

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**ГОЛОВЕНКО ЮРІЙ ПАВЛОВИЧ**

УДК631.354:633.1

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ**

**СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНА**

(тема роботи)

208 «Агроінженерія»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр  
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело \_\_\_\_\_

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Сукманюк Олена Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.і.н., доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2022

## АНОТАЦІЯ

Головенко Ю.П. Удосконалення технологічного процесу сепарації зерна. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

Робота присвячена проблемі покращення і модернізації конструкції для підвищення продуктивності і якості очищення зерна. Нові технічні рішення для реалізації процесу рівномірного розподілу зернового вороху на робочих органах решітних зерноочисних машин, дозволяє підвиити ефективність сепарування зерна.

**Ключові слова:** зерновий ворох, сепарація, технологічний процес, зерноочисна машина, удосконалення, ефективність.

## ABSTRACT

Improvement of the technological process of grain separation. Qualifying work for a master's degree in specialty 208 - Agroengineering. - Polissia National University, Zhytomyr, 2022.

The work is devoted to the problem of improving and modernizing the design to increase the productivity and quality of grain cleaning. New technical solutions for the implementation of the process of uniform distribution of the grain pile along the width of the working bodies of the sieve grain cleaning machines allow to increase the efficiency of grain separation.

**Key words:** grain heap, separation, technological process, grain cleaning machine, improvement, efficiency

## ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ СЕПАРУВАННЯ ЗЕРНА	6
1.1. Характеристика зернового вороху, що надходить на післязбиральну обробку	6
1.2. Аналіз технічних рішень пристроїв зерноочисних машин	7
Висновки по розділу 1	13
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛУ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ НА РОБОЧИХ ОРГАНАХ ЗЕРНООЧИСНОЇ МАШИНИ	14
2.1 Модель процесу подачі зернового матеріалу на робочі органи зерноочисної машини	14
2.2. Дослідження процесу просування зернового вороху в бункері	19
Висновки по розділу 2	25
РОЗДІЛ 3. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	26
3.1. Опис конструкції установки	26
3.2. Методика визначення параметрів зернового вороху в бункері	27
3.3. Методика визначення ушкодження зерна	28
3.4. Визначення ефективності шляхом стабілізації рівня зерна в бункері дозувального пристрою	29
Висновки по розділу 3	34
ВИСНОВКИ	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	36

## ВСТУП

Найважливішим завданням сьогодення є отримання високого валого збирання врожаю та якісна післязбиральна обробка насіння. Очищення, сортування, сушіння, зберігання, вантажні та транспортні роботи є головними складовими частинами післязбиральної обробки. Зерновий ворох включає: дроблене зерно, насіння культурних рослин та бур'янів, полова, окремі колоски та уламки соломи. Всі ці домішки негативно впливають не тільки на якість продовольчого та насіннєвого зерна, але й ускладнюють зберігання. Так як вологість бур'янів перевищує вологість зернової частини врожаю на 30-35 %, то необхідно підвищити посівні якості насіння та своєчасно очищати зерно. З метою отримання якісного насіння необхідно ширше впроваджувати високоврожайні сорти та гібриди, удосконалювати структуру посівних площ та агротехніку та удосконалювати зерноочисні машини.

Для очищення насіннєвого та продовольчого зерна застосовують різноманітні зерноочисні машини, у конструкціях яких є прийнятно-розподільні пристрої. Вони подають зерновий ворох на робочі органи зерноочисної машини. У даний час широкого поширення набули пристрої гравітаційного типу, але такі пристрої часто не забезпечують рівномірність подачі зернового вороха на робочих органах зерноочисної машини. Тому підвищення ефективності процесу розподілу матеріалу на робочих органах за рахунок удосконалення конструкції та обґрунтування параметрів приймального пристрою зерноочисної машини є важливим завданням.

Підвищення ефективності процесу розподілу матеріалу на робочих органах решітних зерноочисних машин неможливо без знань закономірності розподілу зернового вороху в прийнятно-розподільчому пристрої, а тому тема роботи актуальна.

При побудові фундаменту наукових основ теорії взаємовпливу робочих поверхонь різних механізмів та матеріалів, внесли відомі вчені, як Дерев'янку Д.А., Василенко П.М., Головач І.В., Дринча В.М., Гончаров Е.С. Заїка П.М., Тіщенко Л.М. Фадєєв Л.В., Чазов С.А. [1-10 ] та ін.

Питаннями підвищення рівномірності розподілу та зниження травмування зерна прийнятно-розподільчими пристроями зерноочисних машин займалися та продовжують займатися такі вчені, як: Адамчук В.В., Дерев'янку Д.А., Стирона І.Г. [11-14] та ін.. Процеси розподілу зернового вороху по ширині робочих органів зерноочисної машини розглядалися у працях Тарасенко А.П., Оробінський В.І. [15-16] та ін.

Відповідно до викладеного, у кваліфікаційній роботі сформульовано **мету дослідження**: підвищити рівномірність розподілу зернового матеріалу

на робочих органах решітної зерноочисної машини при сході з приймального пристрою методом підтримання необхідного рівня зерна в бункері дозуючим пристроєм.

**Об'єкт дослідження:** процес подачі і розподілу зернового вороху приймальним пристроєм на робочих органах решітної зерноочисної машини.

**Предмет дослідження:** закономірності розподілу зернового вороху по поверхні приймального пристрою решітної зерноочисної машини.

**Методи дослідження:** теоретичні дослідження проведено на основі методів теоретичної механіки, диференціювання та інтегрального обчислення. Для проведення розрахунків використовувались сучасні технічні засоби з програмним забезпеченням.

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано тези у Збірнику доповідей учасників науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. та збірнику матеріалів науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2022».

**Обсяг та структура роботи.** Робота складається із вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 37 сторінках машинописного тексту, містить 18 рисунків, списку використаних джерел з 23 найменувань.

## РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ СЕПАРУВАННЯ ЗЕРНА

### 1.1. Характеристика зернового вороху, що надходить на післязбиральну обробку

Середньосезона вологість свіжо збираного зерна складає 18-23% в залежності від підзони і умов конкретного року. Вологість окремих партій зерна, що надходить на обробку, може коливатися від 9% в сухі періоди до 36% в кінці збирання в несприятливі сезони. Засмідченість зерн також висока – в середньому 8-10% і коливається від 3% при вологості зерна 16-20% і до 20% у вимоковологі парті зерна.

Складні умови збирання і післязбиральної обробки зерна вимагає чіткої і правильно організації при виконанні робіт з очищення, сушіння і зберігання зерна, ефективного використання в господарстві машин і обладнання з дотриманням всіх вимог, передбачених спеціальними ДСТУ на якість обробки зерна [17].

Зернова маса, що надходить на обробку від комбайнів, володіє підвищеною вологістю і забрудненістю містить насіння основної культури, інших культур, бур'янів та домішок органічного і мінерального походження, а також дефектні ((щуплі, биті, роздроблені та ін) зерна основний культури. Тому основне призначення післязбиральної обробки – збереження збираного врожаю та доведення зернового матеріалу до необхідної якості шляхом видалення зайвої вологи, насіння інших культур, дефектного зерна, бур'янів та різних домішок.

За своїм призначенням зерно поділяється на продовольче, фуражне, технічне та насіннєве.

Якість кожного з них встановлюється спеціальними стандартами. Структура зерново маси забезпечує легку рухливість, тобто, сипкість. Добра сипкість зернових мас дозволяє досить швидко переміщати їх за допомогою норій, конвеєрів та пневмотранспортних установок, завантажувати в різні за розмірами та формою зерносклади та переміщувати їх, використовуючи принцип самопливу.

Зазвичай сипкість характеризується кутом тертя.

Під кутом тертя розуміють найменший кут, у якому зернова маса починає ковзати будь-якої поверхні. Чим менше значення даного кута, тим легше просування продукту.

Розрізняють продукти легкосипкі та важкосипкі. У легкосипких продуктів сили тяжіння між частинками незначні, і вони легко опускаються

під впливом сили тяжіння . Характерними представниками таких продуктів є: зерно пшениці, ячменю, жита, кукурудзи, просо, сої, гороху та ін.

Зв'язок на поверхні частинок легкосіпких продуктів характеризуються коефіцієнтом внутрішнього тертя, тобто тертя зерна об один одного. В залежності від культури та стану зернової маси по вологості, засміченості та інших ознак значення коефіцієнта внутрішнього тертя значно відрізняється.

Зв'язок для важко сіпких продуктів характеризується коефіцієнтом зчеплення. Сили зчеплення тут досить високі та перешкоджають вільному спусканню. До таких продуктів можна віднести борошно, крохмаль, шрот, різні гранульовані сипучі матеріали. Якщо в масі поряд з великими частинками знаходяться маленькі (розміром менше 0,25 мм) між частинками виникає зчеплення, що призводить до зниження сипучості.

Основні показники ефективності післязбиральної обробки зерна – кількість втрат, питомі матеріальні, енергетичні, трудові витрати та якість кінцевої продукції, що залежать від кількісних та якісних показників вихідного зернового вороху, тривалості термінів збирання, рівномірності надходження матеріалу від комбайнів у різні періоди доби, а також техніко-технологічної досконалості матеріально-технічної бази та раціонального її використання.

З підвищенням вологості та засміченості зернового вороху у значній мірі зменшується продуктивність зерноочисних машин та сушарок, збільшуються втрати, і знижується якість кінцевої продукції.

Для отримання насіння потрібно якості необхідно очищати, сортувати і калібрувати зерновий матеріал. Під час очистки із зернового вороху виділяються сторонні домішки, а саме щуплі та дроблені зерна. Після цього зерно сортують і розділяють за якістю і призначенням. Під час всіх процесів важливо як менше травмувати насіннєвий матеріал, так як це знижує польову схожість.

## **1.2. Аналіз технічних рішень пристроїв зерноочисних машин**

Зерноочисні машини призначені для очищення зернового вороху різних культур з доведенням його до продовольчих кондицій. Вони поділяються на стаціонарні та пересувні машини.

Стаціонарні зерноочисні машини використовують на зерноочисних комплексах та агрегатах, а пересувні зерноочисні машини використовуються для очищення зерна на відкритих майданчиках, під навісом та в зерносховищах.

За типом робочих органів та призначенням зерноочисні машини поділяються на два види: машини загального призначення та спеціальні.

Машини загального призначення бувають чотирьох типів: повітряні, повітряно-решітні, трієрні та повітряно-решітнотрієрні машини, які використовують при первинному та вторинному очищенні насіння зернових, бобових культур. Спеціальні машини застосовують при очищенні зерна від домішок, які неможливо відокремити на машинах загального призначення, до таких належать: пневматичні сортувальні столи, діелектричні та фрикційні сепаратори, електромагнітні машини та ін.

Подання зернового матеріалу на робочі органи зерноочисних машин здійснюється за допомогою приймальних пристроїв.

Приймальні пристрої повинні забезпечувати оптимальну завантаження робочих органів зерноочисних машин. Подання оброблюваного матеріалу необхідно підтримувати у необхідній кількості, тобто підтримувати безперервне надходження зернового матеріалу протягом часу та рівномірно заповнювати ширину робочих органів зерноочисних машин.

Основне завдання приймального пристрою зерноочисної машини полягає в забезпеченні номінально продуктивності, можливості коригування номінальної продуктивності та рівномірного розподілу матеріалу на робочих органах [4].

Застосовувані в даний час пристрої для подачі та розподілу зернового матеріалу у зерноочисних машинах можна розділити на 3 групи: приймальні пристрої примусової дії (рис.1.1), гравітаційної дії (рис. 1.2) та комбінованої дії (рис. 1.3).

У приймальних пристроях примусової дії (рис. 1.1) розподіл за шириною приймальної камери та подання зернового вороху на робочі органи зерноочисної машини здійснюється тільки за рахунок активnodіючих робочих органів, яким відносяться розподільні шнеки, що живлять валикі, вібрлотки, ворушилки тощо. Використання активnodіючих робочих органів дозволяє рівномірно розподіляти зернову купу по ширині сепаруючої поверхні зерноочисних машин, але такі машини значно травмують зерновий матеріал.

До приймальних пристроях примусової дії відносяться розподільні пристрої шнекового, барабанного, стрічкового та вібраційного типів. Як правило, розподіл зернового вороха всередині приймальної камери здійснюється шнековими пристроями, а подача – відбувається за рахунок живильних валиків, коливальних лотків, стрічкових та шнекових транспортерів.

Приймальні пристрій складається з кожуха, напірнорозподільного шнека та пружного клапана (рис. 1.1ж). У таких пристроях просування оброблюваного матеріалу від місця завантаження до протилежного кінця відбувається за рахунок обертання шнека.



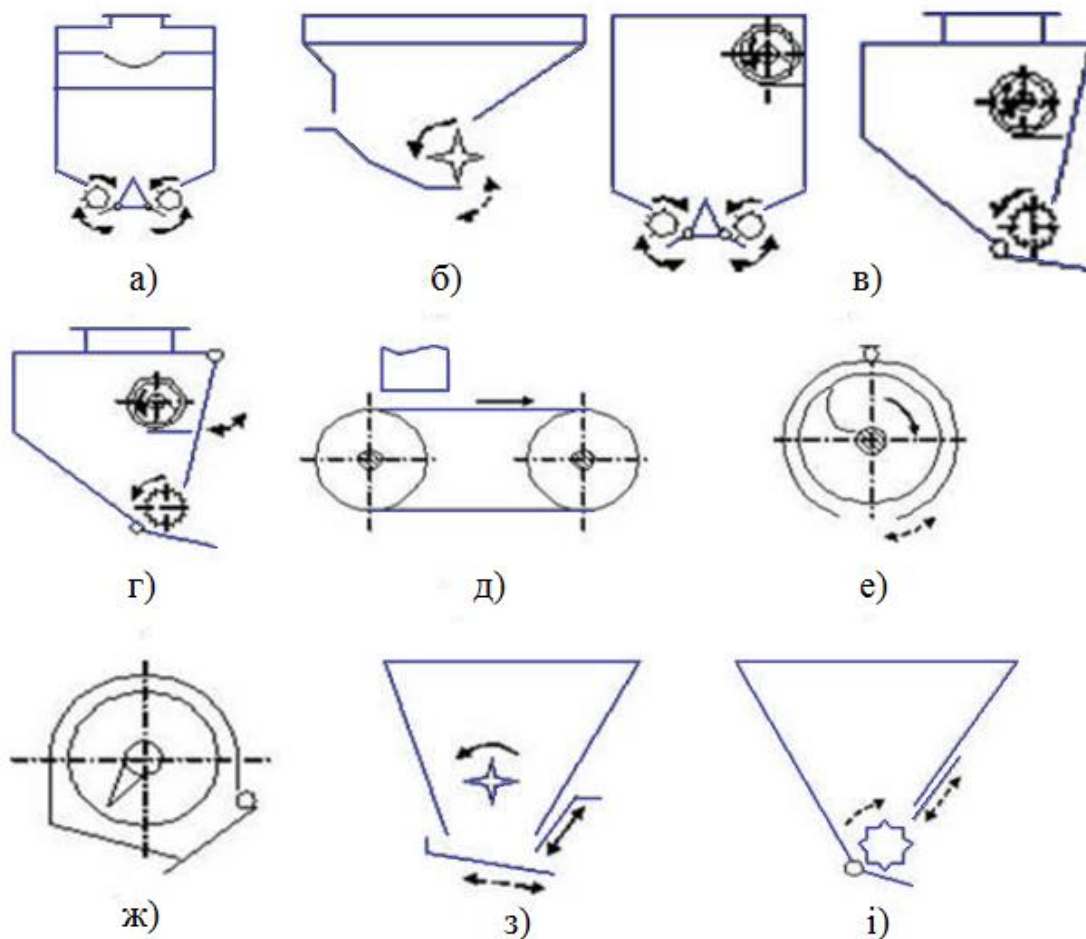


Рисунок 1.1 – Приймальні пристрої примусово дії: а) живильний валик і регулювальний клапан; б) живильний валик і коливальний лоток; в) розподільчий шнек, живильний валик і клапан; г) розподільчий шнек, коливальний лоток і живильний валик; д) стрічково живильно-розподільчий пристрій; е) розподільчий шнек і регулювальний клапан; ж) напірнорозподільчий шнек і клапан; з) ворошилка, коливальний лоток і регулювальна засувка; і) живильний валик і регулювальна засувка.

Подання матеріалу на робочі органи зерноочисної машини здійснюється підпружиненим клапаном, який закритий до того часу, поки матеріал не досягне торцевої стінки живильника. Як тільки це відбувається, тиск на клапан зростає і він відкривається. Для рівності надходження зернового вороху та подачі його в зерноочисну машину використовується регульоване зусилля притискання клапана. Приймальний пристрій сприяє травмуванню насіння, впливає на рівномірний розподіл зернового вороху по ширині сепарувальної поверхні зерноочисної машини за рахунок режиму роботи живильника-розподільника, а саме від кількості надходженого зернового матеріалу, сили притискання клапана та тиску, створюваного всередині камери приймального пристрою. Зі збільшенням сили притискання

клапана та подачі матеріалу до приймального пристрою збільшується рівномірність завантаження решітного стану зерноочисної машини. Навіть за оптимальних умовах роботи машини, після проходження матеріалу через розподільний шнек, травмування насіння зростає на 1,5% [19].

Використання приймальних пристроїв вібрлоткового типу (рис. 1.13, 1.1i) дозволить знизити травмування зернового матеріалу. Однак, для рівномірного розподілу зернового матеріалу по ширині робочих органів, такі пристрої потребують великої точності установки кутів нахилу лотків та вібраційного приводу, що суттєво ускладнює конструкцію зерноочисної машини.

У приймальних пристроях гравітаційного типу (рис. 1.2) розподіл зернового вороху здійснюється тільки за рахунок дії гравітаційних сил. Такі приймальні будови погано витримують рівномірний розподіл на робочій частині машини, тобто вони працюють тільки з добре сипучим матеріалом, який пройшов первинне очищення. Головна перевага гравітаційних приймальних пристроїв полягає в тому, що вони практично не травмують зерновий матеріал [20].

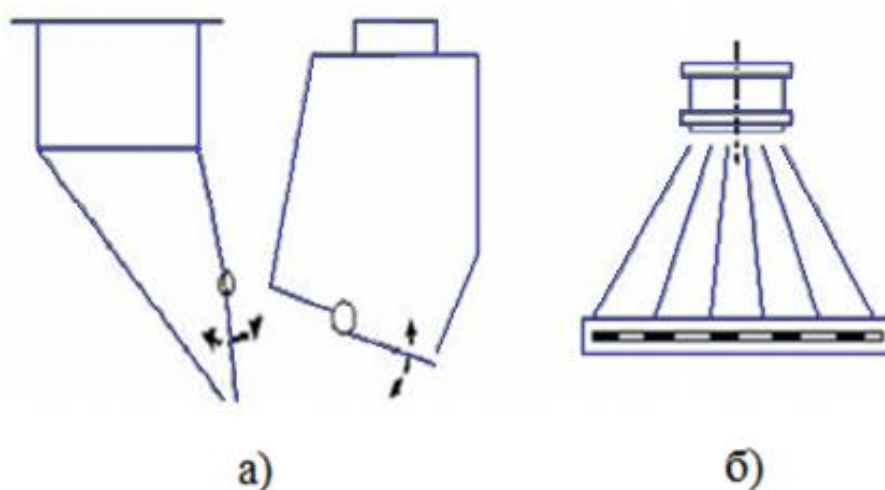


Рисунок 1.2 – Приймальні пристрій гравітаційного типу: а) – бункерне приймальний пристрій з гравітаційним клапаном; б) – скатні площини.

До групи гравітаційних пристроїв входять бункерні пристрої з гравітаційним клапаном (рис. 1.2а) скатні площини (рис. 1.2б),.

Пасивні пристрої, а саме скатні площини, сітки, встановлені похило і безпосередньо в каналі, дуже прості за пристроєм, мають невеликі габаритні розміри і не потребують додаткового приводу.

Але має ряд недоліків, основним з яких є слабке розпушення і розшарування зернового вороху, що надходить та не призводить до оптимальних умов сепарації. Також цей спосіб не забезпечує рівномірного

розподілу матеріалу за шириною сепаруючої поверхні та герметичність пристрою введення.

Скатні розподільні пристрої широко використовуються через простоту власної конструкції. Перевагою таких пристроїв є те, що вони практично не травмують зерновий матеріал, однак мають суттєвий недолік: працюють тільки за малої продуктивності та з матеріалом, що пройшов попереднє очищення.

Бункерні приймальні пристрої з підпружиненим або вантажним клапаном застосовуються на зерноочисних машинах з невеликою шириною робочих органів.

Використання таких пристроїв дозволяє мінімізувати пошкодження зернового матеріалу через відсутність активних робочих органів. Головним недоліком механізмів зі статичним накопиченням зерна над клапаном є те, що вони мають тенденцію до порційного випуску зернового матеріалу. Принцип роботи таких пристроїв полягає в наступному: зерно подається через приймальний патрубок та накопичується в камері до певного рівня, як тільки тиск досягає величини, що перевищує протитиск вантажів, відкривається клапан та подає зерно на робочі органи зерноочисної машини.

Подальша зміна зазору між клапаном і напрямним схилом визначається зміною кількості зерна у камері [21].

У приймальних пристроях комбіновано дії (рис. 1.3) в основному розподіл матеріалу всередині приймальної камери відбувається за рахунок активних робочих органів, а подача матеріалу здійснюється під дією гравітаційних сил.

Гравітаційний клапан встановлений на дні приймальної камери цих пристроїв і відкривається під дією сили тяжіння зернового матеріалу, що знаходиться всередині цієї камери

У приймальних пристроях комбінованого типу (рис.1.3) використані обидва принципи розподілу та подачі матеріалу. В основному в таких пристроях розподіл зернового вороху відбувається всередині приймальної камери за рахунок активних робочих органів, а подача матеріалу на сепарувальну поверхню, відбувається через гравітаційний клапан. До активних пристроїв відносяться вібралотки, живильні рифлені валики та ін. Активними пристроями можливо в певних межах регулювати швидкість та кут подачі зернового матеріалу, а також попередньо розшарувувати купу перед подачею до каналу. Це дозволяє покращити сепарацію та підвищити ефективність поділу. Іноді використовуються схеми, в яких матеріал розподіляється всередині приймальної камери розподільними лотками за рахунок гравітаційних сил, а подача здійснюється за допомогою коливальних лотків.

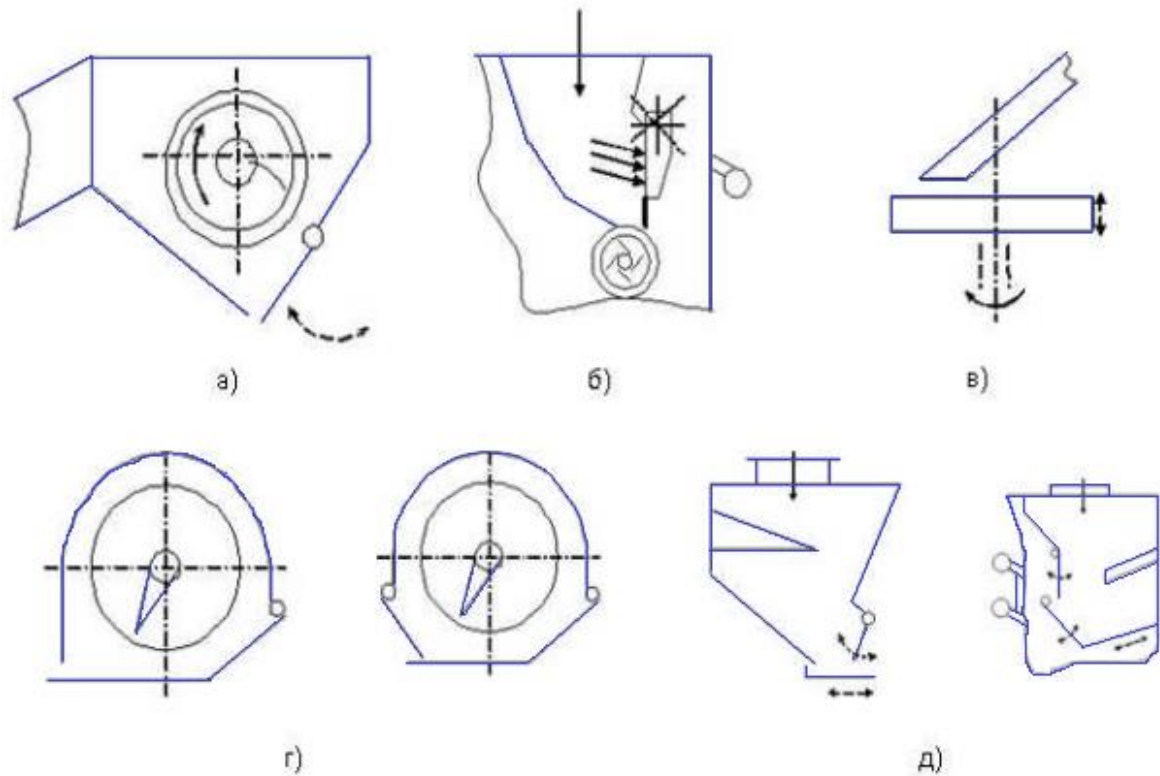


Рисунок 1.3. – Приймальний пристрій комбіновано дії: а) – розподільчий шнек і гравітаційний клапан; б) – живильний валик і коливаючі заслінка; в) – тарільчатий розподільчатий пристрій; г) розподільчий шнек і гравітаційний клапан; д) – розподільчий лоток (двохсторонній схил), коливальний лоток і двохклапаний механізм.

Приймальні пристрої комбінованої дії застосовуються на зерноочисних машинах первинного та вторинного очищення.

За рахунок заміни частини активно діючих робочих органів приймальних пристроїв примусової дії на пристрої без активного впливу на оброблюваний матеріал дозволило знизити пошкодження зерна цими пристроями. Стабільність подачі матеріалу в зерноочисні машини в заданих межах можна регулювати автоматично.

Комбінований приймальний пристрій вібралоткового типу незначно травмує зерновий матеріал, проте для рівномірного розподілу матеріалу за шириною робочих органів зерноочисної машини необхідно точно встановлювати кути нахилу лотків та вібраційного приводу, а це суттєво ускладнює конструкцію зерноочисних машин [6].

Проведений аналіз приймальних пристроїв показав, що використання активних пристроїв введення зернової суміші дозволяє в необхідних межах змінювати швидкість та кут введення зернової суміші, попередньо розшарувувати суміш перед подачею в канал, покращити умови сепарації та підвищити ефективність поділу. Однак застосування даних пристроїв не

знижує рівень травмування матеріалу. Найбільш перспективними є приймальні пристрої гравітаційного типу, так-як вони практично не травмують оброблюваний матеріал.

### **Висновки по розділу 1**

Приймальні пристрої, які використовуються в даний час мають ряд суттєвих недоліків та потребують подальшого вдосконалення. Кожен пристрій має свої переваги та недоліки, але найбільш вагомим недоліком у більшості пристроїв є наявність активних робочих органів, що травмують зерно. Тому, з проведеного аналізу приймальних пристроїв було встановлено, що найбільш перспективними для вдосконалення є пристрої для розподілу зернового вороху.

## РОЗДІЛ 2.

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛУ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ НА РОБОЧИХ ОРГАНАХ ЗЕРНООЧИСНОЇ МАШИНИ

#### 2.1 Модель процесу подачі зернового матеріалу на робочі органи зерноочисної машини

Процес подачі зернового матеріалу на робочі органи зерноочисної машини приймальним пристроєм гравітаційного типу значною мірою визначається параметрами вороха в бункері. При подачі зерна в бункер із зернопроводу воно потрапляє у певне місце де по мірі накопичення утворює конус із зернової маси з кутом природного скосу, а в нижній частині зерно під тиском шару розподіляється відповідно до конфігурації основи приймального пристрою [2, 13].

Початкове місце подачі зернового вороху до приймального пристрою значною мірою визначається кутом нахилу зернопроводу (кутом подачі) до горизонту (рис. 2.1).

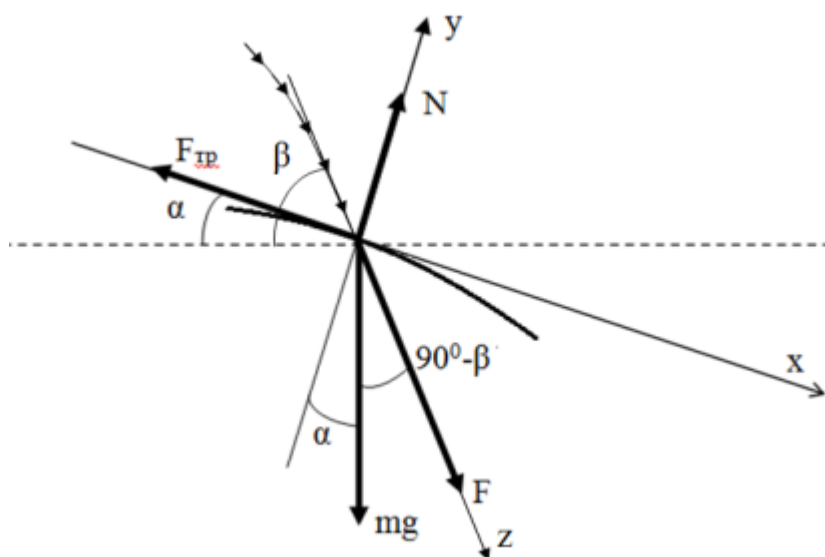


Рисунок 2.1. – Сили, що діють на частинки в момент дотику її з формуємим зерновим ворохом

Розглянемо, як впливає кут подачі матеріалу до приймального пристрою зерноочисної машини на формування у ньому вороху зерна. На першому етапі розглянемо траєкторію польоту зернівок з подаючого патрубку до приймального пристрою зерноочисної машини та її вплив на зернову купу. Умовно приймаємо, що зернівка має форму кулі. На рис. 2.1 показано схему сил, що діють на частинку в момент зіткнення її з поверхнею вороха зерна, що формується. При падінні частинок на купу, зерна у

приймальному пристрої стикаються з похилою поверхнею та ковзають по ній.

Для визначення кута зісковзування частинок з похилої площини, спроектуємо сили на вісь  $x$ :

$$m \cdot g \cdot \sin\alpha + F \cdot \sin(90^\circ - \beta + \alpha) - F_{\text{тр}} = 0,$$

де  $m$  – маса частинки (кг);  $g$  – прискорення вільного падіння (м/с<sup>2</sup>);  $F$  – сила, з якою зерно діє на елемент вороху при падінні (Н),  $F_{\text{тр}}$  – сила тертя (Н),  $\alpha$  – кут дотичної до вороху з горизонтом, град.;  $\beta$  – кут дотично до траєкторії падіння частинки до горизонту, град [1, 18].

Враховуючи, що

$$\sin(90^\circ - \beta + \alpha) = \cos(\beta - \alpha),$$

$$F_{\text{тр}} = f \cdot N,$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя;  $N$  – нормальна реакція (Н).

Отримуємо

$$m \cdot g \cdot \sin\alpha + F \cdot \cos(\beta - \alpha) - f \cdot N = 0, \quad (2.1)$$

Нормальну реакцію визначимо із рівняння проекції сил на вісь  $y$ :

$$N - m \cdot g \cdot \cos\alpha - F \cdot \sin(\beta - \alpha) = 0,$$

звідки  $N = m \cdot g \cdot \cos\alpha + F \cdot \sin(\beta - \alpha)$ .

Тоді рівняння (2.1) прийме вигляд:

$$m \cdot g \cdot \sin\alpha + F \cdot \cos(\beta - \alpha) - f \cdot (m \cdot g \cdot \cos\alpha + F \cdot \sin(\beta - \alpha)) = 0, \quad (2.2)$$

Розкриваючи лапки і застосовуючи елементарні тригонометричні тотожності:

$$m \cdot g \cdot \sin\alpha + F \cdot \sin\beta \cdot \sin\alpha + F \cdot \cos\beta \cdot \cos\alpha - f \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha - f \cdot F \cdot \sin\beta \cdot \cos\alpha + f \cdot F \cdot \cos\beta \cdot \sin\alpha = 0.$$

Розділивши отримані півності на  $\cos\alpha$ , отримаємо співвідношення:

$$m \cdot g \cdot \operatorname{tg}\alpha + F \cdot \cos\beta + F \cdot \sin\beta \cdot \operatorname{tg}\alpha - f \cdot m \cdot g - f \cdot F \cdot \sin\beta + f \cdot F \cdot \cos\beta \cdot \operatorname{tg}\alpha = 0.$$

Із отриманої рівності визначимо  $\operatorname{tg}\alpha$ :

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{f \cdot m \cdot g + f \cdot F \cdot \sin\beta - F \cdot \cos\beta}{m \cdot g + F \cdot \sin\beta + f \cdot F \cdot \cos\beta}.$$

Сила  $F$ , з якою зерно при падінні діє на елемент вороху, визначається за формулою:

$$F = \rho \cdot s \cdot V^2,$$

де  $\rho$  – густина зерна (кг/м<sup>3</sup>),  $s = \pi \cdot r^2$  – площа поперечного перетину зерна (м<sup>2</sup>),  $r$  – радіус зерна (м),  $V$  – швидкість падіння зерна (м/с).

Враховуючи, що  $m = \rho \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$ , отримаємо

$$tg\alpha = \frac{f \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 g + f \cdot \rho \cdot s \cdot V^2 \cdot \sin\beta - \rho \cdot s \cdot V^2 \cdot \cos\beta}{\frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot g + \rho \cdot s \cdot V^2 \cdot \sin\beta + f \cdot \rho \cdot s \cdot V^2 \cdot \cos\beta}$$

або

$$tg\alpha = \frac{f \cdot \frac{4}{3} r \cdot g + f \cdot V^2 \cdot \sin\beta - V^2 \cdot \cos\beta}{\frac{4}{3} r \cdot g + V^2 \cdot \sin\beta + f \cdot V^2 \cdot \cos\beta} \quad (2.3)$$

Отриманий вираз дозволяє визначити зміну тангенсу кута тертя частинок по вороху залежно від швидкості падіння частинок.

На рис. 2.2 показано залежність тангенсу кута тертя від швидкості падіння частинок на поверхню вороху при різних кутах нахилу щодо траєкторії падіння в точці зустрічі частинки з поверхнею.

Так, при кутах подачі частинок  $65^\circ$ ,  $70^\circ$  спостерігається від'ємний кут тертя, тобто, тертя відсутнє повністю. У цьому випадку частки рухаються за інерцією, суттєво зміщуються в один бік, утворюючи при цьому несиметричне наповнення. При кутах подачі  $75^\circ$ ,  $80^\circ$  тангенс кута тертя має значення вище нуля, у цьому випадку тертя уповільнює рух частинки по поверхні, не даючи їй сильно зміщуватися убік від місця падіння. З наведених результатів видно, що кут тертя практично не залежить від кута подачі при швидкості понад 1,5 м/с. При аналізі процесу швидкість падіння частинок знаходиться в діапазоні понад 1,5 м/с.

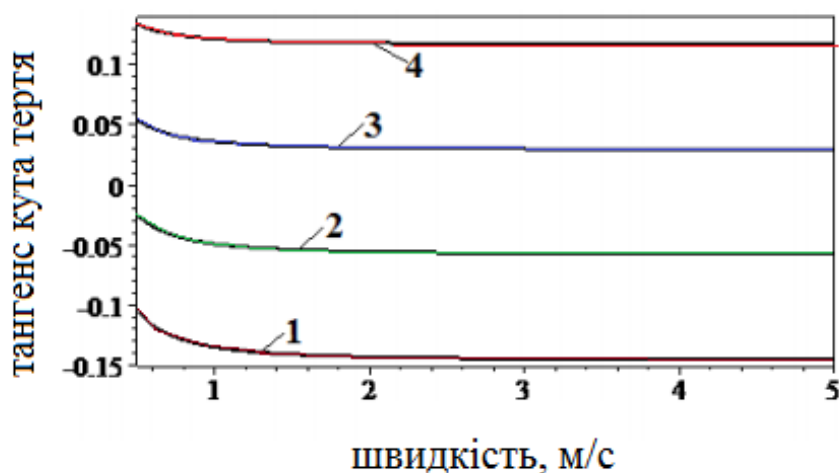


Рис. 2.2 – Залежність тангенсу кута тертя від швидкості падіння частинки: 1 – кут подачі частинки  $65^\circ$ ; 2 – кут подачі частинки  $70^\circ$ ; 3 – кут подачі частинки  $75^\circ$ ; 4 – кут подачі частинки  $80^\circ$ .

На рис. 2.3 показано залежність тангенсу кута тертя від кута нахилу дотичної до траєкторії падіння в точці зустрічі частки з поверхнею за  $V=2$  м/с.

З рис. 2.3 видно, що із збільшенням кута нахилу падіння частки тангенс кута тертя зменшується і при  $73^\circ$  повертається до 0. Таким чином, в зоні падіння частинок на вершині вороху має утворюватися практично горизонтальний майданчик, яким частинки будуть переміщатися за рахунок



горизонтальної складової швидкості падіння. Чим вища ця складова, тим більша асиметрія буде спостерігатися в розташуванні вороха.

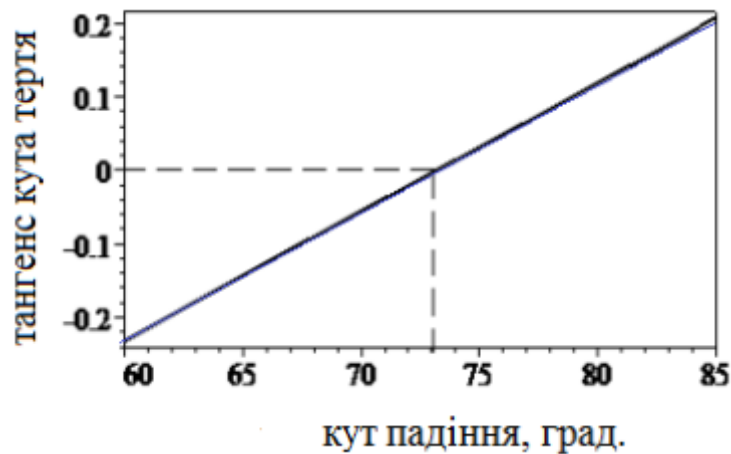


Рисунок 2.3 – Залежність тангенса кута тертя від кута нахилу дотичної до траєкторії падіння частинки

Точніше визначення кута падіння, при якому тангенс кута тертя повертається в 0, може бути отримано прирівнюванням правої частини рівності (2.3) до нуля, що приводить до рівняння відносно кута  $\beta$ :

$$f \cdot \frac{4}{3} \cdot r \cdot g + f \cdot V^2 \cdot \sin\beta - V^2 \cdot \cos\beta = 0.$$

Поділивши на  $V^2$  і на нормований множник  $\sqrt{1+f^2}$ , отримаємо

$$\frac{4 \cdot f \cdot r \cdot g}{V^2 \cdot \sqrt{1+f^2}} + \frac{f \cdot \sin\beta}{\sqrt{1+f^2}} - \frac{\cos\beta}{\sqrt{1+f^2}} = 0. \quad (2.4)$$

Ввівши додатковий кут  $\varphi$ , визначаємо співвідношення

$$\cos\varphi = \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}, \quad \sin\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+f^2}},$$

В результаті перетворень отримаємо:

$$\beta = \varphi - \arcsin \frac{4 \cdot f \cdot r \cdot g}{V^2 \cdot \sqrt{1+f^2}}.$$

Приймаючий бункер, розбивається по ширині на досить велику кількість частин, в яких надалі накопичуватиметься кількість зерен, що надходить. Якщо різниця між висотою зернового стовпа перевищує кут природного скосу, то частка пересипається в сусідню частину бункера і видаляється з неї. При цьому враховується, що кут природного скосу збільшується від нуля до цілком певного значення в міру віддалення частини розбиття від зони завантаження. Крім того, враховується той факт, що за мірою наповнення бункера, змінюються координати точки завантаження, кут попадання на верхню частину вороху, швидкість і, як наслідок, її горизонтальна складова, що впливає на прояви асиметрії форми вороха.

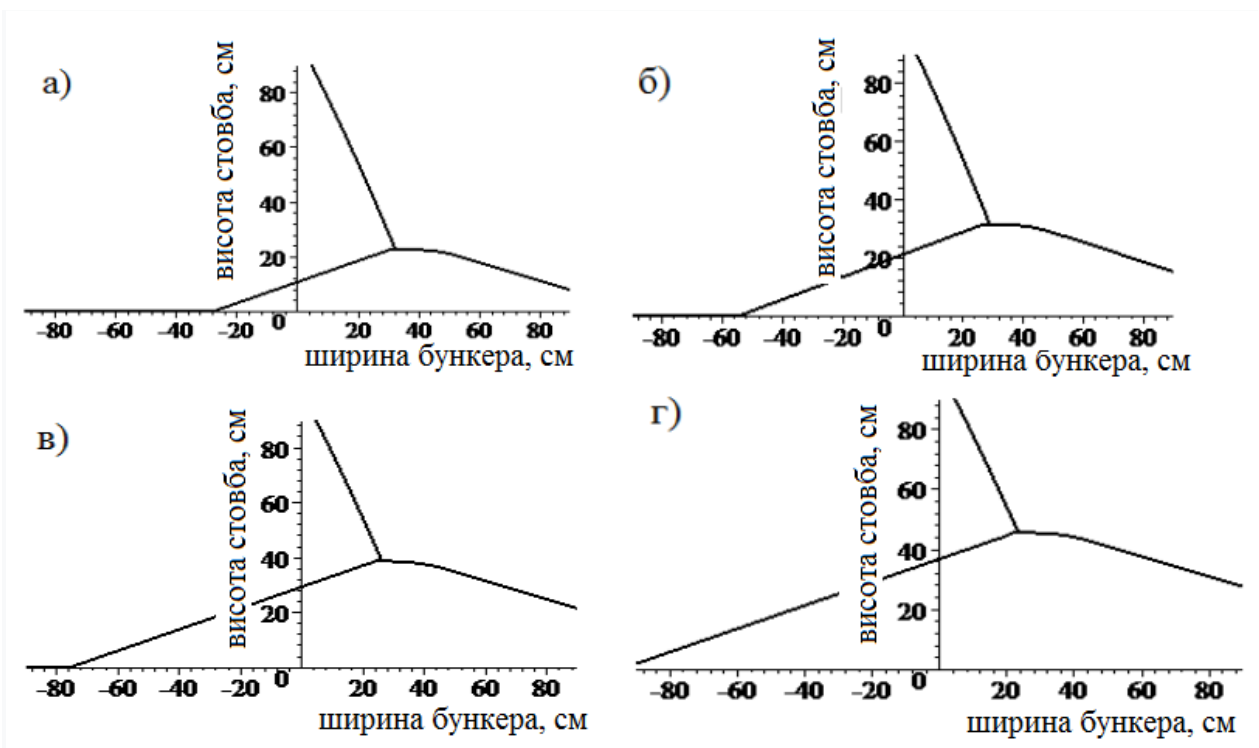


Рисунок 2.4 – Процес формування зернового вороха в бункері на різній висоті: а) висота вороха 25 см; б) висота вороха 35; в) – висота вороха 40 см; г) – висота вороха 45 см.

Етапи заповнення ворохом, з урахуванням запропонованого вище алгоритму зображені на рис. 2.4. Вони є візуалізацією рішення системи рівнянь польоту разом із зазначеним вище порядком перерозподілу частинок. Кут подачі зернового матеріалу становить  $72^\circ$ , а ширина приймального пристрою дорівнює 1,85 м.

На рис. 2.4а показано початковий етап формування зернового вороху. Зернова купа формується в бункері приймального пристрої зерноочисної машини зі зміщенням щодо центру його (місця введення зерна) на 35 см. Внаслідок чого права частина бункера заповнюється зерном, а ліва частина бункера практично не заповнена. На рис. 2.4б показаний черговий етап заповнення бункера, коли з правої його частини висота зернового вороху стає більшою. При цьому в лівій частині є вільний простір, що становить 30 см. Вершина вороху зміщена від центру бункера на 29 см. На наступному етапі (рисунок 2.4в) показаний процес формування вороху на висоті 40 см. Вершина вороху наближається до центру бункера і знаходиться на відстані 28 см. Проте при такій висоті залишається незаповнена зона в лівій частині бункера, а в правій частині бункера формується шар зерна, що має несуттєву різницю між вершиною вороху та правою стінкою бункера. На рис. 2.4г показаний черговий етап заповнення бункера, коли в лівій його частині висота зернового вороху стає більше нуля, тобто, незаповнені зони відсутні.

Вершина вороху розташована на відстані 25 см від центру бункера приймально-розподільчого пристрою. При цьому в правій частині відбувається вертикальне заповнення і становить 33 см. В лівій та в правій частинах відбувається вертикальне несиметричне заповнення.

На рис. 2.5 показаний процес формування вороху в бункері при різних кутах подачі зерна.

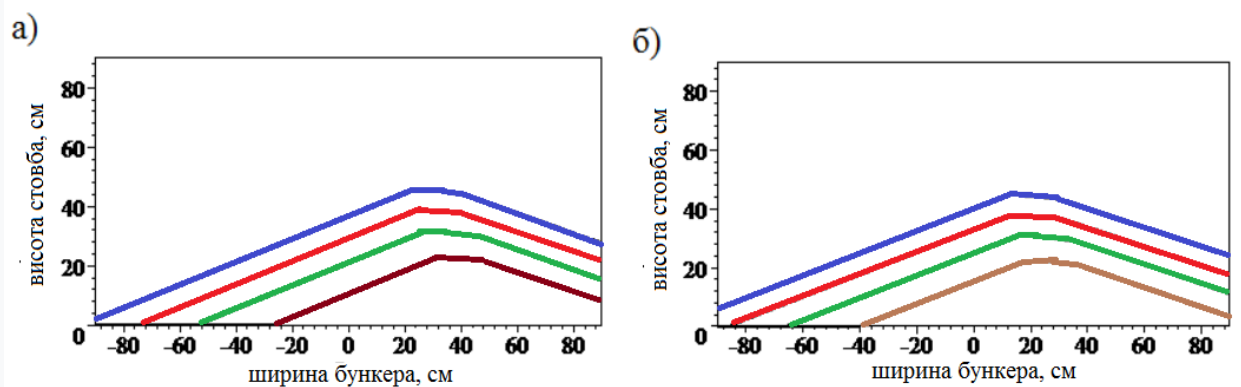


Рисунок 2.5. Процес формування зернового вороху в бункері: а) – при куті подачі  $70^{\circ}$ ; б) – при куті подачі  $85^{\circ}$ .

З рис. 2.5а видно, що з кута подачі  $70^{\circ}$  переважна більшість вороху зосереджується у правій частині бункера приймальноого пристрою зерноочисної машини. Це пояснюється тим, що зернівки надходять із завантажувального патрубку, мають суттєву швидкість руху. За рахунок сил інерції та відсутності тангенсу кута тертя зернівки суттєво зміщуються у праву сторону бункера. При збільшенні кута подачі до  $80^{\circ}$  зернова купа зміщується до центру (рис. 2.5б).

Для забезпечення симетричного вороху в бункері приймально-розподільчого пристрою при похилій подачі необхідно зміщувати місце введення зерна у бункер. При куті нахилу подачі  $70^{\circ}$  зсув має складати 25 ... 27 см, а при куті подачі матеріалу  $85^{\circ}$  зміщення повинно складати 12...14 см.

## 2.2. Дослідження процесу просування зернового вороху в бункері

Процес просування сипких матеріалів з бункерів складний і досі мало досліджений. Просування сипких сумішей залежить від фізико-механічних властивостей, стану поверхонь частинок матеріалу та бункера, геометричних розмірів, форми бункера та отворів. Розглянутий проце в роботі заповнення і просування матеріалу з бункерів поділяється на такі етапи: заповнення бункера; початок просування матеріалу, яке відповідає перехідному періоду; закінчення посування матеріалу, вивантаження. Найбільший інтерес становить процес закінчення просування матеріалу, що має два види – нормальний та гідравлічний. За певних умов можливий змішаний вид

закінчення. При нормальному просуванні рух матеріалу відбувається в межах певного каналу, розташованого над вихідним отвором (рис. 2.6, а б). Весь інший матеріал при цьому залишається в потоці. Цей вид витікання спостерігається у більш зв'язаних матеріалів

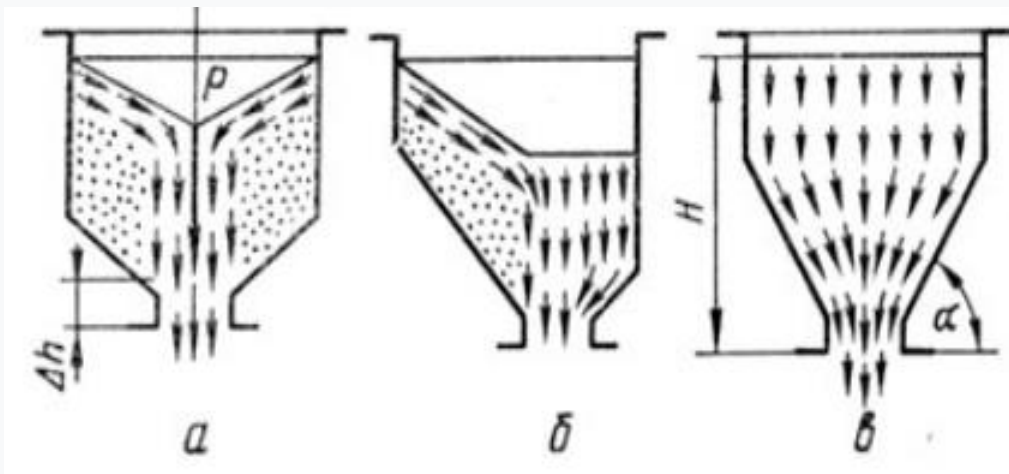


Рисунок 2.6 – Схеми витікання із бункерів: а,б – нормальне витікання; в – гідравлічне витікання

При гідравлічному витіканні (рис. 2.6в) весь матеріал, що знаходиться в бункері, починає рухатись на початку вивантаження. Закінчення через дозувальну щілину відбувається за рахунок обвалення матеріалу в зоні над отвором; дану зону називають обсягом обвалення. Такий вигляд можливий для матеріалів з малим коефіцієнтом внутрішнього тертя при куті нахилу бокових стінок бункра, на 5...10% більшого кута природного скосу вантажу.

Нормальна експлуатація бункерів досягається правильним вибором геометричних параметрів: кута нахилу стінок, розміру вихідного отвору.

Сипуче тіло являє собою поєднання повітря та частинок твердого тіла. Зв'язок між частинками, орієнтація їх у просторі визначаються силами тертя та тяжіння. Сипучі тіла за своїми властивостями займають проміжне положення між твердими та рідкими тілами. Сипучі тіла так само, як і рідкі, при розташуванні їх у жолоб набувають його форми, а при нахилу жолоба рухаються.

Для аналізу рівномірного розподілу зернового вороху приймально-розподільчим пристроєм по всій ширині робочої частини зерноочисної машини, необхідно з'ясувати, як впливають сили, які діють у бункері, на просування матеріалу через дозуючу щілину.

Рівномірність просування сипучого матеріалу через отвори приймально-розподільчого пристрою в значній мірі залежить від сил, що діють на зерновий ворох в зоні його витікання.

Розглянемо зерновий ворох, що знаходиться в бункері приймально-розподільчого пристрою висотою  $\Delta z$ , довжиною  $b$  і шириною  $h$ . На зернову масу діють наступні сили: сила тяжіння  $F_1$ , сила тиску зернового вороху низу до верху  $F_2$   $F_3$ ; сила тертя  $F_{тр}$  (рис. 2.7).

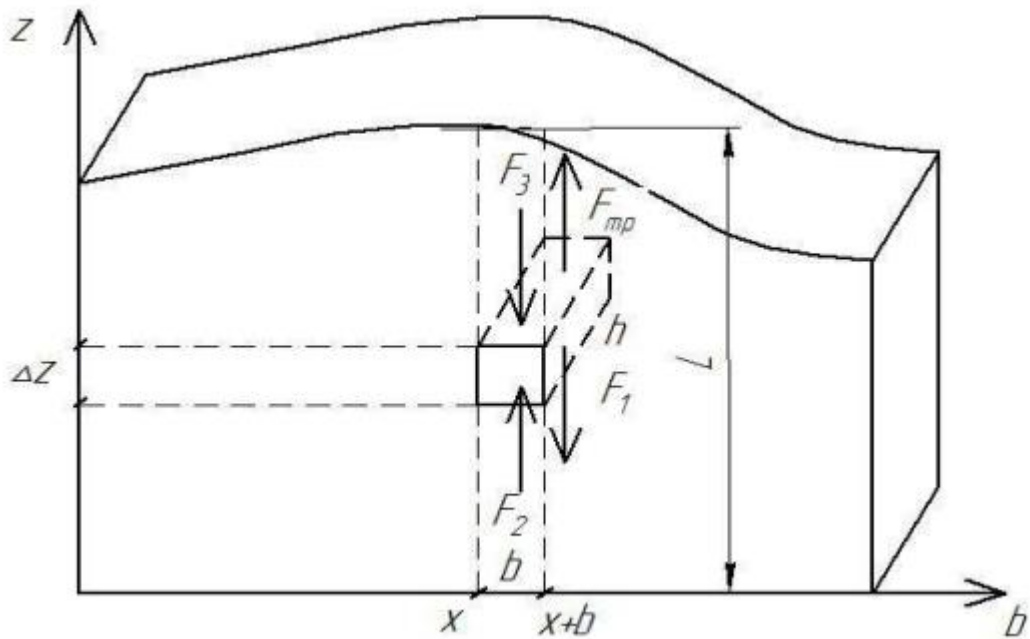


Рисунок 2.7 – Схема сил, що діють на елемент зернового вороху, що знаходиться у приймально-розподільчому пристрої

Сила тяжіння, що діє на елемент зернового вороху, визначається за відомим рівнянням

$$F_1 = m \cdot g, \quad (2.7)$$

де  $m$  – маса елемента зернового вороху (кг);  $g$  – прискорення вільного падіння ( $\text{м/с}^2$ ).

Маса елемента зернового вороху визначається за формулою:

$$m = \rho \cdot \Delta V,$$

де  $\rho$  – густина матеріалу ( $\text{кг/м}^3$ );  $\Delta V$  – об'єм елемента зернового вороху ( $\text{м}^3$ ).

Об'єм елемента зернового вороху в свою чергу визначається виразом:

$$\Delta V = b \cdot \Delta z \cdot h.$$

Тоді маса елемента зернового вороху рівна

$$m = \rho \cdot b \cdot \Delta z \cdot h, \quad (2.8)$$

Підставивши значення маси елемента зернового вороху із виразу (2.8) у вираз (2.7), отримаємо значення сили тяжіння.

$$F_1 = \rho \cdot b \cdot \Delta z \cdot h \cdot g \quad (2.9)$$

Сила тертя в шарі зернового вороху визначається за формулою:

$$F_{тр} = k \cdot N, \quad (2.10)$$

де  $k$  – коефіцієнт внутрішнього тертя;  $N$  – нормальна реакція (Н).

Нормальну реакцію можна визначити за формулою:

$$N = P_6 \cdot S_{6.п.},$$

де  $P_6$  – боковий тиск елемента зернового вороху (Па);  $S_{6.п.}$  – площа бокової поверхні, виділеного елемента зернового вороху ( $m^2$ ).

Площа боком поверхні рівна (рис. 2.7):

$$S_{6.п.} = \Delta z \cdot h.$$

Боковий тиск (рис. 2.8) визначаємо як середній арифметичний боковий тиск на верхню і нижню частини виділеного елемента:

$$P_6 = \frac{P_6(z) + P_6(z + \Delta z)}{2},$$

де  $P_6(z)$  – боковий тиск в нижній точці  $z$  (Па);  $P_6(z + \Delta z)$  – боковий тиск у верхній точці  $(z + \Delta z)$  (Па).

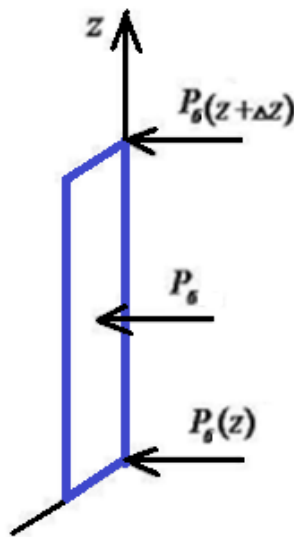


Рисунок 2.8 – Дія бокового тиску в приймально-розподільчому пристрої на елемент зернового вороху

При  $z \rightarrow 0$  боковий тиск буде рівний

$$P_6 = P_6(z).$$

Після деяких перетворень і з врахуванням того, що боковий тиск діє з двох сторін, вираз (2.10) прийме наступний вигляд:

$$F_{тр} = 2 \cdot k \cdot P_6(z) \cdot \Delta z \cdot h. \quad (2.11)$$

Крім сили тяжіння і бокового тиску на виділений елемент діють сили вертикального тиску в шарі -  $F_2$ ,  $F_3$ , які визначаються із виразу.

$$F_2 = P(z) \cdot b \cdot h, \quad (2.12)$$

$$F_3 = P(z + \Delta z) \cdot b \cdot h, \quad (2.13)$$

де  $P(z)$  вертикальний тиск в точці  $z$  (Па);  $P(z + \Delta z)$  – вертикальний тиск в точці  $(z + \Delta z)$  (Па).

Після визначення всіх сил, що діють на виділений зерновий елемент вороха, складемо рівняння рівноваги

$$F_{тр} + F_2 - F_1 - F_3 = 0.$$

З врахуванням виразів (2.9), (2.11), (2.12), (2.13), рівняння рівноваги прийме вигляд:

$$2 \cdot k \cdot P_6(z) \cdot \Delta z \cdot h + P(z) \cdot b \cdot h - \rho \cdot b \cdot \Delta z \cdot h \cdot g - P(z + \Delta z) \cdot b \cdot h = 0. \quad (2.14)$$

Боковий тиск в точці  $z$  можна представити у вигляді виразів

$$P_6(z) = \varepsilon \cdot P(z), \quad (2.15)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт бокового тиску сипучого матеріалу [22].

$$\varepsilon = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} = \operatorname{tg}^2\left(\frac{\varphi}{2} + \frac{\pi}{4}\right).$$

де  $\varphi$  – внутрішній кут тертя.

Коефіцієнт бокового тиску сипучого матеріалу для зерна приблизно рівний 0,44 [23].

Внутрішній кут тертя характеризується кутом природнього скосу, величина якого в багатьому залежить від вологості зерна. Для насіння зернових культур:  $\varphi = 0,4 \dots 0,6$ .

Розглянемо отримане рівняння з врахування гранично умови:

$$P(L) = 0. \quad (2.16)$$

де  $L$  – середня висота стовпа зернового вороху на ділянці  $[x; x+b]$  (м)(см) (рис. 2.7).

Гранична умова (2.16) означає, що на верхній границі стовпа тиск рівний нулю.

Для вирішення дифенціального рівняння представимо боковий тиск у вигляді множення

$$P(z) = u(z) \cdot v(z). \quad (2.17)$$

де  $u(z)$ ,  $v(z)$  – невідомі функції. Функція  $v(z)$  може бути вибрана довільно.

Вираз після всіх перетворень прийме наступний вигляд:

$$P(z) = \frac{\rho \cdot g \cdot b}{2 \cdot k \cdot \varepsilon} \left(1 - e^{\frac{2 \cdot k \cdot \varepsilon}{b}(z-L)}\right). \quad (2.18)$$

Отриманий вираз дозволить визначити тиск, що діє на елемент зернового вороху в вертикальному стовбі при різній висоті.

Графічні залежності тиску на елемент зернової маси в шарі при різній висоті вороху в бункері представлено на рис. 2.9.

Результати проведених теоретичних досліджень показують, що у верхньому шарі вороху тиск, що діє на зернівку, рівний до нуля і зростає до нижнього шару. При більшій висоті вороха у бункер тиск в шарі зростає більш інтенсивно, ніж при малій висоті. Так для висоти вороха 1,4 м найбільш інтенсивно тиск змінюється у верхньому шарі і починаючи з нижнього шару приблизно 0,8 м, змінюється незначно, тобто практично стабілізується.

Це можна пояснити зміною ді внутрішніх сил  $F_2$  і  $F_3$ . Для висоти вороху 0,8; 1,0; 1,2 м стабілізація тиску настає в більш низьких шарах. Так при висоті вороха 1,2 м тиск практично стабілізується в шарі 0,6 м і це можна вважати мінімальною для рівномірного витікання матеріалу через дозуючу щілину приймально-розподільчого пристрою.

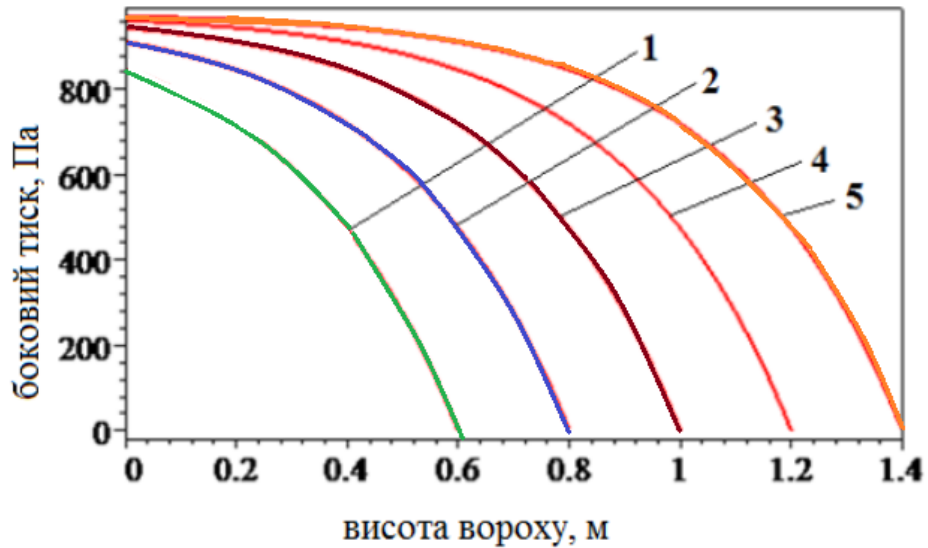


Рис. 2.9. Зміна тиску на зернівку в бункері приймально-розподільчого пристрою по висоті шару зернового вороху

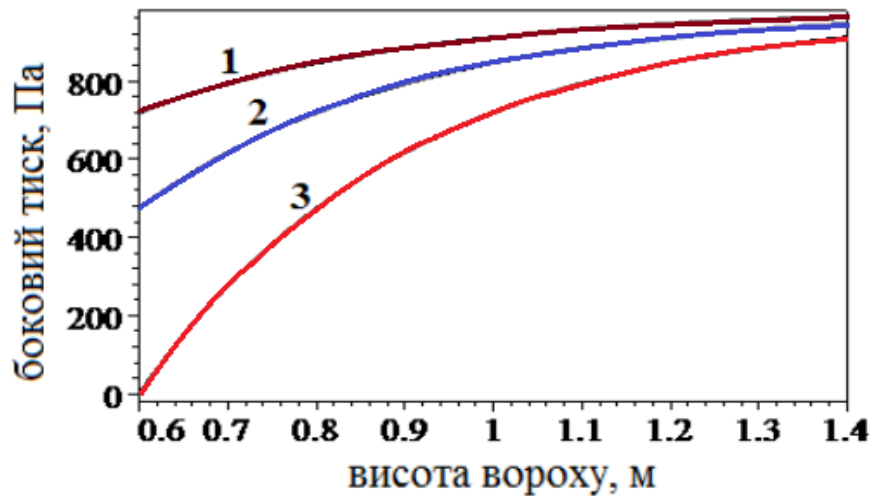


Рис. 2.10. Зміна тиску у фіксованому шарі зернового вороху від висоти матеріалу в бункері

Залежність тиску у фіксованому шарі зернового вороху від висоти матеріалу у бункері представлена на рис. 2.10, з чого видно, що в зерновому шарі на висоті 0,7 м діючий тиск на зернівку змінюється у великих межах, так при висоті шару в бункері 1,2-1, м тиск у фіксованому шарі майже однаковий. Це буде сприяти рівномірному витіканню зернового вороху із дозуючою щілиною. При висоті вороху від 0,6 до 1,2 м тиск в шарі змінюється суттєво. Для мало висоти вороху тиск у фіксованому шарі відсутній повністю.



або має маленьке значення, так як на верхніх межах шару дія сил  $F_2$  і  $F_3$  мінімальна.

У фіксованому зерновому шарі 0,4 і 0,6 м при великій висоті вороху тиск на зернівку практично однаковий, що приведе до нерівномірного витіканню матеріалу через дозуючу щілину.

З цього слідує, що необхідно створити максимальну висоту зернового вороху у бунері для вирівнювання у нижніх шарах при цьому необхідно враховувати і обмежувати габаритні розміри бункера. Це забезпечить рівномірне витікання зернового матеріалу по всій ширині решітного стану.

## **Висновки по розділу 2.**

Проведений аналіз дозволяє зробити висновки, що для рівномірного розподілу матеріал через дозуючу щілину по довжині, необхідно у бункері підтримувати визначену висоту вороху, яка не повинна бути менше 0,6 м. Такі умови можна дотримуватися тільки за рахунок узгодження продуктивності зерноочисної машини.

### РОЗДІЛ 3. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

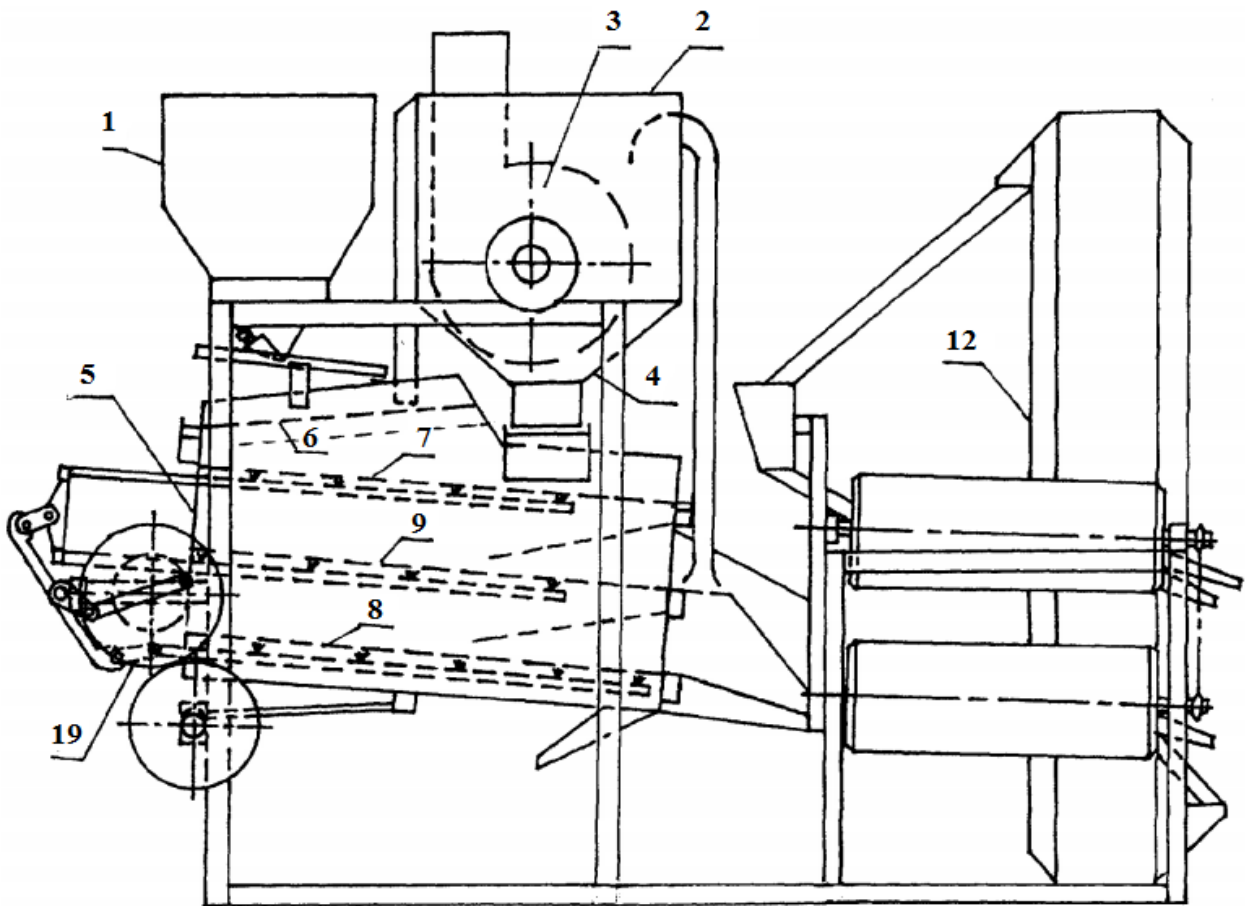
У відповідності з поставленими задачами даної роботи і результатами теоретичного аналізу було намічено наступні дослідження, які включають:

- вплив способу подачі зернового матеріалу на його формування у бункері приймально-розподільчого пристрою повітряно-решітної зерноочисної машини;

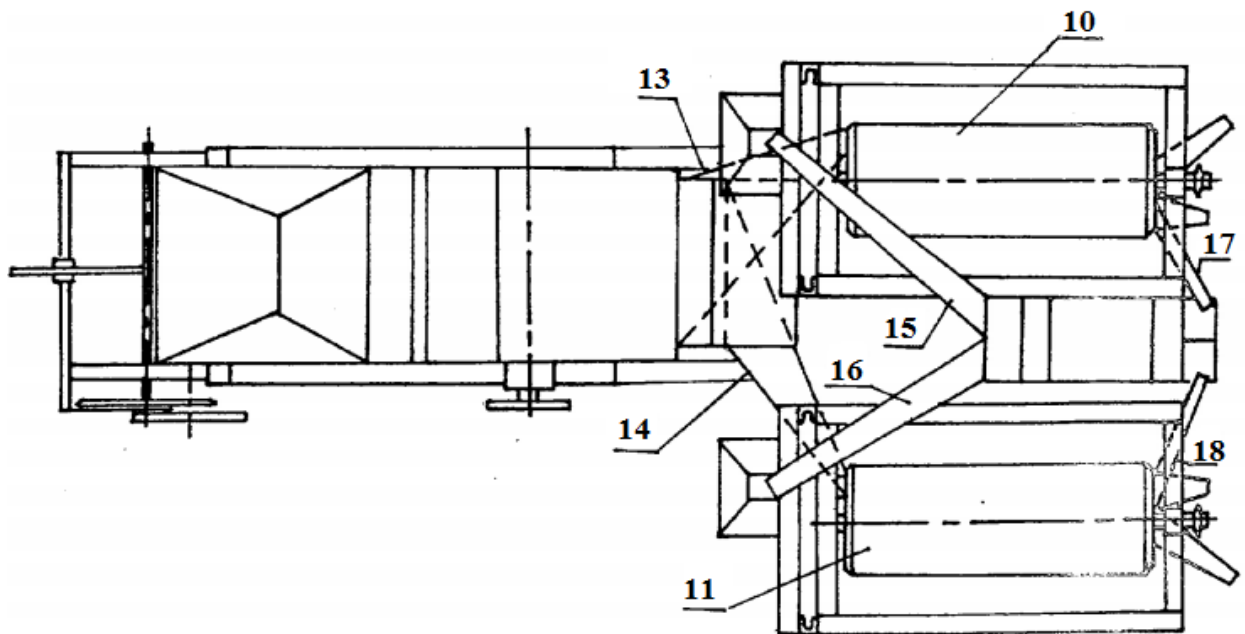
- вплив конструктивно-технологічних параметрів приймального пристрою решітної зерноочисної машини на рівномірність завантаження решіт.

#### 3.1. Опис конструкції установки

Пристрій для розподілу зернової маси (рис. 3.1) складається із приймального бункера 1, повітряно-очищувальної частини 2 з вентилятором 3, осадкової камери і решітного стану 5 з коротким 6, верхнім 7, нижнім 8 і мереднім 9 решетами, трієрної частини, що складається із двох пар 10, 11 циліндрів, розміщених один під одним, норії 12, лотків 13, 14, 15, 16, 17 і 18, механізмів приводу робочих органів машини 19.



a)



б)

Рис. 3.1 Пристрій для розподілу зернової маси

Пристрій працює наступним чином. Зернова суміш подається в бункер 1 із якого надходить через перший аспіраційний канал повітряно-решітно частини 2. Решета 6 і 7 відділяють великі дрішки. Прохід решета 7 надходить на решето 9, яке розподіляє компоненти, які надійшли на дві фракції. Сходова фракція по лотку 13 надходить в нижній циліндр першої пари 10 трієрів, а проходова, пройшовши по решету 8, що відділяє дрібні домішки, направляється лотком 1 в циліндр другої пари 11 трієрів. Очищене від коротких домішків зерно направляється в норію 12 лотками 17 і 16 у верхні циліндри першого 10 і другого 11 трієрних блоків. Очищене насіння виводиться із машини.

### 3.2. Методика визначення параметрів зернового вороху в бункері

На зерноочисних машинах зерно подається з норій по самопливних зернопроводах. В залежності від розміщення машин у технологічній лінії напрям подачі зерна до приймально-розподільних пристроїв зерноочисних машин здійснюється по-різному, яке може змінюватися від вертикального до похилого, що визначається коефіцієнтом тертя зерна по матеріалу зернопроводу. Найчастіше подача зерна до машин здійснюється на похилих самопливах при кутах нахилу до вертикали біля  $20^{\circ}$ . Від направлення подачі зерна до бункеру приймального пристрою значною мірою змінюватиметься його заповнення. Дослідження заповнення бункера проводили при кутах

подачі зерна 50, 60, 70, 80 та 90° до горизонту, при цьому завантаження здійснювали по центру бункера. Потім досліджували заповнення при зміщенні місця подачі зерна на 15 та 30 см від центру бункера, кут подачі матеріалу змінювали від 50° до 90°.

Для визначення заповнення бункера зерном на торцевих стінках та в центрі бокових стінок бункера встановлювали вимірювальні лінійки для фіксування висоти шару. Для вимірювання висоти шару проміжних точок використовували лінійку з нанесеною на ній вимірювальною шкалою.

Під час проведення дослідів бункер установки заповнювали зерновим ворохом пшениці та трубопроводи, які встановлені під кутом 50, 60, 70, 80 та 90°. При формуванні в бункері конусоподібного вороха фіксували висоту вороха по краях бункера, центрі бункера (по вершині вороху) та у проміжних точках.

Характер заповнення бункера приймально-го пристрою гравітаційного типу суттєво впливає на проходження зерна через дозуючу щілину.

Рівномірність проходження зерна через дозувальну щілину досліджували на установці при продуктивності 5, 10, 15 та 20 т/год.

Під час проведення дослідів у приймально-розподільчий пристрій установки по зернопроводу засипали зерновий ворох і формували задану купу в бункері. Далі відкривали заслінку на величину, необхідну для заданої продуктивності. В даний момент на 5 секунд під потік зерна підводили пробовідбірник, встановлений на рухомій каретці. Зерно, зібране у кожній ємності пробовідбірника, зважували на електронних вагах JW-1. Дослід проводили в триразовій повторності.

### **3.3. Методика визначення ушкодження зерна**

Тип приймального пристрою надає суттєвий вплив не лише на рівномірність подачі зерна по ширині решітного стану, а й ушкодження зерна. Найбільше пошкодження зерна відзначається у приймальних пристроїв примусового типу, до яких насамперед слід віднести шнекові.

Для оцінки рівня пошкодження зерна під час проведення досліджень відбирали зразки зерна. З відібраних зразків виділяли по три навішування масою 40-50 г., які розбирали на розбірних дошках: на ціле, подрібнене зерно та домішки. Для визначення мікротравмування зерна із добірних зразків відбирали по три проби по 100 зерен кожна. Відібрані зерна поміщали в посудину, в яку заливали 0,5% розчин барвника (індигокарміну) та поміщували протягом 3-5 хвилин. Температура барвника у цей момент дорівнювала 45 °С. Після цього зливали барвник, потім ретельно промивали насіння водою і розкладали на фільтрувальний папір для просушування.

Після просихання насіння розбирали за видами травм, для цього використали лупу 10-кратного збільшення і виділяли зерна з вибитим зародком, пошкодженою оболонкою зародка, пошкодженим ендоспермом та оболонкою ендосперму.

З урахуванням того, що кожен вид травм надає різний негативний вплив на лабораторну схожість насіння, розраховували єдиний узагальнений показник травмування  $T_{пр}$  (де всі види травм призводили до пошкодження зародка) за формулою:

$$T_{пр} = G_2 + G_1 \frac{b_1}{b_2} + G_3 \frac{b_3}{b_2} + G_4 \frac{b_4}{b_2}, \quad (3.1)$$

де  $G_1 \dots G_4$  – відсотковий вміст зерна з вибитим зародком, пошкодженою оболонкою зародка, пошкодженим ендоспермом та оболонкою ендосперму;

$b_1 \dots b_4$  – коефіцієнти, що визначають за формулою:

$$b_i = 0,01(b_5 - b_i) \quad (3.2)$$

де  $b_5$  – схожість не травмованого насіння;  $b_i$  – схожість насіння з окремими видами травмування.

### **3.4. Визначення ефективності шляхом стабілізації рівня зерна в бункері дозувального пристрою**

Приймальні пристрої зерночисних машин повинні забезпечувати рівномірну подачу оброблюваного матеріалу в пневматичному каналі та на очисних решітках. Одночасно до приймальних пристроїв пред'являються вимоги: збереження цілісності структури зернівок оброблюваного матеріалу та мінімізація пошкодження зерна.

Для підтвердження правильності теоретичних передумов із заповнення бункера приймального пристрою нами було проведено дослідження процесу накопичення зерна в бункері зі зміною його висоти.

На першому етапі досліджували заповнення бункера при подачі зерна по центру. Для проведення дослідів було обрано пристрій, бункер з передньою та задньою похилими стінками висота – 1 м та ширина – 1,85 м. У нижній частині бункера по всій його ширині розташована дозуюча щілина.

При проведенні дослідів подавали матеріал у бункер з максимально наближеними до реальних умов. Продача матеріалу здійснювалась через завантажувальний патрубок довжиною 1 м, а кут нахилу задавали відповідно

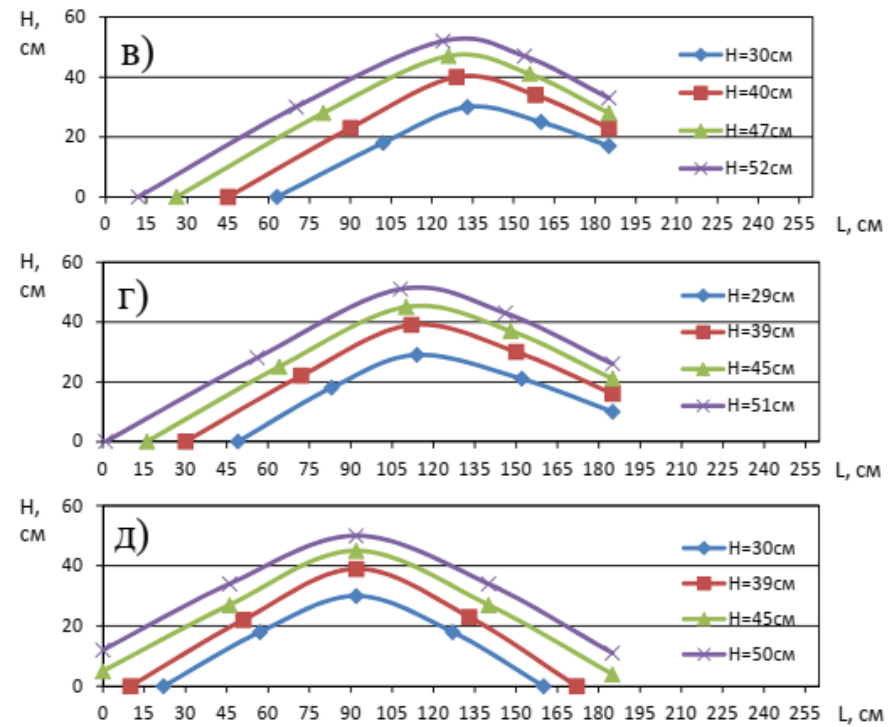
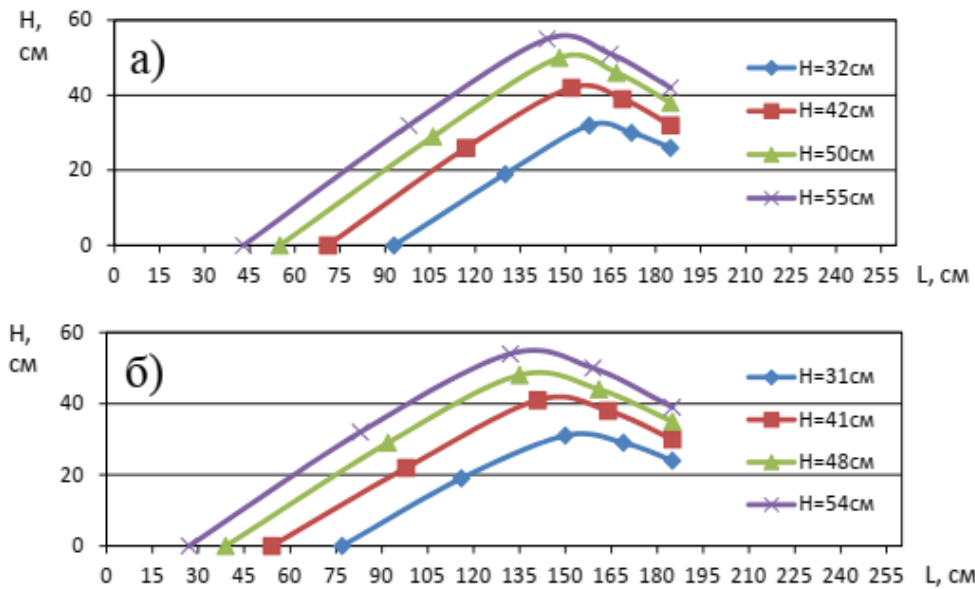


Рис. 3.2. – Заповнення бункера приймального пристрою при завантаженні зерна по центру і зірних кутах подачі матеріалу:  
 $H$  – висота зернового вороху, см;  $L$  – довжина основи бункера, см;  $\alpha$  – кут подачі матеріалу,  $^{\circ}$ ;  
 а)  $\alpha=50^{\circ}$ ; б)  $\alpha=60^{\circ}$ ; в)  $\alpha=70^{\circ}$ ; г)  $\alpha=80^{\circ}$ ; д)  $\alpha=90^{\circ}$ .

від  $50^{\circ}$  до  $90^{\circ}$  до горизонту. Висоту шару (по вершині конуса вороху) зафіксували від 30 до 55 см. Характер розподілу зернової маси у бункері приймально-розподільчого пристрою показаний на рис. 3.2.

Отримані дані показують, що при кутах подачі матеріалу в межах  $50^{\circ}$ - $70^{\circ}$  зерновий ворох розміщується в бункері асиметричного конуса (рис. 3.2а-3.2в). Асиметричне формування зернового вороху можна пояснити тим, що при русі зерна по нахиленому зернопроводу воно отримує кінетичну енергію, яка забезпечує зберігання траєкторії руху близько до заданої зернопроводом. Тому місце завантаження в бункері суттєво зміщено від центра. В результаті в бункері приймального пристрою зерновий ворох зосереджується біля одного краю, а інший край залишається незаповнений. Збільшення кута нахилу зернопроводу при подачі матеріалу призводить до покращення розподілу зерна в бункері.

При куті подачі матеріалу  $80^{\circ}$  вершина вороху навіть при малих висотах розміщується влізко центра бункера, а при  $90^{\circ}$  – точно по центру. Зі збільшенням висоти вороху в бункері вершини будуть зміщені в сторону центра. Кут подачі матеріалу  $90^{\circ}$  є найкращим, при якому забезпечується більш рівномірне заповнення бункера. Але у виробничих умовах забезпечити його не завжди надається можливість.

З наведених даних маємо, що для рівномірного завантаження бункера при введенні зернового матеріалу по центрі бункера подавати матеріал потрібно тільки із вертикального трубопроводу або з відхиленням від вертикалі в межах  $10\dots 15^{\circ}$ . Так як при центральному завантаженні матеріалу в бункер кут подачі  $90^{\circ}$  є оптимальним.

Залежність ширини основи вороху в бункері від висоти шару в ньому при центральній подачі матеріалу під кутом  $90^{\circ}$  наведена на рис. 3.3.

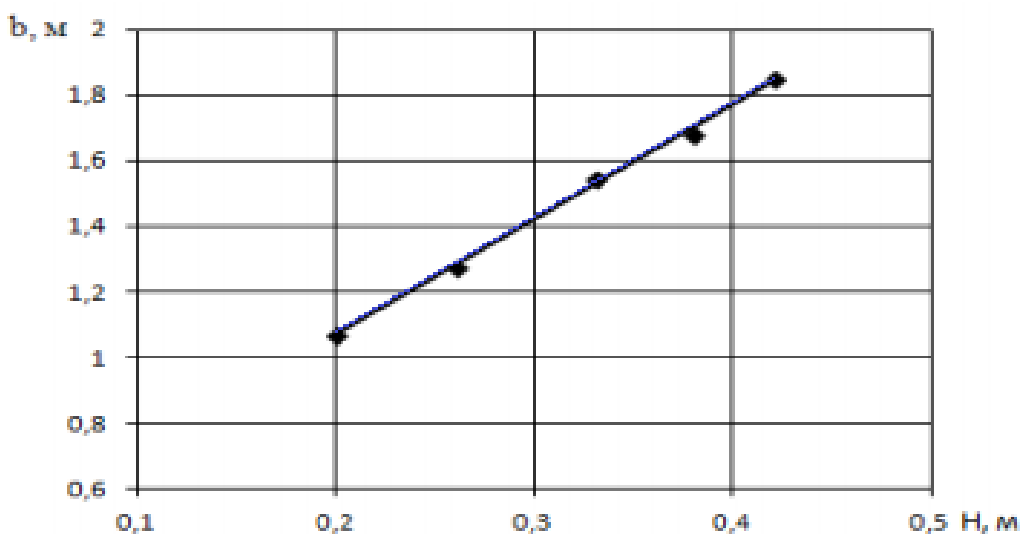


Рис. 3.3 – Залежність ширини основи вороху в бункері від його висоти: b – ширина основи вороху, м; H – висота вороху (по ширині конуса), м.

Із рис. 3.3. видно, що чим більша висота вороху в бункері, тим більшу ширину він заповнює, тобто ширина основи вороха зростає прямопропорційно його висоті. Отримані дані дослідження показали, що повне заповнення бункера по ширині відбувається при висоті вороху 0,43 м.

Подальше збільшення висоти шару дозволяє формувати товщину шару біля крав бункера, що гарантує більш рівномірне завантаження решета по ширині зерноочисної машини. Остаточну необхідність висоти шару в бункері можна обґрунтувати вивчивши проходження його через дозуючу щілину і визначивши рівномірність подачі на решітний стан.

У більшості випадків в поточній лінії встановлюють дві паралельні зерноочисні машини, що призводить до похилої подачі зернового матеріалу. Кут нахилу подаючого патрубку складає біля  $70^\circ$ . В даному випадку утворюється вільна зона дозувальної щілини, тобто часина бункера незаповнена матеріалом. Для даного випадку побудована залежність зміни вільної зони в бункер приймально-розподільчого пристрою гравітаційного типу від висоти шару зернв при куті подачі матеріала  $70^\circ$ . Дані представлені на рис. 3.4.

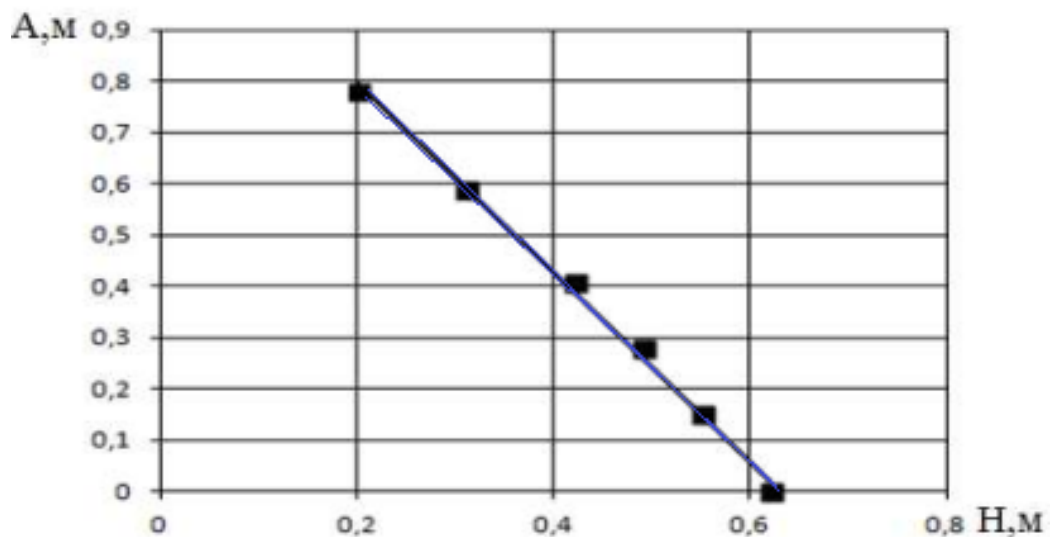


Рис.3.4 – Залежність вільної зони дозуючої щілини бункера від висоти вороху при подачі матеріалу  $70^\circ$ : А – вільна зона живильної щілини бункера, м; Н – висота вороху (по вершині конуса), м.

Із рис. 3.4 видно, що при малій висоті шару в бункері вільна зона суттєва і при збільшенні висоти шару скорочується пропорційно його висоті. Повне заповнення основи бункера (дозуючої щілини) відбувається при висоті вороху 0,64 м.

Висоту зернового вороху в бункері приймального пристрою збільшували до 70 см. Завантаження зерна по зернопроводу здійснювали під кутом  $70^\circ$  до горизонту.



Рівномірність витоку по ширині дозувальної щілини при асиметричному заповненні приймально-розподільчого пристрою наведена на рис. 3.5.

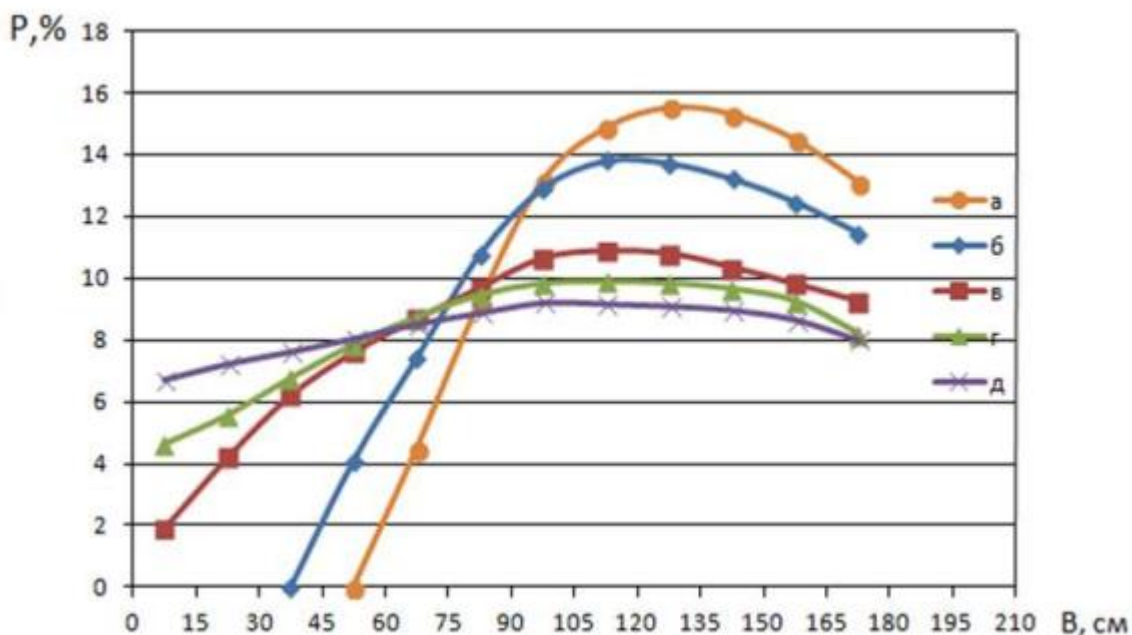


Рис. 3.5 – Ймовірність витоку зерна через дозуючу щільну приймального пристрою при асиметричному заповненні бункера: Р – ймовірність витоку, %; В – ширина дозувальної щілини, см; а) висота шару зерна в бункері 30 см; б) висота шару зерна в бункері 38 см; в) висота шару зерна в бункері 54 см; г) висота шару зерна в бункері 62 см; д) висота шару зерна в бункері 70 см;

З рис. 3.5 видно, що при висоті шару зернового вороху в бункері приймально-розподільчого пристрою до 50 см відмічається нерівномірний витік матеріалу із дозувальної щілини і, відповідно, нерівномірна подача на робочі органи зерноочисної машини. При висоті шару зерна в бункері 30 і 38 см відмічається відсутність витоку зерна через дозуючу щілину на ширині бункера від 65 до 40 см. Збільшення висоти шару зерна в бункері підвищує рівномірність витоку його через дозувальну щілину приймально-розподільчого пристрою, а при висоті шару в бункері більше 65 см практично вирівнюється.

Наведені дані показали, що рівномірність завантаження робочих органів зерноочисної машини в значній мірі залежать від висоти шару в бункері приймально-розподільчого пристрою, рівномірність його розподілу по ширині бункера (довжині дозувальної щілини і висоті шару зерна в бункері). Рівномірність розподілу зерна по ширині приймально-розподільчого пристрою визначається місцем його введення із самоплинного зернопроводу, кутом нахилу подаючого зернопроводу відносно місця введення зерна в бункер. Це необхідно враховувати при компануванні зерноочисної машини.

Мінімальна висота шару зерна в приймальному пристрої при вертикальній подачі в бункер повинна відповідати не менше 46...49 см. При похилій подачі зерна по центру бункера висоти шару необхідно збільшувати до рівня не менше 65...70 см.

### **Висновки по розділу 3.**

Провівши аналіз дослідження, можна зробити наступні висновки:

Рівномірність заповнення бункера зерновим ворохом по ширині забезпечується при вертикальній подачі по центру бункера. При подачі зерна похилим зернопроводом відмічається зміщення вороху до однієї з бокових сторін бункера.

Повне заповнення бункера, при центральній завантаженні матеріалу під кутом подачі зернопроводу  $90^{\circ}$  до горизонту, відбувається при висоті вороху 0,43 см, а заповнення основи бункера при подачі матеріалу під кутом  $70^{\circ}$  до горизонту відбувається на висоті вороху 0,64 см. Подальше збільшення висоти шару дозволяє ормувати товщину шару біля країв бункера, що гарантує більш рівномірне завантаження решета по ширині зерноочисної машини.

Дослідженнями встановлено, що рівномірність завантаження решіт зерноочисної машини в значній мірі залежить від висоти шару зерна в бункері приймально-розподільчого пристрою при вертикальному завантаженні повинна відповідати не менше 46...49 см. При похилій подачі зерна по центру бункера під кутом  $70^{\circ}$  висоту шару необхідно збільшувати до рівня не менше 65...70 см.

## ВИСНОВКИ

У даній роботі проведенні дослідження приймальних пристроїв зерноочисних машин. Було встановлено, що перспективними для подальшого удосконалення є приймальні пристрої.

В роботі виявлена закономірність формування зернового вороху в бункері приймального пристрою повітряних зерноочисних машин, що дозволяє визначити розташування зернового вороху дозувальної щілини в залежності від кута подачі зерна. Встановлена аналітична залежність бокового тиску від висоти шару зерна в бункері приймально-розподільчого пристрою повітряних зерноочисних машин.

Теоретично обгрунтовано, що у бункері необхідно підтримувати висоту зернового вороху не менше 0,6 м для забезпечення рівномірного розподілу матеріалу через дозуючу щілину приймального пристрою за її довжиною. Рівномірне наповнення бункера зерновим матеріалом забезпечується при вертикальній подачі по центру бункера. При похилій подачі відмічається зміщення зернового вороху до однієї з бокових стінок бункера.

Необхідно змінити місце при похилій подачі зерна в бункер для отримання симетричного вороху. При центральній подачі зерна по зернопроводу під кутом  $80^\circ$  необхідно змістити місце завантаження, яке складає 15 см від центру бункера, при подачі під кутом  $70^\circ$  необхідне зміщення становить 30 см. Повне заповнення бункера по ширині щілини дозування при центральному завантаженні матеріалу відбувається на висоті вороху 0,43 м під кутом нахилу зернопровода  $90^\circ$  до горизонту і на висоті ворха 0,64 м під кутом нахилу зернопровода  $70^\circ$  до горизонту.

Рівномірність завантаження решіт зерноочисної машини в значній мірі залежить від висоти шару зерна в бункері приймального пристрою при вертикальному завантаженні повинна відповідати не менше 46...49 см. При похилій подачі зерна по центру бункера під кутом  $70^\circ$  висоту шару необхідно збільшувати до рівня не менше 65...70 см.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Derevjnko D., Sukmaniuk E., Derevjnko O., (2017) Grain crops injuries and drying modes while seeds preparation (Травмування зернівок та режими підсушування при підготовленні насіння) INMATEH -Agricultural Engineering Journal, vol. 53, no 3, pp. 89-94 Bucharest/Romania.
2. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М.Василенко. – К: УАСХ. 1960.-284 с.
3. Гончаров Е.С. Исследования процесса сепарации зерновых материалов центробежно-вибрационными решетками: автореф. дис. на соискание учон. степени канд. техн. наук / Е.С. Гончаров. – К., 1963. – 40 с.
4. Головач І.В. Травмування насіння при підсушуванні технічними засобами. Головач І.В., Дерев'янюк Д.А., Дерев'янюк О.Д. Всеукр. наук.-технічний журнал, - ВНАУ, №1(96), 2017 – С. 78-82.
5. Дринча В.М. Технология и комплекс машин для очистки зерна и семян / В.М. Дринча, Л. М. Суколин // Земледелие, 1997. - №3. – С. 34-35.
6. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин / П. М. Заїка. – Харків. ОКО, 2006, - Т.3. – 408 с.
7. Тищенко Л.Н. Виброрешетная сепарация зерновых смесей/ Л.Н.Тищенко, В.П.Ольшанский, С.В.Ольшанский. – Х.: «Міськдрук», 2011.–280 с.
8. Фадеев Л.В. Сильные семена на каждое поле/Л.В.Фадеев. – Харьков, СПЕЦ ЭММ, - 2015. – 176 с.
9. Фадеев Л.В. Зерно нельзя бить – оно основа жизни человека /Л.В.Фадеев. – Харьков, СПЕЦ ЭММ, - 2015. –96 с.
10. Чазов С.А. Травмирование семян и пути снижения при механизированной обработке, обмолоте, сортировании / С.А. Чазов, П. Шелепень, З. Воцкий. Украинские нивы, 1981. - №8. – С. 41-43.
11. Адамчук В.В. Теория центробежных рабочих органов машин для внесения минеральных удобрений/В.В.Адамчук – К.: Аграр.наука, 2010. – 177с.
12. Дерев'янюк Д.А. Вплив технічних засобів та технологічних процесів на травмування і якість насіння: монографія /Д.А. Дерев'янюк. – Житомир, 2015. – 772 с.
13. Дерев'янюк Д.А. Вплив травмування на якість насіння зернових культур: монографія / Д.А. Дерев'янюк, О.П. Тарасенко, В.І. Оробінський. – Житомир, 2012. – 438с.
14. Строна И.Г. Травмирование семян зерновых культур и урожай / И. Г. Строна. Биология и технология семян. – Харьков, 1974. – С.122-129.
15. Тарасенко А.П. Влияние влажности зерна при уборке и послеуборочной обработке на посевные качества семян / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, М.Э. Мерчалова // Хранение и переработка зерна. – Днепропетровск, 2000. – № 2. – С. 12-13.

16. Tarasenko A.P. Sovershenstvovanie posleuborochnoy obrabotki zerna / A.P. Tarasenko, V.I. Orobinskiy i dr. // *Mehanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo hozyaystva*. M. 2008. № 6. S. 2-3.
17. ДСТУ 3768:2019 Пшениця. Технічні умови. Введений дію від 1 серпня 2019 року.
18. Cajueiro D.O. Controlling self-organized criticality in sandpile models [Text] / D.O. Cajueiro, R.F.S. Andrade // *Physical Review E: Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*. – 2010. – Vol. 81. – pp. 015102.
19. Ahmatov A.A. Travmirovaniye zerna shnekovym pitayuschim ustroystvom / A.A. Ahmatov, V.I. Orobinskiy, V.N. Solntsev // *Vestnik Voronezhskogo GAU*. – 2015. – Вып. 4 (47) – S. 98-101.
20. Киреев М.В. Послеуборочная обработка зерна в хозяйствах / М.В. Киреев, С.М. Григорьев, Ю.К. Ковальчук. – Л.: Колос, 1981. – 223 с.
21. Тарасенко А.П. Влияние влажности зерна при уборке и послеуборочной обработке на посевные качества семян / А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, М.Э. Мерчалова // *Хранение и переработка зерна*. – Днепропетровск, 2000. – № 2. – С. 12-13.
22. Тарасенко А.П. Современные машины для послеуборочной обработки зерна и семян / А.П. Тарасенко. – М.: Колос, 2008. – 232 с.
23. Teplinskiy N.I. Opredeleniye konstruktivnykh i rezhimnykh parametrov gasitelya skorosti zernovogo potoka v samotekhnicheskikh ustroystvakh /N.I. Teplinskiy, V.I. Orobinskiy i dr. // *Nauchno-metodicheskie problemyi prepodavaniya spetsialnykh distsiplin v napravlenii professionalnogo obucheniya. Mezhvuzovskie ucheniye zapiski*. – Lipetskiy GPU, 2000. –S. 103-107.