

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет
Факультет механізації сільськогосподарського господарства
Кафедра машин та обладнання сільськогосподарського виробництва

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри МОСГВ
д.т.н., проф. Н.Р. Веселовська

« ____ » _____ 2018р.

Пояснювальна записка
до магістерської кваліфікаційної роботи

зі спеціальності 133 – Галузеве машинобудування

**РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ
ЗЕРНА ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА**

Виконав: студент групи 61-МК

Свистун О.Т.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Шаргородський С.А.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	6
1.1. Аналіз конструкцій пристроїв для обробітку колосового вороху	6
1.2. Аналіз теоретичних досліджень	23
1.3. Мета і задачі досліджень	27
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО РОЗРОБКИ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ, ЗАБЕЗПЕЧУЮЧИХ ЗНИЖЕННЯ ТРАВМУВАННЯ ЗЕРНА ПІД ЧАС ЗБИРАННЯ	29
2.1. Опис пристроїв для обробітку колосового вороху.....	29
2.2. Закономірності сходу продуктів обмолоту в колосовий шнек зернозбирального комбайна	31
2.3. Обґрунтування необхідної довжини сепаруючої поверхні нижнього решета очистки.....	44
2.4. Теоретичні основи роботи роздільного решета колосового вороху	57
Висновки до розділу	64
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ. ПРОГРАМА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	66
3.1. Програма експериментальних досліджень.....	66
3.2. Об'єкт досліджень і експериментальна установка	66
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	72
ЛІТЕРАТУРА.....	73

АНОТАЦІЯ

Роботу присвячено питанням зниження рівня травмування зерна шляхом обґрунтування раціональних параметрів повітряно-решітної системи очистки зерно-збирального комбайна.

Приведено результати теоретичних досліджень з визначення величини циркулюючого навантаження, унаслідок чого одержані математичні моделі за допомогою яких оцінюється зниження рівня травмування зерна.

Експериментально досліджено вплив завантаження очистки на вихід вороху в камеру колосового шнека. Здійснено виробниче впровадження зернозбирального комбайна з удосконаленою системою очистки, розраховано економічний ефект її застосування.

Ключові слова: циркулююче навантаження, система очистки, колосовий ворох, роздільне решето, ефективність.

ANNOTATION

The thesis is devoted to reducing injury grain by rational justification parameters of airpurification system reshitnoyi Grain Harvester.

The results of theoretical research to determine the value of the circulating load, thus obtained mathematical model by which the estimated reduction in injury grain. Experimentally, the effect of treatment on the yield load Woroch the camera headed screw. Done combine harvester production implemen-tation of udoskonations purification system calculated the economic effect of its application.

Key words: circulating load cleaning system, headed woroch, separate sieve, efficiency.

ВСТУП

Виробництво зерна – найважливіше завдання, що чинить істотний вплив на розвиток економіки країни, дозволяє забезпечити в міжнародних відносинах економічну незалежність держави.

Нині сільськогосподарське виробництво повинне забезпечити потребу країни у високоякісному продовольчому й фуражному зерні, створити необхідні державні резерви та ресурси для його експорту. Резервом є зменшення його втрат у процесі збирання, транспортування, післязбиральної обробки й зберігання.

Рішення цього завдання багато в чому залежить від продуктивності і якості роботи зернозбиральних комбайнів, які на сьогодні залишаються основним засобом збирання зернових культур і є одним із джерел утрат зерна. У створенні нових високопродуктивних комбайнів з пропускну здатністю 10 – 12 кг/с і вище велика увага приділяється вдосконаленню системи очистки, котра є стримуючим чинником у підвищенні продуктивності комбайнів.

Як показують дослідження повітряно-решітних очисток, що набули переважного поширення в зернозбиральних машинах, утрати вільним зерном складають 50 – 70 % від загальних утрат за молотаркою, а вихід вільного зерна в камеру колосового шнека може досягати 30 – 40 % від усього вимолоченого зерна [24, 54]. Це призводить до виникнення циркулюючого навантаження в технологічній схемі комбайна, яке складає 7 – 15 % від подавання хлібної маси в молотарку, а в деяких випадках і вище [112]. Вміст вільного зерна в колосовому вороху досягає 50 % і вище, до того ж 30 % цього зерна травмується під час транспортування колосовим шнеком і наступного домолоту [49].

Пшениця – цінна технічна та харчова культура. Вона є сировиною для харчової промисловості, а саме кондитерського й спиртового виробництв, корму для тварин.

Наявність травмованого зерна в посівному матеріалі знижує схожість, унаслідок чого втрачається велика кількість зерна.

На сьогодні не створено досить ефективного й прийняттого пристрою, що дозволяє значно знизити вихід вільного зерна і солом'яних домішок з очистки в камеру колосового шнека зернозбирального комбайна, тому удосконалення конструкції решітної системи очистки зернозбиральних комбайнів з метою зниження травмування зерна є актуальним.

РОЗДІЛ 1.

СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз конструкцій пристроїв для обробки колосового вороху

Сучасні зернозбиральні комбайни не забезпечують повного вимолоту зерна з колосків. Дослідженнями [61] встановлено, що частина колосків (від 4 до 7,5 %) обривається й подається для повторного обмолоту.

Питанню удосконалення процесу обробки колосового вороху приділяється особлива увага в комбайнобудуванні. За багаторічну історію розвитку комбайнобудування запропоновано значну кількість різноманітних схем доопрацювання колосового вороху. Розглянемо основні з них.

У комбайні СК – 3 (рис. 1.1) прийнята наступна схема обробки колосового вороху. Виділений очисткою колосовий ворох елеватором і малим колосовим шнеком подається на відбійний бітер 1 (рис. 1.1). Відбивач 2, установлений між молотильним апаратом і відбійним бітером перешкоджає подаванню колосового вороху до барабана 3.

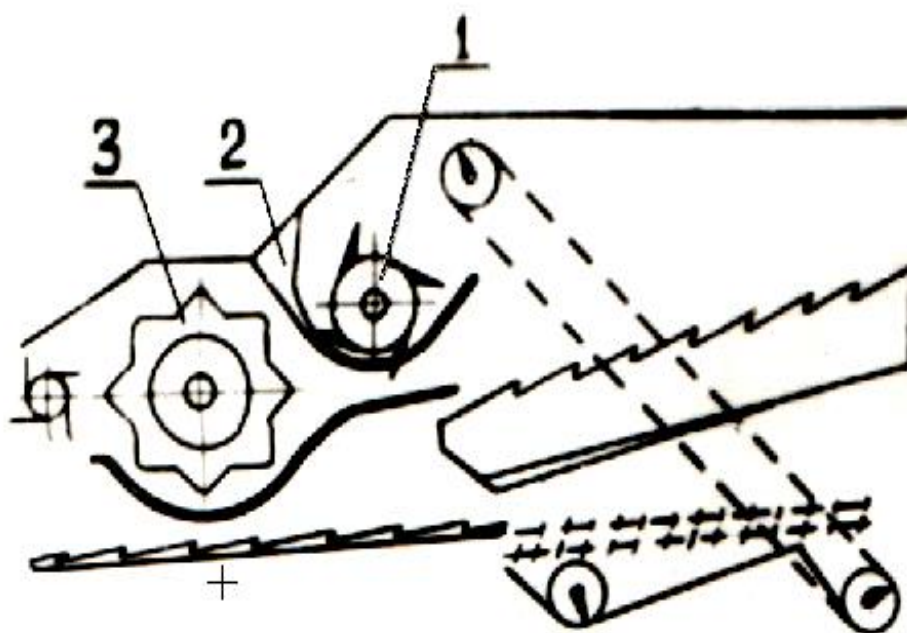


Рисунок 1.1 - Пристрій для обробки колосового вороху комбайна СК – 3:

1 – відбійний бітер; 2 – відбивач; 3 – барабан.

Відбивач спрямовував ворох на солому, котра подається з молотильного апарату на соломотряс. Випробування показали, що за такої схеми обробітку колосового вороху неприпустимо зростають утрати зерна в соломі. Тому на комбайні СК – 4 відбивач 2 був розташований попереду барабана 3 (рис. 1.2), а відбійний бітер 1 у поперечному перерізі мав форму квадрата.

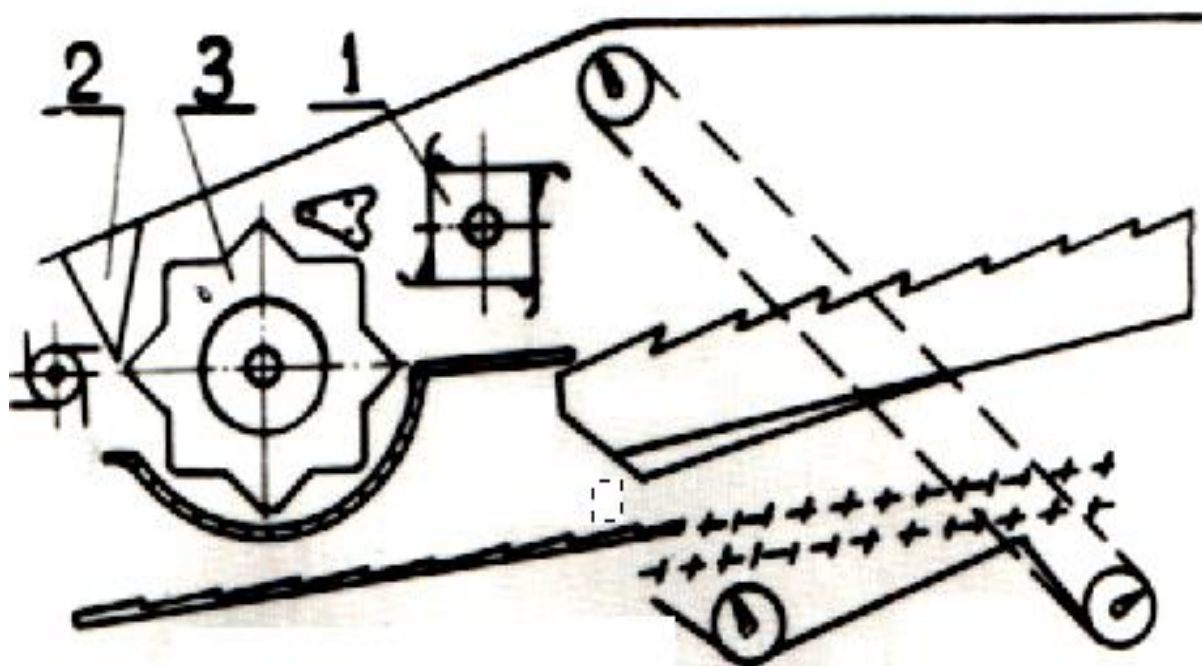


Рисунок 1.2 - Пристрій для обмолоту колосового вороху комбайна СК – 4:

1 – відбійний бітер; 2 – відбивач; 3 – барабан.

У комбайні СК – 4 колосовий ворох розділяється на два потоки. Один з них (близько 98 %) подається бітером у проміжок між верхньою панеллю молотильної камери й барабаном, і спрямовується відбивачем 2 на хлібну масу, яка поступає з приймальної камери в молотарку комбайна. Частина колосків обмолочується й виділяється разом з іншими дрібними складовими через підбарабання, а деяка їх кількість виноситься на соломотряс. Другий потік (більше 2 %) з простору між барабаном і відбійним бітером безпосередньо потрапляє на соломотряс [115].

Установлення на комбайні СК – 4А видозміненого бітера дозволила уникнути другого потоку, і увесь ворох подається в молотарку комбайна. Необхідно зауважити, що конструкція молотильного апарату й принцип його роботи розраховані на обмолочування колосків з відносно довгим стеблом і не враховують особливостей обмолоту окремих колосків, тим паче невеликих їх часток. Тому лише частина колосків повторно обмолочується молотильним апаратом, а решта повітряним потоком барабана виноситься з молотильного апарату й після багатократного звернення потрапляє в бункер або виноситься з половиною.

Щоб уникнути дії повітряного потоку молотильного барабана й зменшити дроблення вільного зерна, котре знаходиться в колосовому воросі, у ФРН [126] запропоновано скеровувати його в зону між приймальним бітером 1 і молотильним апаратом 2 (рис. 1.3).

У цьому випадку подавання колосового вороху на хлібну масу, що поступає в молотарку комбайна, призводить до погіршення обмолоту основної маси.

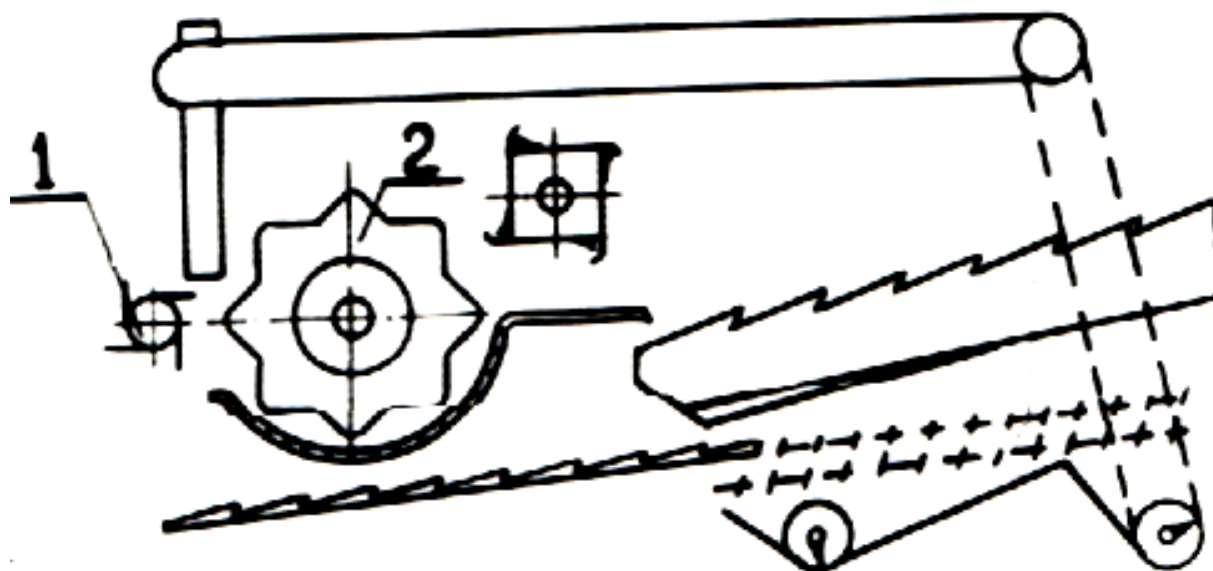


Рис. 1.3. Пристрій для обмолоту колосового вороху згідно з патентом [126]:

1 – приймальний бітер; 2 – барабан.

Для поліпшення сепарації зерна через шар хлібної маси до подавання в молотильний апарат в США [128] запропоновано подавати колосовий ворох у похилу камеру (рис. 1.4).

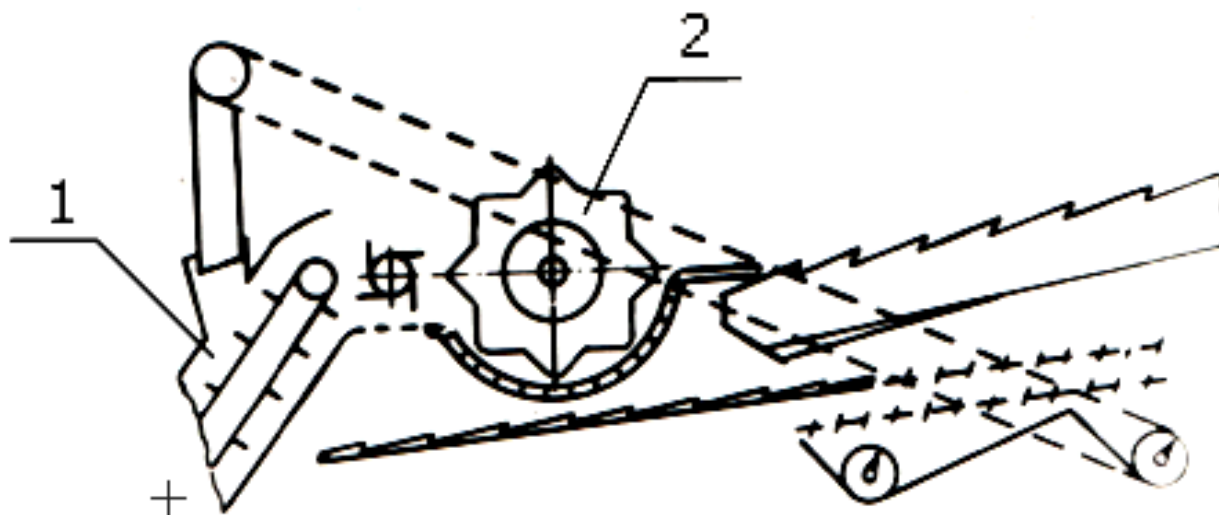


Рис. 1.4. Пристрій для обмолоту колосового вороху:

1 – транспортер похилої камери; 2 – барабан.

У такому пристрої обмолот основної маси, порівняно з наведеною вище схемою (1.3), покращується. Проте ця й усі зазначені вище схеми обробітку колосового вороха мають наступні недоліки, зокрема: колосовий ворох повторно подається на обмолот у молотильний апарат, що призводить до його перевантаження й погіршення сепарації зерна через підбарабання. Крім того, колосовий ворох містить вільне зерно, яке, потрапляючи на повторний обмолот, травмується.

Дослідженнями [69] встановлено, що при середній врожайності пшениці 25 ц/га на повторний обмолот подається з кожного гектара близько 75 кг повноцінного зерна або 3 % від урожаю. Із зерна, котре поступає на повторний обмолот більше 22 % є пошкодженим, що підвищує вміст дробленого зерна в бункері на 0,68 %.

Знизити міру дроблення зерна, яке подається на повторний обмолот, можна шляхом виділення його з колосового вороху до його подавання в молотильний апарат. Для цього запропоновано в днищі скребкового транспортера 1 (рис. 1.5) зробити решітчасте вікно 2 [2].

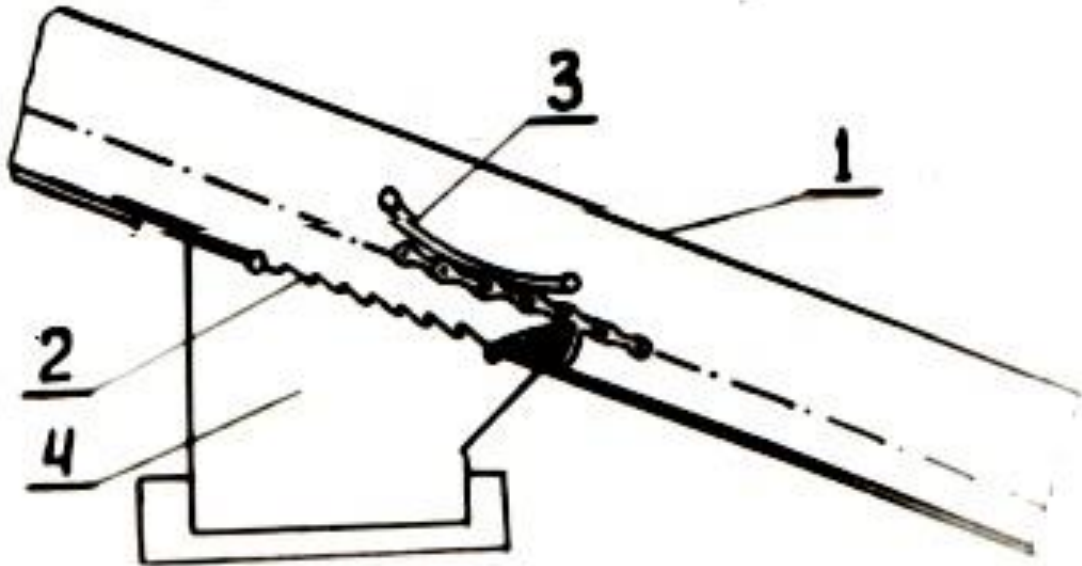


Рисунок 1.5 - Пристрій для виділення вільного зерна з колосового вороху [2]:

1 – транспортер; 2 – решітчасте вікно; 3 – пружина; 4 – лоток.

Для інтенсивнішого виділення зерна й дрібної фракції колосового вороху решітка має хвилястий профіль, а над ланцюгом скребкового транспортера установлена пружина 3. Виділене зерно через решітку 2 подається по лотку 4 на очистку, минаючи молотильний апарат. Такий пристрій зменшує завантаження молотильного апарату дрібним ворохом і знижує дроблення зерна тим, що вільне зерно колосового вороху не потрапляє в молотильний апарат.

Л. І. Шпокас [118] запропонував днище колосового елеватора замінити решетою, а під ним поставити додатковий елеватор (рис. 1.6).

Зерно через решето поступає в додатковий елеватор. Останній подає його в шнек, звідки воно подається на вібродошку, і відповідно зменшує

завантаження молотильного апарату дрібним ворохом і знижує дроблення зерна.

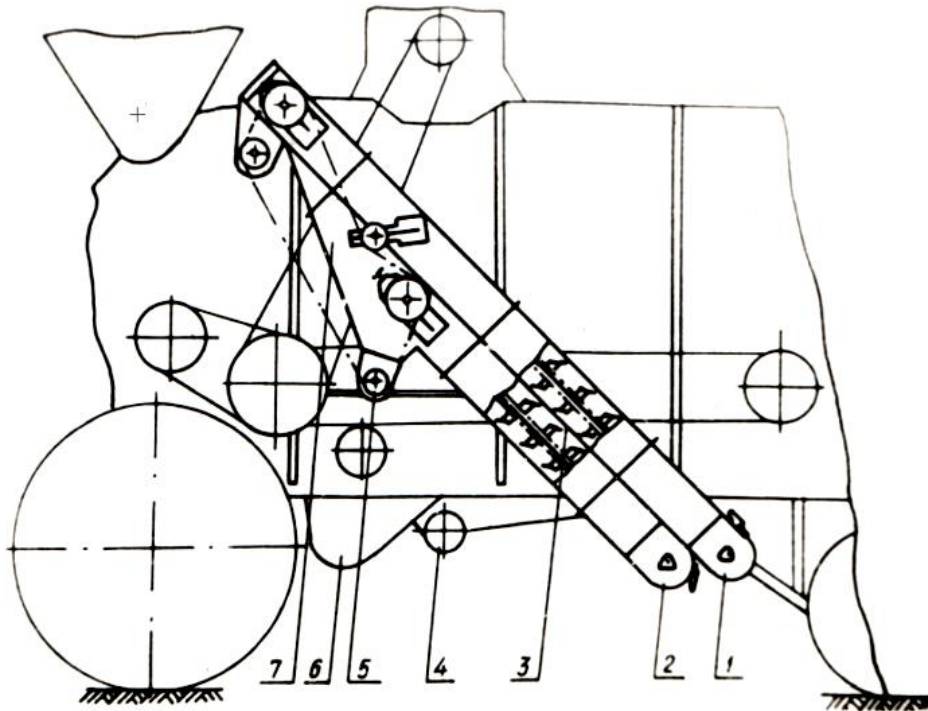


Рисунок 1.6. - Колосовий елеватор з пристроєм для виділення зерна:
1 – елеватор (основний); 2 – елеватор (додатковий); 3 – решето;
4 – зерновий шнек; 5 – шнек; 6 – вентилятор; 7 – збірка.

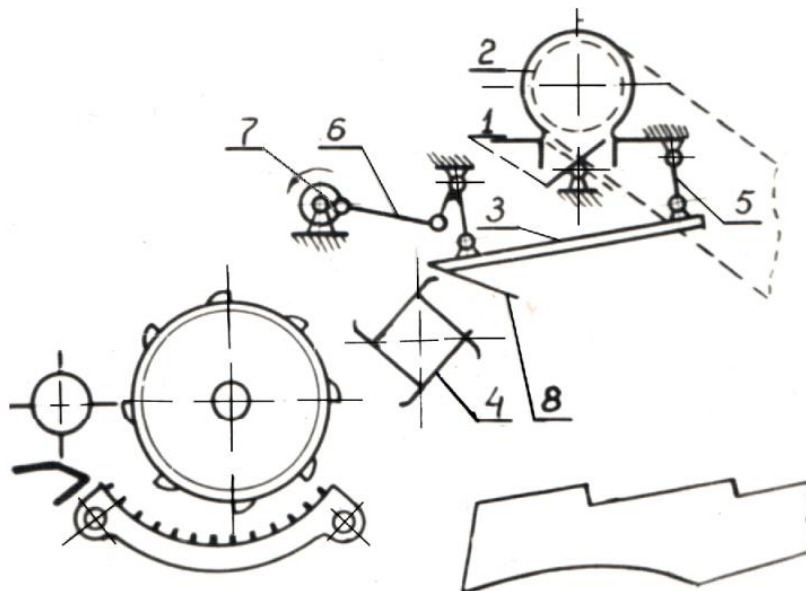


Рисунок 1.7 - Пристрій для зміни напрямку подавання колосового вороху і його розділення:

1 – поворотна заслінка; 2 – колосовий шнек; 3 – решето; 4 – відбійний бітер; 5 – підвіски; 6 – шатун; 7 – кривошип; 8 – щиток.

Щоб знизити завантаження молотильного апарату та рівень травмування зерна А. П. Тарасенко та інші [98], запропонували пристрій для обробки колосового вороху, що дозволяє розділяти його на дві частини (рис. 1.7).

Обмолочене зерно й дрібні домішки просипаються крізь решето та поступають на соломотряс і очистку комбайна. Необмолочені колоски й великі частини вороху проходять по решеті й подаються на бітер 4, який направляє їх на повторний обмолот. Виділення обмолоченого зерна й дрібних домішок по подаванню вороху на повторний обмолот дозволяє зменшити дроблення зерна у 2 рази.

Відомий пристрій (рис. 1.8), який дозволяє змінювати спосіб обробітку колосового вороху в залежності від його вологості.

Цей пристрій дозволяє обробляти ворох за трьома схемами. У першому випадку колосовий ворох малим колосовим шнеком 1 подається на вальці 2, які мають зустрічний напрям обертання.

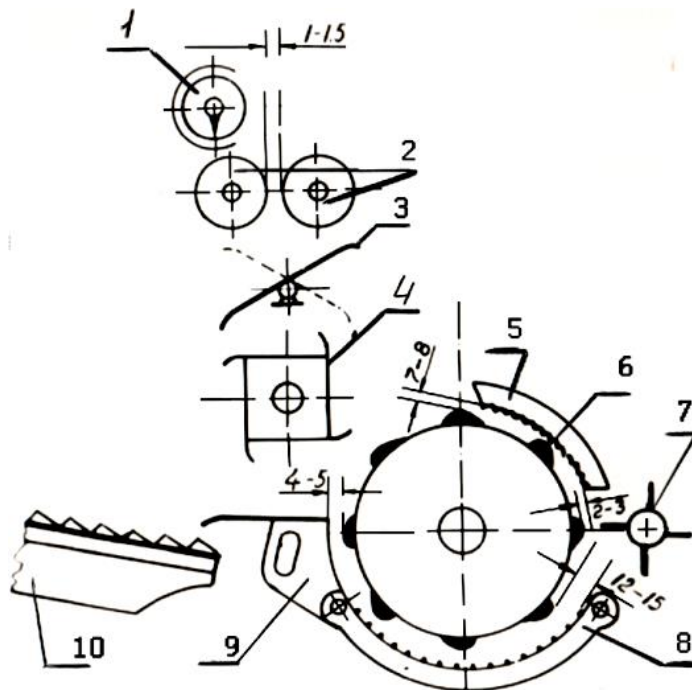


Рисунок 1.8 - Пристрій для комбінованого обмолоту колосового вороху:

- 1 – колосовий шнек; 2 – вальці; 3 – заслінка; 4 – відбійний бітер;
- 5 – додаткове підбарання; 6 – барабан; 7 – приймальний бітер; 8 – дека;
- 9 – подовжувач підбарання; 10 – соломотряс.

Захвачений вальцями 2 ворох перетирається, що призводить до виділення з необмолочених колосків зерна. Виділене зерно й соломисті рештки по заслінці 3 спрямовуються на соломотряс.

За вологішого вороху він з-під вальців подається в молотильний проміжок між барабаном і додатковим підбарабанням 5, де і відбувається остаточне виділення з колосків зерна.

Обробляючи ворох відносно високої вологості, зменшують зазори між барабаном 6 і додатковим підбарабанням 5.

Друга й третя схеми обробітку використовуються, якщо зволожена хлібна маса. За нормальної вологості обробляти колосовий ворох за цими схемами недоцільно, оскільки він додатково перетирається й погіршує сепарацію зерна.

Перевага такої схеми полягає в тому, що колосовий ворох не завантажує основний молотильний апарат. Недоліком є те, що за нормального подавання хлібної маси в молотильний апарат, а також під час вступу на соломотряс збільшеної кількості подрібненої соломи, колосовий ворох додатково завантажує соломотряс, що призводить до збільшення втрати зерна із соломою.

В Англії [130] запропонований пристрій для обмолоту колосового вороху (рис. 1.9), котрий складається з решітки 2, збиральної камери 3, аспіраційного вентилятора 4, поворотного каналу 5 і дефлектора 6.

Колосовий ворох проходить через решето 1 очистки комбайна і крізь решітку 2 поступає в збиральну камеру 3. Основа камери нахилена в напрямку до вхідного вікна вентилятора, завдяки чому ворох легко подається в камеру вентилятора 4. Звідси він лопатями вентилятора спрямовується по каналу 5 на пластину дефлектора 6. У процесі взаємодії з лопатями вентилятора й дефлектором відбувається обмолочування колосового вороху.

Поряд з описаною конструкцією в Англії поширена інша із шнековим дообмолочувальним пристроєм [129] (рис. 1.10).

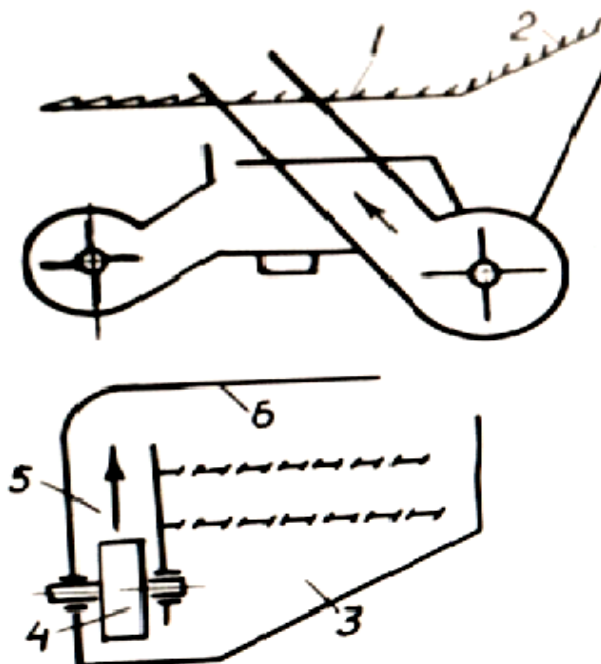


Рисунок 1.9 - Пристрій для обмолоту колосового вороху потоком повітря [130]:

1 – решето очистки; 2 – решітка; 3 – збиральна камера; 4 – аспіраційний вентилятор; 5 – поворотний канал; 6 – дефлектор.

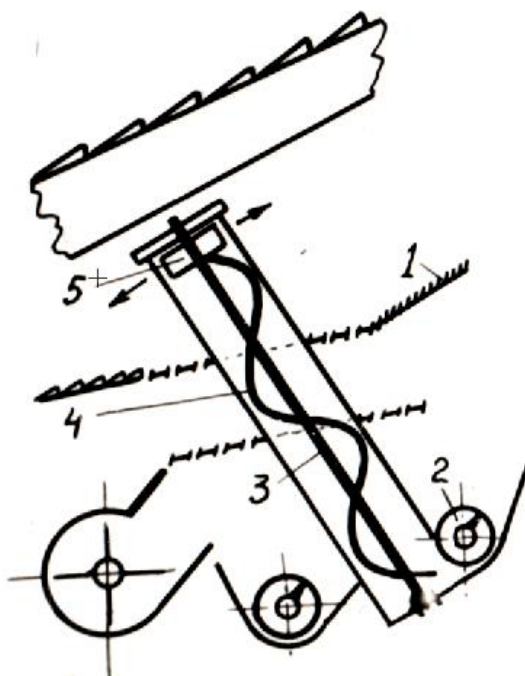


Рисунок 1.10 - Пристрій для обмолоту колосового вороху шнековим дообмолочувальним пристроєм [129]: 1 – решітки; 2 – шнек; 3 – дообмолочувальний пристрій; 4 – шорсткий кожух; 5 – лопатки.

Після сходу з решітки 1 колоски шнеком 2 подаються в дообмолочувальний пристрій. Проходячи між шнеком 3 і шорстким кожухом 4, колоски обмолочуються. Обмолочений продукт лопатями 5 подається на решітний стан комбайна, на котрому й відбувається виділення чистого зерна.

Пристрій для обмолоту колосового вороху, який показаний на рис. 1.11, складається з решітки 1, горизонтального 2 і похилого шнека 3, дообмолочувального пристрою 5, перепускного каналу, транспортної дошки 4.

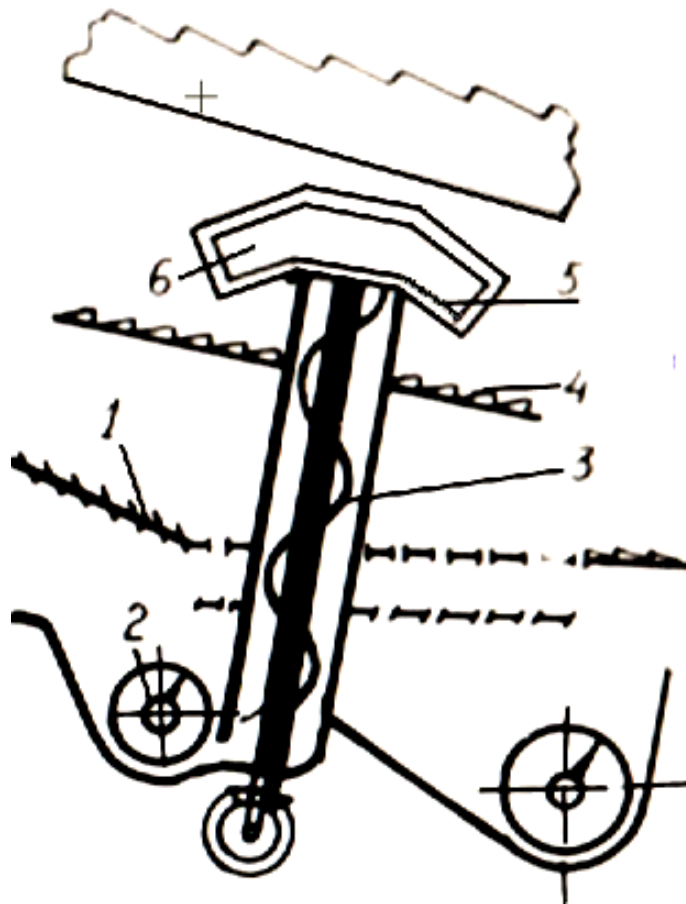


Рисунок 1.11 - Пристрій для обмолоту колосового вороха дообмолочувальним пристроєм [132]:

1 – решітка; 2 – горизонтальний шнек; 3 – похилий шнек; 4 – транспортна дошка; 5 – дообмолочувальний пристрій; 6 – хвиляста поверхня.

Колосовий ворох, який проходить через решітку 1, шнеками 2 і 3 подається в камеру дообмолоту. Перетираючі стрижні, взаємодіючи з колос-

ками, обмолочують їх на конусній поверхні. Обмолочений продукт через перепускний канал виводиться на транспортну дошку, а потім на очистку комбайна.

У роботі [48] запропоновано дообмолочувальний пристрій, що складається з корпусу 1 (рис. 1.12), двох обгумованих вальців 2 і нажимного пристрою 3, котрий регулює міру стискання колосового вороху. Цей пристрій кріпиться до колосового елеватора комбайна. У процесі роботи необмолочені колоски і їх частини з колосового шнека поступають у колосовий елеватор, яким подаються до дообмолочувального пристрою. Під час проходження між вальцями ворох стискається, зв'язок зерен з колоссям порушується й вони видавлюються з них. Обмолочена маса вздовж лотка прямує на транспортний пристрій очистки комбайна.

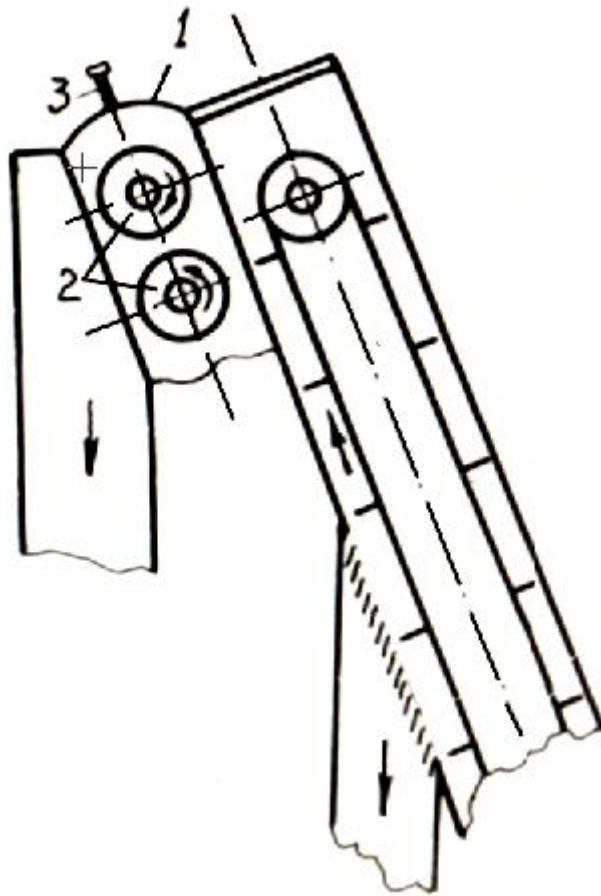


Рисунок 1.12 - Пристрій для обмолоту колосового вороху [61]:

1 – корпус; 2 – вальці; 3 – нажимний пристрій.

Для обмолоту колосового вороха згідно із запропонованим пристроєм [127], що складається з решітки 1 (рис. 1.13), бильного молотильного барабана 2, підбарабання глухого типу 4, транспортуючого шнека 5, клапана 3, кожуха 6.

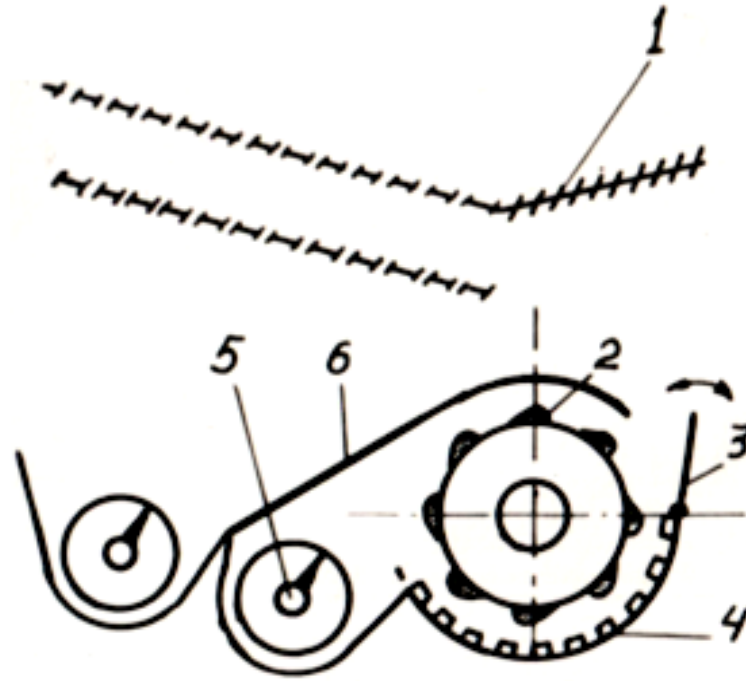


Рисунок 1.13 - Пристрій для обмолоту колосового вороху [127]:

1 – решітка; 2 – бильний барабан; 3 – клапан; 4 – підбарабання глухого типу; 5 – транспортуючий шнек; 6 – кожух.

Працює пристрій так: колосовий ворох, проходячи через решітку 1 подається в приймальну камеру дообмолочувального пристрою. Під час проходження в зазорі між барабаном і підбарабанням колоски обмолочуються. Продукти обмолоту транспортуючим шнеком 5 виводяться на очистку комбайна.

Функціонує також пристрій [131], у якому необмолочені колоски дообмолочуються шнеком 2, котрий має лівий і правий напрям витків (рис. 1.14).

Колосовий ворох сходить з решітки 1 очистки й подається на шнек 2, який перетирає колоски з виділенням зерна. По транспортуючих каналах 3 продукти обмолоту потрапляють на решета очистки.

Порівняно з попередніми конструкціями тут пропонується одним робочим органом виконувати дві операції – транспортування і обмолочування колосового вороху.

Для зниження завантаження очистки комбайна запропонований пристрій для домолоту колосків [3], який розділяє колосовий ворох на дві частини.

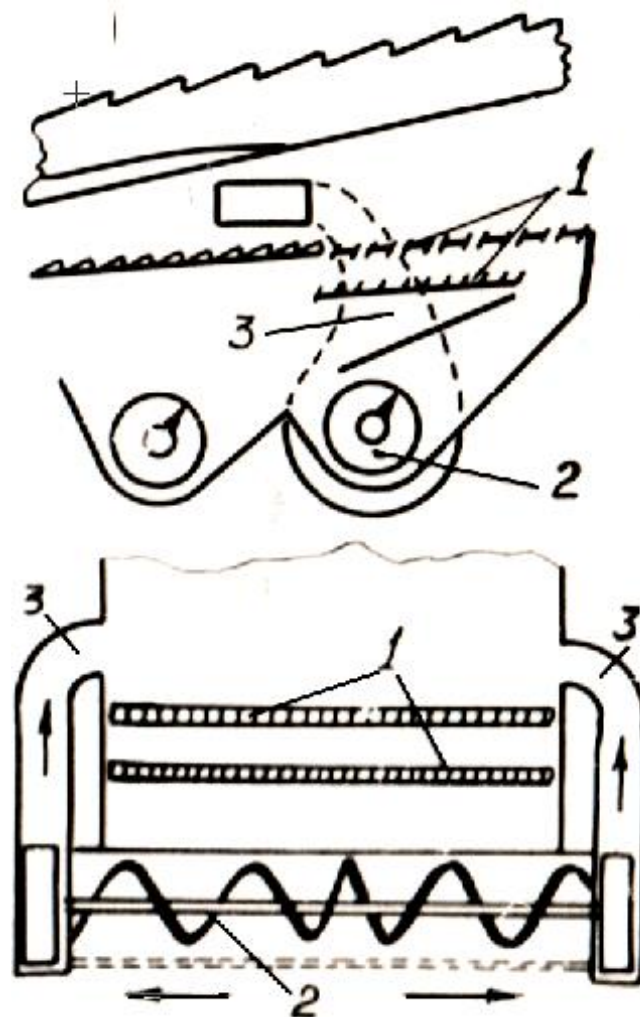


Рисунок 1.14 - Пристрій для обмолоту колосового вороху [131]:

1 – решітка; 2 – шнек; 3 – транспортуючий канал.

Дрібні частинки вороху разом із зерном подаються на очистку, а великі, котрі не містять зерна – на соломотряс (рисунок 1.15).

Колосовий ворох, що проходить через решітку 1 потрапляє на ротор 2, переміщуючись ним по решітчастому підбарабанню 4, і перетирається. Вимолочене зерно й дрібні частинки проходять через підбарабання 4 на шнек 5, а потім лопатями вентилятора 6 подаються на очистку каналом 7. Великі частки потрапляють на соломотряс каналом 8.

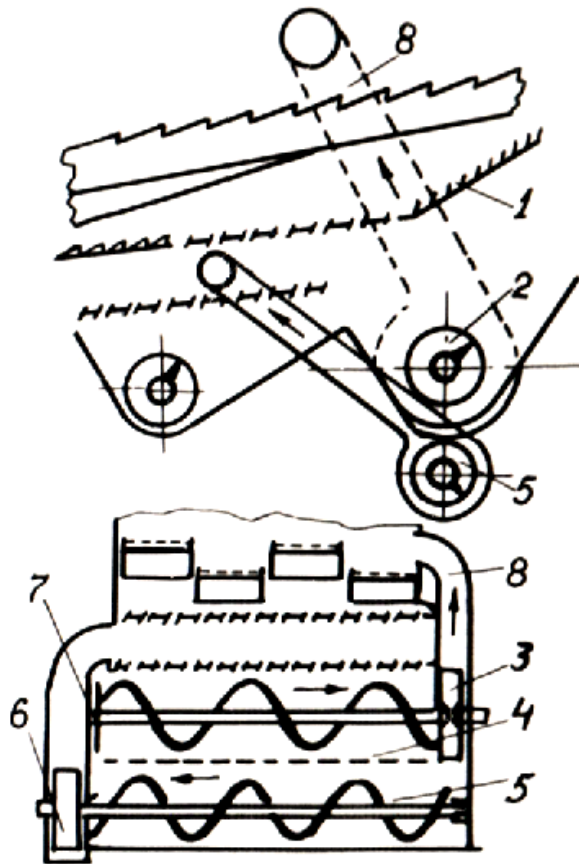


Рисунок 1.15 - Пристрій для обмолоту колосового вороху [3]:

1 – решітка; 2 – молотильний ротор; 3 – вентилятор; 4 – решітчасте підбарабання; 5 – шнек; 6 – вентилятор; 7, 8 – транспортуючі канали.

Цей пристрій дозволяє розподілити ворох на два потоки, що сприяє більш рівномірному завантаженню очистки й соломотряса комбайна.

На комбайнах сімейства "Дон" [53] та інших російських моделях встановлено дообмолочувальний пристрій для дообмолоту колосового вороху, який показано на рис. 1.16.

Ворох, що сходить з очистки комбайна, елеватором подається на повторний обмолот. Подавання дрібного вороху, на повторний обмолот в дообмолочувальний пристрій призводить до збільшення пошкодження зерна.

Дообмолочувальний пристрій (рис. 1.16) розташовано паралельно основному. Пристрій містить жолоб, транспортуючі органи 3, патрубков 4, дообмолочувальний пристрій 5 і підбарабання 6. Дообмолочувальний барабан відрізняється від основного тим, що має гнучкі лопаті 7 з прогумованого матеріалу замість сталевих кутників у основного барабана. Лопаті завдяки їх гнучкості забезпечують контакт з робочою частиною підбарабання. Основний барабан обертається проти годинникової стрілки, а кінцевий дообмолочувальний – за годинниковою.

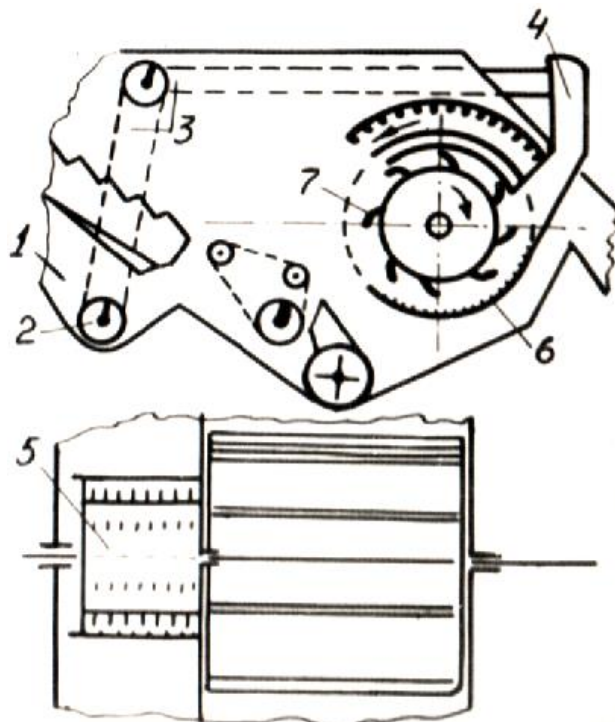


Рисунок 1.16 - Пристрій для дообмолоту колосового вороху сімейства "Дон":

1 – жолоб; 2 – шнек; 3 – транспортуючі органи; 4 – патрубков; 5 – дообмолочувальний пристрій; 6 – підбарабання; 7 – гнучкі елементи.

Колосовий ворох, що сходить на очистку комбайна, шнеком 2 і транспортуючими органами 3 через патрубок 4 подається в дообмолочувальний пристрій, де відбувається обмолот. Продукти дообмолоту, потрапляють на очистку комбайна.

До цієї ж групи пристроїв для обмолоту колосового вороху можна віднести пристрій, що передбачає роздільний збір і обробіток вороху, що поступає з соломотряса та очистки (рис. 1.17) [7].

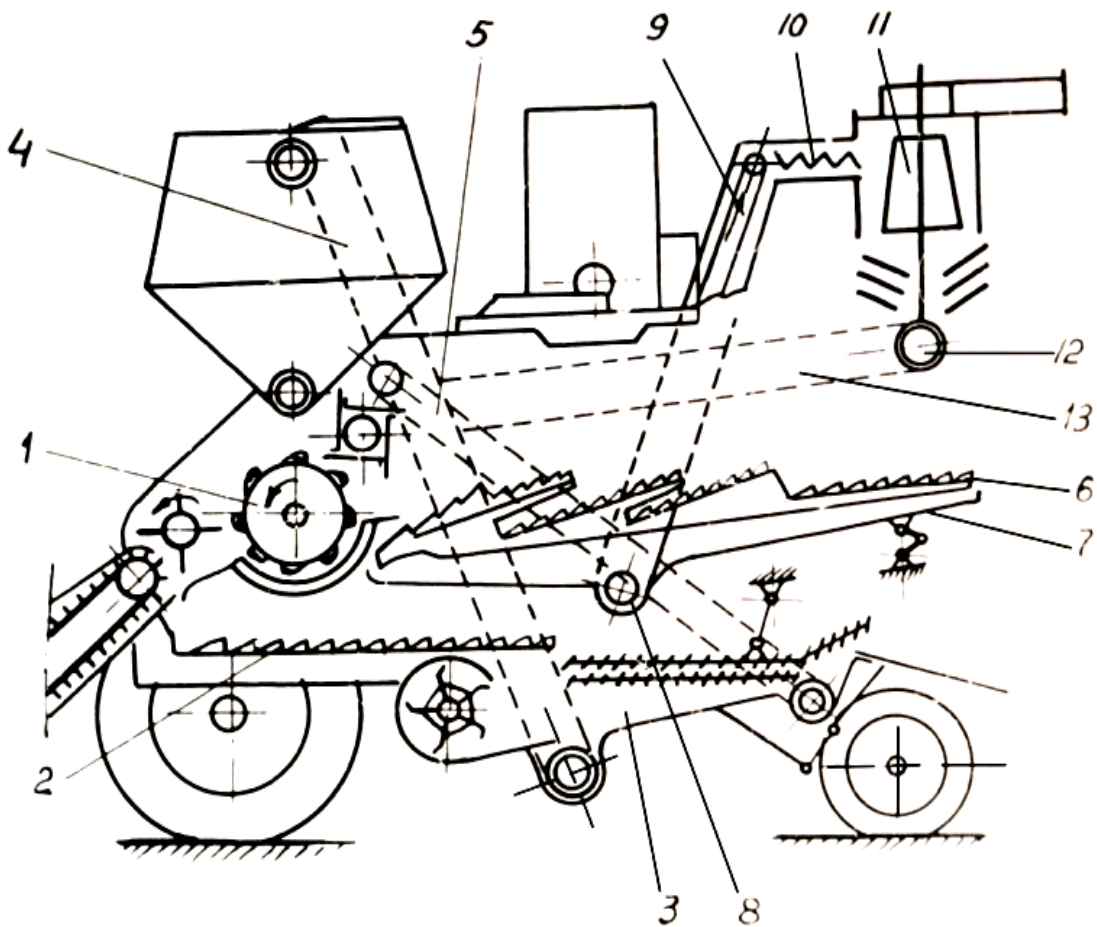


Рисунок 1.17 - Молотильно-сепаруючий пристрій згідно [7]:

1 – молотильний апарат; 2 – зтрушувальна дошка; 3 – повітряно-решітна очистка; 4, 5 – елеватори; 6 – соломотряс; 7 – збірник дрібного вороху; 8 – транспортер; 9 – елеватор; 10 – шнек; 11 – дообмолочувальний пристрій; 12 – приймач зерна; 13 – елеватор.

Переваги схем з автономним обробітком колосового вороху: не перевантажується основний молотильний апарат дрібним ворохом, що сприяє збільшенню продуктивності комбайна, поліпшенню сепарації зерна через підбарабання та зниженню його травмування.

Пристрій для обмолоту колосового вороху дообмолочувальним пристроєм в єдиному потоці (рис.1.18).

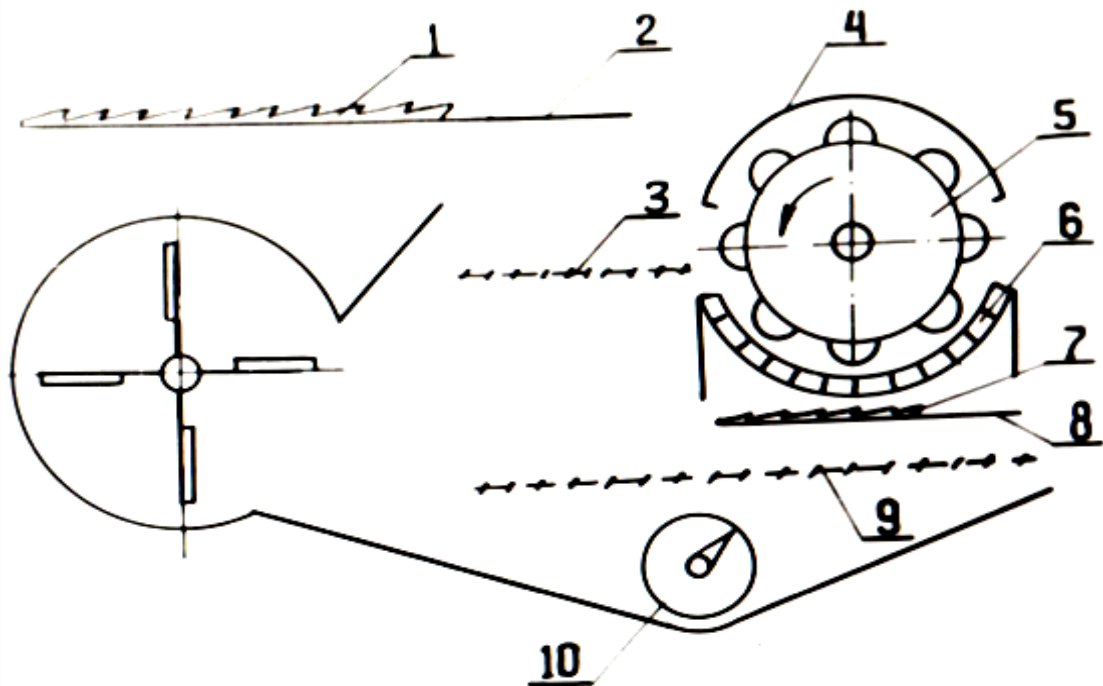


Рисунок 1.18. - Пристрій для обмолоту колосового вороху дообмолочувальним пристроєм в єдиному потоці:

1 – транспортна дошка; 2 – подовжувач; 3 – решітка; 4 – кожух; 5 – бильний барабан; 6 – підбарабання; 7 – транспортна дошка; 8 – пальцева решітка;

9 – решето; 10 – шнек.

Продукти обмолоту проходять транспортною дошкою 1 і зерно виділяється на решітці 3, а необмолочені колоски потрапляють в дообмолочувальний пристрій і обмолочуються. Виділене зерно й солова поступають через транспортну дошку 7, розташовану під підбарабанням дообмолочувального пристрою, і разом із зерном, виділеним на решітці 3, потрапляють на

решето 9. Чисте зерно шнеком 10 транспортується в збірник, а полова виводиться повітряним потоком з комбайна. Цей пристрій має перед іншими схемами перевагу, яка полягає в тому, що колосовий ворох проходить очистку один раз і повернення його в молотарку не відбувається.

Водночас цей дообмолочувальний пристрій розташований на початку решіт, а це вимагає зміни конструкції комбайна.

З проведеного аналізу конструкції пристроїв і схем для обробітку колосового вороху випливає, що їх можна об'єднати в такі групи:

- схеми, які передбачають обмолот колосового вороху основним барабаном;
- пристрої, що реалізують комбінований спосіб обмолоту колосового вороху;
- пристрої для обмолоту колосового вороху дообмолочувальним пристроєм;
- пристрій для обмолоту колосового вороху дообмолочувальним пристроєм у єдиному потоці.

1.2. Аналіз теоретичних досліджень

Розглядаючи рух тіл в горизонтальній площині, що здійснює гармонійні коливання, академік В. П. Горячкін [27] отримав закономірності, котрі описують рух зерна по плоскому решету. Подальші дослідження в цьому напрямку були присвячені обґрунтуванню параметрів соломотряса і решіт очистки.

Запропоновано експоненціальну залежність сходу зерна з решета залежно від його довжини L і сепаруючої здатності, яка характеризується коефіцієнтом сепарації [62]:

$$Y = Y_0 \cdot e^{-\mu L}, \quad (1.1)$$

де Y_0 – подавання вороху на початок решета, кг/с;

μ – коефіцієнт сепарації;

L – довжина решета, м.

Це рівняння дозволяє досить точно описувати процес сепарації зерна на решеті очистки. Через свою універсальність і простоту обчислень цю залежність прийнято вважати законом сепарації. Надалі цей закон уточнювався, але залежність залишалася експоненціальною.

Досліджуючи роботу клавішного соломотряса [9], запропоновано рівняння, яке дозволяє точніше описати процес сепарації на соломотрясі порівняно з рівнянням (1.1):

$$Y = Y_0 \cdot e^{-\mu L^2}. \quad (1.2)$$

Рівняння сепарації дозволяють досить добре апроксимувати експериментальні дані. У них висвітлено чинники, які впливають на процес сепарації.

Із аналізу рівнянь (1.1) і (1.2) випливає, що одним із шляхів інтенсифікації сепарації зерна на решетах очистки є збільшення їх довжини. Незважаючи на це, вони дозволяють визначити схід зерна з сепаратора тільки наближено, тому багато дослідників намагалися виявити закономірності сепарації, котрі дозволяють максимально точно апроксимувати експериментальні дані.

Відомо, що процес сепарації зерна на решеті очистки зернозбирального комбайна відбувається в декілька стадій.

На основі імовірнісного підходу І. Ф. Василенко [21, 22] встановив, що для соломотряса, і для решіт очистки процес сепарації характеризується імовірністю просіювання зерна через просторову решітку вороху α і імовірністю просіювання через решітку сепаратора β . Повна імовірність просіювання зерна на одиниці довжини сепаратора є коефіцієнт сепарації μ , який визначається з виразу:

$$\mu = \frac{\alpha\beta}{V_{\text{сеп}}t}, \quad (1.3)$$

де $V_{\text{сеп}}$ – середня швидкість переміщення вороху вздовж сепаратора, м/с;

t – проміжок часу між струшуванням, с.

Рівняння (1.3) ілюструє, що коефіцієнт сепарації зерна з вороху, а отже, і повнота виділення, буде тим більшою, чим довший процес сепарації. У зв'язку з цим, подавання дрібносоломистого вороху необхідно здійснювати на початок решета для того, щоб час сепарації був максимальним і з решета на подовжувач поступала б найменша кількість вільного зерна. Це враховано в конструкції комбайна "Дон-1500", у котрому застосовується один молотильний барабан, а ворох від соломотряса поступає на кінець транспортної дошки і гребінку.

В роботі [22] встановлена залежність між коефіцієнтом сепарації зерна й товщиною шару вороху на решеті:

$$\frac{\mu}{\mu_1} = \left(\frac{H_1}{H} \right)^m, \quad (1.4)$$

де μ – коефіцієнт сепарації зерна з товщиною вороха H ;

μ_1 – коефіцієнт сепарації зерна з товщиною вороха H_1 ;

m – показник степеня.

Г. В. Майоров [67], досліджуючи процеси просіювання зерна через ворох і відділення його від солом'яної частини, робить висновок, що для підвищення ефективності сепарації на очистці необхідно поліпшувати умови виділення зерен від солом'яних домішок.

Автори [35, 36], досліджуючи роботу очистки зернозбирального комбайна, розділили процес сепарації на жалюзійному решеті на 5 стадій: рух частинок в надрешітном просторі, просіювання їх через шар вороху, рух по поверхні решета, просіювання через решето і рух в міжрешітному просторі.

Дослідження показують, що якість роботи жалюзійних решіт залежить в основному від умов руху частинок в середній і задній частині решета.

Авторами [15, 120] на основі імовірного підходу виведено експоненціальну залежність сходу зерна з решета, на яке поступає "неоднорідний" за висотою багат шаровий ворох. Для двошарового "неоднорідного" за висотою шару вороху на решеті отримано рівняння:

$$Y = Y_0 \cdot \frac{\mu_p}{\mu_p - \mu_v} \cdot e^{-\mu_v L}, \quad (1.5)$$

де μ_p – коефіцієнт сепарації зерна для решета;

μ_v – коефіцієнт сепарації зерна для вороху.

Використовуючи це рівняння, можна визначити схід зерна з решета, на котрому знаходиться шар вороху.

В роботі [93] для визначення відносного сходу насіння з клавійного соломотряса запропоновано рівняння, у якому поєднані степенева й експоненціальна залежності:

$$\varepsilon = kL^{-me^{-nq}}, \quad (1.6)$$

де k, m, n – емпіричні коефіцієнти;

q – завантаження соломотряса, кг/с.

Незважаючи на достатню точність виразу (1.6), ним важко користуватися в інженерних розрахунках, оскільки він містить декілька емпіричних коефіцієнтів.

Досліджуючи процес сепарації на соломотрясі, автором [47], встановлено, що просіювання зерен підкорюється закону нормального розподілу:

$$W = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\lambda} e^{-t^2} \cdot dt, \quad (1.7)$$

де W – імовірність виділення зерна на поверхні соломотряса;

λ, t – параметри процесу.

Користуватися цим рівнянням у розрахунках також досить складно, оскільки параметри λ і t залежать від швидкості руху зерна через прошарок вороху, швидкості солом'яного потоку, товщини шару вороха, середньоквадратичного відхилення від середньої лінії розподілу насіння та довжини сепаратора.

В роботі [74] запропоновано під час розгляду процесів сепарації виходити із стохастичної природи руху часток у воросі, приймаючи рух часток в шарі вороху як випадковий процес. Запропоновано рівняння імовірності проходження часток на поверхню решета з вороху:

$$P_c^1 = 1 - \Phi\left(H \cdot \vec{R}\right) = 1 - \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^H \exp\left[-\left(X - \frac{\vec{R}}{X}\right)^2\right] dx, \quad (1.8)$$

де H і \vec{R} – параметри процесу, що залежать від товщини шару вороху, часу протікання процесу, коефіцієнтів сортування;

Φ , X – коефіцієнти сортування.

Справедливість цих припущень підтвердили подальші дослідження, результати яких викладено в низьці праць [31, 73, 75].

1.3. Мета і задачі досліджень.

Метою дослідження є зниження рівня травмування зерна під час збирання шляхом обґрунтування раціональних параметрів повітряно-решітної системи очистки зернозбирального комбайна.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**

досліджень:

- проаналізувати технологічні схеми доопрацювання колосового вороху зернозбиральних комбайнів;
- дослідити процес сепарації зерна на повітряно-решітній очистці зернозбирального комбайна, удосконалити конструкцію очисної системи та дообмолочувального пристрою, з'ясувати залежність між їх параметрами й показниками якості роботи;
- розробити методику проведення дослідження, та конструкцію експериментальної установки для визначення закономірності циркуляції вороху.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО РОЗРОБКИ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ, ЗАБЕЗПЕЧУЮЧИХ ЗНИЖЕННЯ ТРАВМУВАННЯ ЗЕРНА ПІД ЧАС ЗБИРАННЯ

2.1. Опис пристроїв для обробітку колосового вороху

З проведеного огляду відомих конструкцій пристроїв для обробітку колосового вороху й аналізу результатів досліджень з метою зниження циркулюючого навантаження і рівня травмування зерна необхідно підвищити ефективність роботи очистки шляхом збільшення довжини сепаруючих поверхонь.

Виділення обмолоченого зерна з вороху та зменшення сходу його в камеру колосового шнека можливе шляхом подовження нижнього жалюзійного решета. За об'єкт досліджень узятий модернізований варіант очистки комбайна, що дозволяє використовувати подовжене нижнє решето.

Очистку зернозбирального комбайна КЗС- 9-1 "Славутич" представлено на рис. 2.1 (для наочності на фотографіях бічна панель комбайна вирізана). Мета вдосконалення полягає в тому, що: задня стінка 1 (рис. 2.1) колосового шнека подовжується на 80 мм, а поверхня лючка 2 вигинається в площині (рис. 2.1 б), порівняно із серійною. В результаті розширюється вільний простір у цій частині очистки, що дозволяє збільшити довжину нижнього жалюзійного решета 3 на 0,3 м. Для нормального сходу зерна в камеру колосового шнека, скатна дошка 4 решітного стану також збільшена на ту саму величину.

Виділення вільного зерна з колосового вороху створює умови для зниження його травмування шляхом усунення багатократної циркуляції в молотарці комбайна, тому запропоновано встановити перед дообмолочувальним пристроєм роздільне решето (рис.2.2).

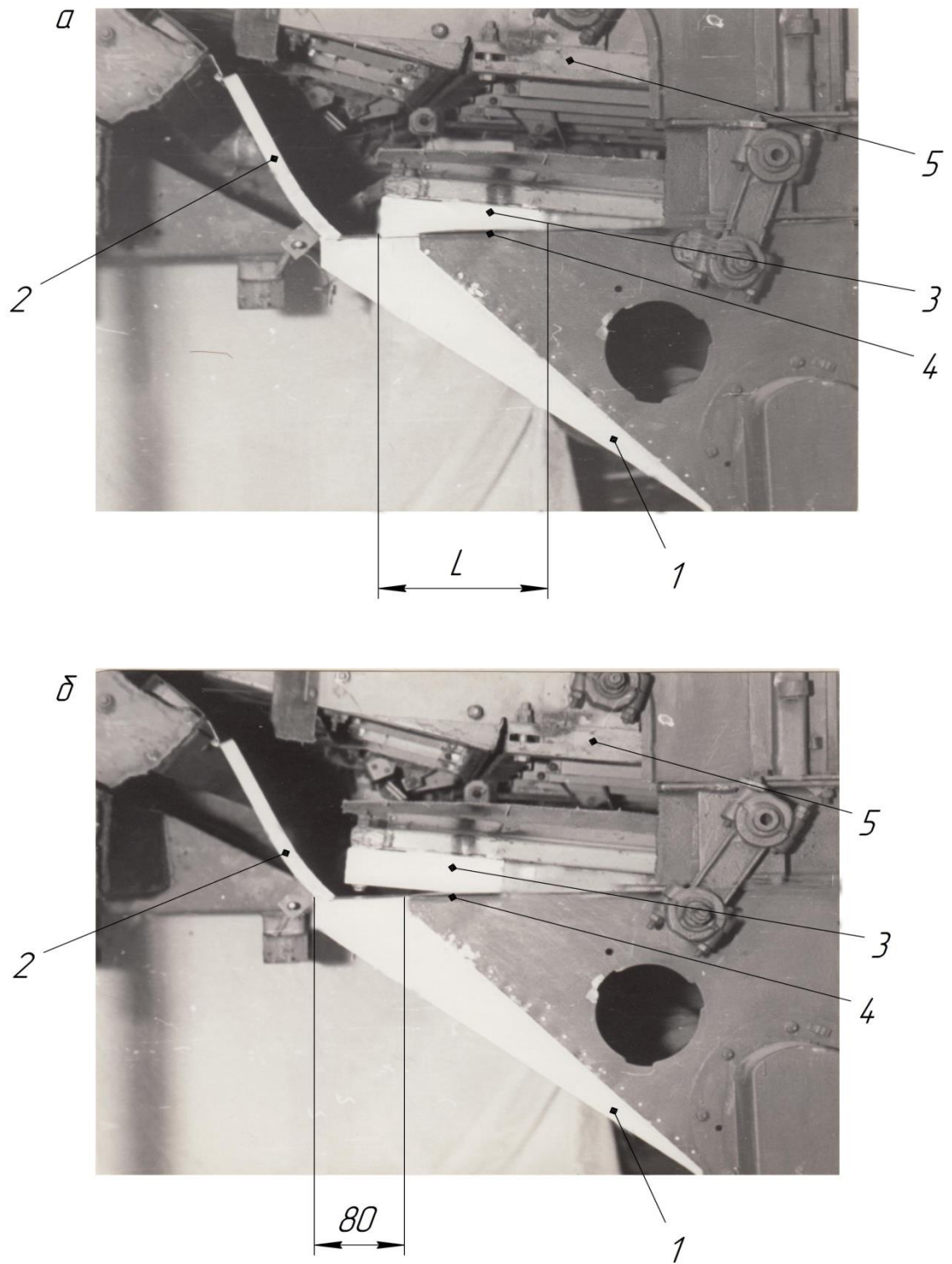


Рисунок 2.1 - Очистка зернозбирального комбайна КЗС-9-1 “Славутич”:

а, б – крайні положення кривошипа:

1 – задня стінка колосового шнека; 2 – лючок; 3 – нижнє решето;

4 – скатна дошка; 5 – верхнє решето.

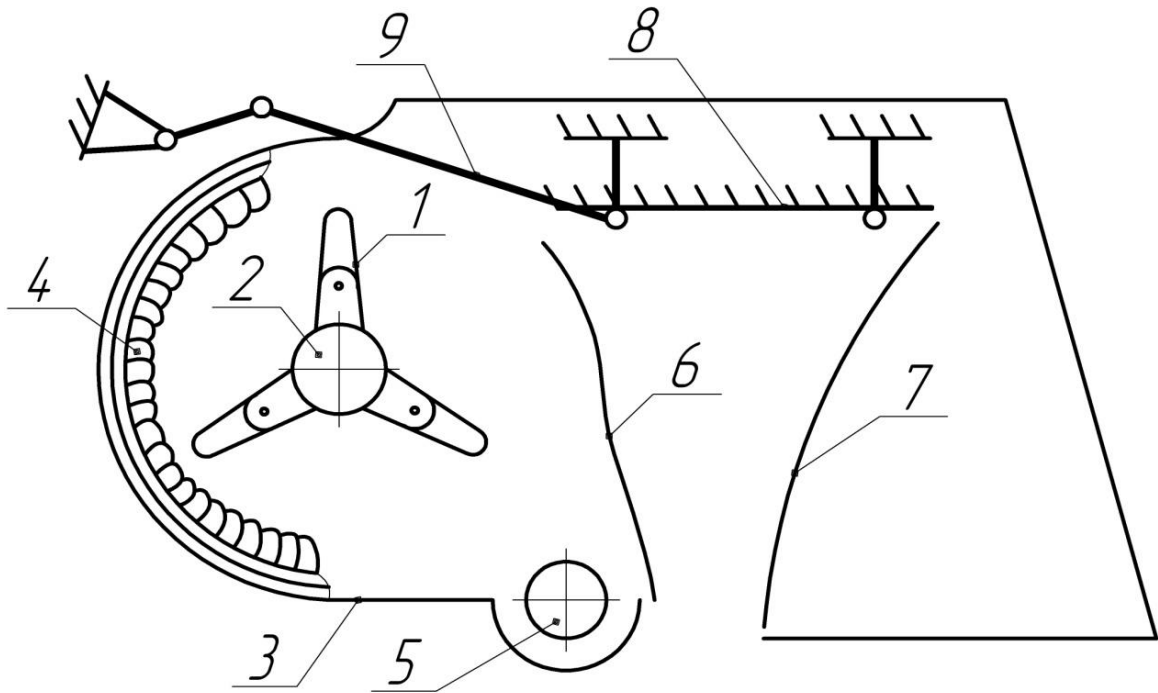


Рисунок 2.2 - Схема дообмолочувального пристрою з установленим роздільним решетом:

1 – ротор; 2 – вал; 3 – корпус; 4 – дека; 5 – розподільний шнек; 6 – відбивний щиток; 7 – зернопровід; 8 – роздільне решето; 9 – кривошип.

У процесі дослідження дообмолочувального пристрою в цьому виконанні колосовий ворох подавався на роздільне решето 8 (рис. 2.2). Водночас вільне зерно й дрібні домішки просіювались крізь решето 8 і відбивним щитком 6 спрямовувалися в зернопровід 7 для подачі його до транспортуючих органів, а необмолочені колоски й великі домішки, пройшовши решетом, потрапляли в робочу зону між ротором 1 і декою 4.

2.2. Закономірності сходу продуктів обмолоту в колосовий шнек зернозбирального комбайна

Аналіз літератури, присвяченої вивченню сепарації зерна на робочих елементах очистки зернозбирального комбайна, показує, що цей процес має випадковий характер. Отримані рівняння, котрі дозволяють визначити схід зерна з решета залежно від його завантаження, довжини і коефіцієнта сепарації.

Як зазначає І. Я. Чумаченко [114], зерно в камеру колосового шнека поступає з подовжувача, виносячись повітряним потоком з міжрешітного простору за рахунок сходу з нижнього решета. Використовуючи відомі закономірності сепарації, можна визначити кількість зерна, що поступає в камеру колосового шнека з подовжувача та подальшим винесенням з міжрешітного простору. Схід зерна з нижнього решета за цими закономірностями визначити не можливо. Відповідно не визначається загальна кількість зерна, що поступає в камеру колосового шнека з розташованих над ним робочих елементів очистки і тому не можна дати оцінку ефективності роботи очистки.

У цьому розділі розглянемо теоретичне обґрунтування винесення вільного зерна з решіт очистки в камеру колосового шнека зернозбирального комбайна.

Зерновий ворох, що поступає на очистку зернозбирального комбайна, є багатокомпонентною сумішшю, яка складається з необмолочених колосків, вільного зерна й незернової частини – полови. Компоненти вороху розрізняються між собою як за аеродинамічними властивостями, і за розмірами, а їх співвідношення у воросі залежить від культури, фізико-механічних властивостей хлібної маси, конструктивних і режимних параметрів молотильно – сепаруючого пристрою.

На сепарацію зерна на повітряно - решітній очистці впливають кількість і рівномірність подавання вороху, склад його компонентів, вологість зерна й незернової частини, конструктивні та режимні параметри очистки.

Зерновий ворох, що сходить з транспортної дошки, потрапляє на верхнє решето очистки, де він розділяється внаслідок спільної дії повітряного потоку й коливань решета. Водночас половина відноситься повітряним потоком за межі очистки, а необмолочені частинки колосків з верхнього решета надходять на подовжувач. Вільне зерно з частиною незернових домішок просипається на нижнє решето. Частина вільного зерна разом з необмолоченими колосками потрапляє з верхнього решета на подовжувач. При цьому деяка частина вільного зерна і необмолочених частинок колосків сходить з подовжувача і

надходить в камеру колосового шнека, а та, що залишилася, сходить разом з половиною та втрачається.

Ворох, що надійшов на нижнє решето, очищається від половистих домішок, які відносяться повітряним потоком, а зерно просівається через решето і подається в бункер. Деяка його частина разом з частками полови, що залишилися, сходить з решета потрапляє в камеру колосового шнека. Колосовий ворох, до якого входять необмолочені колоски, вільне зерно й незернові домішки, подається в дообмолочувальний пристрій, і надалі повертається на очистку.

Розглянемо процес сходу вільного зерна з очистки в камеру колосового шнека зернозбирального комбайна.

На думку І. Я. Чумаченка [114], виділення зерна з вороху, який рухається по поверхні верхнього решета і подовжувачем, відбувається на всій їх довжині, зокрема й на ділянках, які розташовані над камерою колосового шнека. Водночас зерно в камеру колосового шнека поступає проходом через подовжувач Y_2' винесенням з міжрешітного простору $Y_{\Delta L}'$ і сходом з нижнього решета Y_3 (рис. 2.3).

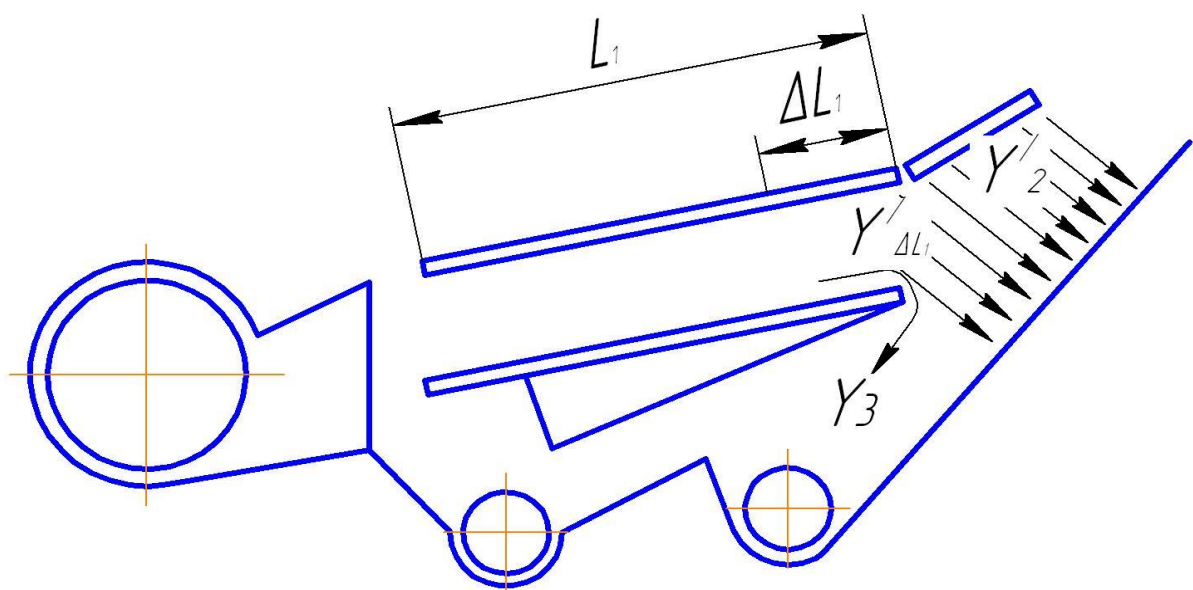


Рисунок 2.3 - Зони сходу продуктів обмолоту з очистки комбайна в камеру колосового шнека.

Потік вільного зерна Y_2' , що надходить через подовжувач, утворюється внаслідок незавершеності процесу сепарації на верхньому решеті. З міжрешітного простору виноситься зерно $Y_{\Delta L_1}'$, яке просипається через задню частину верхнього решета завдовжки ΔL_1 і, підхоплене повітряним потоком та решетом, виноситься за межі нижнього решета.

Схід з нижнього решета Y_3 відбувається внаслідок незавершеності процесу сепарації на цьому решеті.

Загальну кількість вільного зерна, що надходить в камеру колосового шнека з очистки комбайна, можна виразити рівнянням:

$$Y_k = Y_2' + Y_{\Delta L_1}' + Y_3, \quad (2.1)$$

де Y_k – загальна кількість вільного зерна;

Y_2' – схід зерна через подовжувач;

$Y_{\Delta L_1}'$ – схід зерна з міжрешітного простору;

Y_3 – схід зерна з нижнього решета.

Головною причиною сходу вільного зерна в камеру колосового шнека є незавершеність процесів сепарації на верхньому й нижньому решетах.

Найбільш поширеним для розрахунку кількості зерна, що поступає з решіт очистки в колосовий шнек, є закон сепарації [62]:

$$Y = Y_0 e^{-\mu L}, \quad (2.2)$$

де Y – кількість зерна, що поступає з решета очистки;

Y_0 – подавання вороху на початок решета, кг/с;

μ – коефіцієнт сепарації;

L – довжина решета, м.

Коефіцієнт сепарації μ можна визначити з виразу[22]:

$$\mu = \frac{\alpha\beta}{V_{\text{cep}}t}, \quad (2.3)$$

де α – імовірність просіювання зерна через просторову ділянку;

β – імовірність просіювання зерна через решета;

V_{cp} – середня швидкість переміщення вороху решетом м/с;

t – проміжок часу між струшуваннями, с.

Імовірність проходу зернини через шар вороху змінюється за довжиною решета у зв'язку з тим, що зменшується товщина шару вороху й змінюється його склад.

Отже, коефіцієнт сепарації зерна залежить від довжини решета, тобто:

$$\mu = f(L). \quad (2.4)$$

Кількість зерна, що потрапляє в камеру колосового шнека з подовжувача верхнього решета:

$$Y_2' = Y_1 - Y_2, \quad (2.5)$$

де Y_1 – схід зерна з верхнього решета;

Y_2 – схід зерна з подовжувача з незерною частиною урожаю.

Ураховуючи (2.2), отримаємо:

$$Y_1 = Y_0 e^{-\mu_1 L_1}, \quad (2.6)$$

$$Y_2 = Y_1 e^{-\mu_2 L_2}, \quad (2.7)$$

де μ_1 , μ_2 – коефіцієнти сепарації відповідно для верхнього решета й подовжувача;

L_1 – довжина верхнього решета, м;

L_2 – довжина подовжувача, м.

Підставивши в рівняння (2.5) значення Y_1 і Y_2 з (2.6) і (2.7), отримаємо

$$Y_2' = Y_0 e^{-\mu_1 L_1} (1 - e^{-\mu_2 L_2}). \quad (2.8)$$

Кількість зерна $Y_{\Delta L_1}'$, що просівається через задню частину верхнього решета на довжині ΔL_1 , можна визначити:

$$Y_{\Delta L_1}' = Y_{(L_1 - \Delta L_1)} - Y_1, \quad (2.9)$$

де $Y_{(L_1 - \Delta L_1)}$ – схід зерна з верхнього решета завдовжки $L_1 - \Delta L_1$, коли воно ще не виноситься з міжрешітного простору в камеру колосового шнека.

Величина ΔL_1 визначається траєкторією польоту зернівки в міжрешітному просторі і її значення визначено в роботі [76].

Ураховуючи закон сепарації (2.2), будемо мати:

$$Y_{(L_1 - \Delta L_1)} = Y_0 e^{-\mu_1 (L_1 - \Delta L_1)}. \quad (2.10)$$

Підставляючи в рівняння (2.9) значення (2.6) і (2.7), отримаємо:

$$Y_{\Delta L}' = Y_0 (e^{-\mu_1 (L_1 - \Delta L_1)} - e^{-\mu_1 L_1}). \quad (2.11)$$

Схід вільного зерна в камеру колосового шнека з нижнього решета визначається закономірністю сепарації на ньому. Для отримання цієї закономірності скористаємося методикою, викладеною в роботах [11, 15, 121].

Виходячи із закону (2.2), на ділянці X (рис. 2.4) з верхнього решета на нижнє попаде така кількість вороху:

$$Y_1' = Y_0 (1 - e^{-\mu_1 x}). \quad (2.12)$$

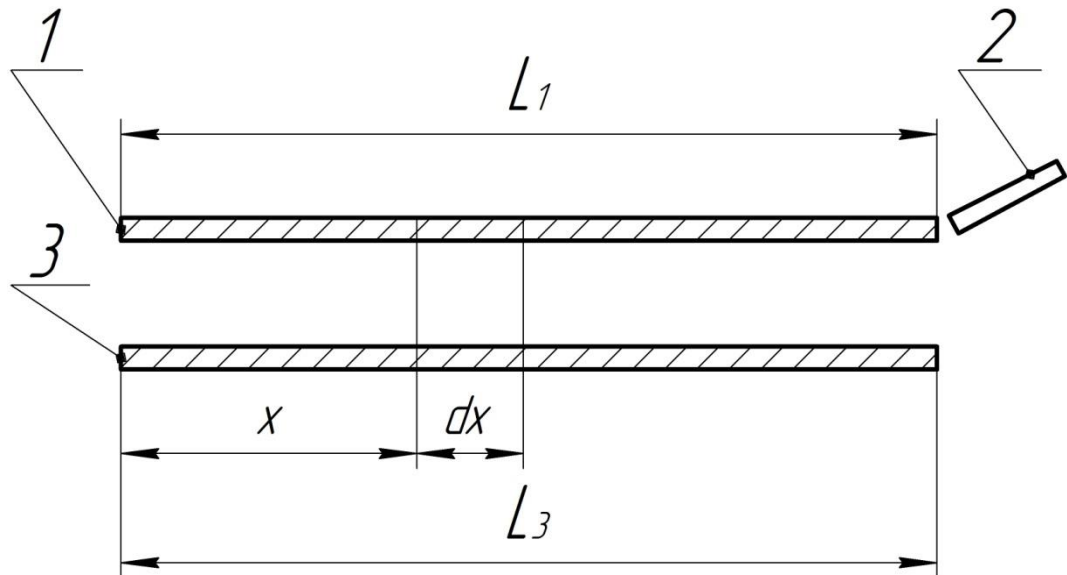


Рисунок 2.4 - Схема для визначення сходу вороху з нижнього решета:

- 1 – верхнє решето;
- 2 – подовжувач;
- 3 – нижнє решето.

Диференціюючи рівняння (2.12), отримаємо залежність, що характеризує інтенсивність сепарації на довільній елементарній ділянці за довжиною верхнього решета:

$$\frac{dY_1'}{dx} = Y_0 \mu_1 e^{-\mu_1 x} dx. \quad (2.13)$$

Тоді кількість зерна, що просівається на ділянці dx з верхнього решета на нижнє, є завантаженням нижнього решета на цій ділянці:

$$dY_1' = Y_0 \mu_1 e^{-\mu_1 x} dx. \quad (2.14)$$

У процесі подальшої сепарації на ділянці dx на нижньому решеті з цього зерна залишиться:

$$dY_3 = dY_1' e^{-\mu_3(L_3-x)}. \quad (2.15)$$

Проінтегрувавши цей вираз, отримаємо загальну кількість зерна, що зійшло з нижнього решета в колосовий шнек

$$Y_3 = \int_0^{L_1} dY_1' e^{-\mu_3(L_3-x)}, \quad (2.16)$$

де Y_3 – схід зерна з нижнього решета.

Підставивши в рівняння (2.16) значення dY_1' з (2.14), будемо мати:

$$Y_3 = \int_0^{L_1} Y_0 \mu_1 e^{-\mu_1 x} e^{-\mu_3(L_3-x)} dx. \quad (2.17)$$

Після інтегрування вираз (2.17) набуде вигляду:

$$Y_3 = Y_0 \frac{\mu_1}{\mu_3 - \mu_1} (e^{-\mu_3(L_3-L_1) - \mu_1 L_1} - e^{-\mu_3 L_3}). \quad (2.18)$$

Якщо $L_1 = L_3 = L$

$$Y_3 = Y_0 \frac{\mu_1}{\mu_3 - \mu_1} (e^{-\mu_1 L} - e^{-\mu_3 L}). \quad (2.19)$$

Отже, ми маємо залежність, котра дозволяє визначити схід зерна з нижнього решета в камеру колосового шнека при відомих коефіцієнтах сепарації зерна.

Виконуємо перевірку отриманого рівняння, що дає змогу визначити загальну кількість зерна, яке зійшло з нижнього решета в колосовий шнек.

Умовно розіб'ємо обидва решета на K елементарних ділянок завдовжки ΔL (рис. 2.5). Ураховуючи закон сепарації (2.2), схід зерна з верхнього решета на ділянці $(0 - X_1)$ становитиме:

$$Y_1' = Y_0 e^{-\mu_1 \Delta L}. \quad (2.20)$$

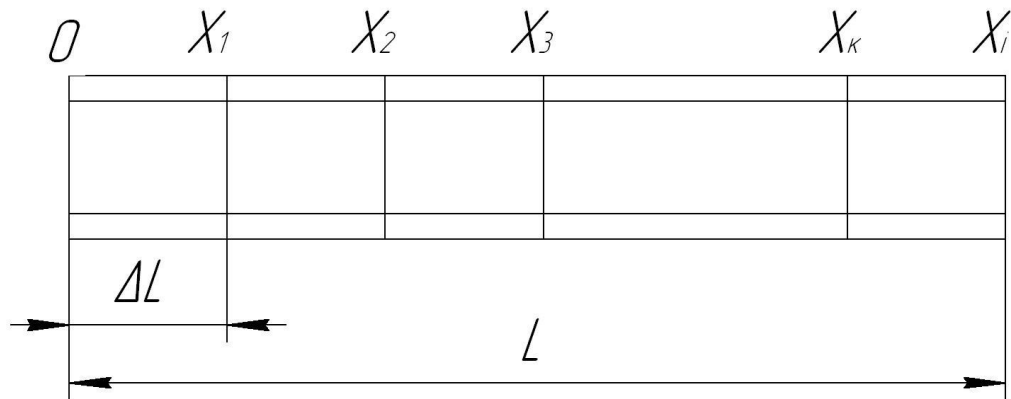


Рис. 2.5. Схема для визначення сходу обмолоченого зерна з нижнього решета очистки.

Тоді кількість зерна, що проходить через верхнє решето на ділянці $(0 - X_1)$, становитиме:

$$Y'_{1_1} = Y_0(1 - e^{-\mu_1 \Delta L}). \quad (2.21)$$

Аналогічно отримаємо для i -ої ділянки $|X_{i-1}, X_i|$, де $1 \leq i \leq K$,

$$Y'_{1_i} = Y_{1_{i-1}} e^{-\mu_1 \Delta L}. \quad (2.22)$$

$$Y'_{1_i} = Y_{1_{i-1}}(1 - e^{-\mu_1 \Delta L}). \quad (2.23)$$

Визначимо схід зерна з нижнього решета на ділянці $(0 - X_1)$:

$$Y_{3_1} = Y'_{1_1} e^{-\mu_3 \Delta L} = Y_0(1 - e^{-\mu_1 \Delta L}) e^{-\mu_3 \Delta L}. \quad (2.24)$$

Для ділянки $(X_1 - X_2)$, матимемо:

$$Y_{3_2} = (Y_{3_1} + Y'_{1_2}) e^{-\mu_3 \Delta L}. \quad (2.25)$$

І нарешті, для i -ої ділянки нижнього решета $|x_i = 1; x_i|$ отримаємо:

$$Y_{3_i} = (Y_{3_{i-1}} + Y'_{1_i}) e^{-\mu_3 \Delta L}, \quad (2.26)$$

де $Y'_{1_i} = Y_{1_{i-1}} - Y_{1_i}$ за умови $1 \leq i \leq k$.

Підставляючи рівняння (2.20), і (2.24) у (2.25), отримаємо:

$$Y_{3_2} = Y_0(1 - e^{-\mu_1\Delta L})e^{-\mu_3\Delta L} + Y_1(1 - e^{-\mu_1\Delta L}) = Y_0(1 - e^{-\mu_1\Delta L}) \times \\ \times (e^{-\mu_32\Delta L} + e^{-\mu_1\Delta L - \mu_3\Delta L}). \quad (2.27)$$

Визначаємо схід для К-ої ділянки

$$Y_{3_K} = Y_0(1 - e^{-\mu_1\Delta L}) \left(\sum_{i=1}^K e^{-\mu_1(k-i)\Delta L - \mu_3i\Delta L} \right). \quad (2.28)$$

Зважаючи, що $\sum_{i=1}^K \Delta L = L$, отримаємо наближену формулу для визначення сходу вільного зерна з нижнього решета

$$Y_3 \approx Y_0(1 - e^{-\mu_1\Delta L}) \left(\sum_{i=1}^K e^{-\mu_1L + (\mu_1 - \mu_3)i\Delta L} \right) = \\ = Y_0 e^{-\mu_1L} (1 - e^{-\mu_1\Delta L}) \left(\sum_{i=1}^K e^{(\mu_1 - \mu_3)i\Delta L} \right). \quad (2.29)$$

Для того, щоб отримати точну формулу, кількість ділянок К повинно прямувати до ∞ , а довжина елементарної ділянки $\Delta L = \frac{L}{K}$ – до нуля. Ураховуючи, що

$$Y_3 = \lim_{k \rightarrow \infty} \left(1 - e^{-\mu_1 \frac{L}{K}} \right) \left(\sum_{i=1}^K e^{(\mu_1 - \mu_3) \frac{L}{K} i} \right) = \int_0^L e^{(\mu_1 - \mu_3)x} \mu_1 dx = \\ = \frac{\mu_1}{\mu_1 - \mu_3} e^{(\mu_1 - \mu_3)x} \Big|_0^L = \frac{\mu_1}{\mu_1 - \mu_3} (e^{(\mu_1 - \mu_3)L} - 1), \quad (2.30)$$

отримаємо:

$$Y_3 = Y_0 e^{-\mu_1L} \frac{\mu_1}{\mu_1 - \mu_3} (e^{(\mu_1 - \mu_3)L} - 1) = Y_0 \frac{\mu_1}{\mu_3 - \mu_1} (e^{-\mu_1L} - e^{-\mu_3L}). \quad (2.31)$$

Отримана залежність є ідентичною (2.19). Отже, вона реально відображає процес сепарації.

Підставивши у вираз (2.1) значення складових з рівнянь (2.8), (2.11) і (2.18) отримаємо залежність для визначення сходу вільного зерна в колосовий шнек:

$$Y_K = Y_0 e^{-\mu_1 L_1} (1 - e^{-\mu_2 L_2}) + Y_0 (e^{-\mu_1 (L_1 - \Delta L_1)} - e^{-\mu_1 L_1}) + Y_0 \frac{\mu_1}{\mu_3 - \mu_1} (e^{-\mu_3 (L_3 - L_1) - \mu_1 L_1} - e^{-\mu_3 L_3}). \quad (2.32)$$

Після перетворення отримаємо:

$$Y_K = Y_0 \left[e^{-\mu_1 (L_1 - \Delta L_1)} - e^{-\mu_1 L_1 - \mu_2 L_2} + \frac{\mu_1}{\mu_3 - \mu_1} (e^{-\mu_3 (L_3 - L_1) - \mu_1 L_1} - e^{-\mu_3 L_3}) \right]. \quad (2.33)$$

На основі рівнянь (2.6), (2.7), (2.19) побудовано графічні залежності сепарації зерна за довжиною решіт і подовжувача, які представлені на рис. 2.6 і 2.7.

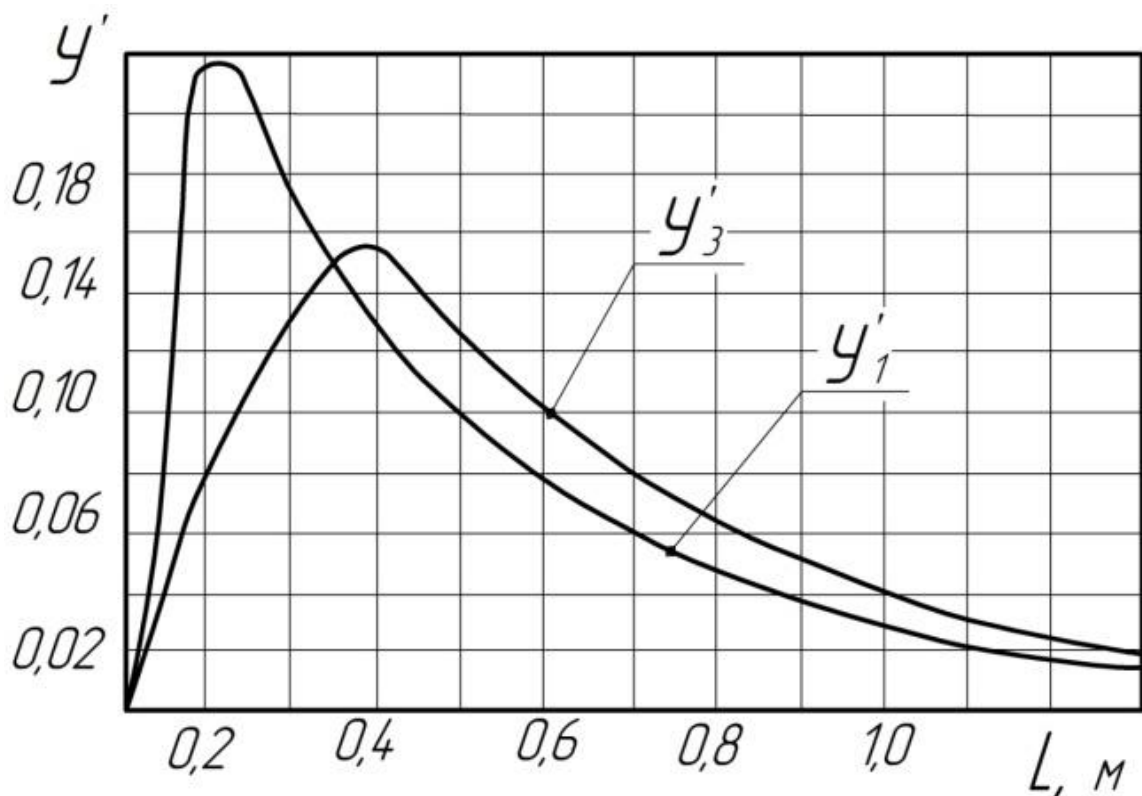


Рисунок 2.6 - Графічні залежності сепарації зерна за довжиною верхнього й нижнього решіт:

Y'_1 – сепарація на верхньому решеті за умови $\mu_1 = 2,45 \text{ м}^{-1}$;

Y'_3 – сепарація на нижньому решеті за умови $\mu_3 = 7,32 \text{ м}^{-1}$.

З рис. 2.6 видно, що із збільшенням довжини решіт кількість зерна, що просипається, на одиничній ділянці решета спочатку різко збільшується, досягає максимуму і починає плавно знижуватися. Це пояснюється тим, що в конструкції очистки є перепад висоти між транспортною дошкою й верхнім решетом, а також між решетами. Зерно, що просіялось через пальцеві гребінки, а також з верхнього решета під впливом рухомого грохоту і повітряного потоку здійснює падіння траєкторією, характерною для тіл, кинутих горизонтально. Тому максимум завантаження решіт є зміщеним від початку, причому для нижнього решета величина цього зміщення більша через більшу висоту перепаду.

Як впливає з даних на (рис.2.6), сепаруюча здатність нижнього решета є більшою, ніж верхнього, тому його можна довантажити ворохом, що сходить з подовжувача верхнього решета й виноситься повітряним потоком з міжрешітного простору.

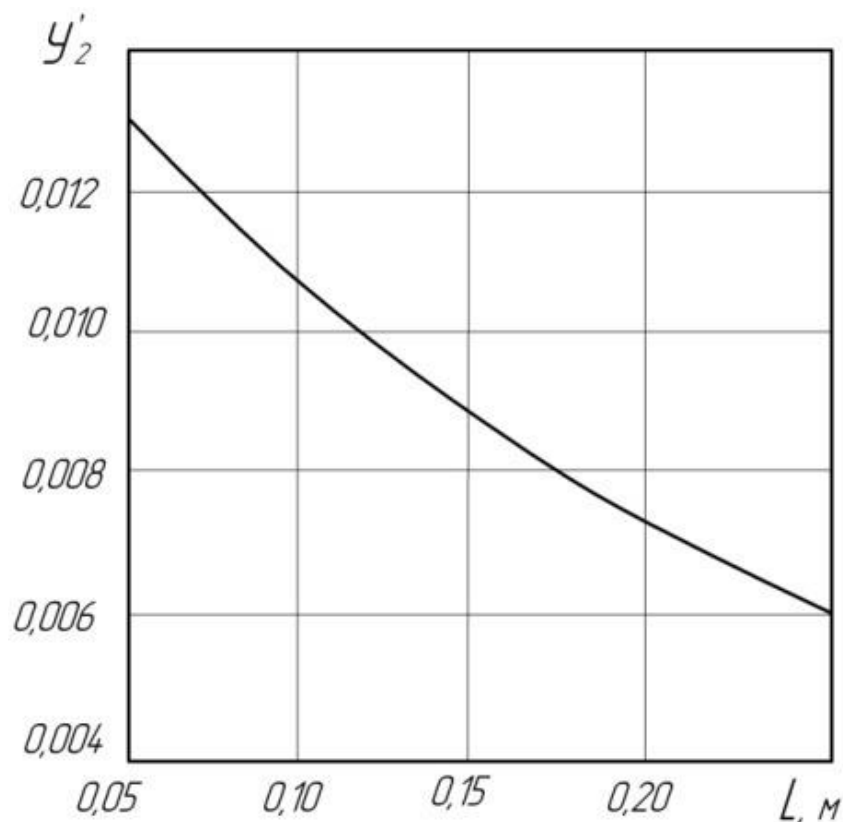


Рисунок 2.7 - Графічна залежність сходу зерна з подовжувача Y_2' від його довжини L : якщо $\mu_1 = 2,45 \text{ м}^{-1}$; $\mu_2 = 4,26 \text{ м}^{-1}$; $L_1 = 1,2 \text{ м}$

На подовжувачі процес виділення зерна з вороху є кривою, що плавно спадає, за експоненціальною залежністю (рис.2.7). Тут не спостерігається значних перепадів, характерних для кривих показаних на рис. 2.6, оскільки ворох на подовжувач поступає з верхнього решета вже збіднений і імовірність проходу через нього зерна знижується із збільшенням довжини останнього.

Залежності для визначення сходу компонентів вороху в камеру колосового шнека через подовжувач верхнього решета винесенням з міжрешітного простору й сходом з нижнього решета показують, що вихід їх зменшується із збільшенням довжини поверхні сепарування.

Величина подавання вороху на очистку визначається умовами збирання, тобто від стану хлібостою і його врожайності.

Оскільки параметри сучасних зернозбиральних комбайнів у процесі їх розвитку оптимізовані на базі величезного наукового й практичного досвіду, змінювати кінематичні режими роботи очистки, на наш погляд, не доцільно. Відповідно підвищення ефективності очистки за умови збереження її принципової технологічної схеми можливо переважно збільшення довжини сепаруючих поверхонь. Тому для зниження виходу вільного зерна в камеру колосового шнека, тобто, щоб знизити циркулююче навантаження і рівень травмування зерна, потрібне теоретичне обґрунтування необхідної довжини сепаруючих поверхонь очистки, що детально буде розглянуте в наступному розділі. Для кількісної оцінки циркулюючого навантаження слід експериментально визначити найбільш значущі чинники, що чинять істотний вплив на коефіцієнти сепарації компонентів вороху.

2.3. Обґрунтування необхідної довжини сепаруючої поверхні нижнього решета очистки

Спостереження за роботою очистки зернозбиральних комбайнів показують, що внаслідок ударних дій поверхні жалюзі зернини відбиваються. При цьому в сукупності з підрешітним повітряним потоком частина з них, рухаючись деякими траєкторіями, вилітає за задню кромку нижнього решета. Це знижує якість роботи очистки, оскільки збільшує схід вільного зерна в колосовий шнек комбайна, а відтак до його додаткового травмування.

Можна припустити, що виліт зерна за задню кромку решета є наслідком недостатньо обґрунтованого вибору співвідношення довжини верхнього і нижнього жалюзійних решіт. Тому для підвищення ефективності роботи очистки потрібне теоретичне обґрунтування довжини нижнього жалюзійного решета L_n , а також отримання аналітичної залежності, яка зв'яже довжину нижнього решета з конструктивними й кінематичними параметрами очистки.

Вирішуючи це завдання згідно [77], розглянемо план швидкостей, діючих на зернину в момент зіткнення її з поверхнею жалюзі решета (рис.2.8).

Нехай решето здійснює періодичні коливання вздовж лінії ДЕ, що проходить під кутом β до горизонту (де β – кут наряду коливань решета). Тоді в момент удару поверхні жалюзі об зернини із швидкістю V_p кут зіткнення ψ буде рівний:

$$\psi = 90^\circ - \alpha,$$

де α – кут відкриття жалюзі решета.

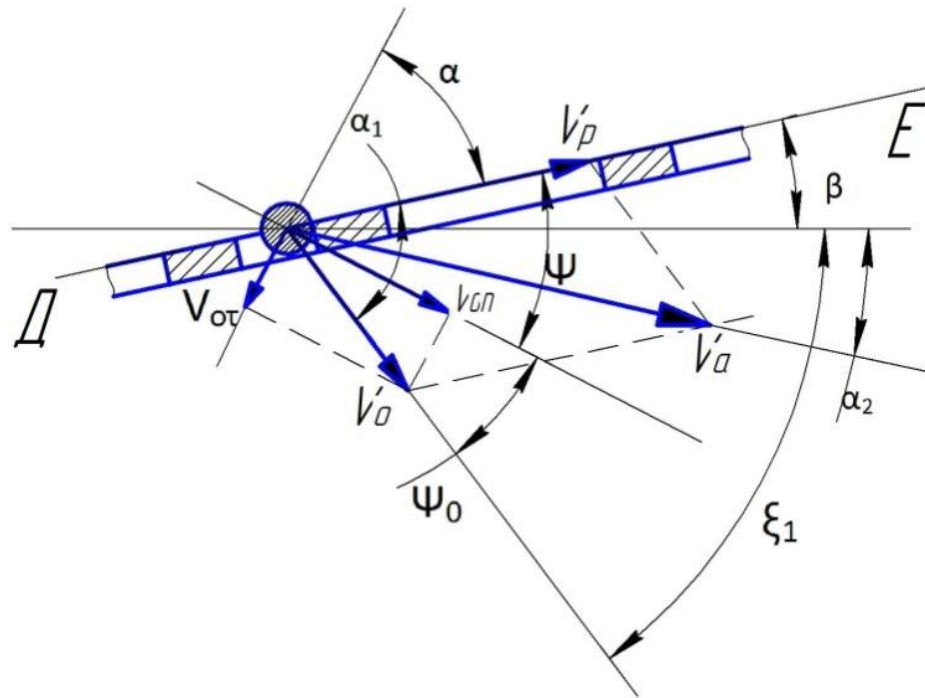


Рисунок 2.8 - План швидкостей, діючих на зернину в момент зіткнення її з поверхнею жалюзі верхнього решета очистки.

Згідно із законами механіки, вектор швидкості будь-якого пружного тіла і поверхні матиме відносно до останньої нормальну V_n і дотичну V_τ складові. Але оскільки у випадку, що розглядається, удар не є абсолютно пружним, то після зіткнення зернина відбивається від поверхні жалюзі під кутом ψ_0 і набуває деякої швидкості V_0 .

Вектор швидкості після зіткнення буде спрямований під кутом ξ_1 відносно до горизонталі. Величину і напрям швидкості зернини після зіткнення визначимо за відомим правилом плану швидкостей:

$$V_0 = \sqrt{V_{0n}^2 + V_{0\tau}^2}, \quad (2.33)$$

$$\xi_1 = 90 - \alpha - \beta + \psi_0. \quad (2.34)$$

Значення складових швидкостей визначається з виразів:

$$V_n = V_p \sin \alpha, \quad V_\tau = V_p \cos \alpha;$$

$$V_{0n} = \varepsilon V_n = \varepsilon V_p \sin \alpha ; \quad V_{0\tau} = f V \tau = f V_p \cos \alpha ,$$

де $\varepsilon = \frac{V_{0n}}{V_n}$ і $f = \frac{V_{0\tau}}{V_\tau}$ – відповідно коефіцієнти відновлення швидкості і

миттєвого тертя під час удару.

Підставивши ці вирази в рівняння (2.33), отримаємо:

$$V_0 = V_p \sqrt{\varepsilon^2 \sin^2 \alpha + f^2 \cos^2 \alpha} . \quad (2.35)$$

Кут віддзеркалення ψ_0 визначається за формулою:

$$\cos \psi_0 = \frac{V_{0n}}{V_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{\varepsilon} \operatorname{ctg} \alpha\right)^2}} . \quad (2.36)$$

Абсолютна швидкість зернини після удару дорівнює сумі векторів $\overline{V_p}$ та $\overline{V_0}$ і може бути визначена за відомою теоремою косинусів

$$V_a = \sqrt{V_p^2 + V_0^2 + 2V_p V_0 \cos \alpha_1} . \quad (2.37)$$

Вектор абсолютної швидкості буде спрямований під кутом α_2 відносно до горизонту.

Відбившись від поверхні жалюзі, зернина вступає у взаємодію з підрешітним повітряним потоком. Схема сил, діючих на зернину в повітряному потоці, зображена на рис. 2.9.

Нехай повітряний потік діє на зернину із швидкістю C . Знаючи величину й напрям вектору абсолютної швидкості зернини, а також повітряного потоку C , можна у відповідності до векторного рівняння $\overline{V_a} = \overline{C} + \overline{U_0}$ і планом швидкостей (рис. 2.9) розрахувати величину й напрям вектору швидкості зернини відносно повітряного потоку:

$$U_0 = \sqrt{C^2 + V_a^2 - 2CV_a \cdot \cos(\alpha_2 + \xi_1)} . \quad (2.38)$$

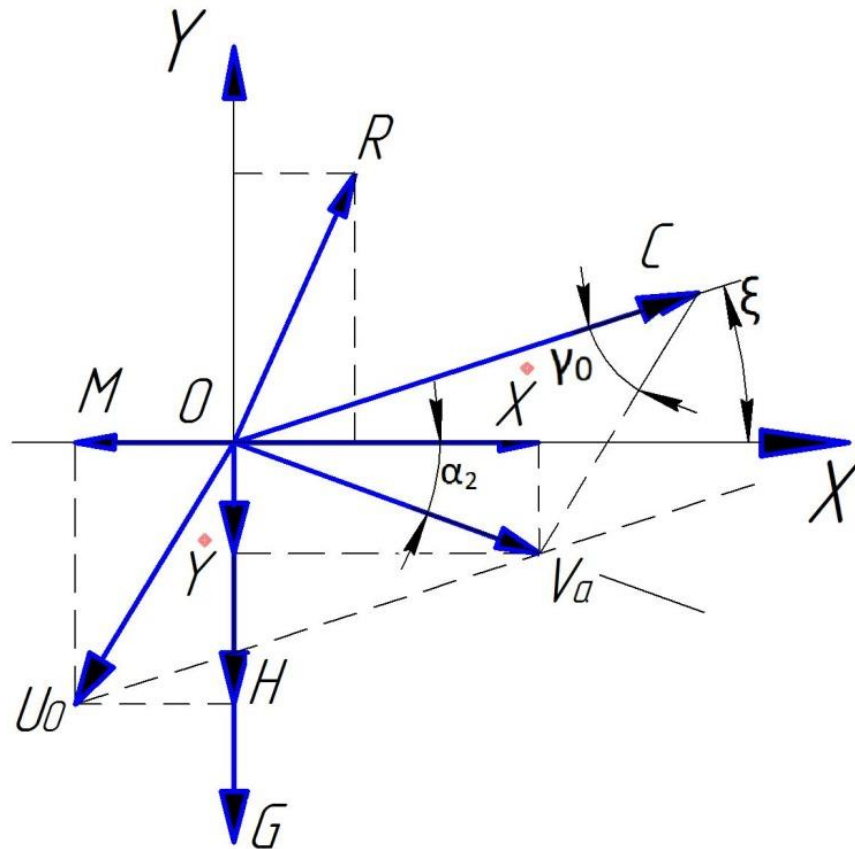


Рисунок 2.9 - Схема сил і швидкостей, прикладених до зернини в повітряному потоці після її зіткнення з поверхнею жалюзі верхнього решета.

Оскільки напрям швидкості U_0 визначається кутом γ_0 до напрямку швидкості повітряного потоку, то його можна записати:

$$\sin \gamma_0 = \frac{V_a}{U_0} \cdot \sin(\alpha_2 + \xi), \quad (2.39)$$

де ξ – кут нахилу повітряного потоку до горизонту, град.

У повітряному потоці на зернину масою m діятимуть сила тяжіння

$$G = m \cdot g$$

і сила опору повітряного потоку (реакція повітря):

$$R = m \cdot k_n \cdot U_0^2, \quad (2.40)$$

де $k_n = \frac{\kappa \cdot \rho \cdot F}{m}$ – коефіцієнт парусності;

κ – коефіцієнт опору повітря;

ρ – густина повітря;

F і m – відповідно середній переріз і маса зернини.

Сила R спрямована протилежно до відносної швидкості U_0 . Під дією прикладених сил зернина рухатиметься в потоці деякою траєкторією, набуваючи в будь-якій конкретній точці нових значень початкових параметрів (надалі будемо писати без індексу «0»).

Складемо рівняння руху зернини в координатах XOY (рис.2.9):

$$\begin{cases} m\ddot{x} = R\cos(\gamma + \xi) \\ m\ddot{y} = -mg + R\sin(\gamma + \xi) \end{cases} \quad (2.41)$$

Підставляючи в рівняння (2.41) значення R із рівняння (2.40), отримаємо:

$$\begin{cases} \ddot{x} = k_n U^2 \cos(\gamma + \xi) \\ \ddot{y} = -g + k_n U^2 \sin(\gamma + \xi). \end{cases} \quad (2.42)$$

З плану швидкостей (рис. 2.9) матимемо:

$$OM = C\cos\xi - \dot{x},$$

$$OH = C\sin\xi + \dot{y}.$$

Відповідно

$$U^2 = (C\cos\xi - \dot{x})^2 + (C\sin\xi + \dot{y})^2. \quad (2.43)$$

Підставивши рівняння (2.43) в рівняння (2.42), отримаємо:

$$\begin{cases} \ddot{x} = k_n [(C\cos\xi - \dot{x})^2 + (C\sin\xi + \dot{y})^2] \cdot \cos(\gamma + \xi) \\ \ddot{y} = -g + k_n [(C\cos\xi - \dot{x})^2 + (C\sin\xi + \dot{y})^2] \cdot \sin(\gamma + \xi) \end{cases} \quad (2.44)$$

З плану швидкостей (рис. 2.9) можна записати:

$$\begin{cases} U \cos(\gamma + \xi) = C \cos \xi - \dot{x} \\ U \sin(\gamma + \xi) = C \sin \xi + \dot{y} \end{cases} \quad (2.45)$$

Зважаючи, що $\sin(\gamma + \xi) = \operatorname{tg}(\gamma + \xi) \cos(\gamma + \xi)$ і прирівнюючи праві частини (2.45), отримаємо:

$$\begin{cases} \dot{x} = C \cos \xi - \frac{C \sin \xi + \dot{y}}{\operatorname{tg}(\gamma + \xi)} \\ \dot{y} = C \cos \xi \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \xi) - \dot{x} \operatorname{tg}(\gamma + \xi) - C \sin \xi \end{cases} \quad (2.46)$$

Підставимо рівняння (2.46) в (2.44) й після деяких перетворень будемо мати:

$$\begin{cases} \ddot{x} = k_n (C \cos \xi - \dot{x})^2 \left[\cos(\gamma + \xi) + \frac{\sin^2(\gamma + \xi)}{\cos(\gamma + \xi)} \right] \\ \ddot{y} = -g + k_n (C \sin \xi + \dot{y})^2 \left[\sin(\gamma + \xi) + \frac{\cos^2(\gamma + \xi)}{\sin(\gamma + \xi)} \right] \end{cases} \quad (2.47)$$

Уведемо позначення:

$$\begin{cases} A_1 = k_n \left[\cos(\gamma + \xi) + \frac{\sin^2(\gamma + \xi)}{\cos(\gamma + \xi)} \right] \\ B_1 = k_n \left[\sin(\gamma + \xi) + \frac{\cos^2(\gamma + \xi)}{\sin(\gamma + \xi)} \right] \end{cases} \quad (2.48)$$

Тоді отримаємо:

$$\begin{cases} \ddot{x} = A_1 \dot{x}^2 - 2A_1 C \cos \xi \dot{x} + A_1 C^2 \cos^2 \xi \\ \ddot{y} = -g + B_1 \dot{y}^2 + 2B_1 C \sin \xi \dot{y} + B_1 C^2 \sin^2 \xi \end{cases} \quad (2.49)$$

Отримані диференціальні рівняння руху зернини в косому потоці повітря з моменту її зіткнення з поверхнею жалюзі решета є нелінійними

диференціальними рівняннями другого роду. У загальному вигляді такі рівняння мають такий запис:

$$\ddot{y} + ay'^2 + by' + c = 0. \quad (2.50)$$

Лінеаризація й відповідні перетворення рівняння (2.50) призводять до його такого вигляду:

$$\ddot{g} = g^2 + pg + g, \quad (2.51)$$

де $g = y'$; $p = \frac{b}{a}$; $g = \frac{c}{a}$.

Оскільки з рівнянь (2.49) видно, що всі члени (2.51) значущі, то наближене рішення поставленої нами завдання можливе лише за умови введення деяких допущень, виходячи з фізичної суті процесу.

Беручи до уваги умову забезпечення якості процесу розділення вороху, тобто винесення з очистки тільки легких домішок, швидкість повітряного потоку в решітних очистках порівняно мала. З урахуванням цього незначною зміною напрямку реакції повітря R під час польоту зернини можна знехтувати. Тоді можна вважати, що сила R надає зернині постійне прискорення:

$$j = \frac{R}{m} = k_n U^2. \quad (2.52)$$

Із прийнятими допущеннями рішення задачі значно спрощується, і залежності для визначення проекцій швидкості руху зернини на осі координат X і Y набудуть вигляду:

$$\begin{cases} \dot{x} = V_a C \cos \alpha_2 + k_n U^2 \cos(\gamma + \xi)t \\ \dot{y} = -gt - V_a \sin \alpha_2 + k_n U^2 \sin(\gamma + \xi)t \end{cases} \quad (2.53)$$

Після інтегрування (2.53) отримаємо проекції переміщення зернини на осі координат X і Y :

$$\begin{cases} x = V_a \cos \alpha_2 t + k_n \frac{U^2 \cos(\gamma + \xi) t^2}{2} \\ y = -\frac{gt^2}{2} - V_a \sin \alpha_2 t + k_n \frac{U^2 \sin(\gamma + \xi) t^2}{2} \end{cases} \quad (2.54)$$

Виключимо з рівнянь (2.54) час t , оскільки $t \geq 0$, матимемо:

$$t = \frac{\sqrt{V_a^2 \cos^2 \alpha_2 + 2k_n U^2 \cos(\gamma + \xi)x} - V_a \cos \alpha_2}{k_n U^2 \cos(\gamma + \xi)}. \quad (2.55)$$

Уведемо наступні позначення:

$$a_x = V_a \cos \alpha_2; \quad b_x = k_n U^2 \cos(\gamma + \xi); \quad (2.56)$$

$$a_y = V_a \sin \alpha_2; \quad b_y = k_n U^2 \sin(\gamma + \xi).$$

Тоді рівняння (2.55) виглядатиме:

$$t = \frac{\sqrt{a_x^2 + 2b_x x} - a_x}{b_x}. \quad (2.57)$$

Підставивши значення t в рівняння (2.54) і перетворивши, отримаємо рівняння траєкторії руху зернини після зіткнення із жалюзійним решетом:

$$y = \frac{(b_y - g)(a_x^2 + xb_x) + \sqrt{a_x^2 + 2b_x x}(ga_x - a_y b_x - b_y a_x) + a_y b_x a_x}{b_x^2}. \quad (2.58)$$

Вираз (2.58) є рівнянням параболи. Отже, рух зернини після зіткнення з жалюзі решета відбувається по параболічних кривих.

Для того, щоб розрахувати величину необхідної різниці ΔL довжини нижнього жалюзійного решета L_H порівняно з довжиною верхнього решета L_B , спочатку визначимо довжину польоту зернини після удару ($l_1 = NN_1$) уздовж лінії напрямку нижнього решета (рис. 2.10).

Для визначення довжини польоту $l_1 = NN_1$ (рис. 2.10) знайдемо місце знаходження точки N_1 . Для цього в прийнятій нами системі координат напишемо рівняння похилої площини нижнього жалюзійного решета:

$$y = x_1 \operatorname{tg} \eta - h, \quad (2.59)$$

де h – відстань між решетами по осі Y , м;

η – кут напрямку коливань нижнього решета, град.

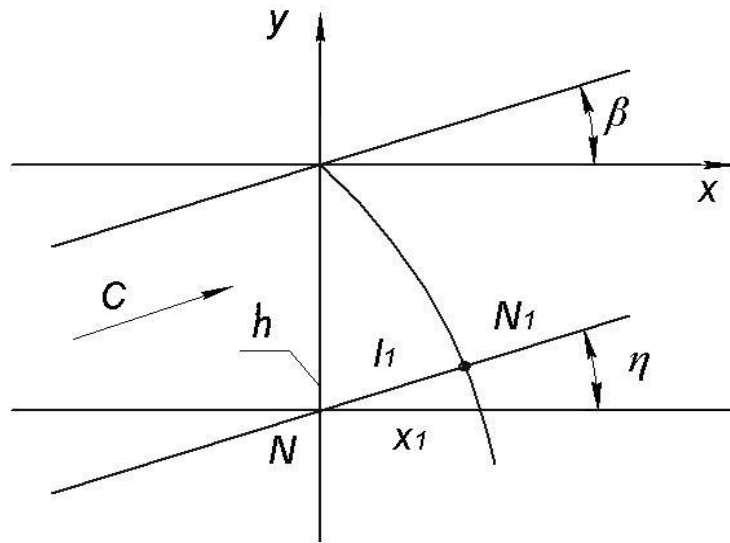


Рисунок 2.10 - Схема для визначення довжини польоту зернини вздовж лінії напрямку коливань нижнього решета після її зіткнення з поверхнею жалюзі верхнього решета.

Координати точки перетину параболи з площиною нижнього решета знайдемо, виходячи з рівнянь (2.58) і (2.59):

$$x_1 \operatorname{tg} \eta - h = \frac{(b_y - g)(a_x^2 + x \cdot b_x) + \sqrt{a_x^2 + 2b_x x (ga_x - a_x b_x - b_y a_x) + a_y b_x a_x}}{b_x^2}. \quad (2.60)$$

Довжина польоту зернини відповідно до рис. 2.10 становитиме:

$$l_1 = \frac{x_1}{\cos \eta}. \quad (2.61)$$

Після відповідних перетворень (2.60) і (2.61) рівняння наберуть вигляду:

$$x_1 = \frac{ABD^2b_x + \sqrt{D^2[D^2b_x^2 + A^2 \cdot a_x - 2ABb_x]}}{A^2} \quad (2.62)$$

$$l_1 = \frac{ABD^2b_x + \sqrt{D^2[D^2b_x^2 + A^2a_x - 2ABb_x]}}{A^2 \cos \eta}, \quad (2.63)$$

де $A = b_x(b_y - g) - b_x^2 \operatorname{tg} \eta$;

$$B = hb_x^2 + a_x^2(b_y - g) + a_x b_x a_y;$$

$$D = ga_x - a_y b_x - b_y a_x. \quad (2.64)$$

Час польоту зернини визначимо з виразу (2.57):

$$t_1 = \frac{\sqrt{a_x^2 + 2b_x x - a_x}}{b_x} \quad (2.65)$$

Знаючи довжину польоту l_1 і час польоту зернини після зіткнення t_1 , можна визначити необхідну довжину нижнього жалюзійного решета L відносно до довжини верхнього решета L_B .

Очевидно, буде справедлива така залежність:

$$L_H = L_B + \Delta L, \quad (2.66)$$

де ΔL – необхідна різниця довжин нижнього й верхнього решіт, м.

Оскільки решета здійснюють гармонійні періодичні коливання. Тому найбільший інтерес представляє момент максимального імпульсу удару жалюзі об зернину, тобто коли радіус кривошипа валу приводу займе положення ОМ (рис. 2.11), перпендикулярне лінії спрямованості коливань верхнього решета:

$$V_p = a\omega = a2\pi n, \quad (2.67)$$

де a – радіус кривошипа (амплітуда коливань) валу приводу, м;

n – частота обертання валу приводу, с^{-1} .

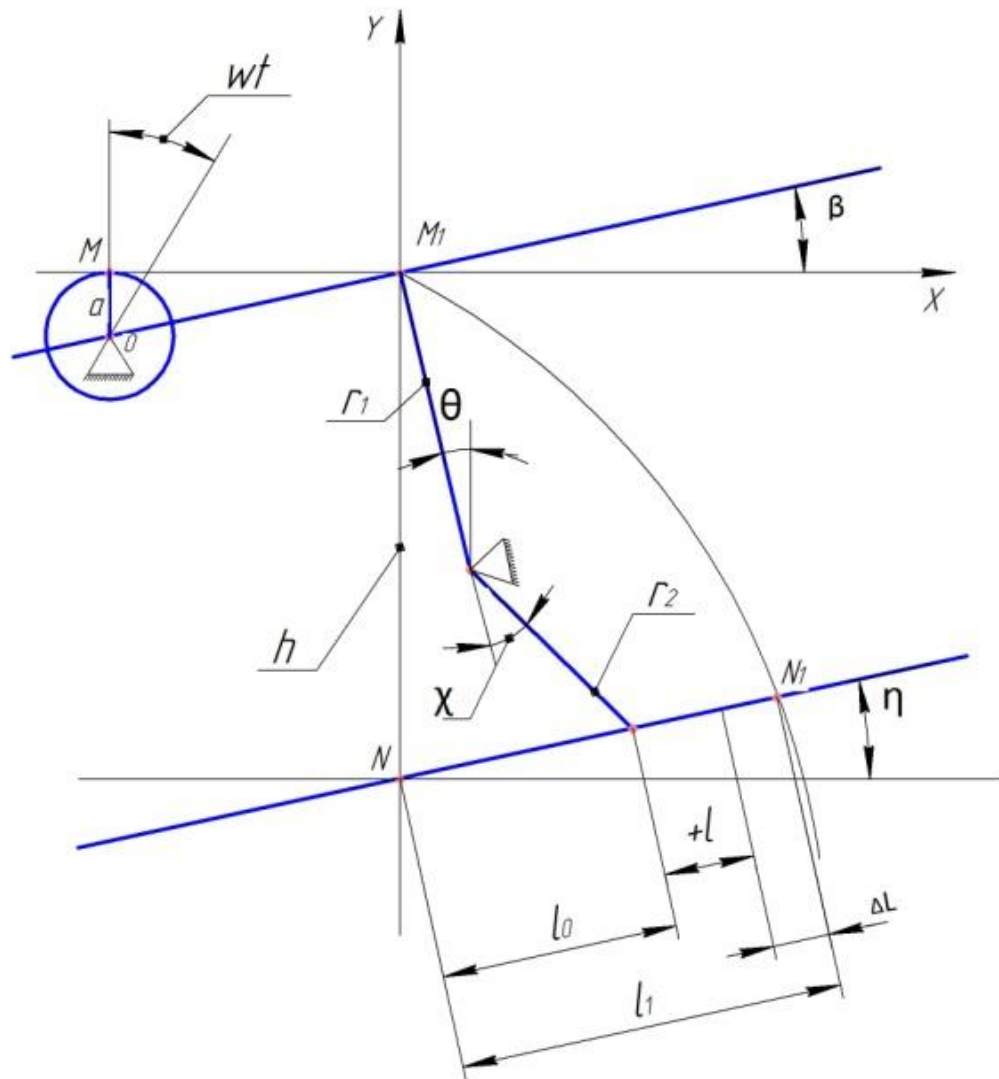


Рисунок 2.11. - Схема для розрахунку величини ΔL – необхідної різниці довжини нижнього решета очистки в порівнянні з верхнім решетом.

Указаному положенню кривошипа валу відповідає точка M_1 (рис. 2.11) – тобто, положення крайнього жалюзі (кінця) верхнього решета в цей момент часу. Помістимо в точку M_1 початок координат (рис. 2.11). Тоді, відповідно до рис. 2.11 величина необхідної різниці довжин решіт ΔL буде становити:

$$\Delta L = l_1 - (l_0 + l), \quad (2.68)$$

де l_1 – довжина польоту зернини після удару, м;

l_0 – відстань від кінця нижнього решета до осі Y на лінії напрямку його коливань у момент максимального ударного імпульсу жалюзі верхнього решета об зернину, м;

l – відстань від кінця нижнього решета в момент часу перетину траєкторії зернини та лінії напрямку коливань нижнього решета, м.

З рис. 2.11. можна записати:

$$l_0 = \frac{r_1 \sin \theta + r_2 \sin(\theta + \chi)}{\cos \eta}, \quad (2.69)$$

де r_1 і r_2 – радіуси коливань відповідно верхнього й нижнього решіт, м;

θ – кут нахилу веденого радіуса коливань r_1 відносно вертикальної осі, який відповідає положенню точки M_1 , град;

χ – кут асиметрії радіусів коливань решіт, град.

Згідно із законами гармонійних періодичних коливань, можна записати:

$$l = a \frac{r_2}{r_1} \sin 2\pi t \quad (2.70)$$

Так, наприклад, для:

$$\omega t_1 = \frac{\pi}{2} \quad l = a \frac{r_2}{r_1}; \text{ за умови, що } \omega t_1 = \pi; \quad l=0;$$

$$\text{а за умови } \omega t_1 = \frac{3\pi}{2}; \quad l = -a \frac{r_2}{r_1}$$

Підставивши значення l_0 і l з рівняння (2.69) і (2.70) в (2.68), отримаємо:

$$\Delta L = l_1 - \left(\frac{r_1 \sin \theta + r_2 \sin(\theta + \chi)}{\cos \eta} + a \frac{r_2}{r_1} \sin 2\pi t_1 \right) \quad (2.71)$$

З урахуванням виразів (2.66) і (2.71) залежність для визначення необхідної довжини нижнього жалюзійного решета, очистки комбайна набуде вигляду:

$$L_n = L_B + l_1 - \left(\frac{r_1 \sin \theta + r_2 \sin(\theta + \chi)}{\cos \eta} + a \frac{r_2}{r_1} \sin 2\pi n t_1 \right) \quad (2.72)$$

Рівняння (2.72) може бути використане для визначення необхідної довжини нижнього жалюзійного решета комбайнів з аналогічною технологічною схемою очистки.

Використовуючи викладений метод і взявши всі показники зернозбирального комбайна при

$\alpha = 45^0$ – кут відкриття жалюзі решета;

$\beta = 10^0$ – кут напрямку коливань решета;

$\eta = 8^0$ – кут напрямку коливань нижнього решета;

$\xi = 30^0$ – кут нахилу повітряного потоку до горизонту;

$r_1 = 0,24$ м – радіус коливань верхнього решета;

$r_2 = 0,16$ м – радіуси коливань нижнього решета;

$h = 0,14$ м – відстань між решетами по осі Y;

$n = 4,5$ с⁻¹ – частота обертання валу приводу;

$C = 8$ м/с – швидкість повітряного потоку;

$a = 0,025$ м – радіус кривошипа (амплітуда коливань) валу приводу;

$\theta = 28^0$ – кут нахилу веденого радіусу коливань;

$\chi = 0^0$ – кут асиметрії радіусів коливань решіт;

$L_B = 1,550$ м – довжина верхнього жалюзійного решета;

$L_H = 1,350$ м – довжина нижнього жалюзійного решета;

$\varepsilon = 0,25$ – коефіцієнт відновлення швидкості під час удару;

$f = 0,25$ – коефіцієнт відновлення миттєвого тертя під час удару;

знаходимо, що $V_p = 0,83$ м/с; $V_0 = 0,24$ м/с; $V_a = 0,87$ м/с; $U = 8,61$ м/с;

$a_x = 0,87$ м/с²; $b_x = 7,6$ м/с²; $a_y = 0,076$ м/с²; $b_y = 5,03$ м/с²; $A = 45,3$ м²/с²;

$B = 5,31$ м³/с⁴; $D = 3,56$ м²/с³; $x_1 = 0,072$ м; $l_1 = 0,073$ м; $t_1 = 0,06$ с;

$\Delta L = 0,142$ м; $\Delta L' = 0,08$ м

2.4. Теоретичні основи роботи роздільного решета колосового вороху

Решето, яке підвішене на підвісках (рис. 2.12) під кутом α_3 до горизонту, отримує коливальний рух за допомогою кривошипно-шатунного механізму. Водночас кут α_3 менший кута тертя φ .

Зернини переміщуються решетом як дискретний шар взаємодіючих між собою частинок. Для визначення умов відносного руху зернин враховуючи низку припущень:

1. Рух елемента шару зернин будемо розглядати як рух матеріальної точки.

2. Сила опору рухові зерна дорівнює силі тертя:

$$F_T = fN = N \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.73)$$

де f – коефіцієнт тертя.

3. Решето здійснює гармонічні коливання за законом:

$$x = -r \cos \omega t, \quad (2.74)$$

де r – радіус кривошипа;

ω – кутова швидкість кривошипа.

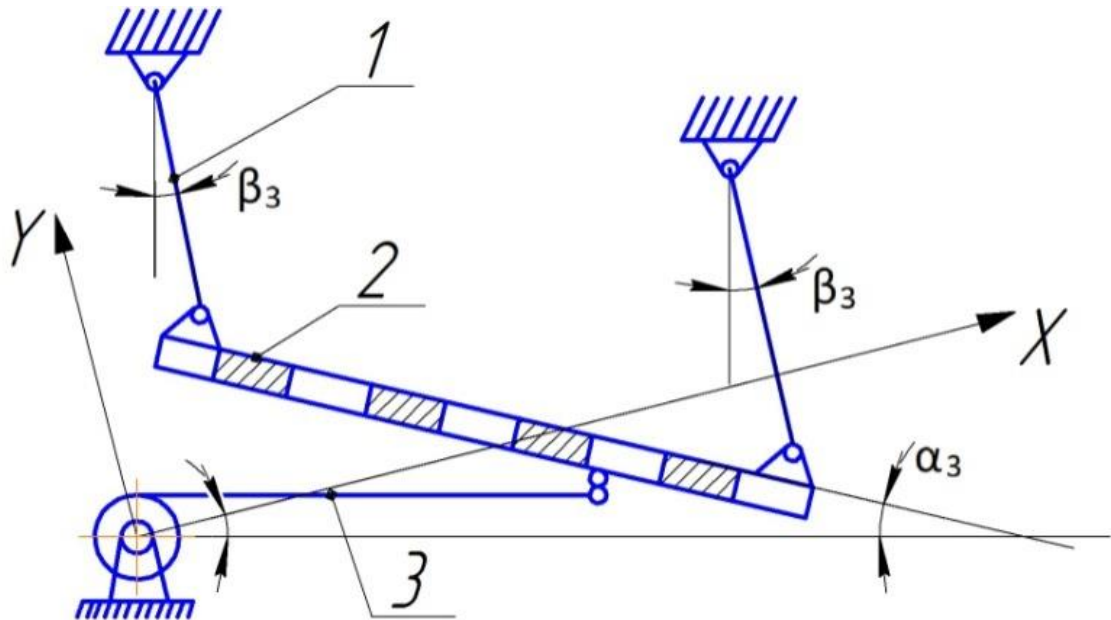


Рисунок 2.12 - Схема кріплення роздільного решета:

1 – підвіска, 2 – роздільне решето, 3 – кривошипно-шатульний механізм.

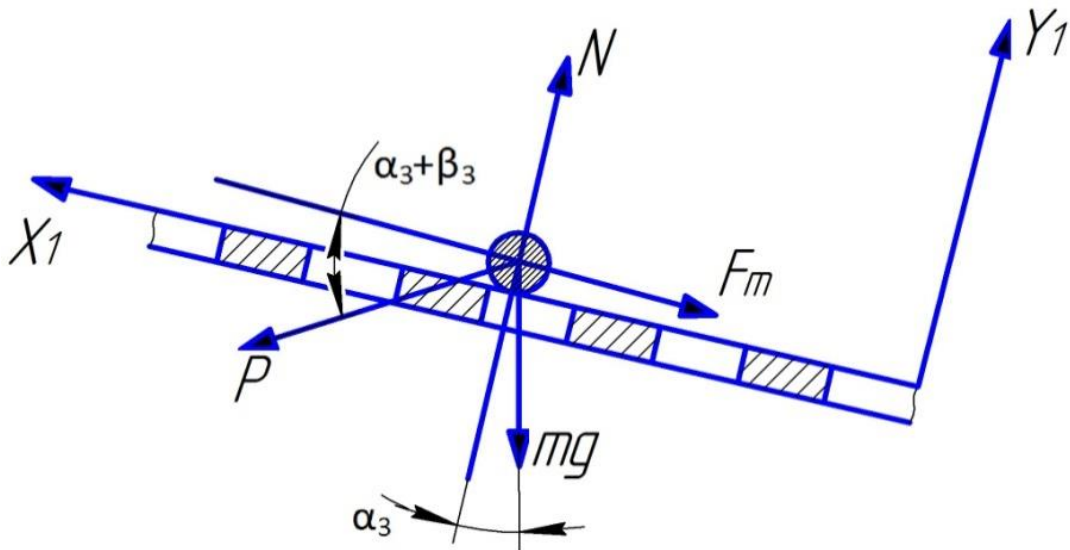
Частинка буде рухатися вгору, коли решето буде здійснювати рух управо (рис. 2.13). Диференціальне рівняння руху частинки в цьому випадку згідно відомим законом механіки буде матиме вигляд:

$$m \frac{d^2 x_1}{dt^2} = P \cos(\alpha_3 + \beta_3) - mg \sin \alpha_3 - F_T,$$

де P – сила інерції, $P = ma = m\omega^2 \cos \omega t$

F_T – сила тертя, $F_T = fN = N \operatorname{tg} \varphi$,

φ – кут тертя.



Риунок 2.13 - Схема сил, діючих на зернину під час руху ввєрх.

Для системи сил, зображення на рис.2.13 проєкції сил на вісь у рівна:

$$N - P \sin(\alpha_3 + \beta_3) - mg \cos \alpha_3 = 0.$$

Звідки:

$$N = P \sin(\alpha_3 + \beta_3) + mg \cos \alpha_3 = mr\omega^2 \cos \omega t \sin(\alpha_3 + \beta_3) + mg \cos \alpha_3 = 0. \quad (2.75)$$

Після того:

$$\frac{md^2x_1}{dt^2} = mr\omega^2 \cos \omega t (\cos(\alpha_3 + \beta_3) - mg \sin \alpha_3 - mr\omega^2 \cos \omega t \sin(\alpha_3 + \beta_3) \operatorname{tg} \varphi - mg \cos \alpha_3 \operatorname{tg} \varphi.$$

$$\frac{d^2x_1}{dt^2} = r\omega^2 \cos \omega t (\cos(\alpha_3 + \beta_3) - \sin(\alpha_3 + \beta_3) \operatorname{tg} \varphi) - g(\sin \alpha_3 + \cos \alpha_3 \operatorname{tg} \varphi) \quad (2.76)$$

Після нескладних математичних перетворень отримаємо:

$$\begin{cases} \cos(\alpha_3 + \beta_3) - \sin(\alpha_3 + \beta_3) \operatorname{tg} \varphi = \frac{\cos(\alpha_3 + \beta_3 + \varphi)}{\cos \varphi} = A_2 \\ \sin \alpha_3 + \cos \alpha_3 \operatorname{tg} \varphi = \frac{\sin(\alpha_3 + \varphi)}{\cos \varphi} = B_2 \end{cases} \quad (2.77)$$

Рівняння набуде вигляду:

$$\frac{d^2x_1}{dt^2} = A_2r\omega^2 \cos\omega t - gB_2. \quad (2.78)$$

Диференціюючи це рівняння двічі, матимемо:

$$\frac{dx_1}{dt} = A_2r\omega^3 \sin\omega t - gB_2t + C_1. \quad (2.79)$$

$$x_1 = -A_2r\omega^4 \cos\omega t - \frac{1}{2}gB_2t^2 + C_1t + C_2. \quad (2.80)$$

Частинка починає рух решетом у деякий момент часу $t = t_1$, для якого

$$x_1 = 0, \quad \frac{dx_1}{dt} = 0 \quad \text{і} \quad \frac{d^2x_1}{dt^2} = 0$$

Після того:

$$C_1 = gB_2t_1 - A_2r\omega^3 \sin\omega t_1.$$

$$C_2 = A_2r\omega^4 \cos\omega t_1 + \frac{1}{2}gB_2t_1^2 + A_2r\omega^3 t_1 \sin\omega t_1 - gB_2t_1 t.$$

Підставляючи значення C_1 і C_2 в (2.79) та (2.80) отримаємо:

$$V_1 = \frac{dx_1}{dt} = A_2r\omega^3 \sin\omega t - gB_2t + gB_2t_1 - A_2r\omega^3 \sin\omega t_1.$$

$$x_1 = -A_2r\omega^4 \cos\omega t - \frac{1}{2}gB_2t^2 + gB_2t_1t - A_2r\omega^3 t \sin\omega t_1 + A_2r\omega^4 \cos\omega t_1 + \\ + A_2r\omega^3 t_1 \sin\omega t_1 + \frac{1}{2}gB_2t_1^2 - gB_2t_1t.$$

Або:

$$V_1 = A_2r\omega^3 (\sin\omega t - \sin\omega t_1) - gB_2(t - t_1).$$

$$x_1 = A_2r\omega^4 (\cos\omega t - \cos\omega t_1) - A_2r\omega^3 (t - t_1) \sin\omega t_1 - \frac{1}{2}gB_2(t - t_1)^2 \quad (2.81)$$

Із рівняння (2.78) випливає, що прискорення частинки дорівнює нулю за умови:

$$A_2r\omega_0^2 = gB_2.$$

Звідки:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{gB_2}{A_2r}} = \sqrt{\frac{g}{r}} \sin(\alpha_3 + \varphi) / (\cos(\alpha_3 + \beta_3 + \varphi)), \quad (2.82)$$

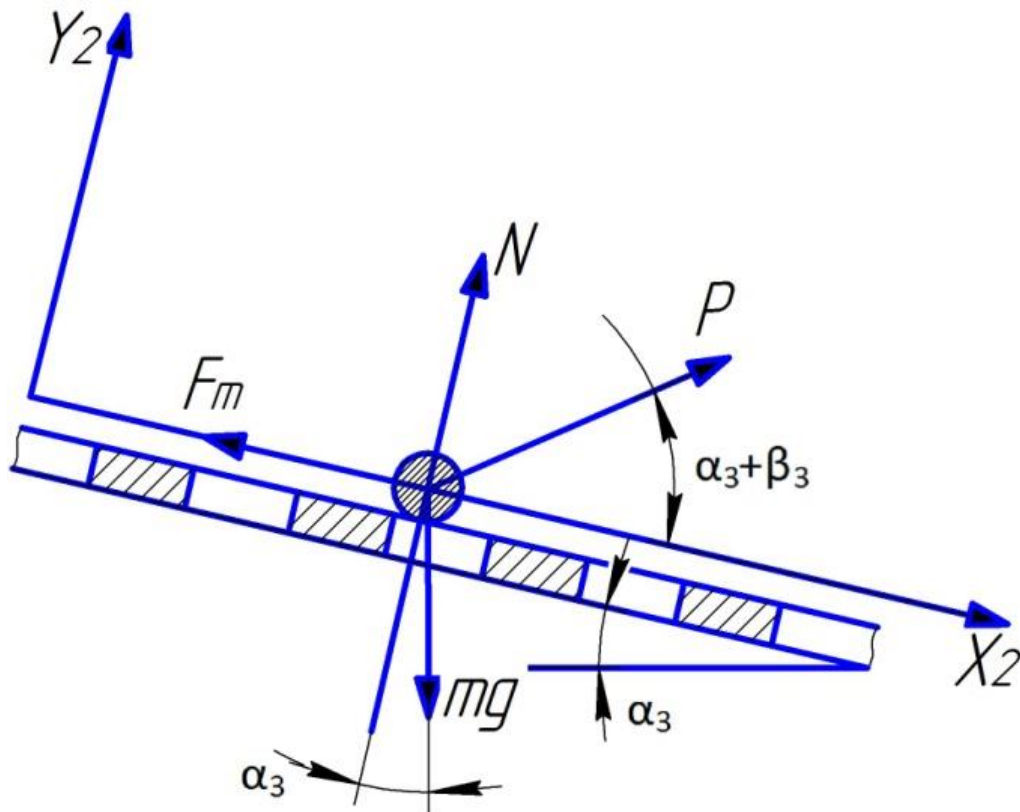
тут

$$\frac{\sin(\alpha_3 + \varphi)}{\cos(\alpha_3 + \beta_3 + \varphi)} = k_1. \quad (2.83)$$

При $k > k_1$ рух частинки ввєрх рєшетом неможливий.

Рух рєшєтє влїво (рис. 2.14) спричиняє ковзання частинки вниз.

Схєма сил, прикладєних до зернини при руху вниз зображєна на рис. 2.14.



Рисунєк 2.14. - Схєма сил, прикладєних до зернини пїд час руху вниз

В цьому випадку маємо:

$$N + P \sin(\alpha_3 + \beta_3) - mg \cos \alpha_3 = 0$$

Звїдки:

$$N = mg \cos \alpha_3 - P \sin(\alpha_3 + \beta_3), \quad (2.84)$$

тут: $P = mr\omega^2 \cos \omega t.$

Після цього: $N = mg \cos \alpha_3 - m r \omega^2 \sin(\alpha_3 + \beta_3) \cos \omega t.$

$$F_T = N \operatorname{tg} \varphi = [mg \cos \alpha_3 - m r \omega^2 \sin(\alpha_3 + \beta_3) \cos \omega t] \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.85)$$

Ураховуючи (2.84) і (2.85) диференціальне рівняння руху частинки, матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{md^2x_2}{dt^2} &= r\omega^2 \cos \omega t (\cos(\alpha_3 + \beta_3) + mg \sin \alpha_3 \\ &- m[g \cos \alpha_3 - r\omega^2 \cos \omega t \sin(\alpha_3 + \beta_3)] \operatorname{tg} \varphi. \end{aligned}$$

Уведемо позначення:

$$\cos(\alpha_3 + \beta_3) + \sin(\alpha_3 + \beta_3) \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{\cos(\alpha_3 + \beta_3 - \varphi)}{\cos \varphi} = A_3. \quad (2.86)$$

$$\sin \alpha_3 - \cos \alpha_3 \operatorname{tg} \varphi + \frac{\sin(\alpha_3 - \varphi)}{\cos \varphi} = B_3.$$

Тоді

$$\frac{d^2x_2}{dt^2} = A_3 r \omega^2 \cos \omega t - g B_3. \quad (2.87)$$

Розв'язуючи це рівняння, отримаємо:

$$V_2 = \frac{dx_2}{dt} = A_3 r \omega^3 (\sin \omega t - \sin \omega t_1) - g B_3 (t - t_1). \quad (2.88)$$

$$x_2 = A_3 r \omega^3 (\cos \omega t - \cos \omega t_1) - A_3 r \omega^4 (\sin \omega t_1) (t - t_1) - \frac{1}{2} g B_3 (t - t_1)^2. \quad (2.89)$$

Прискорення частинки дорівнює нулю за умови:

$$A_3 r \omega_0^2 = g B_3.$$

Звідки:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g B_3}{r A_3}} = \sqrt{\frac{g}{r} \cdot \frac{\sin(\alpha_3 - \varphi)}{\cos(\alpha_3 + \beta_3 - \varphi)}},$$

тут:

$$k_0 = \frac{\sin(\alpha_3 - \varphi)}{\cos(\alpha_3 + \beta_3 - \varphi)}.$$

Очевидно, при $k > k_2$ рух частинки вниз по решетом неможливий.

Визначення граничної швидкості руху зерна

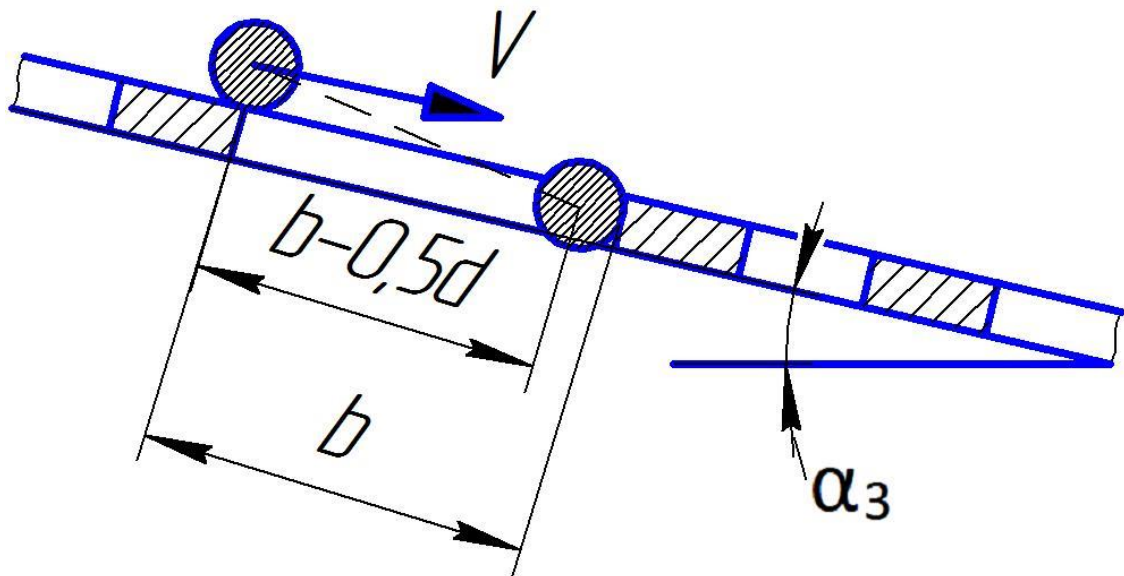


Рисунок 2.15 - Схема для визначення граничної швидкості руху зерна

Переміщення зернини решетом за час дорівнює:

$$\begin{cases} x = vt \cos \alpha_3 \\ y = vt \sin \alpha_3 + \frac{1}{2}gt^2. \end{cases} \quad (2.90)$$

Звідки:

$$t = \frac{x}{v \cos \alpha_3}.$$

То:

$$y = x \operatorname{tg} \alpha_3 + \frac{gx^2}{2V^2 \cos^2 \alpha_3}.$$

Звідки:

$$v = \frac{x}{\cos \alpha_3} \sqrt{\frac{g}{2(y - x \operatorname{tg} \alpha_3)}} \quad (2.91)$$

Під час зіткнення зернин із ребром отвору:

$$\begin{cases} x_0 = (b - 0,5d) \cos \alpha_3 & 0,5d \sin \alpha_3 \\ y_0 = (b - 0,5d) \sin \alpha_3 & + 0,5 d \cos \alpha_3 \end{cases} \quad (2.92)$$

Ураховуючи рівняння (2.91) і виконуючи нескладні математичні перетворення, вираз (2.90) виглядатиме:

$$V_0 = [b - 0,5d(1 + \operatorname{tg} \alpha_3)] \sqrt{\frac{g}{d(\cos \alpha_3 + \sin \alpha_3 \operatorname{tg} \alpha_3)}} \quad (2.93)$$

Проведені нами теоретичні дослідження показують, що в очистці комбайна КЗС- 9-1 "Славутич" нижнє жалюзійне решето необхідно подовжити на величину $\Delta L' \geq 0,08$ м.

Збільшення довжини нижнього решета дозволить істотно підвищити якість роботи очистки зернозбирального комбайна, зменшити вихід обмолоченого вороху в камеру колосового шнека, підвищити якість насіннєвого матеріалу через зниження рівня його травмування.

Висновки до розділу

1. Отримано математичні залежності для визначення винесення обмолоченого вороху в камеру колосового шнека сходом через подовжувач верхнього решета, винесенням з міжрешітного простору й сходом з нижнього решета, що дозволяє з достатньою точністю визначити кількість вільного зерна, котре сходить з очистки зернозбирального комбайна.

2. Теоретичні дослідження показують, що найбільша кількість вільного зерна в камеру колосового шнека поступає через подовжувач верхнього решета очистки.

3. Отримано математичну залежність для визначення оптимальної довжини сепаруючої поверхні нижнього решета очистки зернозбирального комбайна.

4. Для запобігання винесенню зерна з міжрешітного простору і сходом через подовжувач верхнього решета в колосовий шнек довжину нижнього решета, необхідно збільшити не менше, ніж на 0,08м.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ. ПРОГРАМА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Відповідно до поставлених у дисертації завдань і результатів теоретичного аналізу була намічена така програма експериментальних досліджень:

1. Вивчити вплив завантаження очистки на вихід компонентів обмолоченого вороху в камеру колосового шнека, що подається на повторний обмолот.

2. Дослідити процес дообмолоту колосового вороху.

3. Дослідити вплив регулювання очистки й складу вороху на коефіцієнти сепарації зерна на решетах і подовжувачі.

4. Вивчити вплив завантаження й довжини нижнього решета очистки на показники її роботи.

5. Дослідити вплив завантаження очистки на травмування зерна під час використання різних схем дообмолоту колосового вороху.

6. Провести лабораторно - польові випробування удосконаленої очистки зернозбирального комбайна КЗС- 9-1 "Славутич".

3.2. Об'єкт досліджень і експериментальна установка

За об'єкт досліджень узято процес роботи серійної та удосконаленої очистки комбайна КЗС- 9-1 "Славутич", а також:

1) дообмолочувальний пристрій, установлений на комбайні КЗС - 9-1 "Славутич" (рис. 3.1);

2) дообмолочувальний пристрій, установлений на комбайні "Дон"

(рис. 3.2);

3) дообмолочувальний пристрій, зі знятими молотками;

4) дообмолочувальний пристрій, зі встановленими перед ним роздільним решетом (рис. 3.3).



Рисунок 3.1 - Загальний вигляд дообмолочувального пристрою зернозбирального комбайна КЗС - 9-1 "Славутич"

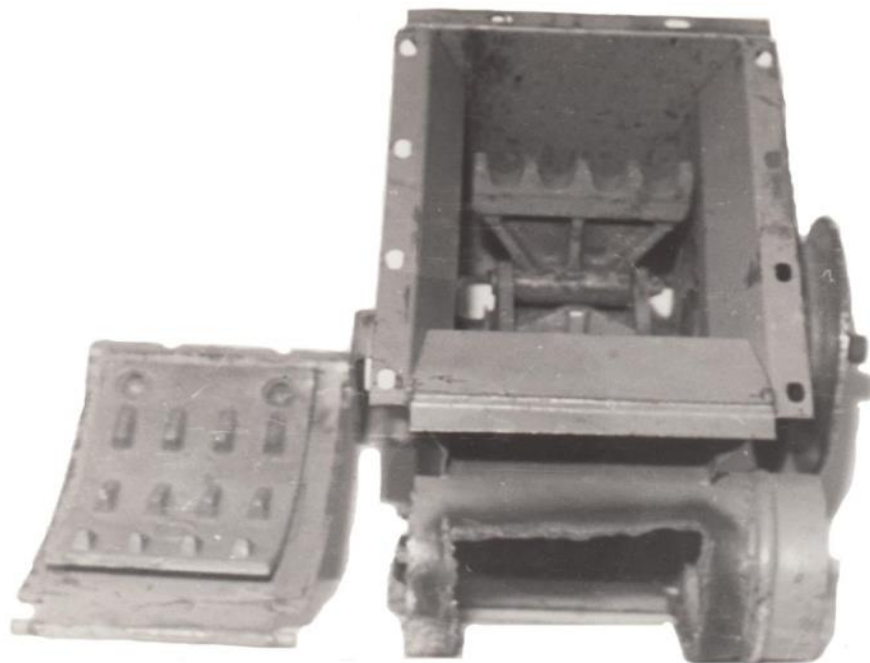


Рисунок 3.2 - Загальний вигляд дообмолочувального пристрою комбайна "Дон"

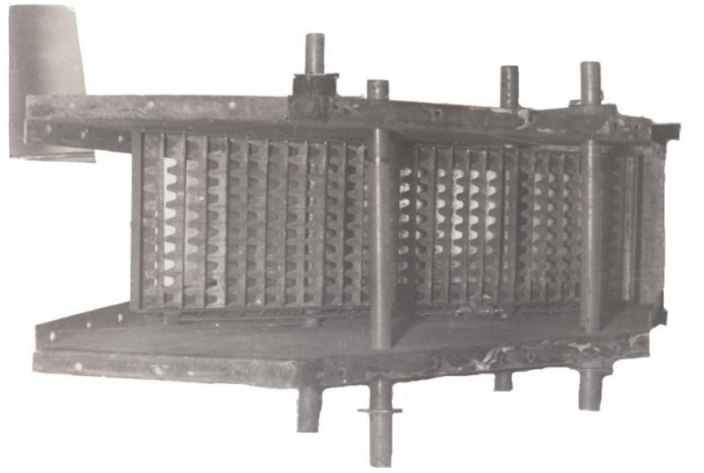


Рисунок 3.3. Загальний вигляд роздільного решета

При проведенні досліджень планується використати:

1) дообмолочувальний пристрій, зі встановленим перед ним роздільним решетом (рис. 3.3);

2) удосконалений варіант очистки комбайна КЗС - 9-1 "Славутич" з подовженим нижнім решетом (рис. 3.4).

У першому варіанті обмолочений зерновий ворох, що подається в дообмолочувальний пристрій (рис. 3.1), захоплюється швидкообертаючим ротором з бичами і, пройшовши між ротором і декою, обмолочується. Продукти обмолоту розподільним шнеком подаються на очистку.

У другому варіанті колосовий ворох, що подається в дообмолочувальний пристрій (рис. 3.2.), захоплюється швидкообертаючим ротором і подається в робочу зону між молотками ротора й глухою декою, де він обмолочується. Продукти обмолоту розподільним шнеком подаються на очистку.

У третьому варіанті з дообмолочувального пристрою зняті молотки, колосовий ворох проходить через камеру дообмолочувального пристрою і розподільним шнеком подається на очистку без дообмолоту.

У четвертому варіанті перед дообмолочувальним пристроєм встановлено знімний корпус з роздільним решетом розмірів 270x800 мм, розміщеним у спеціально виготовленому кожусі на чотирьох підвісках завдовжки 240 мм. Кожух з решетом у зборі закріплено до колосового елеватора, а

дообмолочувальний пристрій до нього. Отже, роздільне решето виявилось між колосовим елеватором і дообмолочувальним пристроєм. Решето приводилося в коливальний рух кривошипно - шатунним механізмом. Частота обертання валу приводу – 290 хв^{-1} . Радіус кривошипа – 30 мм. Решето забезпечене гвинтовим механізмом регулювання величини відкриття жалюзі, установленим на рамці решета. Під час дослідження дообмолочувального пристрою в цьому виконанні колосовий ворох подавався на роздільне решето. Виділення вільного зерна з колосового вороху створює умови для зниження його травмування через усунення багатократної циркуляції в молотарці комбайна.

На комбайні КЗС- 9-1 "Славутич" виділення обмолоченого зерна можливе шляхом подовження нижнього жалюзійного решета.

Величину циркулюючого навантаження вільно обмолоченого зерна в молотарці зернозбирального комбайна можна визначити за допомогою ряду паралельно встановлених очисток, котрі забезпечують подачу вороху, яка йде сходом з першої очистки на всі наступні.

Для вивчення закономірності циркуляції вороху в молотарці комбайна її впливу на якісні показники роботи очистки нами була розроблена й виготовлена експериментальна установка, що дозволяє визначати величину циркулюючого навантаження протягом трьох циклів. Схему експериментальної установки приведено на рис. 3.5. а, б.

Експериментальна установка виготовлена з вузлів і деталей очистки комбайна "Дон" і СК – 5 "Нива", а також колосового шнека, колосового елеватора і дообмолочувального пристрою комбайна КЗС - 9-1 "Славутич". Режим роботи робочих органів відповідав режиму, установленому для комбайнів.

Лабораторна установка (рис. 3.5) складається з живлячого полотняно-планчатого транспортера 1, транспортної дошки 2 з подовжувачем 3, жалюзійних решіт 4, подовжувача верхнього решета 5, половозбірника 6, скатної дошки 7, вентилятора 8, зернозбірника 9, колосового шнека 10, елеватора 11, малого колосового шнека 12, колосового шнека 13, елеватора 14,

дообмолочувального пристрою 15, збірки колосового вороху 16 і приводної станції 17.

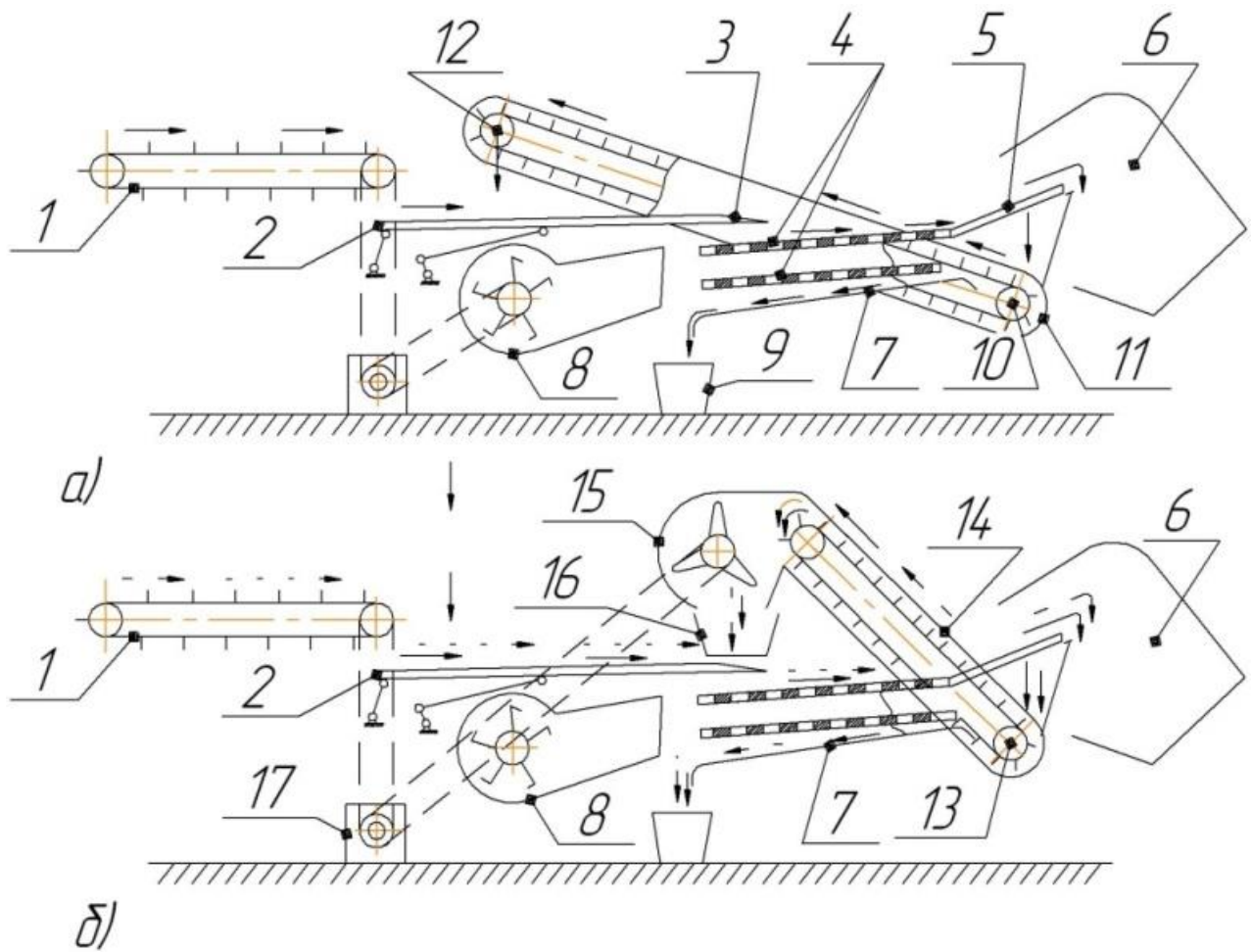


Рисунок 3.5. Схема експериментальної установки:

а) – відповідно без дообмолочувального пристрою;

б) – відповідно з дообмолочувальним пристроєм;

1 – полотняно-планчастий транспортер; 2 – транспортна дошка; 3 – подовжувач; 4 – жалюзійні решета; 5 – подовжувач верхнього решета; 6 – полово-збірник; 7 – скатна дошка; 8 – вентилятор; 9 – зернозбірник; 10, 13 – колосовий шнек; 11 – колосовий елеватор; 12 – малий колосовий шнек; 14 – колосовий елеватор; 15 – дообмолочувальний пристрій; 16 – збірка колосового вороху; 17 – приводна станція.

Привід вузлів експериментальної установки здійснювався від двох електродвигунів потужністю 7,5 кВт. Для проведення дослідів приготувану

суміш вороху рівномірно укладали на живлячі транспортери 1. При цьому зерно, що входить у суміш вороху, укладеного на транспортер першого очищення, забарвлювали спеціальним барвником. При включенні в роботу першої очистки живлячий транспортер 1 подавав ворох на транспортну дошку 2, переміщуючись якою, він по пальцевому подовжувачу 3 поступав на верхнє жалюзійне решето 4. На решетах ворох продувався повітряним потоком, що нагнітається вентилятором 8 і очищався від легких домішок.

Зерно по скатній дошці 7 надходило в зернозбірник 9, а половина з деякою кількістю зерна – на подовжувач верхнього решета 5, де вільне забарвлене зерно й частина полови потрапляли в колосовий шнек 10. Інша частина полови з деякою кількістю зерна надходила в половозбірник 6 (зерно, що зійшло в половозбірник, є втратами першого очищення). Колосовий ворох по елеватору 11 малим колосовим шнеком 12 подавався на другу очистку. До моменту виходу колосового вороху з малого колосового шнека в роботу включалася друга очистка. Колосовий ворох, поданий живлячим транспортером 1, змішувався на транспортній дошці з ворохом, що вийшов з малого колосового шнека першої очистки, і переміщуючись по пальцевому подовжувачу 3, надходив на верхнє жалюзійне решето 4. На решетах він також продувався повітряним потоком, котрий нагнітається вентилятором, 8 і очищався. Суміш забарвленого й чистого зерна по скатній дошці 7 подавалася в зернозбірник 9. Полова з деякою кількістю зерна потрапляла на подовжувач верхнього решета 5, де суміш зерна й частина полови поступала в колосовий шнек 13, інша частина полови з деякою кількістю зерносуміші збиралася в половозбірнику 6 (зерно, що опинилося в половозбірнику другої очистки, є втратами другої очистки).

Ворох, котрий потрапив в колосовий шнек 13, колосовим елеватором 14 подається в збірку колосового вороху 16.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі, внаслідок проведених теоретичних й експериментальних досліджень подано нове вирішення актуального науково-практичного завдання зниження травмування зерна при збиранні за рахунок удосконалення процесу доопрацювання колосового вороху.

1. Одним з істотних недоліків зернозбирального комбайна, який впливає на рівень травмування зерна, є схід частини обмолоченого зерна в колосовий шнек, що призводить до збільшення кількості циклів навантажень на нього. Знизити рівень травмування зерна, а відтак і підвищити ефективність роботи зернозбирального комбайна можливо за рахунок обґрунтування параметрів очистки, що дозволить зменшити вихід його в колосовий ворох та виділення з колосового вороху вільного зерна перед його дообмолотом.

2. Отримано математичні залежності, які дозволяють визначити кількість обмолоченого зерна, яке виноситься у камеру колосового шнека в результаті проходу через подовжувач, винесенням потоком повітря з міжрешітного простору очистки та сходу з нижнього решета. Встановлено, що для зменшення винесення вільного зерна потоком повітря в колосовий шнек необхідно подовжити нижнє решето комбайна КЗС- 9-1 щонайменше на величину 0,08м, при фіксованій довжині верхнього решета.

6. За результатами проведеного комплексу теоретичних досліджень обґрунтовано наступні раціональні параметри і режими роботи роздільного решета:

- відкриття жалюзів решета - 10...11 мм;
- частота коливань решета - 300...350 хв⁻¹;
- подача вороху не більше - 0,2 кг/с;
- кут нахилу решета до горизонту знаходитиметься в межах від 4,5 до 6 град.

Отже, зниження рівня травмування при збиранні зернових культур дозволяє підвищити якість насіння, що впливатиме на їх урожайність.

ЛІТЕРАТУРА

1. А.С. 1237114 СССР, МКИ А 01 А 12/44. Очистка зерноуборочного комбайна / Е.Ф. Ветров, Е.Г. Баженов, Н.А. Епифанов [и др]. (СССР). – № 3753866/30-15; заявлено 21.05.84; опубл. 15.06.86, бюл. № 22. – 1 с.
2. А.С. 1404021 СССР, МКИ А 01 А 12/44. Очистка зерноуборочного комбайна / А.П. Тарасенко, М.А. Ульяненко (СССР). – № 4163145/30-15; заявлено 15.12.86; опубл. 22.02.88, бюл. № 5. – 2 с.
3. А.С. 244780 СССР, МКИ А 01 А 12/30. Устройство для домолота колосьев / И.Я. Чумаченко (СССР). – № 2760265/28-15; заявлено 28.04.68; опубл. 10.12.69, бюл. № 18. – 2 с.
4. А.С. 683683 СССР, МКИ А 01 А 12/44. Устройство для очистки зернового вороха в комбайне / А.И. Русанов, Ю.Н. Ярмашев, М.И. Агранович, К.М. Левин (СССР). – № 12488990/30-15; заявлено 16.05.77; опубл. 05.09.79, бюл. № 33. – 2 с.
5. А.С. 745430 СССР, МКИ А 01 А 12/44. Устройство для сепарации зернового вороха в комбайне / Х.И. Изаксов (СССР). – № 3147168/30-15; заявлено 23.06.75; опубл. 07.07.80, бюл. № 25. – 2 с.
6. А.С. 801794 СССР, МКИ А 01 А 12/44. Устройство для первичного разделения зернового вороха / Ю.И. Ермольев, Е.А. Смехунов, В.Г. Новиков и др. (СССР). – № 2741599/30-15; заявлено 27.03.79; опубл. 07.03.79, бюл. № 5. – 2 с.
7. А.С. 946448 СССР, МКИ А 01 12/44. Молотильно-сепарирующее устройство / Ю.Н. Ярмашев, Н.И. Кленин, В.М. Халанский [и др]. (СССР). – № 2854627/30-15; заявлено 13.11.79; опубл. 30.07.80.
8. А.С. 967373 СССР, МКИ А 01 А 12/44. Устройство для сепарации зернового вороха в комбайне / И.В. Канеев, Д.Н. Бородин, Э.В. Козырев, И.И. Канеев (СССР). – № 3285722/30-15; заявлено 05.05.81; опубл. 23.10.82, бюл. № 39. – 1 с.
9. Авдеев Н.Е. Исследование работы клавишных соломотрясов / Н.Е. Авдеев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1960. – № 6. – С. 12-16.

10. Адлер Ю. П., Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.- Адлер Ю.П., Макарова Е.В., Гроновский Ю.В. М.: Наука, 1976. 280 с.
11. Алферов С.А. Воздушно-решетные очистки зерноуборочных комбайнов. – М.: Агропромиздат, 1987. 159 с.
12. Алферов С.А. Предварительные результаты полевых испытаний каскадной ветро-решетной очистки зерноуборочного комбайна / С.А. Алферов, Л.В. Шабанов, М.И. Эйгер, Ю.И. Ермолев. – Ростов-на-Дону, 1976. – С. 3-7.
13. Арнольд Р.Э. Эффективность комбайновых молотильных аппаратов / Р.Э. Арнольд // Механизация сельского хозяйства. – 1964. – №9. – С. 2-7.
14. Барашев С.М. Перераспределение частиц зернового вороха в наклонном воздушном потоке / С.М. Баранов // Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства. – 1970. – Вып. 13. – С. 274 - 279.
15. Барашев С.М. Сепарация через многослойное пространственное решето / С.М. Барашев, М.И. Эйгер // Проектирование рабочих сельскохозяйственных машин. – Ростов-на-Дону, 1970. – С. 56 - 58.
16. Бекаров А.Д. Исследование конвейерной очистки / А.Д. Бекаров // Науч. тр. / НИПТИМЭСХ Нечерноземной зоны РСФСР. – 1978. – Вып. 25. – С. 36 - 39.
17. Бекаров А.Д. К обоснованию схемы конвейерной очистки зерноуборочного комбайна / А.Д. Бекаров // Науч. тр. / НИПТИМЭСХ Нечерноземной зоны РСФСР. – 1977. – Вып. 22. – С. 18 - 20.
18. Бочков Н.П. Исследование процесса расслаивания мелкого вороха на транспортной доске зерноуборочного комбайна / Н.П. Бочков // Уравновешивание рабочих органов и снижение вибрации сельхозмашин. – Ростов-на-Дону, 1972. – С. 81 - 87.
19. Бочков Н.П. О моделировании слоя мелкого вороха, перемещаемого транспортной доской зерноуборочного комбайна / Н.П. Бочков // Конструирование рабочих органов с.-х. машин. – Ростов-на-Дону, 1973. – С. 138 - 145.

20. Бублик С.П. Исследование технологического процесса сепарации грубого вороха, осуществленного способом динамической осадки / С.П. Бублик // Земледельческая механика. – 1967. – Т. 7. – С. 21 - 24.
21. Василенко И.Ф. Зерноуборочные комбайны СССР и зарубежных стран / И.Ф. Василенко, Н.Е. Авдеев, А.Ф. Морозов. – М.: Сельхозиздат, 1958. – 296 с.
22. Василенко И.Ф. Теория соломотряса / И.Ф. Василенко // Сборник трудов по земледельческой механике. – 1961. – Т. 6. – С. 59 - 69.
23. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных 2-е изд., перераб. / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1967. 160 с.
24. Воистников Б.Г. Результаты исследований очистки зерноуборочного комбайна Класс 1500 мм / Б.Г. Воистников // Науч. тр. / ЧИМЭСХ. – 1979. - №151. – С. 93 - 96.
25. Воцкий З.И. Влияние режима работы молотильно-сепарирующего устройства на качество работы очистки комбайна СКДР / З.И. Воцкий, Н.И. Косилов, П.А. Шабанов // Науч. тр. / ЧИМЭСХ. – 1970. – Вып. 48. – С. 95-100.
26. Воцкий З.И. К вопросу совершенствования уборки зерновых культур / З.И. Воцкий // Науч. тр. ЧИМЭСХ. – 1976. – Вып. 113. – С. 12-18.
27. Горячкин В.П. Теория просеивания зерновых из вороха / В.П. Горячкин // Пол. сбор. соч. – Т.1. – С. 108-134.
28. ГОСТ 12036-85. Семена сельскохозяйственных культур. Правила приемки и методы отбора проб. – Взамен ГОСТ 12036-66 кроме семян сахарной свеклы.
29. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – Взамен ГОСТ 120038-66. Введ. 01.07.86 до 01.07.91. // Семена сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1982. –231 с.
30. Дашевский В.И. К расчету технологического эффекта сепарирования зерна на плоских ситах / В.И. Дашевский, Е.А. Непомнящий // Науч. тр. / ВНИИЗ. – 1972. – Вып. 73. – С. 64 - 71.

31. Дымченко Н.Д. О траектории движения части соломенного вороха в зерноочистных комбайнах / Н.Д. Дымченко // Науч. тр. / ЧИМЭСХ. – 1967. – Вып. 27. – С. 52-56.

32. Елабужских В.В. К оценке работы жалюзийного решета зерноуборочного комбайна / В.В. Елабужских // Науч. тр. / Чувашский с.-х. ин-т. – 1975. – Т. 10, Вып. 3. – С. 33-36.

33. Елабужских В.В. О рабочем процессе жалюзийного решета (зерноуборочного комбайна) / В.В. Елабужских // Записки Ленинградского с.-х. ин-та. – 1969. – Т. 143, Вып. 1. – С. 49-58.

34. Жалнин Э.В. Двухпоточная очистка зерна (в двухбарабанных комбайнах) / Э.В. Жалнин, В.А. Анисимов, В.М. Акимов // Техника в сельском хозяйстве. – 1978. – № 8. – С. 17-18.

35. Жалнин Э.В. Потери зерна за молотилкой как функция подачи / Э.В. Жалнин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1976. – № 8. – С. 6-8.

36. Жалнин Э.В. Проблемы создания высокопроизводительного (зерноуборочного комбайна) / Э.В. Жалнин, В.Г. Валимов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1974. – № 6. – С. 5-8.

37. Жарина В.В. Состояние и основные направления совершенствования очисток зерноуборочных комбайнов / В.В. Жарина // Науч. тр. / ВСХИЗО. – 1982. – С. 24-33.

38. Завалишин Ф.С. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства /Ф.С. Завалишин, М.Г. Мацнев. – М.: Колос, 1982. 494 с.

39. Зарганян С.Р. К вопросу повышения производительности сепарирующих органов молотильных устройств / С.Р. Зарганян, Т.П. Андреев // Тракторы и сельхозмашины. – 1983. – № 5. – С. 36-37.

40. Иродов А.В. Исследование неравномерности воздушного потока широких вентиляторов / А.В. Иродов, А.Я. Коваленко // Науч. тр. / Украинской НИИ механизации с.-х. – 1954. – С. 84-87.

41. Карлов М.Е. К вопросу повышения показателей работы грохота очистки зерноуборочного комбайна / М.Е. Карлов // Науч. тр. / ЧИМЭСХ. – 1970. – Вып. 48. – С. 52-54.
42. Карлов М.Е. Ступенчатое жалюзийное решето очистки зерноуборочного комбайна / М.Е. Карлов // Техника в сельском хозяйстве. – 1972. – № 11. – С. 87-88.
43. Кленин Н.И. Исследование транспортно-колебательной очистки к зерноуборочному комбайну / Н.И. Кленин, С.Г. Ломакин, В.Е. Бердышев // Тракторы и сельхозмашины. – 1980. – № 42. – С. 13-15.
44. Козырев Э.В. Влияние распределения зерен по высоте слоя вороха на процесс сепарации / Э.В. Козырев // Проектирование рабочих органов с.-х. машин. Ростовский н/Д ин-т сельхозмашиностроения. – 1973. – Вып. 4. С. 17-25.
45. Колганов К.Г. Двухпоточная очистка для зерноуборочного комбайна двухфазного обмолота / К.Г. Колганов // Науч. тр. / ЧИМЭСХ. – 1973. – Вып. 62. – С. 50-55.
46. Колганов К.Г. Интенсификация сепарации зерна при двухфазном обмолоте / К.Г. Колганов // Науч. тр. / ЧИМЭСХ. – 1965. – Вып. 23. – С. 185-190.
47. Колганов К.Г. Исследование очистки зерноуборочного комбайна при повышенных нагрузках / К.Г. Колганов, Н.И. Косилов // Науч. тр. / ЧИМЭСХ. – 1968. – Вып. 35. – С. 89-94.
48. Колганов К.Г. Ротационные молотильно-сепарирующие органы / К.Г. Колганов, В.П. Кутепов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1966. – № 7. – С. 17-20.
49. Комбайн самоходный зерноуборочный «ДОН-1500» - техническое описание и инструкция по эксплуатации. Производственное объединение Ростсельмаш. – 1982. – 269 с.
50. Косилов Н.И. Модернизация комбайна СКД-5 / Н.И. Косилов, В.М. Урайкин // Зерновое хозяйство. – 1975. – № 10. – С. 33-34.

51. Кузнецов В.В. Методы уменьшения износа поверхностей трения зерноочистительных агрегатов / В.В. Кузнецов. – Воронеж: ВГУ, 1984. – 132 с.
52. Кутепов В. Домолачивающее устройство зерноуборочного комбайна / В. Кутепов, А. Крохалев, А. Байбора // Техника в сельском хозяйстве. – 1973. – № 6 – С. 18-19.
53. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины / М.Н. Летошнев. – М.-Л.: Сельхозиздат, 1955. – 89 с.
54. Липкович Э.И. Об интенсивности выделения зерна из грубого вороха / Э.И. Липкович // Науч. тр. / ВНИИМЭСХ. – 1969. – Вып. 12. – С. 133-142.
55. Лузанов Э.М. Воздушный поток очистки комбайна СК-3 / Э.М. Лузанов // Записки Ленинград с.-х. ин-та. – 1962. – Т.88. – С.210-227.
56. Любимов А.И. Влияние воздушного потока на просеваемость зерновых для решет с круглыми отверстиями / А.И. Любимов // Науч. тр. / ЧИМЭСХ. – 1958. – Вып. 6. – С. 299-311.
57. Любимов А.И. Влияние воздушного потока на среднюю скорость движения зерна по решетку / А.И. Любимов // Науч. тр. / ЧИМЭСХ. – 1958. – Вып. 6. – С. 291-298.
58. Майоров Г.В. Основные факторы ограничивающие количественную эффективность зерноочистки / Г.В. Майоров // Науч. тр. / Волгоградский с.-х. ин-т. – 1964. – Т. 15. – С. 77-79.
59. Машанов В.И. Влияние некоторых регулируемых параметров комбайна на качественные показатели работы ветро-решотной очистки в схеме 2-х барабанного комбайна / В.И. Машанов, Б.Н. Четыркин, Н.И. Косилов // Науч. тр. / ЧИМЭСХ. – 1975. – Вып. 95. – С. 32-39.
60. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях с.-х. процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. // 2-е изд. доп. и перераб. – Л.: Колос, Ленинградское отделение, 1980. – 166 с.
61. Мильман В.М. О нагрузке на сепараторах мелкого вороха в зерноуборочных комбайнах СКД-5 и СК-4 / В.М. Мильман // Науч. тр. / НИИ механизации и электрификации с.-х. северо-запада. – 1970. – Вып. 6. – С. 73-74.

62. Мильман В.М. Результаты испытаний жалюзийно-струнного решета и в очистке зерноуборочного комбайна / В.М. Мильман // Науч. тр. / НИИ механизации и электрификации с.-х. северо-запада. – 1972. – Вып. 11. – С. 138-141.
63. Нелюбов А.И. Аэродинамика тракта очистки зерноуборочных комбайнов / А.И. Нелюбов, Е.Ф. Ветров и др. // Тракторы и сельхозмашины. – 1965. – № 6. – С. 34-39.
64. Непомнящий Е.А. Определение характеристик процесса разделения сыпучих смесей с учетом гравитационного течения частиц / Е.А. Непомнящий // Науч. тр. / ЛЭТИ. – 1963. – Вып. 48. – С. 317-325.
65. Непомнящий Е.А. Применение теории случайных процессов к определению закономерности сепарирования сыпучих смесей / Е.А. Непомнящий // Науч. тр. / ВНИИЗ. – 1963. – Вып. 42. – С. 47-56.
66. Непомнящий Е.А. Расчет извлечения мелких частиц из сепарируемой смеси при их равномерном начальном распределении / Е.А. Непомнящий // Науч. тр. / ВНИИЗ. – 1963. – Вып. 48. – С. 97-104.
67. Оробинский В.И. Влияние режимов работы очистки зерноуборочных комбайнов на потери зерна / В.И. Оробинский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. – № 2. – С. 6-7.
68. Оробинский В.И. Снижение травмирования зерна при уборке за счет совершенствования процесса доработки колосового вороха в молотилке комбайна. Дисс. канд. техн.- наук: 05.20.01 Воронеж, 1987. 165 с.
69. Пат. 1089773 Российская Федерация, МПК А01F12/44. Очистка зерноуборочного комбайна / В.И. Смирнов, В.Б. Сачко, А.Ф. Морозов; заявитель и патентообладатель Производственное объединение « Таганрогский комбайновый завод». – № 3422785/15; заявл. 12.04.1982; опубл. 20.01.2995.
70. Пат. 2063674 Российская Федерация, МПК А01F12/44, А01F12/44. Очистка зерноуборочного комбайна / В.Т. Белашов, И.А. Власенко, В.Г. Гатицкий, М.Г. Деревянченко, И.А. Решетников; заявитель и патентообладатель Главное специализированное конструкторское бюро по комплексам машин для двухфазной уборки зерновых, риса, семенников трав и других

культур и стационарного обмолота. – № 5059561/15; заявл. 5.05.1992; опубл. 20.07.1996.

71. Пат. 2072763 Российская Федерация, МПК А01F12/18, А01F12/22. Домолачивающее устройство / П.М. Арбузов, Б. У. Бадмациренов, В.П. Гаврилов, М.И. Липовский, Л.Н. Логинов, В.И. Мошанов, А.Г. Никитин; заявитель и патентообладатель Липовский М.И. – № 93011706/15; заявл. 4.03.1993; опубл. 10.02.1997.

72. Пат. 2093007 Российская Федерация, МПК А01F12/44, А01F12/48. Очистка зерноуборочного комбайна / Г.В. Пономарев, В.П. Гаврилов, А.А. Шамин, К.И. Ростовцев; заявитель и патентообладатель ОАО Производственное объединение «Красноярский завод комбайнов». – № 93030500/13; заявл. 17.06.1993; опубл. 20.10.1997.

73. Пат. 2183397 Российская Федерация, МПК А01F12/44. Очистка зерноуборочного комбайна / Е.Ф. Ветров, В.П. Чернявская, П.М. Арбузов, О.Е. Сумаруков, А.П. Малышев, А.Г. Никитин; заявитель и патентообладатель ООО «Аэровис ЛТД». – № 2001114421/13; заявл. 30.05.2001; опубл. 20.06.2002.

74. Пат. 2198493 Российская Федерация, МПК А01F12/44, А01F12/44. Очистка зерноуборочного комбайна / Г.В. Пономарев, В.А. Стригоцкий, В.В. Кубяков, Г.В. Кусык; заявитель и патентообладатель ОАО Производственное объединение «Красноярский завод комбайнов». – № 2000123484/13; заявл. 11.09.2000; опубл. 27.08.2002.

75. Пат. 2231947 Российская Федерация, МПК А01F12/44, А01F12/48. Очистка зерноуборочного комбайна / Г.В. Пономарев, В.А. Стригоцкий, В.В. Кубяков, Н.Г. Максимов, В.Д. Невмержицкий; заявитель и патентообладатель ОАО «Красноярский проектно-конструкторский технологический институт комбайностроения». – № 2014105283/12; заявл. 22.04.2004; опубл. 10.12.2006.

76. Пат. 2265311 Российская Федерация, МПК А01F12/44, А01F12/48, А01D41/12. Очистка зерноуборочного комбайна / В.Г. Игнатьев, П.М. Арбузов, В.В. Козлов; заявитель и патентообладатель ОАО Производственное

объединение «Красноярский завод комбайнов». – № 2004105283/12; заявл. 24.02.2004; опубл. 10.12.2005.

77. Пат. 2273125 Российская Федерация, МПК А01F12/44. Очистка зерноуборочного комбайна / Г.В. Пономарев, Г.В. Кусык, В.В. Кубяков, В.Д. Невмежицкий; заявитель и патентообладатель ОАО Производственное объединение «Красноярский завод комбайнов». – № 2004120014/12; заявл. 30.06.2004; опубл. 10.04.2006.

78. Пат. 2289234 Российская Федерация, МПК А01F12/44, А01D41/12. Очистка зерноуборочного комбайна / Е.Ф. Ветров, П.М. Арбузов, В.П. Чернявская, О.Е. Сумаруков, В.Г. Игнатъев; заявитель и патентообладатель ООО «Аэровис ЛТД». – № 2005118059/12; заявл. 14.06.2005; опубл. 20.12.2006.

79. Пат. 2313935 Российская Федерация, МПК А01F12/44, А01D41/12. Очистка зерноуборочного комбайна / Г.В. Пономарев; заявитель и патентообладатель Пономарев Г.В. – № 2006109684/12; заявл. 27.03.2006; опубл. 10.01.2008.

80. Пятакин А.Я. К вопросу о взаимодействии жалюзийного решета с воздушным потоком / А.Я. Пятакин // Тракторы и сельхозмашины. – 1970. – № 8. – С. 25.

81. Пятакин А.Я. К исследованию работы диаметрального вентилятора в очистке зерноуборочного комбайна / А.Я. Пятакин // Науч. тр. / Великолукский с.-х. ин-т. – 1970. – Вып. 13. – С. 41-46.

82. Пятакин А.Я. Распределение воздушного потока над решетом очистки зерноуборочного комбайна / А.Я. Пятакин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1971. – № 8. – С. 40-41.

83. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / [С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Роцин и др.] [2 - е изд., перераб. и доп.] Л.: Колос, 1980. 168с.

84. Пустыгин М.А. Закономерности сепарации в молотильно-сепарирующем устройстве с бильным барабаном и клавишным соломотрясом / М.А. Пустыгин // Тракторы и сельхозмашины. – 1966. - №11. – С. 31-35.

85. Романенко В.Н. Высокопроизводительная очистка зерноуборочного комбайна с активатором сепарации зернового вороха / В.Н. Романенко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – №9. – С. 31-33.
86. Романовский В.И. Основные задачи теории ошибок / В.И. Романовский. – М. – Л.: 1947. –114 с.
87. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента /Л.З. Румшинский. – М.: Наука, 1971.-192 с.
88. Серый Г.Ф. Зерноуборочные комбайны / Г.Ф. Серый, Н.И. Косилов, Ю.М. Ярмешев, А.И. Русанов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 248 с.
89. Тарасенко А.П. Снижение повреждения зерна при обмолоте / А.П. Тарасенко, Н.И. Орехов, А.П. Белоусов // Техника в сельском хозяйстве. – 1974. - № 7 – С. 20-21.
90. Тарасенко А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке /А.П. Тарасенко. – Воронеж: ВГАУ, 2003. –331 с.
91. Тарасенко Р.А. Снижение травмирования семян путем совершенствования процесса их послеуборочной обработки: Дис. канд. техн. наук 05.20.01. – Воронеж ВГАУ, 2006. – 136 с.
92. Терсков Г.Д. О Влиянии скорости движения материала и кинематических факторов на пропускную способность решет с округлыми отверстиями / Г.Д. Терсков // Науч. тр. / ЧИМЭСХ. – 1958. – Вып. 6. – С. 127-174.
93. Терсков Г.Д. Оптимальная скорость воздушного потока в сортировках и построение траектории движения зерна // Сельскохозяйственная машина.-1936. - № 2. – С. 15-18.
94. Тимошенко В.Н. Исследование очистки зерноуборочного комбайна / В.Н. Тимошенко // Науч. тр. / ВИСХОМ. – 1962. – Вып. 35. – С. 77-109.
95. Ульяненко М.А. Совершенствование очистки зерноуборочного комбайна «ДОН-1500» / М.А. Ульяненко // Вклад молодых ученых ЦЧЗ в интенсификацию сельскохозяйственного производства в новых условиях хозяйственного производства в новых условиях хозяйствования: Тез. докл. на

региональной научно – практической конференции молодых ученых 17 – 19 мая 1989 года. – Воронеж, 1989. – С. 155-158.

96. Урайкин В.М. Влияние расположения колосового шнека на качественные показатели ветро-решотной очистки зерноуборочного комбайна / В.М. Урайкин // Науч. тр. / ЧИМЭСХ. – 1975. – Вып. 102. – С. 45-49.

97. Урайкин В.М. Влияние циркулирующих нагрузок на качество работы молотильно–сепарирующих устройств комбайна / В.М. Урайкин, Н.И. Косилов, М.Г. Степичев // Науч. тр. / ЧИМЭСХ. – 1975. – Вып. 96. – С. 22-31.

98. Урайкин В.М. К вопросу процесса образования циркулирующей нагрузки / В.М. Урайкин // Науч. тр. / ЧИМЭСХ. – 1977. – Вып. 131. – С. 56-61.

99. Федоров В.Ф. Повышение пропускной способности очистки зерноуборочного комбайна двухфазного обмолота / В.Ф. Федоров // Науч. тр. / ЧИМЭСХ. – 1974. – Вып. 73. – С. 167-174.

100. Фомин В.И. Зерноуборочные комбайны моделей 815 и 915 фирмы «Интернационал Харвестер» / В.И. Фомин // Тракторы и сельхозмашины. – 1972. - № 11. – С. 47-48.

101. Хроликов В.М. О закономерностях технологического процесса сепарации / В.М. Хроликов, Л.И. Середа // Тракторы и сельхозмашины. – 1981. - № 1. – С. 34-38.

102. Чазов С.А. Пути снижения механических повреждений / С.А. Чазов, З.И. Воцкий // Зерновое хозяйство. – 1983. - № 6. – С. 27-29.

103. Чаленко В.В. Анализ работы очистки зерноуборочного комбайна с центробежными и диагональными вентиляторами / В.В. Чаленко // Записки Ленинградского с.-х. ин-та. – 1968. – Т. 119, Вып. 1. – С. 36-42.

104. Чудин Е.И. Тенденции развития комбайнирования за рубежом / Е.И. Чудин. – М.: Колос, 1979. – 17 с.

105. Чумаченко И.Я. К вопросу о выносе зерна с решет очистки в колосовой шнек комбайна // Вопросы механизации и электрификации сельскохозяйственного производства. Сб. научн. тр./ ВНИИМЭСХ – Ростов - на - Дону, 1969. Вып. 12 – С. 143-152.

106. Чумаченко И.Я. Потери и дробление зерна при повторном обмолоте колосового вороха в комбайне СК-4 / И.Я. Чумаченко, К.Е. Таликадзе // Вопросы механизации и электрификации сельскохозяйственного производства / ВНИИМЭСХ. – 1969. – Вып. XI. – С. 166-175.
107. Шабанова Л.В. Результаты полевых испытаний нового жалюзийного решета воздушно-решетной очистки зерноуборочного комбайна / Л.В. Шабанова // Комплексная механизация и автоматизация с.-х. производства. – Ростов-на-Дону, 1977. – С. 87-89.
108. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972. – 382 с.
109. Шпокас Л. И. Исследование работы колосового элеватора комбайна СК-5 «Нива» на холмистых полях / Л.И. Шпокас // Науч. тр. / Литовская с.-х. академия. – XXVI. – С. 24-30.
110. Шпокас Л.И. Исследование очистки на холмистых полях / Л.И. Шпокас, И.И. Енцюс // Науч. тр. / ЧИМЭСХ. – 1976. – Вып. 111. – С. 78-82.
111. Эйгер М.И. Выделение зерна из вороха на решетных сепараторах / М.И. Эйгер // Науч. тр. / ВНИИМЭСХ. – 1970. – Вып. 13. – С. 144-149.
112. Ямпиров С.С. Технологические и технические решения проблемы очистки зерна решетками.- Улан – Удэ: Издательство ВСГТУ, 2004. 165с.
113. Ярмашев Ю.Н. Повышение технического уровня зерноуборочных комбайнов (обзор и анализ конструкций зерноуборочных комбайнов) / Ю.Н. Ярмашев, А.И. Русаков // Науч. тр. / ЦНИИТЭИ по тракторному и сельскохозяйственному направлению. – М., 1981. – 54 с.
114. Bordon L.L. Development of the MF cascade shock / L.L. Bordon, F.D. Sumson, T.S. Robinson // Trans A.S.A.E. – 1971. – № 3 – S. 49-55.
115. Doge K. Das neue reinigungs geblase des Mahdreschers E-516 // K. Doge, G. Manig // AgrartechnikR. – 1979. – V.29, № 8. – S. 343-345.
116. Hamilton A. Approaches to the problem of Rombinegrain loss on sloping / A. Hamilton, M. Butson // J. Agr. Eng. Res. – 1979. - № 24. – S. 12-14.
117. Patent 2037446 (BRD). Mahdreschor. 1969.

Patent 328533 (British). Combine Harvesters 1962.