючих систем, виявлено недоліки та переваги різних типів та компоновок. Наведена класифікація сучасних молотарок зернозбиральних комбайнів з різними схемами встановлення робочих органів та сепараторів. Варто зазначити, що наведена класифікація існуючих МСС, що застосовуються в зернозбиральних комбайнах, не є повною, вона заснована на основних трьох типах, вони розрізняються за механіко-технологічними принципами обмолоту та сепарації зерна з грубого вороху.

Запропоновано нову тангенціальну схему подачі хлібної маси в класичну молотарку комбайна з аксіальним рухом по зонах обмолоту, сепарації і видалення з молотильного апарата. Обґрунтовано основні конструкційно-технологічні параметри молотильного барабану, складено рівняння балансу потужності даного пристрою, що дозволило стверджувати переваги даної МСС перед класичною компоновкою.

Встановлено коефіцієнт інтенсивності сепарації зростає на 0,1 м<sup>2</sup> на кожні 10 см зменшення діаметра корпусу при збільшенні сумарної довжини бил .

Проведено ряд теоретичних досліджень по визначенню технологічних показників аксіально-барабанної МСС по відношенню до втрат зернової частини хлібної маси.

*Ключові слова:* молотиль-сепаруюча система, барабан, параметри, втрати зерна, тангенціальна подача.

## SUMMARY

**Vlasenko Sergey. Substantiation of parameters of the threshing device of the combine harvester.** - Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in 208 Agroengineering. - Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

The detailed analysis of classical drum threshing and separating systems is carried out, the disadvantages and advantages of different types and configurations are revealed. The classification of modern threshers of combine harvesters with different schemes of installation of working bodies and separators is given. It should be noted that the classification of existing MCCs used in combine harvesters is not complete, it is based on three main types, they differ in mechanical and technological principles of threshing and separation of grain from coarse heap.

A new tangential scheme of feeding bread mass into a classic combine thresher with axial movement through the zones of threshing, separation and removal from the threshing machine is proposed. The main structural and technological parameters of the threshing drum are substantiated, the equation of power balance of this device is made, which allowed to assert the advantages of this MCC over the classical layout.

The separation intensity factor is increased by 0.1 m<sup>2</sup> for every 10 cm decrease in the diameter of the housing with increasing total length of the beats.

A number of theoretical studies have been conducted to determine the technological parameters of the axial-drum MCC in relation to the loss of grain part of the bread mass.

*Key words: threshing-separating system, drum, parameters, grain losses, tangential feed.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МОЛОТИЛЬНО СЕПАРУЮЧИХ СИСТЕМ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ МАШИН	
1.1. Класифікація сучасних молотильно-сепаруючих систем.....	7
1.2. Молотильно-сепаруючі системи комбайнів класичної схеми.....	10
Висновки до розділу 1.....	13
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУЮЧО СИСТЕМИ	
2.1. Удосконалення технологічного процесу аксіально-барабанного молотильного апарату з тангенціальною подачею маси.....	14
2.2. Розрахунок молотильно-сепаруючого пристрою.....	17
2.3. Аналіз основного рівняння молотильного апарату з тангенціальною подачею хлібної маси.....	20
2.4. Розрахунок параметрів молотильного барабана з аксіальною компоновкою .....	22
Висновки до розділу 2.....	23
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУЮЧОЇ СИСТЕМИ З ТАНГЕНЦІАЛЬНОЮ ПОДАЧЕЮ МАСИ	
3.1. Програма теоретичних досліджень.....	24
3.2. Результати досліджень.....	24
Висновки до розділу 3.....	29
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	31

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Молотильний апарат є однією з важливих частин зернозбиральних комбайнів, від функції яких безпосередньо залежить продуктивність, ефективність і адаптивність всієї машини. Під час збирання врожаю фактична нормативна подача матеріалу є досить неоднорідною через різноманітні біомеханічні характеристики та щільність розподілення стебел культур, що знижує продуктивність обмолоту та сепарації зернозбирального комбайна. Тому для забезпечення стабільної роботи зернозбиральних комбайнів та підвищення адаптивності необхідно вчасно коригувати зазор обмолоту відповідно до різних умов роботи.

Інженери провели багато досліджень щодо впливу нерівномірної подачі в молотильний апарат на продуктивність обмолоту, а також на режими регулювання. Вчені встановили деякі основні моделі процесу обмолоту та сепарації шляхом всебічного врахування багатьох факторів, які впливають на якість під час обмолоту. Вони оптимізували та вдосконалили модель з точки зору швидкості обертання молотильного барабана, зазору між підбарабанням при обмолоті, швидкості потоку матеріалу та подачі, був зрозумілий закон впливу різних факторів на індекс продуктивності обмолоту.

У той же час на основі нерівномірного руху матеріалу по нерівномірному гвинтовому шляху між молотильним барабаном та увігнутим підбарабанням було розроблено кінематично-математичну модель для потоку матеріалу у осьовому молотильно-сепаруючому пристрої та модель прогнозування втрат на сепарацію зерна. встановлено, що є основою для проектування та регулювання робочих параметрів молотильних пристроїв. Тому тема даної роботи направлена на вирішення актуальної задачі по вирішенню проблеми.

**Мета роботи:** забезпечення ефективності процесу обмолоту та сепарації зернової маси шляхом обґрунтування параметрів молотильного апарату зернозбиральних комбайнів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз молотильно сепаруючих систем зернозбиральних машин;
- визначити основні конструктивні та кінематичні параметри молотильно-сепаруючих систем;
- встановити залежність впливу конструкційно-кінематичних параметрів на якість обмолоту та сепарації зернової маси.

*Об'єкт дослідження* - технологічний процес обмолоту та сепарації зернового вороху.

*Предмет дослідження* – аналітичні залежності конструктивно-технологічних показників та параметрів молотильно-сепаруючої системи.

**Методи виконання роботи.** Робота виконувалась із використанням методів механіко-математичного моделювання, теорії руху матеріалів по робочих поверхнях, числові методи розв'язку задач із застосуванням ЕОМ.

**Перелік публікацій автора за темою роботи:**

1. Власенко С. І. Основне рівняння роботи барабанного молотильного апарата / С. І. Власенко, М. Л. Заєць // Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2021». 20 травня 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 20-23.
2. Заєць М. Л. Удосконалення технологічного процесу аксіально-роторного молотильного апарата з тангенціальною подачею маси / Власенко С. І., Войнов О. Г. // Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2021». 15 листопада 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 31-34.
3. Заєць М.Л. Удосконалення технологічного процесу аксіально-роторного молотильно апарата з тангенціальною подачею маси / М. Л. Заєць, С. І. Власенко // Зб. Тез VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» 31 березня 2021 р. Житомир: ЖАТК, 2020. С.142-144.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 12 найменування. Загальний обсяг роботи становить 32 сторінки комп'ютерного тексту, 14 рисунків та 2 таблиці.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ МОЛОТИЛЬНО СЕПАРУЮЧИХ СИСТЕМ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

#### 1.3. Класифікація сучасних молотильно-сепаруючих систем

Зернозбиральний комбайн, це одна з найважливіших сільськогосподарських машин, здатна виконувати відразу кілька різних операцій. Він модифікується для роботи в різних умовах та під збирання певних культур. Адаптація може проводитись як за рахунок застосування спеціальних насадок, так і випуском окремої моделі [1].

В даний час існує велике різноманіття, як принципів конструювання зернозбиральних комбайнів, так і конструкцій його молотильно-сепаруючих систем (МСС). Незважаючи на це різноманіття, на практиці відсутня узгоджена класифікація існуючих МСС [2].

Молотильно-сепаруючі системи МСС зернозбиральних комбайнів призначені для руйнування зв'язків зерна з колосом та поділу зернових соломистих фракцій. На практиці цей процес має три ступені: обмолот, відділення із соломистого вороху зерна та дрібної незернової фракції, очищення зерна від усіх соломистих фракцій [3]. Оцінюючи в цілому, роботу різних за конструкцією сучасних МСС зернозбиральних комбайнів їх можна розділити на три типи, що розрізняються за механіко-технологічним принципом обмолоту та сепарації зерна із грубого вороху (рис. 1).

Одним із напрямків, що підвищують ефективність робочого процесу комбайнів - розробка та впровадження в їх конструкцію аксіально-барабанних молотильно-сепаруючих системи (далі МСС). Такі системи знайшли застосування, як правило, в комбайнах з номінальною пропускною здатністю  $q \Rightarrow 10$  кг/с з шириною молотарки  $B > 1,2$  м.

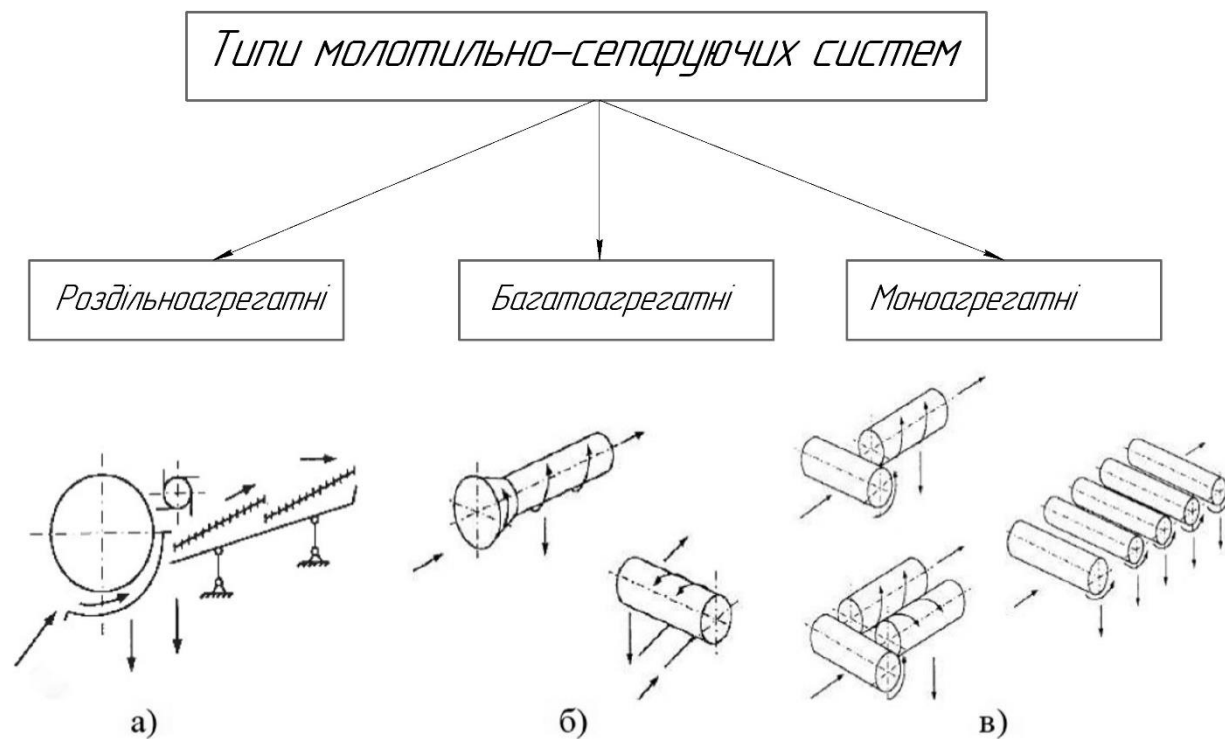


Рис. 1.1. Типи молотильно-сепаруючих систем

*а) зернозбиральні комбайни з роздільноагрегатною «класичною» молотильно сепаруючою системою МСС (барaban з декою та соломотрясом), в якому обмолот та остаточна сепарація зерна із соломистого (грубого) вороху виконується окремо, різними робочими органами. б) зернозбиральні комбайни з багатоагрегатною МСС, що включають барaban з декою та імпульсні (роторні або аксіально-роторні) соломовідділювачі, в яких зерно грубого вороху виділяється багаторазовим імпульсним впливом на рослинну масу. в) зернозбиральні комбайни з моноагрегатною аксіально-роторною МСС, що забезпечує обмолот та сепарацію зерна з грубого вороху одним аксіально-роторним робітником органом.*

Якщо розглядати молотильно-сепаруючу систему у вузькому значенні цього поняття, як сукупність робочих органів, що виконують дві функції: вимолот зерна з колосків і часткову сепарацію, і остаточне виділення зерна, що зійшов з МСС, різноманітних сепараторами грубого вороху [4]. Відомі



молотильно-сепаруючі пристрої можна класифікувати по схемі, зображеною на (рис. 2).



Рис. 1.2. Класифікація молотильно-сепаруючих пристроїв

В основу такої класифікації покладено три ознаки – конструкція молотильного пристрою, кількість барабанів та напрямок подачі стеблової маси на обмолот [5].

Різноманітність молотильно-сепаруючих систем, таким чином, зумовлена наявністю значної кількості конструкцій соломовідокремлювачів. У зв'язку з цим, класифікуючи МСС, доцільно відштовхуватися від класифікацій сепараторів грубого вороху. За характером впливу робочих органів соломовідокремлювачів на грубий ворох виділяють такі способи сепарації (рис. 1.3.).

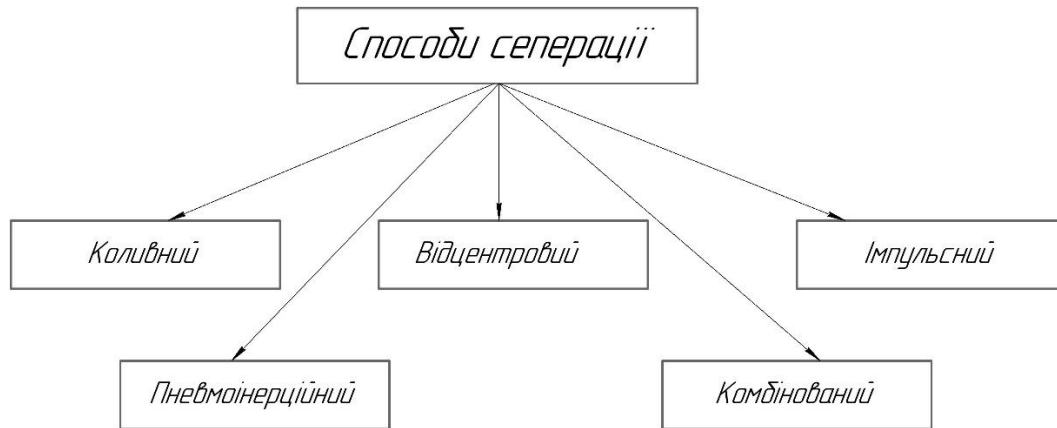


Рис. 1.3. Способи сепарації грубого зернового вороху

Варто зазначити, що наведена класифікація існуючих МСС, що застосовуються в зернозбиральних комбайнах, не є повною, вона заснована на основних трьох типах, вони розрізняються за механіко-технологічними принципами обмолоту та сепарації зерна з грубого вороху.

## 1.2. Молотильно-сепаруючі системи комбайнів класичної схеми

На (рис. 1.4.) представлені марки комбайнів, які відображають у конструкціях своїх молотильно-сепаруючих пристроїв практично всі сучасні напрямки їх вдосконалення, починаючи з класичних однобарабанних та завершуючи аксіально-роторними [6, с. 157.].

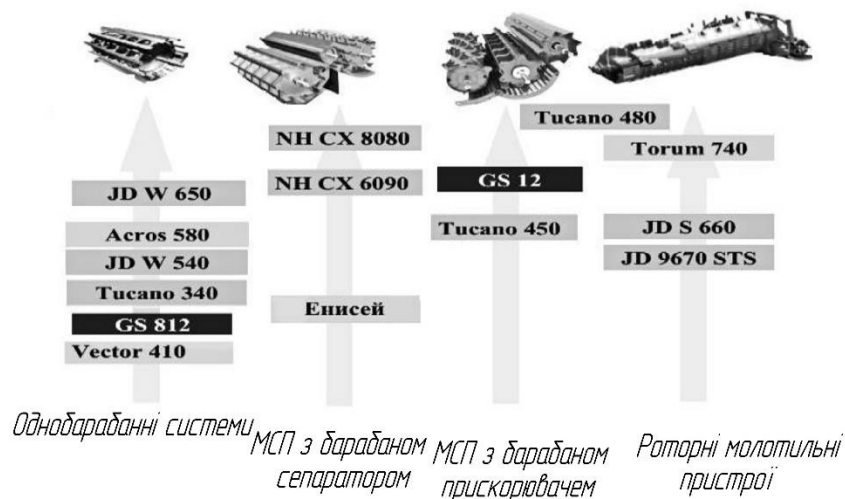


Рис. 1.4. Вспновлення на кобайнах різних МСП

Основна маса моделей зернозбиральних машин має молотильні апарати "класичного" типу. Основою даної системи є «класичні» молотильно-сепаруючі системи (МСС), що складається з барабанно-декового МСП та клавішного або роторного (роторно-клавішного, клавішного в комбінації з активаторами) соломосепаратора. Молотарки з аксіально-роторними МСС та МСС поєданого типу (складаються з барабанно-декового МСП та аксіально-роторного соломосепаратора) зустрічаються поки що не часто. На самохідному зернозбиральному комбайні КЗ-14 «ПАЛЕСЬЄ GS14» встановлена двобарабанна система обмолоту з барабаном прискорювачем. Активатор соломотрясу та інші передові технічні рішення дозволяють повністю використовувати спочатку закладений у конструкцію машини високий потенціал продуктивності (рис. 1.5.) [9, с. 23.].

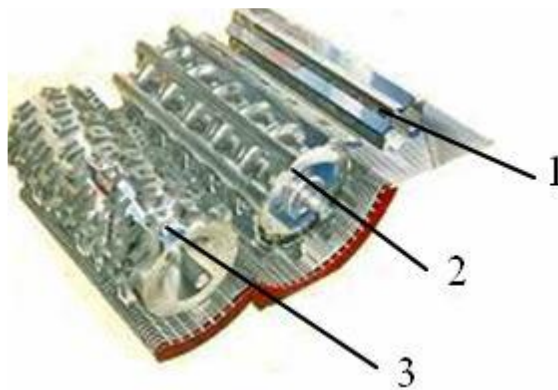


Рис. 1.5. Схема системи обмолоту з барабаном-прискорювачем зернозбирального комбайна «ПАЛЕСІ GS14»:

*1 – відбійний бітер; 2 – молотильний барабан; 3 – барабан-прискорювач.*

Барабан-прискорювач підвищує швидкість подачі хлібної маси на обмолот і розподіляє масу тонким рівномірним шаром, одночасно проводячи сепарацію зерна на первинному підбарабанні. Це робить ефективнішою роботу основного барабана. У поєднанні з великою площею подвійного підбарабання така система забезпечує максимально високу продуктивність при обмолоті.

У класичних комбайнах серії LEXION для грубої сепарації вороху застосовуються клавішні інтенсивні соломотряси. Інтенсивність роботи соломотрясу досягається завдяки системі МСС, яка за допомогою розташованого над клавішами барабана-прискорювача з активними пальцями (рис. 1.6.) забезпечує активну сепарацію грубого вороху та виділення зерна[9, с. 24.].

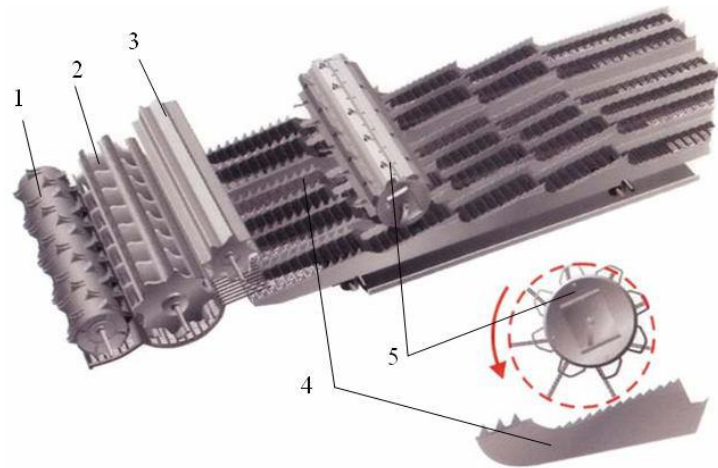


Рис. 1.6. Барабано-декове МСП із клавішним соломосепаратором:

*1,5 - барабан-прискорювач; 2 – молотильний барабан; 3 – відбійний бітер; 4 – клавіші соломотрясу*

У класичних комбайнах серії 9000 WTS фірма JOHN DEERE покладається на один бітер і барабан, який має порівняно невелике підбарабання та функцію транспортування вороху на соло-мотряс (рис. 1.7).

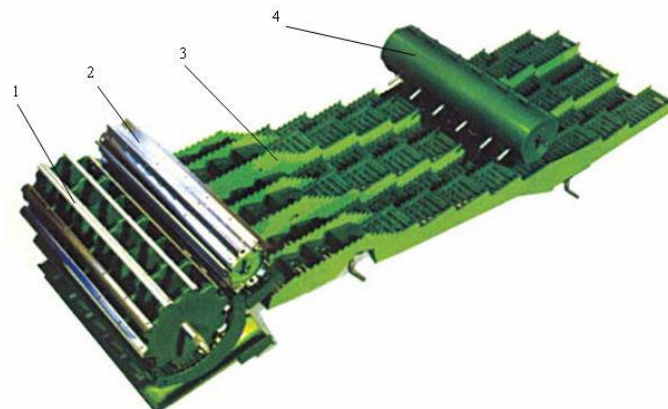


Рис. 1.7. Молотильно-сепаруючий пристрій комбайнів JOHN DEER серії WTS: *1 – молотильний барабан; 2 – відбійний бітер; 3 – клавіші соломотрясу; 4 – барабан-прискорювач*

Для забезпечення повного виділення насіння в однобарабаних комбайнах необхідно збільшення довжини соломотрясу для впровадження додаткових активаторів сепарації вороху. У комбайнах цієї серії порівняно з попередніми моделями збільшений діаметр барабана (660 мм). Завдяки цьому збільшено площу підбарабання, обмолот здійснюється на більш м'яких режимах, менше пошкоджується насіння.

Для молотильного апарату комбайнів серії WTS розроблено три типи підбарабання: два універсальних і одне спеціальне, котрі відрізняються розміром сепаруючих отворів. Найбільш зручним у користуванні є універсальне підбарабання для обмолоту зернових. При переході з обмолоту однієї культури на іншу змінювати підбарабання не потрібно.

#### Висновки до розділу 1

1. Одним із напрямків, що підвищують ефективність робочого процесу комбайнів - розробка та впровадження в їх конструкцію аксіально-барабаних молотильно-сепаруючих системи (далі МСС). Такі системи знайшли застосування, як правило, в комбайнах з номінальною пропускною здатністю  $q \geq 10$  кг/с з шириною молотарки  $B > 1,2$  м.
2. Класичні системи обмолоту потребують застосування клавішних додаткових інтенсивних соломотрясів. Інтенсивність роботи соломотрясу досягається завдяки системі МСС, яка за допомогою розташованого над клавішами активатора соломи з активними пальцями, що забезпечує активну сепарацію грубого вороху та відділення зерна. Що ще раз доводить недостатню сепарацію в молотильному пристрої, а це додаткові робочі органи, зниження надійності машини та зростання вартості.
3. Аналізуючи конструкцію сучасних молотильно-сепаруючих систем видно, що вони в недостатній мірі забезпечують сепарацію та відділення зерен від незернової частини, а тому вимагають застосування додаткових пристроїв для активації.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУЮЧО СИСТЕМИ

#### 2.1. Удосконалення технологічного процесу аксіально-барабанного молотильного апарату з тангенціальною подачею маси

Нагальною задачею сьогодення є завдання по створенню вітчизняного зернозбирального комбайна, але потрібно врахувати напрацювання сільгоспмашинобудуванням в світових лідерів по виробництву цих машин.

Закоренілі клавішно-барабанні молотильно-сепаруючі системи (МСС), як найпопулярніші компоновки мають ряд обмежуючих факторів по зростанню пропускної здатності машин через низьку інтенсивність і не стійкий робочий технологічний процес, основною причиною є клавішний соломотряс, що гальмує по часу сепарації. Продуктивність таких систем становить, приблизно, від 5,0...5,5 кг/с на один метр довжини барабана. Зростання ступення сепарації таких МСС, обмежується площею соломотряса, яка сягає 7,0...8,7 м<sup>2</sup>, що в свою чергу збільшує їхні габаритні розміри .

Дослідження та розробки по даному питанню, які виконуються різними світовими лідерами по виготовлення самохідних зернозбиральних комбайнів, дали поштовх до створення нових МСС з тангенціальною подачею маси роторного і аксіально-роторного типу, де закладено в 2-3 рази підвищена молотильно-сепаруюча здатність системи, і відповідно пропускна здатність молотарки (рис. 2.1.). Із всієї різноманітності роторних МСС найбільш перспективними є моноагрегатні аксіально-барабанні МСС з тангенціальною та осьовою подачею солломистої маси. Що дозволило спроектувати та виготовити цілу лінійку аксіально-роторних самохідних зернозбиральних машин з продуктивністю молотарки від 5 до 30 кг/с.

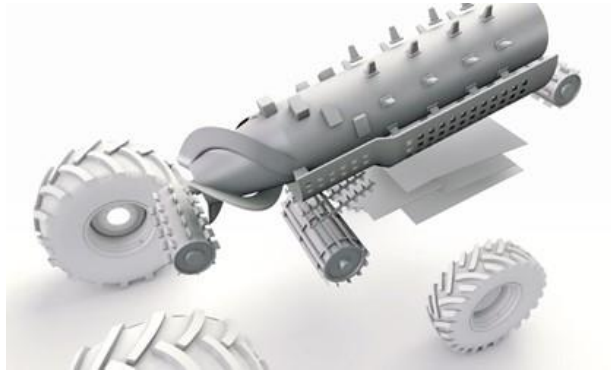


Рис.2.1 Класична компоновка аксіально-роторної МСС

Запропоновано модернізовану конструкцію (рис. 2.3.) і встановлено значення параметрів аксіально-барabanної МСС з тангенціальною подачею зерностеблової частини, що має ряд переваг перед класичним барабанним апаратом, а саме:

- зниження масово-габаритних параметрів до 30 %;
- зростання продуктивності та ефективності 1,45 рази;
- дозволить працювати з пониженням травматизму зерна;
- зменшення потужності за рахунок меншої кількості робочих органів.

Використання швидкісного транспортера для видалення соломи, дозволить значно зменшити складність технологічного процесу транспортування маси від молотильного апарата машини не залежно від довжини барабана, дозволить спростити процес подачі повітря на сепарацію решітного стану.



а)

б)

в)

Рис. 2.2. Порівняння різних компоновок МСС

*а – класична компоновка з використанням гвинтових робочих поверхонь;  
б – модернізований МСС; в – компоновка кулеподібного ротора.*

Удосконалення полягає в використанні всієї внутрішньої поверхні циліндра МСС, що значно збільшує площу обмолоту та сепарації зернового вороху на 57 %, та дозволяє не встановлювати соломотряс в тому чи іншому вигляді ( рис. 2.3.). Така компоновка дозволяє покращити ремонтпридатність комбайна та сервісного обслуговування МСС.

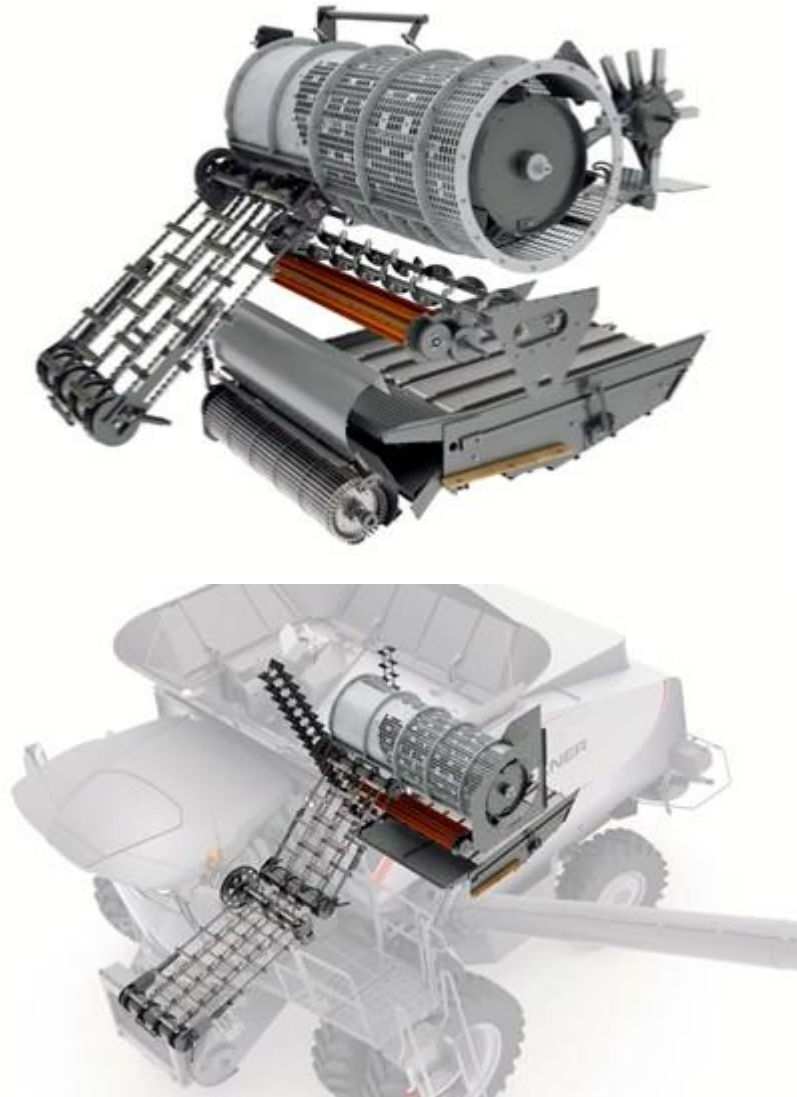


Рис. 2.3. Модернізована молотильно-сепарувальна система

Обґрунтовано технологічні і конструктивні параметри роздільних поверхонь аксіально-барabanної МСС. Отримано аналітичні моделі для розрахунку параметрів молотарки аксіально-барabanного типу та визначено



динамічні показники її роботи. Отримано значення технологічних показників процесу транспортування соломи без соломотряса. Побудовано графічні залежності зміни конструкційних параметрів від кінематичних показників роботи аксіально-барабаної системи на інтенсивність відділення зернової частини та сепарації зернового вороху.

## 2.2. Розрахунок молотильно-сепаруючого пристрою

Рівняння роботи молотильно-сепаруючого пристрою. За В. П. Горячкиним потужність, яка надається молотильному пристрою (рис. 2.4.) використовується на два види опору:

- втрати енергії у підшипниках кочення і передавальних механізмах і опір повітря;
- опір, який виникає в процесі обмолоту і сепарації.

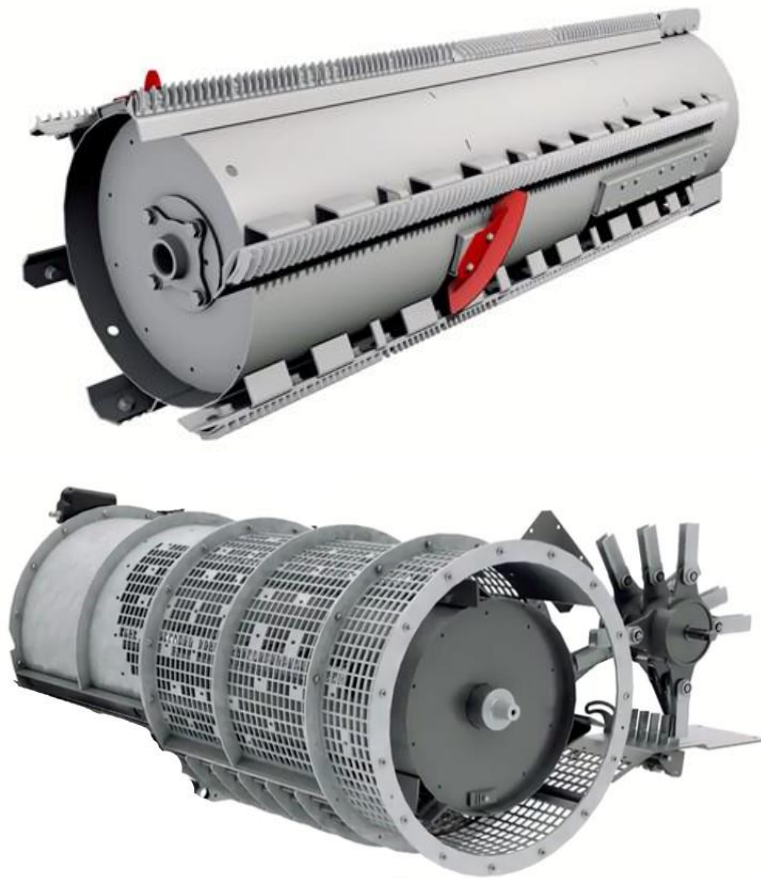


Рис. 2.4. Бильний барабанний апарат з циліндричним барабаням

Необхідна потужність для приводу апарату можна визначити [10, с. 169]:

$$N = N_1 + N_2, \quad (2.1)$$

де  $N_1$  - потужність, необхідна на для подолання опорів 1-категорії;

$N_2$  - потужність, необхідна для подолання опорів 2- категорії.

$$N_1 = A \cdot m \cdot \omega + B \cdot l \cdot \omega^3, \quad (2.2)$$

де  $A$  - коефіцієнт, що враховує опір в підшипниках барабана ( $A = (0,85...0,9) \text{ м}_6/100$ , Н);

$m$  - маса барабана, кг;

$B$  - коефіцієнт який враховує опір повітря;  $B = 0,065 \cdot V_m \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2$ ;

$l$  - довжина барабана, м;

$\omega$  - кутова швидкість обертання барабана,  $\text{с}^{-1}$ .

$$N_2 = P \cdot V, \quad (2.3)$$

де  $P$  - повне колове зусилля на билах, Н;

$V$  - колова швидкість била, м/с.

Сумарна колова сила на билі визначиться[11, с. 254.]:

$$P = P_1 + P_2, \quad (2.4)$$

де  $P_1$  - зусилля удару, Н;

$P_2$  - сила, яка необхідна на подолання опору протяжки маси по зазору між барабаном і барабаням, Н.

При рівномірній подачі маси, на одне било припадає на ступна маса матеріалу [11, с. 26]:

$$m = \Delta t \cdot q_0, \quad (2.5)$$

де  $\Delta t$  - час удару, с;

$q_0$  - здатність молотильного апарату пропустити масу за час, кг/с.

Імпульс сили обмолоту можна визначити із залежності[11, с. 310.]:

$$P_1 \cdot \Delta t = \Delta m \cdot (V - V_0). \quad (2.6)$$

Оскільки початкова швидкість  $V_0 = 0$ , тоді отримаємо:

$$P_1 = \frac{\Delta m}{\Delta t} \cdot V = q_0 \cdot V. \quad (2.7)$$

Згідно теорії В. П. Горячкіна сила, яка необхідна для подолання опору протягування маси в барабанні буде визначатись:

$$P_2 = f \cdot P, \quad (2.8)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя сталевого матеріалу по сталі ( $f = 0.60 \dots 0.65$  - для бильних барабанів)

Звідки

$$P = q_0 \cdot V + P \cdot f,$$

Провівши перетворення отримаємо:

$$P = \frac{q_0 \cdot V}{1 - f}. \quad (2.9)$$

Підставимо отриманий вираз в формулу (2.3) і отримаємо:

$$N_2 = \frac{q_0 \cdot V^2}{1 - f}. \quad (2.10)$$

Прихолостій роботі апарату, коли немає подачі маси, різниця  $N - N_1$  витрачається на збільшення кутової швидкості барабану.

Тоді потужність буде визначатись [11, с. 315.]:

$$N - N_1 = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \cdot \omega = N_2, \quad (2.11)$$

де  $\frac{d\omega}{dt}$  - кутове прискорення барабану,  $c^{-2}$ ;

$J$  - осьовий момент інерції барабану,  $кг \cdot м^2$ .

Потужність на опори 1-ї категорії  $N_1$  становить 5% від  $N$ , то нею можна знехтувати, і тоді вираз матиме вигляд:

$$N = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \cdot \omega = \frac{q_0 \cdot V^2}{1 - f}. \quad (2.12)$$

Отримано рівняння, яке пов'язує між собою потужність привідного двигуна машини  $N$ , інерцію барабану  $J$  та подачу хлібної маси  $q_0$ , і є основним

рівнянням молотильного барабану. Отриманий вираз дасть змогу оптимізувати параметри роботи молотильно-сепаруючого апарату на різних режимах роботи при змінних факторах.

2.3. Аналіз основного рівняння молотильного апарату з тангенціальною подачою хлібно маси

Провівши аналіз рівняння молотильного апарату з тангенціальною подачою хлібної маси можна визначити залежності кінематичних режимів його роботи, продуктивності та витрат енергії.

При холостій роботі барабан апарату отримає прискорення, яке можна визначити з виразу[12, с. 31.]:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{N}{J \cdot \omega}. \quad (2.13)$$

За умови рівномірного завантаження молотильного апарату його прискорення можна записати залежністю:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{q_0 \cdot V^2}{J \cdot \omega \cdot (1-f)} = \frac{q_0 \cdot r^2 \cdot \omega}{J \cdot (1-f)}. \quad (2.14)$$

Залежність зміни прискорення барабану молот. апарату від його кутової швидкості отримані за моделями (2.13) і (2.14) зображені на (рис. 2.5.).

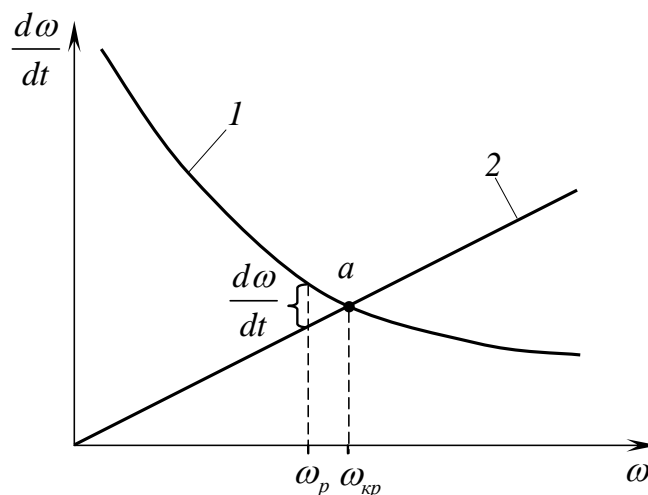


Рис. 2.5. Графічна залежність прискорення барабану від його кутової швидкості  $\omega$ :

1 – зростання величини прискорення; 2 – падіння прискорення.

В точці перетину  $a$  отримаємо параметр критичної кутової швидкості  $\omega_{кр}$  при якій силова установка комбайна працює із максимальним навантаженням. Двигун повинен забезпечити потужністю, щоб  $\omega_{кр} > \omega_p$ ,

де  $\omega_p$  - робоча кутова швидкість барабану.

Співставивши математичні моделі (2.13) та (2.14) отримаємо вираз:

$$\frac{N}{J \cdot \omega} = \frac{q_0 \cdot r^2 \cdot \omega}{J \cdot (1-f)},$$

Звідки визначмо критичне прискорення для даного апарату:

$$\omega_{кр} = \frac{1}{r} \cdot \sqrt{\frac{(1-f) \cdot N}{q_0}}. \quad (2.15)$$

З метою уникнення негативного впливу нерівномірності подачі маси в апарат застосовують наступне співвідношення між привідною потужністю та моментом інерції на валу барабана[12, с. 48.]:

$$N = (0.75 \dots 1.5) J. \quad (2.16)$$

Питома потужність на одиницю обмолоченої маси визначаємо звизразу:

$$\frac{N}{q_0} = \frac{V^2}{(1-f)} = \frac{r^2 \cdot \omega^2}{(1-f)}, \quad (2.17)$$

Аналізуючи дану залежність бачимо, мінімальні витрати потужності на обмолот будуть при низькій частоті обертання барабана і його діаметрі. У сучасних зернозбиральних комбайнах діаметр барабану встановлюють  $D=450 \dots 770$  мм. Зернозбиральні машини типу “Дон” завод “Ростельмаш” використовують барабан з діаметром 800 мм.

Аналогічні висновки можна зробити при визначенні питомого показника маси на одиницю потужності приводу барабана:

$$\frac{q_0}{N} = \frac{(1-f)}{r^2 \cdot \omega^2}. \quad (2.18)$$

2.4. Розрахунок параметрів молотильного барабана з аксіальною компоновкою

Основними параметрами бильного молотильного барабану є: діаметр, довжина, кількість билта крок  $x$  встановлення, колова швидкість барабана, розмір підбарабання. Кількість бил приймають рівною  $n_l = 6...12$ . Виходячи з умови ефективного обмолоту маси.

З врахуванням кількості бил діаметр барабану буде визначатись з виразу[12, с. 50.]:

$$d = \frac{V \cdot \Delta t \cdot n_l}{\pi}, \quad (2.19)$$

де  $V$  - колова швидкість бил ( $V = 28...32$  м/с);

$\Delta t$  - різниця часу між ударами ( $\Delta t = 0,0045...0,0075$  с).

Довжина тіла барабана  $l_6$ , визначається взаємності від секундної подачі маси  $q_0$ , кількості бил  $n_l$  і допустимої подачі  $q'$  на 1 м довжини била

$$l_6 = \frac{q'}{q_0 \cdot n_l}. \quad (2.20)$$

При вологості хлібно маси 14...18 % та коефіцієнта соломистості 1/3 приймають  $q' = 0.25...0.35$  кг/(с·м). Якщо вологість на 5 % зростає допустима подача знижується на 15...20%.

При обґрунтуванні довжини барабання скористаємось наступною гіпотезою: при максимальній довжині підбарабання ефективність обмолоту зростає, пропускна здатність через решітчасті стінки підвищується. Як наслідок це призводить до зменшення потрапляння вільного зерна до соломотрясу його завантаження. Оскільки в барабанних апаратах з довжиною підбарабання 400...600 мм і кутом обхвату  $\varphi = 115^0...145^0$  крізь його отвори просипається 65...85

% від загального об'єму зерна. Користуючись даним фактом та встановивши барабаня з кутом обхвату  $\varphi=360^0$ , необхідність встановлювати соломотряс, активатори соломи і, як наслідок, затрачати енергію на їх привод, та виготовлення відпадає. Що в свою чергу дає можливість використати вільну потужність з більшою ефективністю.

#### Висновки до розділу 2

1. Визначальний критерій, що впливає технологічні показники роботи аксіально-барабаній МСС - довжина траєкторії руху обмолоченої маси в молотильно-сепаруючій системі. Збільшення довжини траєкторії підвищує коефіцієнт обмолоту та сепарації.
2. В аксіально-барабаній МСС хлібна маса рухається гвинтовими траєкторіями, довжина яких визначається довжиною барабану і кутом його встановлення. Коефіцієнт інтенсивності сепарації зростає на  $0,1 \text{ м}^2$  на кожні 10 см зменшення діаметра кожуха. При збільшенні сумарної довжини бил частка втрат зерна в соломі за молотаркою з діаметром барабана 0,60 м, в 1,5...2,0 рази менше, ніж при діаметрі барабану 0,70 м.
3. Питома технологічна потужність при пропускній здатності  $q = 7...8 \text{ кг/с}$  дає різницю у значеннях до 0,7 кВт (кг/с) на користь МСС з аксіально-барабаного типу. Збільшення швидкості бил барабану з 25 до 36 м/с знижує втрати вільного зерна у 2,8 рази, а втрати недомолотом у 1,4. Рекомендована швидкість обертання бичів на збиранні зернових колосових культур дорівнюють 35...38 м/с.

## РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУЮЧОЇ СИСТЕМИ З  
ТАНГЕНЦІАЛЬНОЮ ПОДАЧЕЮ МАСИ

## 3.1. Програма теоретичних досліджень

До програми досліджень входило:

- визначення закономірностей зміни технологічних показників недомолота  $\delta$ , сепарації  $S_3$ , проходу маси  $S_m$  залежно від величини питомої подачі  $q_n$  в МСС та діаметра барабана;

- обґрунтування закономірностей зміни технологічних показників роботи за довжиною та площею сепарації з різними геометричними параметрами;

- оцінка енергетичних показників роботи порівнюваних МСС.

Оцінку впливу радіусу сепаруючої поверхні на показники роботи МСС при однакових швидкісних режимах барабану.

## 3.2. Результати досліджень

Для загальних втрат  $B_3$  зерна в соломі та їх складових втрат вільним  $B_{вз}$  та недомолоченим зерном  $B_{нд}$  використано експонентційну закономірність зміни залежно від питомої подачі[4, с. 11.]:

$$B_3 = A_1 \cdot e^{B_1(q-4)}, \quad (3.1)$$

$$B_{вз} = A_2 \cdot e^{B_2(q-4)}, \quad (3.2)$$

$$B_{нд} = A_3 \cdot e^{B_3(q-4)}. \quad (3.3)$$

де -  $A_1, A_2, A_3$  і  $B_1, B_2, B_3$  експериментальні коефіцієнти наведені в табл.1.



Таблиця 1.

Значення експериментальних коефіцієнтів А та В для розрахунку загальних  $V_3$  зерна в соломі та їх складових втрат вільним  $V_{ВЗ}$  та недомолоченим зерном  $V_{НД}$

МСС з діаметром барабана, мм	Види втрат зерна					
	$V_3$		$V_{ВЗ}$		$V_{НД}$	
	Значення коефіцієнтів					
	$A_1$	$B_1$	$A_2$	$B_2$	$A_3$	$B_3$
$D_6 = 600$	0,58	0,18	0,35	0,27	0,18	0,210
$D_6 = 700$	0,29	0,25	0,12	0,28	0,17	0,216

Аналізуючи величини коефіцієнтів (табл. 1.) видно, що за приблизно рівних значеннях  $A_3$  і  $B_3$  для втрат  $V_{НД}$  недомолотом в порівнюваних МСС, є три кратна різниця у величинах коефіцієнта  $A_2$  для втрат  $V_{ВЗ}$  вільного зерна.

Результати досліджень наведено на рис. 3.1.

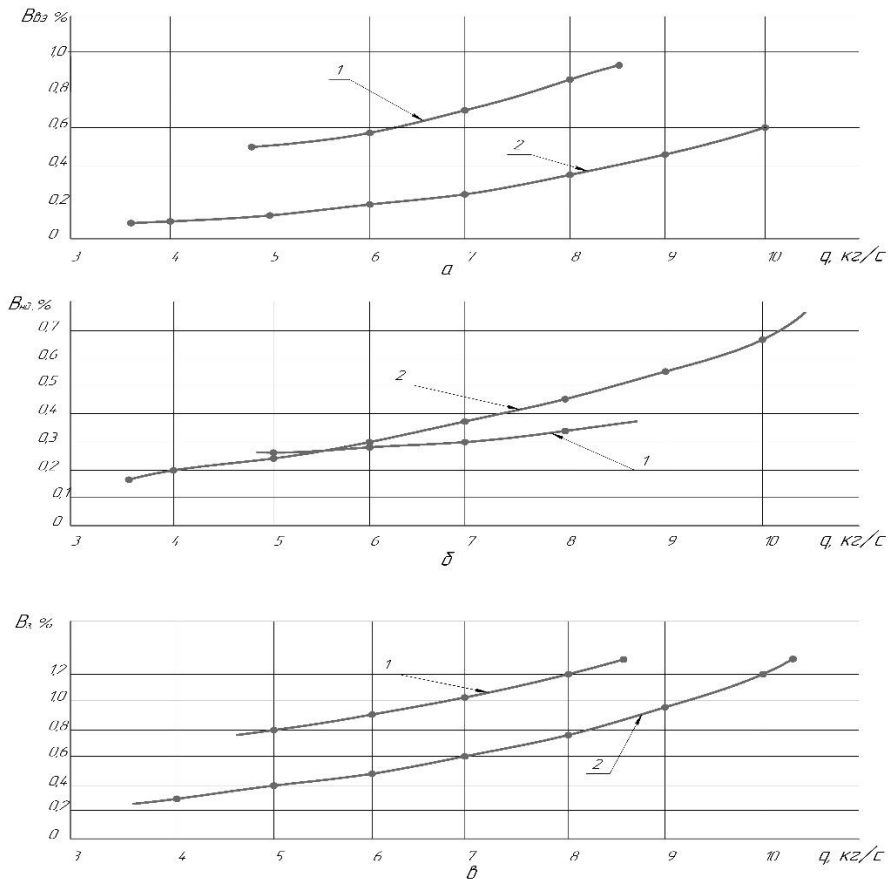


Рис. 3.1. Залежність втрат вільним зерном  $V_{ВЗ}$  (а), недомолотом  $V_{НД}$  (б) та загальних  $V_3$  (в) у соломі залежно від питомої подачі  $q$  для МСС з різними діаметрами барабану: 1 -  $D_6 = 600$  мм, 2 -  $D_6 = 700$  мм.

Аналізуючи залежності (рис. 3.1) встановлено, що втрати недомолотом в соломі, практично однакові, як за абсолютними величинами, так і за інтенсивністю сепарації, в межах 0,2...0,4 %  $V_{нд}$ , та не залежать від діаметра барабана (визначаються в основному довжиною їхніх бил. Втрати вільним зерном в 3...4 рази більші в пристрої з  $D_6 = 600$  мм. Така різниця пов'язана з зростанням в 1,25 разів сумарною довжиною сепаруючих бил і планок барабану МСС з  $D_6 = 700$  мм.

Також була встановлена залежність  $\eta_3$  (сепарації  $S_3$ ) вільного зерна по довжині  $L_k$  корпуса-сепаратора[4, с. 13.]:

$$\eta_3 = a_c \cdot e^{-\mu_L L_k} . \quad (3.4)$$

де  $a_c = (0,88...0,94)$  частина вільного зерна, яка потрапила на початок корпуса-сепаратора;

$\mu_L$ , - коефіцієнт інтенсивності сходу (сепарації) зерна по довжині корпуса-сепаратора.

Для інженерних розрахунків прийнято, що величина  $\mu_L$  постійна по довжині корпуса барабаня, вона залежить від питомої подачі і може бути визначена з виразу[4, с. 13.]:

$$\mu_L = a - b \cdot q_n , \quad (3.5)$$

де  $a$  та  $b$  експериментальні коефіцієнти.

Числові значення коефіцієнтів становлять: для МСС з  $D_6 = 600$  мм -  $a = 3,05$  м<sup>-1</sup> і  $b = 0,097$  (м кг/с)<sup>-1</sup>; для МСС з  $D_6 = 700$  мм відповідно - 2,41 і 0,04 (м кг/с)<sup>-1</sup>.

З виразу (3.5) слідує, що коефіцієнт  $\mu_L$  для МСС з  $d_p = D_6 = 600$  мм в 1,11 ... 1,18 разів більше, ніж для МСС з  $D_6 = 700$  мм. Зі збільшенням приведеної подачі  $q_n$  різниця в значеннях коефіцієнта зменшується. Так як довжина  $L_n$  пристрою пов'язана математичними залежностями з довжиною  $S_t$  траєкторії руху маси і з площею  $F_K$  корпуса-сепаратора, то запишемо коефіцієнт інтенсивності  $\mu_L$  сепарації по довжині траєкторії руху маси в МСС залежністю[4, с. 13.]:

$$\mu_{L_t} = \mu_L \cdot \sin \alpha_t, \quad (3.6)$$

$\alpha_t$  коефіцієнт інтенсивності  $\mu_F$  сепарації зерна за площею  $F_K$  корпуса-сепаратора.

Визначимо інтенсивність  $\mu_F$  сепарації зерна за площею корпуса  $F_K$ :

$$\mu_F = \frac{\mu_L}{\pi \cdot d_{KC}}, \quad (3.7)$$

$d_{KC}$  - діаметр корпуса-сепаратора, мм.

З вмісту (3.7) випливає, що збільшення діаметра кожуха знижує інтенсивність  $\mu_F$  сепарації зерна.

Розраховані за залежністю (3.4) значення величини  $\eta_z$  (сепарації  $S_z$ ) (на виході із кожуха-сепаратора  $\eta_z = V_{Bz}$ ) представлені в табл. 3.2.

Таблиця 2.

Втрати  $V_{Bz}$  вільним зерном у соломі за досліджуваним МСС з тангенціальною подачею при однаковій довжині  $L_{\Pi}$  та площі  $F_K$  корпуса-сепаратора.

Конструкційно-технологічні параметри досліджуваної МСС	Питома подача маси, $q$ , кг/с			
	4	6	8	10
	Втрати $V_{Bz}$ вільним зерном, %			
$D_6 = 600$ мм; $L_K = 2000$ мм; $F_K = 4,45$ м <sup>2</sup>	0,32	0,54	0,78	1,19
$D_6 = 700$ мм; $L_K = 2000$ мм; $F_K = 5,45$ м <sup>2</sup>	0,75	0,95	1,11	1,12

Аналізуючи дані табл. 3.2. можна побачити, що втрати  $V_{Bz}$  вільним зерном (при подачі 4 кг/с) при однаковій довжині корпуса-сепаратора, менше в 2,43 рази у МСС з  $D_6 = 600$  мм. При подачі 8 кг/с зазначена різниця склала всього 26 %. Звідси випливає, що інтенсивність сепарації вільного зерна одиницею довжини сепаратора МСС з  $D_6 = 600$  мм в 1,35 ... 1,93 рази, а одиницею площі в 2,15, ... 4,4 рази вище, ніж МСС з  $D_6 = 700$  мм.

Встановлено, що на хлібній масі вологістю 8... 14 % пропускна здатність при втратах до 1,5 % склала 6,9 та 7,9 кг/с для МСС з тангенціальною подачею і відповідно 4,16 та 5,7 кг/с для "класичної" молотарки з такими ж параметрами.

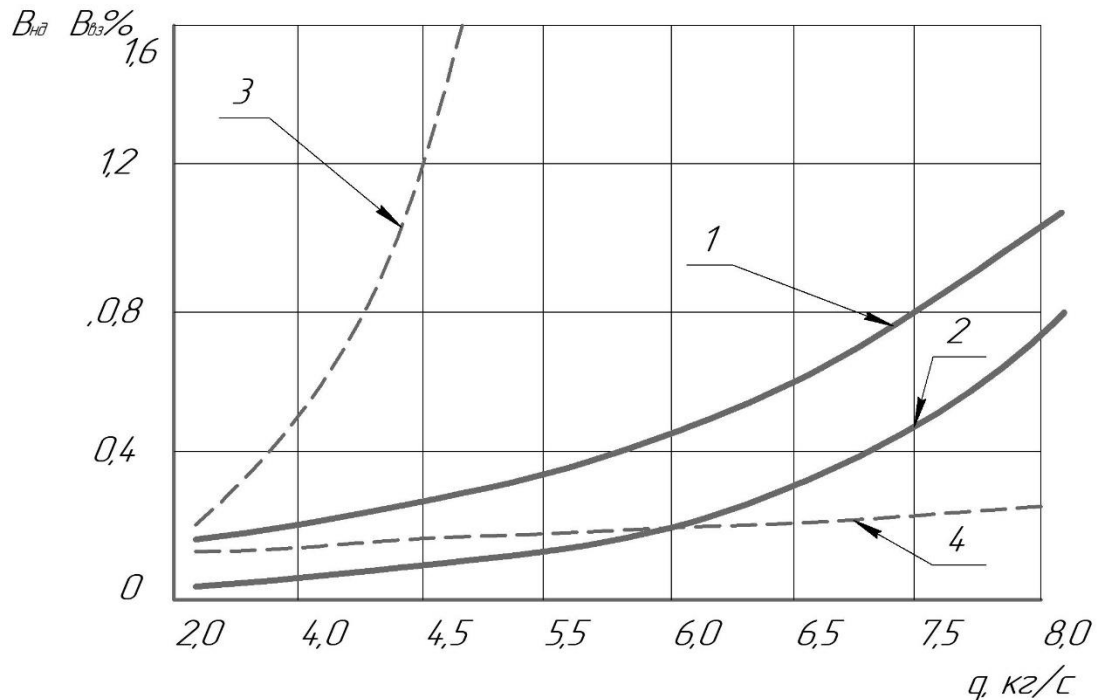


Рис. 3.2. Порівняльна графічна залежність втрат зерна у соломі  $V_{вз}$  - вільним і  $V_{нд}$  - недомолоченим зерном, залежно від подачі маси  $q$ : в умовах збирання з відносною вологістю  $W_c = 8... 14$  %; 1 -  $V_{вз}$  і 2 -  $V_{нд}$  - МСС з  $D = 600$  мм, 3-  $V_{вз}$  і 4 -  $V_{нд}$  - "класична" МСС з  $Dб = 600$  мм.

Провівши аналіз залежності (рис.3.2.), бачимо, що МСС з тангенціальною подачею маси має кращі технологічні показники ніж "класичний" (молотильний апарат того ж класу) пропускної спроможності в 1,54 ... 2,1 при збиранні сухої аси і в 1,1 ... 1,2 рази на масі з підвищеною вологістю. Найбільшу перевагу МСС тангенціально-аксіальною подачею перед "класичною" отримано за рахунок зниження втрат  $V_{вз}$  вільного зерна в соломі.

### Висновки до розділу 3

1. Встановлено, що втрати недомолотом в соломі, практично однакові, як за абсолютними величинами, так і за інтенсивністю сепарації, в межах

0,2...0,4 %  $V_{нд}$ , та не залежать від діаметра барабана (визначаються в основному довжиною їхніх бил. Втрати вільним зерном в 3...4 рази більші в апараті з  $D_6 = 600$  мм.

2. Коефіцієнт інтенсивності сепарації молотарки з тангенціальною подачею маси  $\mu_L$  для МСС з  $D_6 = 600$  мм в 1,11 ... 1,18 разів більше, ніж для МСС з  $D_6 = 700$  мм. Зі збільшенням приведеної подачі  $q_p$  різниця в значеннях коефіцієнта зменшується.
3. Втрати  $V_{вз}$  вільним зерном при однаковій довжині корпусу-сепаратора, менше в 2,43 рази у МСС з  $D_6 = 600$  мм. При подачі 8 кг/с зазначена різниця склала всього 26 %. Звідси випливає, що інтенсивність сепарації вільного зерна одиницею довжини сепаратора МСС з  $D_6 = 600$  мм в 1,35 ... 1,93 рази, а одиницею площі в 2,15, ... 4,4 рази вище, ніж МСС з  $D_6 = 700$  мм.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Одним із напрямків, що підвищують ефективність робочого процесу комбайнів - розробка та впровадження в їх конструкцію аксіально-барабанних молотильно-сепаруючих системи (далі МСС). Такі системи знайшли застосування, як правило, в комбайнах з номінальною пропускною здатністю  $q \geq 10$  кг/с з шириною молотарки  $B > 1,2$  м.
2. Аналізуючи конструкцію сучасних молотильно-сепаруючих систем видно, що вони в недостатній мірі забезпечують сепарацію та відділення зерен від незернової частини, а тому вимагають застосування додаткових пристроїв для активації.
3. В аксіально-барабаній МСС хлібна маса рухається гвинтовими траєкторіями, довжина яких визначається довжиною барабану і кутом його встановлення. При збільшенні сумарної довжини бил частка втрат зерна в соломі за молотаркою з діаметром барабана 0,60 м, в 1,5...2,0 рази менше, ніж при діаметрі барабану 0,75 м.
4. Питома технологічна потужність при пропускній здатності  $q = 7...8$  кг/с дає різницю у значеннях до 0,7 кВт (кг/с) на користь МСС з аксіально-барабаного типу. Збільшення швидкості бил барабану з 25 до 36 м/с знижує втрати вільного зерна у 2,8 рази, а втрати недомолотом у 1,4 рази.
5. Встановлено, що втрати недомолотом в соломі, практично однакові, як за абсолютними величинами, так і за інтенсивністю сепарації, в межах 0,2...0,4 %  $V_{нд}$ , та не залежать від діаметра барабана (визначаються в основному довжиною їхніх бил. Втрати вільним зерном в 3...4 рази більші в апараті з  $D_6 = 600$  мм. Коефіцієнт інтенсивності сепарації молотарки з тангенціальною подачею маси  $\mu_L$  для МСС з  $D_6 = 600$  мм в 1,11 ... 1,18 разів більше, ніж для МСС з  $D_6 = 700$  мм.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ткаченко І. Г. Обґрунтування параметрів технологічного процесу аксіально-роторної молотильно-сепаруючої системи з тангенціальним заходом маси: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : Луцьк, 1997. – 17 с.
2. Бердишев В. Є. Обґрунтування параметрів робочих органів молотарки зернозбирального комбайна з аксіально-роторною молотильно-сепаруючою системою // Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. М.: – 2014 р..
3. Бурак П.І. Порівняльні випробування сільськогосподарської техніки/П.І. Бурак, В.М. Пронін, В.А. Прокопенко, та інші. // М.: ДБНУ «Інформагротех», - 2013. – 416 с.
4. Золотов А.А. Вплив геометричних розмірів аксіально-роторних молотарок зернозбиральних комбайнів на показники роботи. автореф. дис. к. т.-х. наук. - М., 2000. – 24 с.
5. Мосяков М.А. Енергозберігаючі технології на збиранні зернових культур // Енергозабезпечення та енергозбереження у сільському господарстві: матер. Міжнар. наук.-тех. конф. 2016. – М.: ФДБНУ ВІЕСХ, 2016. - С.84-88.
6. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування . Том 1,2 К.: Урожай, 2001.- 384 с.
7. Ткаченко І. Г. Типи і параметри сепаруючих поверхонь аксіально-роторних молотильно-сепаруючих систем: – В кн.: Вісник аграрного університету. Том 3. Механізація сільськогосподарського виробництва. – К., 1997, с. 18-22.
8. Клєнин Н. И., Ломакин С. Г., Ткаченко И. Г. и др. Молотильно-сепарирующее устройство аксиально-роторного типа. – В кн.: Вузовская наука – производству. Сборник. МИИСП. – М., 1988, с. 28-31.

9. Петровец, В. Р. Технологический процесс, настройка, регулировка и контроль качества работы зерноуборочных комбайнов : практическое пособие / В. Р. Петровец, Н. И. Дудко, В. Л. Самсонов. Горки : БГСХА, 2012. 56 с.
10. Сисолін П.В., Рибак Т.І., Сало В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. – Книга 2. –К.: Урожай, 2002. – 364 с.
11. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. –К.: Урожай, 2001. – 384 с.
12. Хайліс Г.А. Коновалюк Д.М. Розрахунок робочих органів збиральних машин: Навч. посібник. – К.: НМК ВО, 1991. – 199 с.