

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра будівництва та цивільної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
на здобуття ступеня вищої освіти магістр
бакалавр, магістр

на тему: «Удосконалення параметрів роботи транспортного обладнання при
первинній переробці зерна»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП

спеціальності 133 Галузеве
машинобудування

код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти магістр групи 1
Левченко Юлія Вікторівна

Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: Брикун О. М.
Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: _____
Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2023 рік

ВСТУП

Актуальність теми. При належній соціально-економічній політиці і в певних інституційних умовах підприємства агропромислового комплексу України можуть успішно функціонувати і забезпечувати вагомий вклад у розвиток економіки. Великі розміри займаних площ, кліматичні умови, людський капітал і родючість ґрунтів обумовлює високий потенціал результативності сільгоспвиробництва. Завдяки таким перспективам АПК може стати надійним підґрунтям економічного зростання і зниження рівня бідності для більшої частини населення України.

Найважливішою складовою агропромислового комплексу є зернова галузь, що визначає основу економічної безпеки країни. Зернове виробництво займає провідне місце в структурі аграрного сектору економіки України. Від рівня ефективності його розвитку залежить добробут населення, гарантування національної продовольчої безпеки, експортні можливості країни. Також Україна є одним з найбільших експортерів зерна в Європі. Для утримання позицій на міжнародній арені з продажу зерна, вітчизняним товаровиробникам необхідно постійно вкладати кошти у підвищення ефективності галузі, запроваджувати інноваційні технології з виробництва конкурентоспроможної продукції.

Україна за останні роки суттєво збільшила обсяги виробництва зерна, які в останні роки коливалися в межах від 46 до 54 млн. тонн.

Підвищення рівня ефективності виробництва зернової продукції повинно виступати найважливішим завданням в сьогоднішніх умовах формування та розвитку АПК, від розв'язання якого залежить забезпечення продовольчої безпеки країни, експортний потенціал нашої держави на світових ринках зерна та рівень народного добробуту населення. Підвищення ефективності та подальший розвиток зернової галузі на ринково-інноваційні основи неможливий без належного забезпечення товаровиробників зерна у високоякісному посівному матеріалі. Оскільки продуктивні сорти та кондиційне насіння зернових культур виступають у якості одного з ключових та незамінних факторів впливу на інтенсифікацію та

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розширення процесу зерновиробництва, у центрі уваги сьогодні повинна знаходитись система господарсько-економічних відносин у галузі насінництва зернових культур, як окремої організаційно-економічної ланки зернового комплексу держави. Виходячи з цього, виникає об'єктивна необхідність у теоретичному осмисленні основ, основних принципів та проблем розвитку даної галузі АПК.

Головними завданнями післязбиральної первинної обробки зернових, олійних і круп'яних культур є максимальне збереження зібраного урожаю і забезпечення збереження якісних показників. Масштаби (об'єми) первинної обробки урожаю безпосередньо у зернопродуктуючих господарствах різної форми власності в останні роки значно збільшуються з метою зменшення собівартості готової продукції. Зростаюча напруженість енергетичного балансу господарств, дефіцит різних видів ресурсів, значна вартість зернопереробного обладнання, визначають важливість перегляду концепції вдосконалення технологій і на їх основі створення технічних засобів первинної обробки і зберігання зерна.

Основною особливістю первинної обробки зерна в умовах господарств є її поточний характер, коли усі технологічні операції виконуються під час комбайнового збирання урожаю, що зумовлює нерівномірну вологість, значну засміченість зернового вороху і висуває додаткові вимоги до конструкцій технічних засобів, режимів їх функціонування.

Технології післязбиральної обробки зерна у теперішній час базуються в основному на використанні машин і обладнання, створених для централізованої заготівельної системи, що розраховане на короткочасне його завантаження і підвищену продуктивність.

Суттєва зношеність і моральна застарілість, невиправдано велика питома матеріале- і енергоємність існуючих агрегатів обумовлює значні втрати, травмування і низьку якість очищення, великі експлуатаційні витрати і вартісні показники готової продукції. Тому вдосконалення зернообробних машин і обладнання при існуючій технології не може привести до зниження матеріальних,

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергетичних і виробничих затрат та підвищення продовольчої, насінневої, технічної якості зернових матеріалів в післязбиральний період, а також при зберіганні. Для задоволення сучасних вимог виробника зерна і переробника необхідно вдосконалювати, змінювати технологічні принципи очищення, фракціонування, сушіння і оперативного зберігання, оскільки саме технологічні принципи функціонування робочих органів визначають ефективність якісних і вартісних показників первинної обробки зерна. Таким чином, питання технічного переоснащення зерновиробничої галузі господарств набувають особливої важливості.

Підвищення продуктивності машин застарілих конструкцій шляхом встановлення більш потужних приводів або підвищення продуктивності існуючих робочих агрегатів не може бути вирішенням існуючих проблем. Необхідна базова модернізація наявного обладнання шляхом удосконалення його технологічного процесу та розробки нових або розумного поєднання існуючих організацій роботи для зменшення шкоди переробленого зернового матеріалу. Основним принципом є зменшення контактної взаємодії зернопровода з робочим органом і зменшення впливу тертя на робочу зону. Крім того, зменшення щільності потоку зернової маси або поділ його на частинки під час переміщення може підвищити ефективність сепарації бруду та повітря у стисненій зерновій трубці за один прохід зернової трубки через металеву машину [28, 37, 48]. , 68, 127].

Отже, завдання розробки та впровадження у виробничий процес транспортного обладнання удосконаленої конструкції, що впливають на зберігання якісних показників зернової маси за високої продуктивності, є актуальним.

Мета та завдання дослідження. Мета роботи – вивчити конструктивні особливості транспортного обладнання для переміщення зерна при первинній переробці з удосконаленням конструкції робочих органів для зниження пошкодження зерна з обґрунтування параметрів та режимів його роботи. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Дослідити етапи післязбиральної обробки зерна, вивчити особливості роботи обладнання на різних етапах переробки.

2. Аналітично та експериментально обґрунтувати параметри та режими роботи комбінованого стрічкового зернокидача.

3. Виконати перевірку справедливості аналітичних залежностей, що описують процес роботи комбінованого стрічкового зернокидача у лабораторних та виробничих умовах.

4. Обґрунтувати економічну ефективність використання комбінованого стрічкового зернокидача.

Об'єкт дослідження: фізико-механічні властивості зерна пшениці; технологічний процес роботи комбінованого стрічкового металника зерна.

Предмет дослідження: _закономірності функціонування комбінованого стрічкового зернокидача у процесі обробки зернової маси.

Практичну значимість роботи представляють:

- технічні рішення, що забезпечують підвищення якості обробки зернового вороху та знижують ступінь пошкодження зерна в процесі роботи комбінованого стрічкового зернометателя;

- результати визначення допустимих і руйнівних напруг у зернівці.

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати досліджень були висвітлені та обговоренні на I Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Нові технології і обладнання харчових та переробних виробництв» (Полтава, 19-20 квітня 2023 р.) Публікації Основний зміст і результати магістерської роботи опубліковано у 1 фаховій статті та 1 збірнику матеріалів конференції.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, переліку використаних джерел (52 найменувань). Роботу викладено на 79 сторінках та ілюстровано 5 таблицями та 25 рисунками.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПІСЛЯЗБІРНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА

1.1 Інноваційних технологічні рішення щодо зниження втрат зерна на сучасних підприємствах при первинній обробці

Після збору врожаю зерно проходить повний цикл обробки і відправляється на зберігання. Між цими рівнями пшениці може знадобитися тимчасове зберігання, наприклад, у разі затримки транспортування. Для цього використовують борти – розчищені майданчики або контейнери під відкритим небом. Для захисту від дощу берег накривають брезентом. Бурти можуть служити лише тимчасовим сховищем, оскільки в таких умовах зерно швидко намокає і стає перешкодою для комах.

Найважливішим правилом зберігання зерна на складах є наявність повністю закритого приміщення або спеціальної ємності для збирання. Відповідно до цих умов допускається зберігання в таких приміщеннях:

Ліфти стаціонарні. Міцні залізобетонні споруди місткістю від 5 до 11 тис. тонн. Основна перевага – довговічність. Вертикальний підйомник, якщо проводити технічне обслуговування кожні 2-3 роки, може прослужити понад 100 років;

Ангари типу амбару бюджетні. Характеризується високою швидкістю зведення і пересування. Для повноцінної роботи потрібне додаткове обладнання (перевантажувачі, навантажувачі), а також системи активної вентиляції. Без обслуговування така модель служить в середньому 5 років;

Силоси Великі контейнери (від 20 до 1700 тонн), розміщені на транспортних засобах. Раніше їх здебільшого виготовляли з бетону, а тепер потрібні сталеві силоси. Термін служби бетонної конструкції 30 років, сталевій конструкції 12 років. Для регулювання температури всередині контейнера використовується активна вентиляція;

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Руки зерна. Довгі полімерні мішки (60-75 м) ємністю до 300 тонн. Тривале зберігання без втрати якості забезпечує повна герметичність. Після установки ручка закривається, створюючи вакуум, який не підходить для розвитку грибків і бактерій.

В умовах стрімкого зростання населення особливо актуальним є базове питання продовольчого забезпечення. Вирощування зернових культур з метою виробництва продуктів харчування і кормів історично займало левову частку продовольчого забезпечення. Сезони виробництва зерна, поряд із цілорічним споживанням, завжди потребують створення та підтримки його запасів. Ось тут і починаються найбільші проблеми, говорить народна мудрість: не хліб на городі, а хліб на столі [2].

Розглянемо основні проблеми у виробництві зерна та круп:

– Пізній збір, більше втрат через зламані колоски та висипані зерна.

За загальними даними досліджень, ідеальний строк збирання кукурудзи, коли втрата (недобір) урожаю знаходиться в межах похибки, становить 6-7 днів. При скороченні тривалості поля на 5 днів втрати зерна в роки з різною вологістю становлять 4,5-7,2% для ярої пшениці, 1,2-3% для озимої і 7,6-15,4% для ярої пшениці за 10 днів. зимові - 3,7-6,8%.

Загальна втрата дробарки (за рахунок помелу, а не струшування) щодо другої кількості хліба - 1,5%.

Допускається псування і псування продовольчого зерна - не більше 2%.

Після збирання врожаю при транспортуванні та зберіганні втрачається від 5 до 25 % зерна залежно від технічної оснащеності елеватора та загальної практики організації зберігання [3].

ФАО (Продовольча та сільськогосподарська організація Об'єднаних Націй) оцінює щорічні втрати врожаю в 10% від загального обсягу виробництва, а в деяких розвинених країнах – максимум 30-50%. Так, в Україні, яка вирощує 30-40 млн. тонн зерна, через недостатньо розвинену техніку та технічну базу для переробки та зберігання врожаю щорічні втрати досягають 8 млн. тонн і 800 млн. доларів США.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Втрата маси супроводжується зниженням якості, умов посадки та живлення зерна. При цьому найбільші втрати в сільському господарстві саме через низьку матеріально-технічну базу для підготовки та зберігання зерна. Водночас у більш розвинутих країнах Європи та Америки ці втрати не перевищують 1-2% – принаймні технічно це неминуче [4].

Як бачимо, найбільші втрати зерна відбуваються на етапі транспортування та зберігання врожаю.

- втрати маси внаслідок природних процесів.

Регулювання інтенсивності дихання і, як наслідок, зниження втрат до мінімального технічного рівня можливе за таких умов: підтримання оптимальної вологості і температури зерна, якісне очищення крупності перед зберіганням, виконання наступних заходів.

4,0...6,5% для підприємств, де впроваджена пересувна механізація та ковшові навантажувачі;

2,0...4,0% для тимчасових місць зберігання із впровадженням стаціонарним засобами механізації.

Актуальним сьогодні є очищення та сортування зерна на типових зерноочисних агрегатах із послідовною технологією обробки зернового матеріалу. До основних технологічних операцій очищення зерна входить приймання зернової маси; переміщення на зберігання в ями, заповнення зерноочисної машини, очищення легких, дрібних і великих домішок в різних типах зерноочисних машин, а потім видалення коротких і довгих домішок [4].

Для профілактики зараження зерна технологічна лінія доповнюється спеціальним насіннеочисними приставками СПЛ-5 або СП-10А, яка використовує роботу повітряно-ситового сортувального апарату та висівної частини пневматичного сортувального столу [2].

Однак наявність у цій технологічній схемі великої кількості різноманітних машин призводить до збільшення довжини технологічної лінії. Пов'язана з цим багаторазовість механічних впливів на зерно призводить до збільшення його

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

травмування і зниження схожості, матеріало- і енергоємності всієї технологічної лінії.

Середній розподіл приросту бою за районами середньостатистичного підприємства, що діє, наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Розподіл бою по різних ділянках на етапі після збору зерна

Найменування ділянки	Усереднений приріст бою зерна кукурудзи (при існуючому підході до технології та техніки)					
	Заготовчі			Перевалочний елеватор		
	Абсолютне значення		% з загального прирості бою по підприємству	Абсолютне значення		% з загального прирості бою по підприємству
	від	до		Від	до	
Само точний транспорт	0,6	1,0	15,0	0,6	1,2	30,0
Приймання із автотранспорту	0,4	0,6	9,0	0,1	0,1	3,0
Приймання із залізничних вагонів	0,4	0,7	10,0	0,1	0,2	6,0
Точки перенавантаження	1,4	2,3	36,0	0,1	0,3	5,0
Скребкові конвеєри	0,2	0,3	5,0	0,1	0,3	7,0
Норії	0,4	0,7	10,0	0,2	0,4	10,0
Ємності (склади силосу)	0,6	1,0	15,0	0,8	1,6	39,0
Всього	4,0	6,5	100,0	2,0	4,0	100,0

Інтенсивні ж технології передбачають використання передових методів ведення сільськогосподарського виробництва, використання новітніх технічних рішень у галузі сільськогосподарського машинобудування.

1.2 Значення зернокидачів у робочому процесі післязбиральної обробки зернових культур

Машина, що застосовуються для первинного очищення зерна на майданчиках, призначені для повного виділення із зернового вороху, що надійшов

з бункера комбайна, сміття, а також насіння бур'янів та зернової домішки з повнотою не менше 60%.

Машини для вторинного очищення призначені для доведення продовольчого зерна до показників якості відповідно до стандарту, а насінневого зерна до посівних. Виняток становлять випадки наявності в зерновій суміші сміттєвих домішок, що вимагають додаткової обробки спеціальними машинами (електромагнітними очисними, пневматичними сортувальними та іншими) [8, 11, 30, 36, 41, 48].

Машини для зворощення зерна набули широкого поширення на зернотоках та відкритих майданчиках, де необхідно переміщати та перевантажувати великі маси зерна в обмежений час.

На цьому етапі розвитку сільськогосподарського виробництва під час навантаження застосовуються машини безпервної дії. Машини даного типу застосовуються для:

- формування буртів на майданчиках тимчасового зберігання;
- перебуртування зернового вороху з метою зниження його вологості та температури всередині бурту, щоб уникнути самозігрівання та спікання вороху;
- відвантаження зерна для відправки на склади чи елеватори;
- відвантаження фуражного зерна з майданчиків для реалізації;
- навантаження товарного зерна зі складів для відправки на елеватор.

Роль такого транспортного обладнання не обмежується рухом зерна. При проходженні зерна через зернокидач відбувається його попереднє очищення, відділення легких домішок – полови, соломи, а також зниження вологості зерна, що знижує схильність до самозігрівання та сприятливо відбивається на здатності до зберігання. Залежно від природно-кліматичних умов обробітку культури та посівних площ господарств, схема післязбиральної обробки зернового вороху, як було зазначено раніше, може змінюватися. У південних, південно - східних і центральних - чорноземних областях, де період збирання потрапляє як правило на теплий і сухий сезон, найчастіше застосовується повітряно - сонячне сушіння

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зерна, що передбачає багаторазове перебуртування на майданчиках тимчасового зберігання навантажувачами безперервної дії - ЗПС-60, ЗПС- 100, ЗМС-100, ЗМС-195, ЗМ-90, ЗМС-60, ЗМ-60, ЗМЕ-90 та ін [96, 98, 106, 128].

Встановлено, що при одноразовому проходженні вороху через зернокидач вологість знижується на 3 – 5%, а температура – на 10 – 15° С, крім того, видаляються інсектоподібні шкідники [37, 47, 162].

Після збирання у період з високою вологістю, зерно доводять до кондиційної вологості за допомогою спеціальних зерносушильних комплексів.

Зернокидачі типу ЗМ і зернонавантажувачі, що використовуються сьогодні у господарствах, формують суцільну купу оброблюваного зернового матеріалу. У ньому фракції взаємопов'язані і не можуть ефективно розділитися на повноцінне, фуражне зерно та полову (велика, середня та легка фракції).

При переміщенні окремі зерна через різну масу та аеродинамічні властивості падають на різній відстані від машини. Грунтуючись на цьому ефекті, було зроблено припущення, а потім і впроваджений практично спосіб попереднього поділу зерна на сорти без використання сортувальних машин [23] (рисунок 1.2).

Рисунок 1.1 – Схема використання стрічкового зернометателя для поділу зерна на фракції

У процесі роботи пристрою фрагменти колосків, соломисті домішки, щуплі та неповноцінні зерна не мають достатньої дальності польоту, щоб подолати

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поперечний щит, залишаються перед ним за воротами і не надходять на склад. Як вже було згадано, більше і якісне зерно має дальність польоту більшу, ніж дрібне, щупле і менш цінне. Відмінність у масі та аеродинамічних властивостях обумовлює відокремлення дрібного зерна від великого. Розподіл зерна по відсіках дозволяє зберігати його окремими буртами, які формуються спеціальними пересувними конвеєрами. Одноразовий пропуск зернового матеріалу через зернокидач розглянутої конструкції дозволяє відокремити приблизно 1/3 зерен зі зниженою схожістю.

1.3 Аналіз існуючих конструкцій зернокидачів

Класифікація металників за принципом дії та робочим органом докладно розглянута у роботах [68, 102, 132, 147, 148]. Узагальнена схема класифікації зернометальних машин представлена малюнку 1.3.

Рисунок 1.2 – Схема класифікації машин для переміщення зерна

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільшого поширення набули вентиляторні, лопатеві і стрічкові кидачі. Розглянемо докладніше зернокидачі, які набули найбільшого поширення.

Вентиляторні зернокидачі були розроблені для зниження ступеня травмування зерна. Даний тип машин можна умовно поділити на 2 типи: метачі з викидною трубою та з приставним трубопроводом.

Ця машина застосовувалася для перелопачування вороху, просушування, відділення легких домішок та навантаження зерна на автомобілі [57]. Конструктивно кидач складається з вентилятора 4, встановленого на рамі 2; завантажувального скребкового елеватора 5 та електродвигуна 3.

*1 – механізм керування скребковим транспортером; 2 – рама;
3 – електродвигун; 4 – вентилятор; 5 – елеватор,
6 – вивантажувальний патрубок*

Рисунок 1.3 – Вентиляторний зернокидач конструкції

Процес роботи вентиляторного зернокидача включає наступні операції: живильник опускають на масив зерна (бурт), яке скребками подається в ківш. З ковша зерно при вплив створюваного вентилятором розрідження потрапляє в патрубок 6, з якого викидається під дією повітряного потоку. Для завантаження автотранспорту до комплексу постачання машини входить змінний подовжений патрубок.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Типова конструкція другого типу вентиляторних зернокидачів (з приставним трубопроводом) – машина, запропонована М.М. Мисник (рисунок 1.5). Машина призначена для транспортування зерна на відстань до 100 метрів по горизонталі та до 15 метрів заввишки.

Рисунок 1.4 – Вентиляторний зерномет конструкції М.М. Мисник

Машина складається з рами 1, вентилятора 4, бункера 5, живильника 6, трубопроводу 7 і електродвигуна 8. Корпус вентилятора 2, що складається з двох дерев'яних боковин, між якими розташований жерстяний кожух вентилятора 3, кріпиться безпосередньо до рами. Швидкість повітряного потоку вентилятора становить 70 м/с. Привід машини – від електродвигуна потужністю 7 кВт.

Продуктивність складає 5 т/год. Перевага даного зернокидача – простота конструкції, надійність та порівняно невисока металомісткість. Широкого поширення цей зернокидач не набув по причині великої енергоємності робочого процесу та низької продуктивності.

Принципово машина відрізняється від розглянутих вище аналогів. Привід від електродвигуна потужністю 8-10 кВт. Продуктивність – 10-15 т/год.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обслуговуючий персонал 5 – 6 осіб. Конструкція мала недоліки, характерні всім вентиляторних метальників.

Віялка – зернопульт складається з приймального ковша з елеватором скребкового типу, бункера 1 з рифленим розподільним валиком 2, решітного стану 3, що складається з двох основних решіт і одного підсівного, вентилятора 4 віялки, бункера зернопульта 5, і викидної труби 7 . Привід – від ВОМ трактора [95].

Рисунок 1.5 – Віялка-зернопульт

Продуктивність віялки – зернопульта досягала 8 – 10 т/год. Машину у процесі роботи обслуговує 7 осіб. Великі енерговитрати та збільшений штат обслуговуючого персоналу обмежили поширення цієї машини.

На невеликих насінницьких станціях і підприємствах нині використовується машина з урахуванням вентиляторного зернопульта - завантажувач насіння кидкового типу ЗСБ–4. Його повсюдне застосування обмежено внаслідок малої продуктивності – 4 т/год. ЗСБ-4 призначається для подачі насіння трав, зернових та круп'яних культур, у селекційно – насінницькі машини.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згодом сільськогосподарські виробники відмовилися від використання вентиляторних зернопультів. Основними причинами відмови від використання таких машин стали велика енергоємність, порівняно низька продуктивність і значні витрати на обслуговування.

Одним із перших лопатевих кидачів, що вийшли в серію, був універсальний зерноавантажувач. Виробництво цієї машини почалося наприкінці 40-х років. Конструктивно складається з електродвигуна, живильника, елеватора та зернокидання.

Надалі його модернізували до ЗП-М. Модернізація полягала у заміні роздільних двострумкових скребкових ланцюгів живильника та елеватора загальними, нескінченними (рисунок 1.6).

Привідна станція скребкових ланцюгів з нижньої головки елеватора була перенесена у верхню частину. Зміни зазнала рама зерноавантажувача, яка в модернізованому варіанті передбачає встановлення легкого двигуна внутрішнього згоряння на неелектрифікованих струмах. ЗП-М складається з живильника 1, елеватора 2, зернокидача 3, електродвигуна 4, лебідки 5, рами з ходовими колесами 6 і приводу 7.

Рисунок 1.6 – Зерноавантажувач ЗП-М конструкції ВНДІМЕСГ

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Через травмування зерна метальним робочим органом випуск зернопульта - навантажувача було припинено у 1960 році. Основна маса пошкоджень зерна виникала при проходженні вороху між шнеком і кожухом, а також при багаторазовому ударі зерна об крильчатку та розтруб.

Науковцями дослідного інституту розроблено машину, призначену для завантаження та розвантаження залізничних вагонів, автомобілів, причепів, тракторних возів та інших транспортних засобів. Конструктивно машина є пристрій агрегатного типу, до складу якого входить механічна лопата, приймальний бункер і металевий стрічковий або лопатевий тип (рисунки 1.7).

Рисунок 1.7 – Кидач розвантажувально-навантажувальної машини

Зернокидач лопатевий типу є зведений ротор 1, який має 20 різновеликих прямих лопаток, з яких половина короткі 3, друга половина - довгі 4. Ротор розміщений кожусі з розтрубом 3. Подача зерна до ротора відбувається з торця і може бути реалізована з двох. Для подачі зерна до ротора призначені допоміжні гвинти 5 і 6. Кільцева швидкість допоміжних гвинтів становить 10 м/с при діаметрі

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

130 мм. У свою чергу окружна швидкість ротора становить 23,5 м/с, а діаметр 315 мм.

Дальність метання сягає 17 м. Продуктивність – 60 т/год. Потужність 12 кВт. Основним недоліком цієї машини є високий ступінь пошкодження зернового матеріалу робочим органом, що відбувається за рахунок ударної дії з боку лопаток ротора, а також при ударах про кожух, через що не рекомендується робота з насіннєвим зерном.

Науковці запропонували оригінальну конструкцію турбопульту (рисунок 1.9), призначеного для роботи на зернових складах та струмах, а також для розрівнювання зерна у вантажних трюмах суден. Конструктивно турбопульт складається з турбіни 3, гвинта 4 та електродвигуна 1.

Рисунок 1.8 – Турбопульт

Зерно з бурта чи іншого масиву з допомогою гвинта попаде в турбіну. У корпусі турбіни 2 3 розташований диск, безпосередньо пов'язаний з валом електродвигуна. На диску знаходяться 12 великих і 12 малих лопаток, що

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

чергуються між собою. При обертанні валу електродвигуна лопатки диска надають зерну швидкість, необхідну для викидання з труби 5. Продуктивність турбопульту становить 20-25 т/год. Потужність встановленого електродвигуна 3,2 кВт. Переваги машини – невеликі габаритні розміри та невисока потужність електродвигуна. Однак незважаючи на переваги, цей зерномет також не набув широкого поширення через травмування зерна лопатками диска внаслідок великої окружної швидкості останніх.

За дослідженнями вчених [68,69], для формування з зернової маси, що надходить на склад, бурта, перелопачування зерна з метою провітрювання, а також при проведенні вантажно-розвантажувальних операцій в конструкції стрічкового конвеєра необхідно застосовувати спеціальні барабани, або зерноукладачі, а також крильчатки. Робочий орган зерноукладача виконаний у вигляді барабана, на поверхні якого розташовані гумові подовжні лопаті. Вісь барабана закріплена на рамі конвеєра. Привід зерноукладача здійснюється за допомогою пасової передачі. Зерновий матеріал викидається на висоту 4,5 м, що є зручним для немеханізованих складів. За конструкцією та принципом дії крильчатка має багато спільного з барабаном – зерноукладачем, і використовується при заповненні далеких майданчиків складу. Встановлено, що застосування у складі пересувного стрічкового конвеєра барабана - зерноукладача або крильчатки значно знижує витрати праці та енергії.

Лопатеві, або роторні зернокидачі, незважаючи на порівняно низьку метало- та енергоємність порівняно з вентиляторними, непопулярні у сільськогосподарських підприємств. Головна з причин невеликого поширення - багаторазова ударна дія на оброблюване зерно робочих органів лопатевих машин.

Найбільшого поширення у технологічних процесах переробки зерна набули стрічкові зернокидачі. Типовим представником їх сімейства є машина конструкції Бровера (рисунок 1.9).

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.9 – Транспортер зернових матеріалів конструкції Бровера

Технологічний процес відбувається в такий спосіб. Зерно з бункера 1 самопливом надходить у порожнину, утворену увігнутою поверхнею притискного барабана 3 і площиною стрічки 4. Після проходження сегмента канавки, що безпосередньо контактує зі стрічкою, зерно продовжує рух разом з нею, а після викидається під заздалегідь встановленим кутом у борт чи склад. Цей вид транспортера не набув достатнього поширення через високі вимоги точності при виготовленні притискного барабана, а також високого відсотка пошкодження оброблюваного матеріалу при попаданні його в проміжок між притискним барабаном 3 і нескінченною стрічкою 4.

Інша конструкція стрічкового металника була запропонована П.М. Платоновим (рисунок 1.10). Машина складалася з електродвигуна 1, приймального транспортера 2, веденого барабана 3, барабана – натягувача 4, нескінченної стрічки 5 і провідного барабана 6 (рисунок 1.6 а).

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Робочий процес протікає наступним чином: зерно від транспортера – живильника 2 подавалося на нескінченну стрічку 5 у зоні її дотику з барабаном-натягувачем 4, яким притискалося до стрічки, внаслідок чого набувало її швидкості. Далі, проходячи дугою радіальну ділянку контакту з барабаном, зерно викидалося нескінченною стрічкою 5 під встановленим кутом у призначене для цього місце.

а - конструкції Платонова; б – Одеського заводу елеваторного обладнання 1 – електродвигун; 2 – приймальний транспортер; 3 – ведений барабан; 4 - барабан-натяжник; 5 – нескінченна стрічка; 6 – провідний барабан.

Рисунок 1.10 - Влаштування стрічкових зернокидачів

Трохи пізніше машини Платонова в господарствах стали застосовувати зернопульт, виготовлений на Одеському заводі елеваторної промисловості. Відмінною рисою цієї машини було те, що вона монтувалася на дерев'яній рамі та мала власний електродвигун (рисунок 1.10 б). Крім того, замість транспортера, що подає, на зернопульті встановлювався приймальний бункер. Робочий процес аналогічний машинам Платонова та Бровера. Однак цей кидач мав широкий діапазон регулювань і високу адаптивність до умов сільськогосподарського виробництва, що змінювалися – швидкість стрічки могла бути змінена від 7 до 20 м/с, а кут метання від 15 до 600. Незважаючи на це, такі зернопульти не знайшли

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

великого поширення в господарствах, причиною чого послужила невисока довговічність та надійність дерев'яної рами.

Розглянуті вище зернокидачі поєднують ряд недоліків, найзначнішим із яких є травмування зерна робочим органом. Причина травмування – стирання та стиснення зернового матеріалу між притискним барабаном та нескінченною стрічкою. Гумова нескінченна стрічка, що застосовується, швидко зношувалась, що призводило до її набігання на торцеві ребра циліндричних барабанів і механічних пошкоджень.

Після модернізації зернокидачі були позбавлені останнього недоліку. Виконані еліптичними, з великим радіусом кривизни, поверхні ведучого та веденого барабанів забезпечували стійкість та плавність роботи нескінченної стрічки. Ця модернізація збільшила тривалість роботи нескінченної стрічки, яка в модернізованій машині не вимагала заміни близько трьох-чотирьох сезонів, тоді як аналогічна стрічка на зернопульти не витримувала й одного.

Стрічковий металевий робочий орган знаходив застосування у зерноочисних машинах підвищеної продуктивності. Прикладом може бути зерноочисний агрегат (рисунок 1.11), який крім переміщення вороху очищає і поділяє зерно за питомою вагою. Також може бути використаний для завантаження зерна у транспортний засіб.

Широко поширені у сільському господарстві зернокидачі ЗМ-30, конструкція яких є подальшим розвитком типових стрічкових зернопультів. Дане обладнання призначене для завантаження складів та транспортних засобів з висотою закладки до 3,5-4,0 метрів, а також для формування буртів на критих токах та майданчиках. Тример зернокидача має можливість повороту по вертикальній осі, даючи можливість безперервного завантаження автотранспорту, а при роботі на складі – формувати бурт по обидва боки від кидача або за навантажувачем.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.11 – зерноочисний агрегат

На основі ЗМ-30 було розроблено більш продуктивний зернокидач ЗМ-60. Згодом ЗМ-60 модернізували до ЗМ-60А. Самохідний зернокидач ЗМ-60А складається з рами на триколісному ході, вантажного механізму з живильниками, механізму приводу опорних коліс, електроприводу та поворотного тримера з напрямною трубою (рисунок 1.12).

Рисунок 1.12 – Самохідний зернокидач ЗМ-60А

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У конструкції металників замість суцільних гладких часто використовуються стрічки, на поверхні яких є спеціальні рельєфні зачепи для підвищення продуктивності (рис. 1.13). Зачепи можуть бути як поперечними (рисунок 1.13 а), так і спрямованим, так звана "ялинка" (рисунок 1.13 б).

Рисунок 1.13 – Стрічки зернокидача

Незважаючи на те, що багато технологічних операцій неможливо виконати без зернокидачів, виробництво багатьох моделей цих машин було зупинено. Це з неодноразовими рекомендаціями агрономів, у яких вказувалося значне (у кілька разів перевищує допустимі норми) пошкодження зерна зернокидачами у процесі роботи.

На сьогоднішній день зернокидачі ЗМ-60А (або ЗМЕ-60) набули найбільшого поширення в сільському господарстві при виробництві зернових. Однак при роботі дана машина значною мірою пошкоджує (скелює і стирає) зернову купу, що обробляється, і не здатна забезпечити чіткого поділу фракціонування зернового вороху.

Причина вищезгаданих недоліків – ковзання зернового вороху в проміжку між барабаном і стрічкою. Внаслідок цього однакові за масою та своїми аеродинамічними властивостями поодинокі зернівки осідають на різній відстані від машини, одночасно знову перемішуючи з відокремленими домішками.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Застосування ЗПС-100А не дозволяє значно покращити результати роботи машини, оскільки через малу швидкість метання та утворення при цьому супутнього струменя повітряного потоку охолодження вороху незначне, з цієї ж причини неефективно відбувається і відділення легких домішок.

Враховуючи вищевикладені недоліки, можна дійти невтішного висновку, що застосування стрічкових металників поширених на даний момент конструкцій доцільно при обробці великих обсягів фуражного зерна і не бажано при роботі з насіннєвим матеріалом.

1.4. Аналіз теоретичних досліджень процесу роботи стрічкових зернокидачів

Аналіз руху частки матеріалу поверхнею робочого органу сільськогосподарських машин широко висвітлено у роботах П.М. Василенка [31], продовжив роботу його учень Л. В. Погорілий.

Як зазначав Василенко, результати дослідження руху деякої частинки поверхнею безпосередньо залежать від повноти і точності, з якою були розглянуті сили, що діють на цю частинку. Однією з таких сил буде сила тяжкості частинки, що розглядається. Величина та напрямок цієї сили або її складові відомі. Другою такою силою є опір середовища. Напрямок сили опору може бути різним по відношенню до напрямку швидкості руху вектора частинки.

Залежно від наявності інших сил рух частинки може бути розглянутий для випадків, коли на частинку діють:

- 1 – сила тяжіння та реакція зв'язку;
- 2 – сила тяжіння, реакція зв'язку та сила тертя;
- 3 - сила тяжіння, реакція зв'язку, сила тертя та опір середовища;
- 4 - сила тяжіння, реакція зв'язку та опір або тиск середовища.

Найчастіше в дослідженнях руху частинки опір середовища приймається рівним нулю (в окремих випадках – пропорційно швидкості або квадрату

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкості). Так як у розглянутому випадку шар матеріалу рухається разом із нескінченною стрічкою, силою опору середовища будемо нехтувати, тому прийнятний випадок, у якому на частинку діють сила тяжіння, реакція зв'язку та сила тертя.

Зокрема, для нехтування силою опору середовища, П.М. Василенко запропонував таку формулу, що описує рух частинки по шорстких поверхнях с/г машин:

$$\left. \begin{aligned} mx'' &= F_x + \frac{N\partial f}{\Delta f} \cdot \frac{\partial f}{\partial x} - fN \frac{x'}{v}; \\ my'' &= F_y + \frac{N\partial f}{\Delta f} \cdot \frac{\partial f}{\partial y} - fN \frac{y'}{v}; \\ mz'' &= F_z + \frac{N\partial f}{\Delta f} \cdot \frac{\partial f}{\partial z} - fN \frac{z'}{v}; \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

де: F_x, F_y, F_z , - проекції прикладеної сили; N – нормальна реакція зв'язку; f – коефіцієнт тертя.

Аналіз (1.1) дозволяє зробити висновок про те, що запропонована залежність характерна для матеріальної точки (одиночної частки матеріалу), що має масу і не має впливу з боку інших тіл (у шарі матеріалу на стрічці кидача).

Розглядаючи рух частинки по горизонтальній поверхні сільськогосподарської машини, що рівномірно рухається, П.М. Василенко запропонував наступну залежність для визначення швидкості руху частки:

$$v_a = v_0 + fgt \quad (1.2)$$

де: v_0 – початкова швидкість руху частинки; f - коефіцієнт тертя частки про льону.

Вираз (1.2) справедливо для руху частинки прямолінійної поверхні. У нашому випадку при розгляді руху частинки визначається вплив геометричних параметрів кидальної машини, таких як кути установки приймальної та металеві гілки стрічки, а також радіус катків проміжного барабана, так як частка рухається по дузі кола, радіусом рівної радіусу опорних катків притискного барабана. Тому залежність (1.2) не застосовується до наших умов.

Розглянуті вище залежності не можуть бути використані в дослідженнях, наведених у цій роботі. Найбільша кількість теоретичних досліджень орієнтована на визначення параметрів роботи машин для розкидання мінеральних добрив, через що особлива увага приділяється впливу параметрів робочих органів та їх режимів роботи на сектор розсівання добрив, оскільки рівномірність внесення та забезпечення раціонального перекриття між суміжними проходами - ключовий момент роботи кидачів.

Наведені вище вирази описують рух частинки вздовж шорсткої поверхні. У нашому випадку рух частинок (зернівок) вздовж лопатки не розглядається в силу рівних швидкостей руху стрічки метача і лопатки проміжного барабана.

Крім того, розглядається рух окремої матеріальної точки, а випадку проведених нами досліджень – шар зернового матеріалу.

Зернопульт із зігнутою стрічкою складається з рами, на якій монтується завантажувальний бункер, провідний та ведений барабани, що охоплюються прогумованою (нескінченною) стрічкою, та суцільний притискний барабан (рисунок 1.13). Зерно, що подається з бункера на ділянку дуги нескінченної стрічки під притискним барабаном, затискається між ними і за рахунок тертя про притискний барабан і стрічку набуває швидкості останньої. Притискний барабан 4 приводиться у обертання силою зчеплення з шаром зерна, що знаходиться на ділянці, де він вже придбав швидкість стрічки.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.13 – Схема сил, що діють на зернову масу в зернопульті

Наприкінці робочої гілки стрічки зерно відокремлюється від неї і летить по траєкторії тіла, кинутого під кутом до горизонтальної площини. У процесі вільного руху зернової маси він поділяється на фракції, чому сприяє різна питома вага окремих частинок [22, 45, 46, 67, 131].

Продуктивність стрічкового зернопульта може бути визначена за формулою [22]:

$$Q = 3600B\delta\psi v_{\text{л}}\gamma, \text{ т/год}, \quad (1.3)$$

де: B – ширина стрічки, м; δ – товщина шару зерна на виході, м; ψ – коефіцієнт використання ширини стрічки, $\psi = 0,4-0,5$; $v_{\text{л}}$ – швидкість стрічки, м/с; γ – щільність зерна, т/м³.

Формула (1.3) дозволяє по заданій продуктивності та швидкості стрічки визначити її ширину. Розміри барабанів зернопультів вибирають так само, як і для стрічкових транспортерів.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість стрічки або швидкість викидання зерна автори роботи [16] рекомендують визначити за формулою (1.4), задавшись дальністю польоту вантажу по горизонталі та кутом викидання:

$$x_0 = \frac{v_1^2 \sin 2\beta}{g}, \quad (1.4)$$

де: v – швидкість стрічки, м/с; β - кут викидання, град.

Однак ця залежність може бути прийнята лише для орієнтовних розрахунків, оскільки в ній не враховуються аеродинамічні характеристики зернової маси.

Розглядаючи дію сил на елементарну масу вантажу [26, 34] (рисунок 1.16), що знаходиться на ділянці dl шляху ковзання вантажу, обмеженого кутом $d\varphi$ встановлено, що на вантаж діють такі сили:

mg - сила тяжіння;

N_1 – нормальна реакція поверхні завантажувального барабана;

N_2 – нормальна реакція поверхні стрічки;

F_1 – сила тертя зерна про завантажувальний барабан;

F_2 – сила тертя зерна про стрічку (рушійні сили);

$mr\omega^2$ – нормальна сила інерції вантажу;

$mr\omega^2 \frac{d\omega}{dt}$ – дотична сила інерції вантажу, де у свою чергу:

ω – кутова швидкість руху вантажу на ділянці, що розглядається,

r – радіус притискного барабана.

Рівняння рівноваги сил без урахування сили тяжіння вантажу [34]:

$$\begin{cases} mr\omega^2 + N_1 - N_2 = 0 \\ mr\omega^2 \frac{d\omega}{dt} - dF_1 - dF_2 = 0 \end{cases} \quad (1.5)$$

З урахуванням $\omega = \frac{v}{r}$ [63]:

$$v = \frac{kr}{f_1 + f_2} \cdot e^{f_2\varphi} + c_0 r e^{-f_1\varphi} \quad (1.6)$$

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де f_1 - коефіцієнт тертя зерна про притискний барабан;

f_2 - коефіцієнт тертя зерна про стрічку;

φ – кут захоплення одиничних частинок;

c – довільна стала;

k - коефіцієнт, що залежить від сил тертя r : $k = \frac{3,6S_g(f_1+f_2)}{Q_r}$.

Запропонована залежність характеризує швидкість потоку частинок під час руху зі стрічкою. На виході потік розшаровується, надалі швидкість частинок відрізнятиметься в залежності від аеродинамічних властивостей, маси, а також від того, в якому шарі була частка.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА

2.1 Основні поняття та положення

Аналіз літературних джерел показує, що при дослідженні технологічного процесу транспортування зерна різні автори використовують різні терміни [35, 41, 56, 63, 64, 160].

Інтегрований ремінний тример є звичайним тримером, але замість суцільного притискного барабана на валу встановлені радіальні леза. У роботі при характеристиці обладнання буде використане те саме: досліджуваний робочий орган, зернокидач або машина для переміщення зерна.

У типовій конструкції тримера використовується притискний барабан, який у різних літературних джерелах називають навантажувальним барабаном, натяжним барабаном або притискним барабаном. У роботі буде використана

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

термінологія прижимний лопатевий барабан, притискний барабан або лопатевий барабан.

Рисунок 2.1 - Схема розміщення зернового шару на стрічці

Оброблений матеріал (тепер пшениця) буде називатися зерновим матеріалом, зерновим матеріалом, сипучим матеріалом, матеріалом або зерном.

На нескінченну стрічку зерновий матеріал самопливом подається з бункера за допомогою спеціального розподільника потоку, який ми будемо називати живильником або лотком.

Потік сипучого матеріалу при подачі приймає форму отвору, а потім матеріал переміщується на нескінченну стрічку у формі прямокутника в кілька шарів зерна по довжині.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В цьому випадку припускаємо, що висота одного шару h (Δ) буде дорівнювати товщині одного зерна (рисунок 2.1). Радіус контакту зернового матеріалу з лопаткою барабана – це відстань від осі обертання барабана до точки контакту зерна з лезом.

Кут кидання матеріалу з машини – це кут нахилу нормальної швидкості матеріалу до горизонту при його виході з пристрою. Насправді цей кут дорівнює куту нахилу нескінченної стрічки відносно горизонту.

Схожі терміни: кут виходу стрічки, кут випуску, кут кидання.

Рисунок 2.2 – Схема взаємодії зерна та леза

Розглядаючи процес взаємодії зернових продуктів з лопаткою, ми приймемо такі припущення:

- контакт зерна з лопаткою буде розглядатися як одне зерно;
- взаємодія зерна з лопаткою відбувається в одному конкретному положенні, показаному на рисунку 2.2:
- під час аналізу процесу взаємодії окремої деталі з лопаткою форму зерна приймаємо за ідеальну – еліпсоїд обертання.

Ми вивчимо деякі кінематичні параметри комбінованого стрічкового зернокидача, які є рухом матеріалу в стрічці, і визначимо швидкість матеріалу.

2.2 Дослідження методу роботи стрічкового вузла

Робочі органи кидальних машин, які зараз використовуються в сільськогосподарському виробництві, як було сказано раніше, мають ряд недоліків. Основна з них – високий рівень пошкодження зерна.

					KPM.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однією з найважливіших цілей при зворощенні зернової маси є попереднє видалення з нього домішок на основі різниці між їх аеродинамічними властивостями та чистого зерна. Зниження вологості (висушування) матеріалу, що переробляється, відбувається, як правило, зі швидкістю не більше 14 м/с для товарних і зернових кормів, не більше 10 м/с для насінництва. Збільшення швидкості вище зазначеної межі призведе до помітного зростання пошкодженості зерна [69, 76, 77, 132, 161].

За робочою структурою всі використовувані стрічкові метали можна віднести до реактивних пристроїв. З іншого боку, струминні апарати поділяються на два види - з безперервним струменем на виході і періодичні [147, 157]. Відомо, що розряд безперервного потоку сприяє утворенню супутнього повітряного потоку, внаслідок чого важко розрізнити різні види забруднень у загальній зерновій трубі.

Однак описаний метод можна посилити, зробивши тонкий струмінь, однак на практиці він не використовується через низьку продуктивність і високу енерговитрату. Зернометні частинки [4-7, 148] дозволяють утворювати потік розрідження.

Пропонований об'єкт роботи являє собою пристрій струминного типу. За результатами пошукових лабораторних досліджень комбіноване метання пояса можна віднести до категорії метань [86, 87].

Розглянемо, як працює серійний металник з вигнутою стрічкою і порожнистим натискним барабаном (триммером). Металник (рисунок 2.3) складається з 1 ведучого і 2 ведених барабанів, обмотаних навколо нескінченної стрічки 4.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.3 – Схема криволінійного стрічкового зернокидача

Притискний барабан 3 (рисунок 2.3б) складається з центрального валу 5 і двох роликів 6, які штовхають верхню гілку стрічки так, що ділянка ВС гілки стрічки має форму дуги кола, радіус якої дорівнює такий же, як і радіус роликів 6 барабана 3. Притискний барабан спирається з два підшипника і може переміщатися в радіальному напрямку для зміни кутів установки гілок АВ і CD нескінченної стрічки.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Матеріал надходить у стрічку зі швидкістю V_0 у точці А, і на ділянці АВ рухається прямолінійно. Потім на кривій (ділянка ВС), визначеній кутом $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$, частинки матеріалу притискаються до стрічки силою тяжіння та відцентрової сили, яка виникає через силу зчеплення матеріалу до стрічки. На ділянці CD частинка рухається прямолінійно і викидається зі стрічки в точку D під кутом α_2 до горизонту.

Під час попередніх випробувань встановлено, що дана технологічна система зернокидачів має обмежену продуктивність і нерівномірний потік матеріалу зі стрічки. Це призводить до зниження швидкості переміщення і, як наслідок, зменшення дальності польоту частинок і характеру їх розподілу по довжині транспортера.

Попередніми дослідженнями вчених розглянуто та випробувано вдосконалену технологічну систему комплексно-зернової стрічки (рисунок 2.4).

Усунення зазначених недоліків досягається встановленням на осі 5 притискного барабана з лопатей 7, товщиною не більше одного шару зернової маси (одне зерно).

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.4 - Схема комбінованого стрічкового конвеєра з лопатями

Комбінований стрічковий конвеєр працює наступним чином: матеріал з бункера рухається по лотку в зону дії лопатей 7 і нескінченної стрічки зі швидкістю V_0 . Завдяки наявності зазору Δ між лопатями і стрічкою одні частини взаємодіють зі стрічкою, а інші – з лопатями. Матеріал, який взаємодіє з стрічкою, рухається разом із нею, а частина матеріалу, поділеного на порції, рухається вздовж лопаті в бічні сторони (від центру).

2.3 Аналіз контактної взаємодії зерна з лопатями комбінованого стрічкового зернокидача

Аналіз технологічного процесу запропонованого технічного рішення показує, що у порівнянні зі стрічковим кидачем (із суцільним притискним барабаном) вплив робочого органу на зернову масу значно зменшується. Однак частина обробленого зерна все ще піддається впливу притискного барабану.

Факторами, які визначають контактну взаємодію між зерном і лопатями, є форма лопаті та зерна, матеріал робочого органу і швидкість під час взаємодії. Коли зернина попадає на лопать, рівень їх взаємодії характеризується миттєвою силою.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Багато досліджень [39, 47, 93, 154] дозволяють зробити висновок, що рівень пошкодження зерна зростає зі збільшенням зовнішнього навантаження на зерно. Існує методика, яка дозволяє оцінити наслідки такого типу впливу на зернові матеріали. Відповідно до неї розглянуто процес взаємодії тіла в межах параметрів деформації.

Науковці [144], розглядаючи теорію Герца, знайшли рішення проблеми взаємодії двох тіл в деяких випадках, а також вивели залежність, що визначає величину сили раптового удару:

$$P = k \cdot \alpha^{\frac{2n+1}{2n}} \quad (2.1)$$

де: n – величина, що визначається характером взаємодії тіл;

α – пружна деформація зерна (зближення тіл в місці контакту), м;

k – коефіцієнт, який залежить від кривизни поверхонь тіла в місці контакту та властивостей матеріалу.

$$k = \frac{2n}{2n+1} \cdot \frac{E_{np}}{1-\mu_2^2} \cdot \sqrt[2n]{\frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \dots (2n-1)}{2 \cdot 4 \cdot 6 \dots 2n}} \cdot \frac{1}{A}, \text{ КГМ}^{-\frac{3}{2}} \quad (2.2)$$

де E_{np} - приведений модуль Юнга дотичних тіл;

$$E_{np} = \frac{2E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2} \quad (2.3)$$

$A = r$ – сума головних кривих у точці дотику.

Рисунок 2.4 - Схема взаємодії зерна і лопаті

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для спрощення опису процесу контактної взаємодії зерна з лопаткою приймемо перший варіант – контакт зерна з лопаткою в точці [79] (рис. 2.19) при $n = 1$, тоді вирази (2.32) і (2.33) можна записати у такому вигляді:

$$P = k \cdot \alpha^{\frac{3}{2}}, \quad (2.4)$$

$$k = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1(1-\mu_2^2) + E_2(1-\mu_1^2)} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\Sigma r}}, \quad (2.5)$$

де E_1, E_2, μ_1, μ_2 – модулі Юнга і коефіцієнти поперечної деформації (Пуассона) зерна і матеріалу лопатки.

Рисунок 2.5 – Схема взаємодії поверхні лопатки із зернівкою ідеальної форми

Якщо розглядати характер взаємодії зерна і лопатей, то в загальному випадку сума основних кривих буде:

$$\sum r = \frac{1}{r_{11}} + \frac{1}{r_{12}} + \frac{1}{r_{21}} + \frac{1}{r_{22}} \quad (2.6)$$

Враховуючи припущення, що форма зерна є еліпсоїдом обертання, при визначенні його кривої науковці [79] позначають розміри прийнятого еліпсоїда як півосі a і c і ширину b (рис. 2.20).

При контакті лопаті і зерна кривизна поверхні лопаті буде дорівнювати нулю, тобто поверхня робочого органу не буде деформуватися. У цьому випадку приведена кривизна зерна може бути виражена через радіус кривизни:

$$r_{11} = \frac{b}{2} = c, \quad r_{12} = \frac{a^2}{c}$$

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді сума криви тіл, що взаємодіють складе:

$$\sum r = \frac{1}{c} + \frac{c}{a^2} = \frac{a^2+c^2}{c \cdot a^2}. \quad (2.7)$$

Відомо, що значення коефіцієнта Пуассона для сталі становить 0,25 – 0,33, для зерен – 0,3-0,4. Тоді беремо $\mu_1 = \mu_2 = \mu = 0,3$ як для сталі та зерна.

Тоді з урахуванням (2.4) формулу прийнемо у такому вигляді:

$$k = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_1}{(1-\mu^2)} \cdot \left(\frac{E_2}{E_1+E_2} \right) \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{c \cdot a^2}{a^2+c^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.8)$$

Аналіз залежності (2.8) показує, що модуль Юнга сталі ($E_{ст} = E_2 = 2 \cdot 10^5$ МПа) значно більший, ніж у зерна ($E_{зер} = E_1 = 10 - 40$ МПа). У зв'язку з цим вираз можна прийняти близьким до 1, і для цих матеріалів, що контактують з тілом, цим виразом можна знехтувати. При меншій різниці між модулями Юнга зерна і лопаті коефіцієнт k зменшується, а також залежить від розміру окремого зерна.

Цей вплив яскраво виражений для матеріалів (лопатей) з модулем Юнга менше 300 МПа (гума, капрон, полімер). З графіка залежності (рисунок 2.21) коефіцієнта від модуля Юнга запропонованого матеріалу лопаті видно, що зі збільшенням як модуля Юнга матеріалу лопатки, так і розміру зерна коефіцієнт k зростає. Значення коефіцієнта k для грубого зерна приблизно вдвічі більше, ніж для дрібного зерна.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.6 – Залежність коефіцієнта k від модуля Юнга E матеріалу лопаті для крупної, середньої та дрібнозернистої фракцій зерна.

В момент взаємодії, (при швидкості зближення тіл становитиме 0) пружна деформація зерна становить [52, 54]:4

$$\alpha = \left[\frac{5}{4} \cdot \frac{mV_H^2}{k} \right]^{\frac{2}{5}}, \quad (2.9)$$

де V_H – відносна швидкість тіл, що контактують, тоді – нормальна складова відносної швидкості тіл у початковий момент контакту ($V_H = V_{n1}$);

m – приведена маса при контакті тіл, які визначаються за формулою:

$$m = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} = m_1 \cdot \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2} \right) \quad (2.10)$$

де m_1 і m_2 – маса зерна і лопаті відповідно.

Враховуючи, що маса лопаті у багато разів перевищує масу зерна, у виразі (2.46) множник у дужках можна взяти приблизно рівним одиниці. Врахувавши це, для реальних розрахунків ми можемо вважати, що приведена маса дорівнюватиме масі насіння ($m_1 = m_2$).

Враховуючи прийняті значення та перетворення, миттєву силу в момент взаємодії можна визначити із залежності:

$$P = k \cdot \left[\frac{5}{4} \cdot \frac{m_1 V_H^2}{k} \right]^{\frac{3}{5}}, \quad (2.11)$$

Аналіз залежності (2.11) дозволяє зробити висновок, що миттєва сила взаємодії залежить від значення коефіцієнта k , так і швидкості в початковий момент взаємодії.

Модуль і напрямок відносної швидкості тіл до і після контакту визначимо на основі теореми про зміну імпульсу в матеріальній точці. У загальному вигляді ця теорема представлена формулою [26]:

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\overline{mV'_0} - \overline{mV_0} = \sum_{i=1}^n \bar{P}(F_R), \quad (2.12)$$

де V'_0, V_0 – відносна швидкість частинок до і після удару;

$\sum_{i=1}^n \bar{P}(F_R)$ – векторна сума імпульсів миттєвих сил.

У цьому випадку миттєва сила P є реакцією поверхні лопаті N , яка визначалася за формулою Герца (2.12), тобто. $N = P$. Щоб визначити напрямок і значення відносної швидкості зерна і лопаті до і після удару, розглянемо процес взаємодії зерна і лопаті.

Взаємодія зерна з лопатю, як правило, відбувається в момент попадання зерна на нескінченну стрічку в її вигнутій частині. У реальних умовах роботи пускової установки матеріал подається на стрічку безперервним потоком і укладається в декілька шарів. У цьому випадку, виходячи з конструктивних характеристик (через різницю між лопатю і нескінченною стрічкою), зерна другого і наступних шарів безперервного потоку матеріалу будуть контактувати з лопатю. Однак можливо, що насіння потрапляє в простір між лопатями до того, як вигнута частина нескінченної стрічки стикається однією з них. З діаграми взаємодії (рисунок 2.22) видно, що при контакті насіння з лопатю швидкості контактуючих тіл не лежать на одній прямій, а спрямовані під кутом одна відносно одної.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.7 – Графік відносних швидкостей зерен до і після контакту з лопатю

Враховуючи це, складова імпульсу, яка виглядає нормальною та дотичною до поверхні, прийматиме такі значення:

$$mV_2^n - mV_1^n = S_N; \quad mV_2^t - mV_1^t = S_t; \quad (2.13)$$

Процес контактної взаємодії зерна і лопаті при нормалі $n-n$ можна розділити на дві фази [59]. Перша фаза – зерно деформується (стискається) до моменту, коли його швидкість стане рівною нулю. Друга фаза – насіння відновлює свій початковий розмір і форму (за рахунок своєї пружності).

На початку другої фази контакту зерно має швидкість V_2 . Миттєве імпульсне рівняння нормальної складової для обох фаз контактної взаємодії має вигляд:

$$mV_n - mV_{n1} = S_1; \quad mV_{n2} - mV_n = S_2; \quad (2.14)$$

Враховуючи коефіцієнт S_1/S_2 як коефіцієнт відновлення, відповідно матимемо [59]:

$$\frac{mV_{n2} - mV_n}{V_n - mV_{n1}} = s, \quad (2.15)$$

Якщо припустити, що в кінці першої фази контактної взаємодії та на початку другої швидкість дорівнюватиме нулю ($V_n = 0$), то отримаємо залежність, яка зв'язує нормальну складову відносної швидкості частинки до і після взаємодії з лопатю:

$$V_{n2} = s \cdot V_{n1}, \quad (2.16)$$

Відповідно до гіпотези сухого тертя, або другої гіпотези Ньютона, тангенціальна складова імпульсу пропорційна нормальній складовій [26]:

$$V_{\tau 2} - V_{\tau 1} = \pm f \cdot (V_{n2} - V_{n1}) \quad (2.17)$$

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де: f - коефіцієнт сухого тертя.

Знак «+» або «-» справа протилежний знаку значення $V_{\tau 1}$, оскільки контактна взаємодія призводить до зменшення відносної швидкості руху.

Фізичний зміст рівняння (2.17) полягає в тому, що контактні поверхні взаємодіють за законом сухого тертя і взаємодія залишається незмінною як при немиттєвих, так і при миттєвих силах.

Слід зазначити, що вираз (2.17) описує закон зміни тангенціальної складової швидкості лише в певному діапазоні значень $V_{\tau 1}$ і V_{n1} . Використовуючи (2.17), отримуємо:

$$V_{\tau 2} = V_{\tau 1} \pm f \cdot (1 - s) \cdot V_{n1} \quad (2.18)$$

Отриманий вираз виходить за межі застосовної області за умови, що:

$$|V_{\tau 1}| + (1 - s) \cdot V_{n1} < 0.$$

Початкова швидкість частинки до удару V_0 (рисунок 2.13). При контакті частинки з лопаттю вектор швидкості V_0 відносно лопаті спрямований під кутом α . Лезо рухається з окружною (лінійною) швидкістю ωr , де r — радіус зустрічі зерна та лопаті.

Швидкість зерна відносно поверхні лопаті будемо вважати швидкістю відносно рухомої перешкоди, а складова відносної швидкості частинки до контакту буде дорівнювати:

$$V_{n1} = \omega r - V_{n0} = \omega r - V_0 \cos \alpha ; V_{\tau 1} = V_{\tau 0} = V_0 \cdot \sin \alpha \quad (2.19)$$

Аналіз виразу (2.19) показує, що нормальна складова відносної швидкості зерна в момент контакту з лопатями кількісно залежить від швидкості обертання лопатей, радіуса зустрічі зерна і лопаті, і початкова швидкість зерна.

Враховуючи вирази (2.17) і (2.18), відносна швидкість (нормальна складова) частинки після контакту визначається таким виразом:

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{n2} = (s \cdot \omega r - V_0 \cos \alpha) \quad (2.20)$$

Тангенціальна складова швидкості після контакту з урахуванням гіпотези сухого тертя (вираз 2.18) дорівнюватиме:

$$V_{\tau 2} = V_{\tau 1} - f(V_{n2} - V_{n1}) = V_0 \cdot \sin \alpha + f \cdot (\omega r - V_0 \cos \alpha) \cdot (1 - s) \quad (2.21)$$

Графічний аналіз залежності нормальної складової моменту контакту від швидкості (кутової) лопатей (рисунок 2.24) показує, що зі збільшенням кутової швидкості в 2 рази (від 60 до 120 с⁻¹), швидкість V_{n1} там також збільшується приблизно вдвічі. Конструктивно швидкість лопатей дорівнює швидкості нескінченної стрічки, оскільки лопаті жорстко закріплені на осі притискного барабана, який приводиться в рух попереднім натягом нескінченної стрічки. Отже, для зниження швидкості V_{n1} необхідно зменшити частоту обертання лопатей і, певною мірою, швидкість руху нескінченної стрічки, не порушуючи при цьому умови технологічного процесу.

Рисунок 2.8 – Графік залежності нормальної складової відносної швидкості в момент контакту від кутової швидкості лопатей.

На розмір нормальної складової відносної швидкості частинки в момент контакту суттєво впливає радіус зустрічі (або штовхаючий тиск) частинки та лопаті. Збільшення цього радіуса в чотири рази (від 0,05 м до 0,2 м) призводить до

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

збільшення швидкості V_{n1} у кілька разів. З точки зору зменшення наслідків пошкодження контактної взаємодії зерна з лопатями, необхідно докласти зусиль для зменшення радіусу контакту зерна з лопатю.

Рисунок 2.9 – Графік залежності нормальної складової відносної швидкості частинки в момент контакту від радіусу взаємодії

Технологічно і конструктивно можна варіювати параметр радіусу зустрічі лопаті і зерна, однак це призведе до збільшення діаметра притискного барабана, а отже, і розмірів в цілому. Це пояснюється тим, що матеріал подається безпосередньо на нескінченну стрічку, а потім частина матеріалу збирається лопатями. Тому в цьому випадку необхідно намагатися зменшити діаметр притискного пристрою, але не порушуючи вимог основного технологічного процесу.

Величина нормальної складової швидкості V_{n1} також залежить від напрямку та модуля початкової швидкості зерна в момент контакту. Збільшення початкової швидкості частинки (V_0) у момент контакту призводить до зменшення швидкості V_{n1} (рисунок 2.9). Різниця в цих швидкостях спостерігається більш інтенсивно при великих кутових швидкостях (до 110 c^{-1}).

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.10 - Залежність нормальної складової відносної швидкості в момент контакту від початкової швидкості

Аналіз факторів, що впливають на значення нормальної складової відносної швидкості V_{nl} і коефіцієнта k , дозволяє розглянути вплив параметрів на значення миттєвої сили P (формула 2.11).

У результаті аналізу знайдених залежностей (рисунок 2.10) видно, що зі збільшенням коефіцієнта k від 8 до 15 одиниць величина миттєвої сили зростає в середньому в 2 рази.

Рисунок 2.11 – Графік залежності миттєвої сили від коефіцієнта k

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.12 – Графік залежності миттєвої сили P від швидкості V_{n1}

Одним із факторів, який має великий вплив на миттєву силу, є нормальна складова відносної швидкості в момент удару. Встановлено, що збільшення швидкості V_{n1} від 6 до 18 м/с призводить до збільшення сили P в 2-3 рази. У свою чергу, величина сили P безпосередньо впливає на якість оброблюваного матеріалу.

Характеристикою міцності зерна є розтяг:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.22)$$

де: A – площа поперечного перерізу.

За результатами знайдених значень нормальної складової відносної швидкості V_{n1} і коефіцієнта k розглянемо докладніше вплив цих факторів на значення напруги (рис. 2.28, 2.29).

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.13 – Графік залежності навантаження в зернівці від коефіцієнта k

У результаті аналізу знайденої залежності (рисунок 2.28) можна зробити висновок, що зі збільшенням коефіцієнта k від 3 до 15 одиниць величина нормального напруження, в свою чергу, зростає в середньому в 2 рази. Збільшення швидкості V_{nl} від 2 до 10 м/с призводить до підвищення напруги в 10 разів, що суттєво позначається на якості матеріалу, що обробляється.

Рисунок 2.14 - Залежність напруги від швидкості V_{nl}

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У результаті аналізу встановлено, що для зменшення ударної взаємодії зерна та лопаті можна оперувати двома групами факторів: фізико-механічними властивостями зерна та його кінематичними параметрами зернокидачаю Проте фізико-механічні властивості зерна належать до групи неконтрольованих факторів, які необхідно вивчати та використовувати для розробки технологічного процесу. Аналіз факторів другої групи показав, що існує ряд прийомів, за допомогою яких можна звести контактну взаємодію до мінімуму. Ударну взаємодію зерна та леза можна зменшити шляхом збільшення початкової швидкості V_0 матеріалу, що надходить на стрічку.

З іншого боку, можна встановити сталеві лопаті, покриті поліетиленом (LDPE), модуль Юнга буде від 50 до 240 МПа, або використовувати лопаті з еластичного матеріалу в конвеєрній стрічці товщиною 8 мм, жорсткість якої становить необхідно

Отже, проаналізовано та вивчено фактори, що впливають на пошкодження оброблюваного матеріалу, в результаті чого лопатка натискного барабана повинна бути виготовлена з гумового матеріалу або поліетилену необхідної товщини.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Обладнання та методика визначення параметрів комбінованого стрічкового зернокидача

На основі проведеного аналізу конструкцій машин для кидання зерна (гл.1 п. 1.3) та зроблених за цим аналізом висновків (гл.1 п.1.6) було розроблено експериментальний робочий орган стрічкового металника зерна. Загальний вигляд експериментальної установки, обладнаної розробленим лопатевим барабаном, представлений на малюнку 3.6.

Розроблений стрічковий кидач містить ведучий 1 і натяжний 3 барабани, охоплені нескінченною стрічкою 4, і притискний лопатевий барабан 2. Установка змонтована на рамі 8, яка має колісний хід 9 для полегшення переміщення. Зерно подається на стрічку живильника 5, конструкція якого дозволяє змінювати місце подачі зернового матеріалу на нескінченну стрічку (рисунок 3.7).

Рисунок 3.1 – Експериментальна установка

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.2 – Живильник з поворотним пристроєм

Продуктивність живильника регулювалася дозуючою системою 6 (рисунок 3.8), що дозволяє змінювати прохідний переріз вихідного вікна бункера 7, пов'язаного з живильником (рисунок 3.7).

Рисунок 3.3 – Механізм приводу системи дозування

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Експериментальні дослідження, що дозволяють визначити параметри зернокидача, проводилися кілька етапів. Перший етап полягав у визначенні продуктивності експериментальної установки. На другому етапі визначалися параметри лопатевого барабана. Надалі проводилася агротехнічна оцінка роботи експериментального стрічкового зернокидача у виробничих умовах, а також дослідження розподілу зерна за довжиною та шириною метання.

На величину сектора розсіювання впливає місце подачі зерна на нескінченну стрічку. Для проведення відповідних досліджень у конструкцію лабораторної установки було закладено можливість зміни координати подачі зерна з живильника бункера. Зміна координати подачі досягається за допомогою повороту живильника щодо відповідних отворів транспортира на бункері (рисунок 3.7). Крім того, були передбачені 2 ряди отворів, розташованих на живильнику та транспортирі по дузі на різному радіальному видаленні (рисунок 3.4). Перестановка живильника щодо транспортира на зовнішню чи внутрішню групу отворів також дозволяє змінювати місце подачі матеріалу на стрічку.

Зміну продуктивності живильника проводили за допомогою храпового механізму з фіксацією в заданому положенні, за допомогою системи регульованих тяг пов'язаного із заслінкою вивантажувального вікна бункера. Під час експерименту визначалася продуктивність, за якої металник працював задовільно з погляду агротехнічних вимог (не спостерігалось бічного розсіву зернового матеріалу внаслідок завищеного прохідного січення вікна бункера). Система дозування є храповим механізмом із системою важелів, пов'язаних із заслінкою бункера. Застосування такої системи дозволяє змінювати прохідний переріз вивантажувального вікна бункера з кроком по висоті 2 мм, що дає можливість точного дозування робочого матеріалу. Механізм приводу системи дозування представлений на рисунку 3.5.

Для безступінчастої зміни частоти обертання електродвигуна експериментальної установки, і як наслідок лінійної швидкості стрічки, металник був оснащений векторним перетворювачем частоти (рисунок 3.5).

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.6 - Система управління на базі перетворювача частоти ОВЕН ПГВ 103-3К0В

Частотний перетворювач був укомплектований локальною панеллю оператора ЛПО-1 (рисунок 3.10), за допомогою якої проводилося калібрування та адаптація ПЛВ під електродвигун (установка параметрів напруги, потужності, частоти напруги в мережі та частоти обертання ротора двигуна на холостому ході) і змінювалися параметри його роботи під час проведення експериментів.

Графік залежності частоти обертання двигуна від частоти напруги живлення представлений на малюнку 3.7.

Рисунок 3.7 Графік залежності частоти обертання двигуна

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Визначення місця подачі матеріалу в нескінченній стрічці.

На етапі експериментальних досліджень розвідки в лабораторних умовах встановлено, що напрямок і політ зернового матеріалу, який виходить, залежить від місця його подачі. Для зміни місця подачі робочого матеріалу бункерний живильник обладнаний поворотним пристроєм, що дозволяє змінювати висоту подачі та кут нахилу живильника до горизонту.

Схема живильника з поворотним пристроєм наведена на рисунку 3.8.

Рисунок 3.8 - Схема живильника з пристроєм, що обертається навколо осі притискного лопатевого барабана, прийнято за умовний центр координат.

Переміщенням лапи живильника відносно бункера сошник встановлюється в зоні оптимальної подачі зернових продуктів, не порушуючи технологічний процес машини (рисунок 3.9).

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.9 - Визначення площі зернових запасів

3.3 Визначення параметрів лопатевого барабана

Дослідження параметрів лопатевого барабана проводили на сконструйованій дослідній установці (рисунок 3.9) шляхом постановки серії одноточкових дослідів. Серед досліджуваних параметрів були: частота обертання, кількість барабанів, різниця між плечима та нескінченним поясом. Зміна вищевказаних параметрів призводить до підвищення або зниження рівня пошкодження обробленого зерна в процесі роботи машини.

Для визначення швидкості виходу зерна, швидкісна зйомка робочої рослини на фоні графічного об'єктива камерою GoPro 4 Black, який має високу роздільну здатність і швидкість зйомки 120 кадрів за секунду з наступною конфігурацією, використовувався у відеофайлі та визначав час проходження блоку управління одним продуктом.

Зерновий матеріал (або насип), розподілений за площею та об'ємом, з багатьох причин змінює свої властивості. Основним з них є фракція, або розподіл загальної маси матеріалу за такими характеристиками, як щільність, склад і повітряні характеристики переміщення зерна при формуванні штабелів машин. Враховуючи

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вищевикладене, відбір проб зернових продуктів після утилізації проводили згідно з ДСТУ ISO 13690:2003 «Зернові, бобові та продукти їх помелу. Відбір проб (ISO 13690:1999, IDT)» [109].

Розташування точок відбору проб зерна після випробувального зернокидача показано на рисунку 3.10 а.

Рисунок 3.10 – Техніка відбору проб зерна після обмолоту

Враховуючи малу довжину шару зерна, проби відбирають металевою ложкою (рис. 3.10 б). Окремі проби зважували, відповідним чином упаковували, маркували та досліджували згідно з прийнятою методикою оцінки якості зерна.

Експериментальні дослідження розподілу зерна під час метання проводили на зерновому складах за довжиною та шириною секції розсипання. Для проведення даного дослідження були використані вловлювачі розміром 500×500 мм і висотою 50 мм, виготовлені з картону, які встановлюють по довжині і ширині зернових ящиків, що викидається в розмелену зернову масу (рисунок 3.16).

Розподіл досліджували при різних швидкостях переміщення стрічки (8, 10, 12, 14 і 16 м/с). Для визначення впливу кількості проходжень зернової маси через дослідну установку на різних швидкостях зерно пропускали чотири рази з відбором проби під час кожного проходу. В досліді було використано зернову масу після збирання комбайном, тобто вона не мала місця перед операцією очищення.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.11 – Підготовка тестової установки до роботи

Зернова маса, яка пройшла через машину, висипається в уловлювачі. Проведено аналіз вмісту з кожного уловлювача. Визначили кількість зерен за шкалою ВЛТК-500.

Гранулометричний склад уловлювачів показаний на рисунку 3.11.

Рисунок 3.12 – Розподіл зернових продуктів в уловлювачах

Для порівняння визначали якість розподілу зерна на фракції шляхом визначення маси 1000 зерен по довжині секції переміщення, тобто в залежності від дальності польоту при видаленні з машини. Маса 1000 зерен вказує на їх вагу, тобто вона пов'язана з розміром і щільністю структури зерна, отже, визначає

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпеченість зерна поживними речовинами. Визначення загальної кількості проводили згідно з ДСТУ 4138-2002 «Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості» [111].

Отже, дослідження впливу параметрів зернокидача на технологічний процес його роботи показав, що удосконалення конструкторської позитивно впливає на розподіл зернової маси по довжині та ширині сектора метання, а також швидкості сходу зерна зі стрічки металника. Проведено агротехнічну оцінку роботи робочого органу експериментального стрічкового зернокидача у виробничих умовах; визначено ступінь пошкодження обробленого зерна та ступінь схожості обробленого зерна та вологості зерна після обробки на різних швидкостях.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРЕМЕНТІВ

4.1 Дослідження впливу параметрів зернокидача на технологічний процес зберігання зерна

Відповідно до програми досліджень було проведено ряд експериментів для визначення залежності довжини та ширини розподілу зерна від продуктів після встановлення експериментального зерна різних операційних систем. Випробування проводилися відповідно до вищевказаної процедури, а дані тестування оброблялися в середовищі EXCEL.

Крім того, для перевірки гіпотези про покращення продуктивності дослідного зерна, оснащеного плечиками, було проведено 2 серії випробувань: із встановленим полотном і руйнуванням плечиків барабаном притискної подушки.

Результати обробки даних показують, що зміна швидкості руху стрічки при використанні натискного барабана (порожнистого), не обладнаного лопатею, суттєво не впливає на кількість викиду та розподіл зернопродуктів після дослідного викиду. Крім того, при збільшенні швидкості руху до 10 м/с швидкісний постріл спостерігав ковзання шару матеріалу від бункера-живильника до відводу нескінченної стрічки з функцією видалення найнижчого шару зерна. контактувати безпосередньо з ременем. Була також значна бічна фільтрація зернової труби в осьовому напрямку відносно центрального барабана.

Результати обробки експериментальних даних щодо розподілу зернових часток по довжині викиду залежно від швидкості руху стрічки при використанні пустотілого натискного барабана (не оснащеного лопатею) представлені у вигляді діаграм на рисунку 4.1.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 4.1 – Розподіл зернового матеріалу по довжині викиду при використанні середнього барабана без хвоста.

У той же час, пропонований тип напірного барабана, оснащений заплечиками, дозволяє змінювати роботу розливної машини, яка відрізняється, і продукт, який відрізняється. Зміна режиму роботи дослідної установки типу «з пилом» не призвела до появи негативних наслідків технологічного процесу, таких як бічна фільтрація оброблюваного матеріалу та сповзання шару матеріалу з гілки утилізації. ремінь на підвищеній поперечній швидкості.

Збільшення швидкості руху стрічки при використанні барабана, оснащеного лопатями, призвело до збільшення кількості закидів, збільшення довжини розподілу, а також більш точної фракції матеріалу по довжині закиду.

Результати монтажу барабана натискної колодки представлені у вигляді діаграм на рисунку 4.2.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 4.2 - Розподіл зернового матеріалу за довжиною метання під час використання проміжного лопатевого барабана

Для оцінки розподілу вороху під час роботи металника з лопатками і них були побудовані графіки з двома рядами даних. Графік розподілу при швидкості руху стрічки 14 м/с наведено малюнку 4.7.

Рисунок 4.3 - Розподіл зернової маси за довжиною метання «без лопаток» та «з лопатками» при швидкості руху стрічки 14 м/с.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для дослідження розподілу оброблюваного зернового вороху по довжині та ширині метання було побудовано тривимірні графіки. Аналіз графіків розподілу зернового матеріалу за довжиною та шириною метання на різних швидкостях руху стрічки дозволяє зробити висновок, що значних змін у розподілі матеріалу при використанні притискного порожнього барабану (без лопаток) не відбувається. Графік розподілу за довжиною та шириною метання під час роботи установки без лопаток на швидкості 14 м/с наведено на малюнку 4.8.

Рисунок 4.4 – Розподіл матеріалу під час роботи без лопаток на швидкості руху стрічки швидкості 14 м/с

Аналогічно було збудовано графіки, що характеризують роботу установки «з лопатками». У цьому випадку розподіл оброблюваної зернової маси безпосередньо залежить від швидкості руху стрічки – з її підвищенням збільшується довжина сектора кидання матеріалу, покращується розподіл матеріалу на фракції, крім того, повніше відокремлюються легкі домішки, які осаджуються поблизу машини, не змішуючись із цілим зерном.

При швидкості руху стрічки до 12 м/с спостерігається підвищення піку розподілу по ширині кидання, тобто основна маса зернового вороху знаходиться

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поблизу поздовжньої осі сектора розподілу, а сам сектор витягується в довжину. Зі збільшенням швидкості руху стрічки транспортера понад 12 м/с сектор розсіву збільшується на величину близько 1 метра на кожні 2 м/с збільшення швидкості руху стрічки кидача, також збільшується протяжність ділянки розподілу маси і віддаленість точки осадження першої фракції зернового матеріалу від транспортера.

Отже, удосконалена конструкція зернокидача, оснащена лопатками, краще пристосовується до конкретних завдань та операцій, що проводяться при різних фазах післязбиральної обробки зерна, та відрізняється більшою універсальністю.

4.2. Результати досліджень розподілу зернового матеріалу по довжині та ширині переміщення

Встановлено, що при підвищенні швидкості руху стрічки транспортера, обладнаного лопатками, понад 10 м/с, збільшується ширина сектора розподілу матеріалу, що переміщується. У сукупності з формуванням потоку порціями матеріалу на виході з машини дозволить більш якісно відокремити легкі домішки, тобто провести первинне очищення зернового матеріалу. Крім того, збільшення довжини розподілу зернового матеріалу та зниження пікової маси в окремих уловлювачах дозволяє більш точно класифікувати і фракціонувати оброблюваний матеріал з видаленням відходів, фуражного зерна та насінневого матеріалу. У свою чергу збільшена відстань відділення перших фракцій зерна підвищує технологічність роботи обладнання.

З метою визначення якості фракціонування зернового матеріалу були проведені вимірювання маси 1000 зерен на різній відстані від транспортера. Відбір проб для визначення маси 1000 зерен проводили на швидкості руху стрічки кидача 14 м/с. Розподіл зернової маси залежить від маси насіння та його аеродинамічних властивостей. Зерно, що має найменшу масу і полова, що має велику летучість,

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

падали поблизу кидача, повноцінне ж насіння займало найбільш віддалене від машини місце. Розподіл матеріалу за масою представлений на малюнку 4.10.

Рисунок 4.5 - Розподіл зернового матеріалу за масою 1000 зерен

Також було проведено дослідження впливу кута встановлення стрічки щодо горизонту на розподіл зернової маси (рисунок 4.6).

Рисунок 4.6 – Визначення залежності розподілу зернової маси від кута встановлення стрічки транспортера щодо горизонту

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз результатів дозволяє зробити висновок, що збільшення кута нескінченної стрічки щодо горизонту призводить до зниження дальності кидання та утворення яскраво вираженого масою піку розподілу в середній частині сектора розподілу. Збільшення кута може бути застосоване при переміщенні в компактний високий бургт, а також при завантаженні транспортних засобів. Завантаження транспортних засобів при збільшенні кута установки металльної гілки стрічки полегшується внаслідок збільшення висоти переміщення зернової маси, що обробляється.

4.3 Результати оцінки адекватності результатів досліджень

Для визначення адекватності експериментальних досліджень та оцінки їх відповідності теоретичним залежностям було проведено оцінку розподілу зернової маси після металника за критерієм Фішера.

Як оцінювану величину було прийнято розподіл зернової маси, який пішов обробку експериментальним металником, за довжиною метання, а саме оцінювався пік розподілу по масі, добре помітний на відповідних діаграмах (рисунки 4.6, 4.7). Усі досліди проводились у триразовій повторності. Повторності, у яких значення розподілу зерна по масі значно відрізнялися від інших, вважали хибними і в розрахунках не використовували. Графічно результати розподілу піку маси зернової маси у після кидача при швидкостях руху стрічки 8, 10, 12, 14 та 16 м/с з нанесенням середнього значення та лінії тренду представлені на рисунку 4.7.

Результати адекватності експериментальних досліджень теоретичним залежностям, як було зазначено вище, проводилися за критерієм Фішера. Результати визначення адекватності експериментальних даних теоретичним залежностям наведено в таблиці 4.2.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 4.17 - Залежність розподілу піку маси зернової маси від швидкості руху стрічки

Таблиця 4.2 - Результати визначення адекватності експериментальних даних

V руху стрічки, м/с	Повторюваність № 1	Повторюваність № 2	Повторюваність № 3	Середнє значення	Розрахункове значення	Дисперсія адекватності	Дисперсія похибки досл.	Розрахункове значення критерія F	Табличне значення критерія F
EPS_i	P_{i1}	P_{i2}	P_{i3}	P_i	$P_{розр}$	$D_{ад}$	D_y	$F_{розр}$	$F_{табл}$
8	3,5	3	3	3,166	3,342	2,389	0,841	2,838	4,1
10	4	4,5	4,5	4,333	4,316				
12	5	5,5	5,5	5,333	5,325				
14	6,5	6	6	6,166	6,542				
16	8,5	8,5	8	8,333	7,938				

Як видно з таблиці 4.2, розрахункове значення критерію Фішера F менше табличного значення для наших умов, а отже, досвідчені дані можна визнати адекватними.

Отже, експериментально підтверджено, що наявність лопаток у конструкції притискного барана дозволяє досягати швидкості матеріалу на виході металника близької швидкості руху стрічки, з відхиленням не більше 5%.

На підставі експериментальних досліджень у виробничих умовах встановлено, що експериментальний робочий орган комбінованого стрічкового кидача зерна при швидкостях стрічки до 16 м/с не спричиняє значного пошкодження оброблюваного матеріалу (мікротравмування не більше 2% та дроблення менше 0, 1%), що набагато нижче за серійні кидачі. Крім цього, при одноразовому пропуску оброблюваного матеріалу не знижуються його посівні якості.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Охорона праці

Охорона праці на зернопереробних виробництвах важлива для забезпечення безпеки працівників, уникнення травм та хвороб, а також підвищення продуктивності виробництва. Нижче наведено кілька аспектів, які слід враховувати в контексті охорони праці на зернопереробних підприємствах:

Проведення аналізу ризиків для ідентифікації потенційних небезпек та розроблення стратегій їх запобігання.

Проведення навчань для працівників з охорони праці, включаючи процедури безпеки та навички взаємодії з обладнанням.

Регулярна перевірка та обслуговування обладнання для запобігання його несправності та аварій.

Забезпечення відповідності обладнання стандартам безпеки.

Контроль за рівнем шуму, освітленням та вентиляцією для забезпечення комфортних умов праці.

Запобігання утворенню пилу та інших шкідливих речовин, які можуть виникнути під час переробки зерна.

Встановлення правил використання індивідуального захисту, такого як захисні каски, окуляри, вушники тощо.

Навчання працівників правильному підйому важких вантажів та іншим методам запобігання травмам.

Правильне обслуговування та експлуатація електроустаткування, а також застосування заходів безпеки для уникнення аварій.

Встановлення систем пожежної безпеки, включаючи вогнегасники та системи оповіщення про пожежу.

Навчання працівників правилам пожежної безпеки та евакуації.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання технологій та методів, які зменшують негативний вплив виробництва на навколишнє середовище.

Застосування автоматизованих систем для мінімізації взаємодії працівників з небезпечним обладнанням.

Регулярне проведення аудитів охорони праці та внутрішнього контролю для визначення ефективності заходів безпеки та їх відповідності нормам і стандартам.

Ці заходи спрямовані на забезпечення повноцінної охорони праці на зернопереробних виробництвах і допомагають забезпечити безпеку працівників та ефективність виробничих процесів.

Охорона праці та створення безпечних умов експлуатації та виготовлення обладнання для зернових має велике значення для забезпечення безпеки працівників і зменшення ризику виробничих нещасних випадків. Нижче наведено деякі загальні принципи та заходи, які можуть бути застосовані для забезпечення охорони праці та безпечних умов експлуатації обладнання для зернових:

Проводження аналізу ризиків для ідентифікації потенційних небезпек і ризиків, пов'язаних з виробничими процесами та обладнанням.

Забезпечення належного навчання і підготовки працівників з охорони праці та безпеки, включаючи використання обладнання та процедур.

Дотримання стандартів безпеки і нормативів, які визначають безпечні вимоги для виробництва та експлуатації обладнання.

Звертання уваги на ергономічні аспекти робочого місця та обладнання для забезпечення комфорту працівників та запобігання травмам та стресу.

Застосування заходів для запобігання виникненню пилу, який може бути небезпечним для здоров'я працівників та може спричиняти пожежі.

Дотримання правил безпеки при роботі з електроустаткуванням, заземлення та ізоляції для запобігання електричним ударам.

Використання вогнегасників, аварійних виходів та інших заходів для попередження пожеж та надання можливостей для швидкого евакуації.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Регулярне технічне обслуговування та перевірка обладнання для запобігання виникненню аварій та несправностей.

Застосування цих заходів допомагає створити безпечні умови праці для виготовлення та експлуатації обладнання для зернових, що в свою чергу сприяє підвищенню ефективності виробництва та зменшенню ризиків для працівників.

5.2 Екологічна експертиза

Екологічність виробництва механічного обладнання визначається впливом цього виробництва на навколишнє середовище та ступенем врахування екологічних аспектів у всіх етапах життєвого циклу виробу: від видобутку сировини до виробництва, транспортування, експлуатації та відновлення (утилізації).

Основні аспекти екологічності при виробництві механічного обладнання включають:

Зменшення споживання енергії під час виробництва шляхом впровадження енергоефективних технологій та процесів.

Вибір матеріалів, які мають менший негативний вплив на навколишнє середовище під час експлуатації та після закінчення терміну служби.

Зменшення використання шкідливих або токсичних матеріалів.

Розробка технологій та процесів з мінімізацією відходів та ефективним управлінням відходами під час виробництва.

Зменшення використання води та впровадження методів обробки стічних вод для зменшення впливу на водні ресурси та водні екосистеми.

Мінімізація викидів CO₂ та інших забруднюючих речовин під час транспортування обладнання до місця призначення.

Розробка обладнання, яке може бути відновлено або використано для виробництва нових продуктів на кінцевому етапі життєвого циклу.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зменшення негативного впливу утилізації за допомогою рециклювання та вторинного використання матеріалів.

Отримання сертифікатів, таких як ISO 14001 (стандарт системи екологічного управління), для підтвердження відповідності виробництва екологічним стандартам та вимогам.

Поширення уваги від тільки етапу виробництва до оцінки повного життєвого циклу продукту, включаючи етапи експлуатації та видалення.

Впровадження цих екологічних аспектів у виробництво механічного обладнання сприяє створенню більш сталого та екологічно чистого промислового середовища. Це також може бути важливим фактором для покупців, які все більше надають перевагу продуктам, що виробляються екологічно відповідально.

5.3 Економічна ефективність

Річний виробіток:

$$W_{\text{річн}} = W \cdot T_{\text{м}}, \quad (5.1)$$

де: $W_{\text{річн}}$ – годинна продуктивність змінного часу, т;

$T_{\text{м}}$ – річне (сезонне) завантаження машини, год.

Зниження продуктивності машини:

$$W_{\text{р}} = \frac{W_u - W_n}{W_u}, \quad (5.2)$$

де: $W_{\text{р}}$ – зниження продуктивності машини; т

$W_u; W_n$ – продуктивність протягом години змінного часу проектованої машини і машини-еталону відповідно.

Витрати праці на 1 тону визначаються за такою формулою:

$$T_0 = \frac{L}{W}, \quad (5.3)$$

де: T_0 – трудомісткість операції, люд-год/т

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Л – кількість обслуговуючого персоналу, люд.

Ступінь зниження трудомісткості:

$$C_T = \frac{T_{0u} - T_{0n}}{T_{0u}} \cdot 100\%, \quad (5.4)$$

де C_T - ступінь зниження трудомісткості, % Річна економія праці:

Річна економія праці:

$$E_{\text{пр}} = (T_{0n} - T_{0u}) \cdot W_{\text{год}}, \quad (5.5)$$

де $E_{\text{пр}}$ – річна економія праці, люд·год.

5.3 Визначення експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати у розрахунку на одиницю роботи визначаються за формулою:

$$B = (O_{\text{пр}} + A + P_T + E) \cdot B_{\text{п}}, \quad (5.6)$$

де: I – прямі експлуатаційні витрати, грн /т;

O_T – оплата праці з відрахуванням на соціальні потреби, грн/т;

A – амортизаційні відрахування, грн /т;

P_T – витрати на ремонти та техобслуговування, грн/т;

E – витрати на електроенергію, грн /т;

$B_{\text{п}}$ – коефіцієнт, що враховує інші прямі витрати, $B_{\text{п}} = 1,05$.

Оплата праці з відрахуваннями на соціальні потреби визначається за такою формулою:

$$O_{\text{пр}} = (T_0 \cdot \tau_{\text{год}}) \cdot \alpha_n \cdot \alpha_{\text{доп}} \cdot \alpha_{\text{зв}} \quad (5.7)$$

де T_0 - трудомісткість операції, люд·год/т

Амортизаційні відрахування визначаються за такою формулою:

$$A = \frac{B \cdot a_{\%}}{W_{\text{год}} \cdot 100} \quad (5.8)$$

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де А – амортизаційні відрахування, грн/т;

Б - балансова вартість машини, грн

а% – норма щорічних амортизаційних відрахувань, 12,5%.

Витрати на ремонт та техобслуговування визначаються за формулою:

$$P_T = \frac{B \cdot p\%}{W_{\text{год}} \cdot 100}, \quad (5.9)$$

де: P_T - витрати на ремонт та техобслуговування, грн / Т;

p% – норми щорічних відрахувань ремонту, 14%.

Витрати на електроенергію визначаються за такою формулою:

$$E = \frac{N \cdot \Pi}{W}, \quad (5.10)$$

де E – витрати на електроенергію, грн/Т;

N – потужність двигуна, що встановлюється, кВт;

Π - відпускний тариф 1 кВт·год, грн

Річна економія експлуатаційних витрат визначається з виразу:

$$E_e = I_u - I_n, \quad (5.11)$$

де E_e - Питома економія експлуатаційних витрат, грн/т;

I_u; I_n – прямі експлуатаційні витрати у вихідному та проектованому варіантах відповідно, грн/т.

Ступінь зниження експлуатаційних витрат:

$$C_3 = \frac{I_u - I_n}{I_u} \cdot 100, \quad (5.12)$$

де C₃ – ступінь зниження експлуатаційних витрат, %.

Питома матеріаломісткість операції визначається за формулою:

$$M_y = \frac{\sigma}{W_{\text{год}}}, \quad (5.13)$$

де M_y – питома матеріаломісткість операції, кг/т;

σ – маса машини, кг.

Ступінь зниження матеріаломісткості:

$$C_M = \frac{M_{yu} - M_{yn}}{M_{yu}}, \quad (5.14)$$

де C_M – ступінь зниження матеріаломісткості, %;

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$M_{yu}; M_{yn}$ – питома матеріаломісткість операцій у вихідному та проектованому варіантах відповідно, кг/т.

Питома енергоємність операції визначається за такою формулою:

$$F_y = \frac{F_r}{W_{\text{год}}}, \quad (5.15)$$

де F_y – питома енергоємність операції, кг/т;

F_r – річне споживання енергії, кВт·год.

Ступінь зниження енергоємності:

$$C_F = \frac{M_{Fu} - M_{Fn}}{M_{Fu}}, \quad (5.16)$$

де: C_F – ступінь зниження енергоємності, %;

$M_{Fu}; M_{Fn}$ – питома енергоємність операцій у вихідному та проектованому варіантах відповідно, кг/т.

Розрахунок економічної ефективності застосування. Для розрахунку економічної ефективності від впровадження комбінованого зернокидача використовували стандартні методики, існуючі стандарти та нормативні документи [47, 48].

В якості базової моделі для розрахунку було обрано серійний зернокидач марки ЗМ-60, для розрахунку приймали ідентичні умови експлуатації.

До основних показників при розрахунку економічної оцінки впровадження робочого органу віднесли підвищення показників якості зерна відповідно до стандарту в порівнянні із серійною установкою, очікуваний річний ефект у вигляді чистого додаткового прибутку (ЧП).

Чистий додатковий прибуток визначається як співвідношення суми поточних прибутків за весь розрахунковий період до прибутку на початок року.

$$\text{ЧП} = \sum_{i=0}^T (P_t - I_{et}) \frac{1}{(1+E_p)^t} - K \quad (5.17)$$

або

$$\text{ЧП} = -K + (P - I_{et}) - K_{\text{сд}} \quad (5.18)$$

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де: P_t – досягнені фінансові результати при розрахунку t , грн;
 I_{et} – витрати на експлуатації на етапі розрахунку i без урахування капіталовкладень, грн.;

T – термін експлуатації, років;

K – вартість додаткових капіталовкладень, грн;

$K_{сд}$ – коефіцієнт суми дисконтування, який розраховується за формулою:

$$K_{сд} = \sum_{i=0}^T \frac{1}{(1+E_p)^t} \quad (5.19)$$

де E_p – нормативний дохід від капіталовкладень із врахуванням рівня інфляції розраховують за формулою:

$$E_p = \frac{1+E}{1+r} - 1 \quad (5.20)$$

де: r – рівень інфляції, 14 %;

E – ставка відсотка банку, 23%.

Доходи від капіталовкладень визначають за формулою:

$$K_{сд} = \sum_{i=0}^T K_t \frac{1}{(1+E)^t} \quad (5.21)$$

де K_t - капіталовкладення на етапі розрахунку t , руб.

Нормативна вартість сільськогосподарських машин, що випускаються промисловістю, визначається за формулою:

$$B = C \cdot K, \quad (5.22)$$

де B – балансова вартість машини-еталону,

C – ціна придбання машини, грн.;

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

K – коефіцієнт, що враховує додаткові витрати на транспортування, монтаж і постачальницько-торгівельну витрату.

До капіталовкладень на розробку і впровадження робочого органу входить витрати на матеріалів, доставку і монтаж, які розраховуються за формулою:

$$K = (C_d + TЗ + C_з + BB + GB) N, \quad (5.23)$$

де: C_d – вартість деталей та покупних виробів, грн.;

$TЗ$ – транспортно – заготівельні витрати, грн.;

$C_з$ – витрата на оплату праці при розробці робочого органу, грн.;

BB – загальновиробничі витрати, грн.;

GB – загальногосподарська витрата, грн.;

N – кількість проєктованих машин.

Для розрахунку відсотків транспортно-заготівельних витрат від загальної вартості може використовуватися така формула:

$$TЗ = \frac{C_d \cdot \mu}{100} \quad (5.24)$$

де $TЗ$ – транспортно-заготівельні витрати, грн.;

μ – транспортно-заготівельні витрати у відсотках (по даних підприємства, складає 25%).

Витрати на оплату праці можуть бути визначені за допомогою різних формул, але загальною формулою для розрахунку витрат на оплату праці є:

$$C_з = OT_{тар} \alpha_{п} \alpha_{дод} \alpha_{від}, \quad (5.25)$$

де $OT_{тар}$ - це середній тариф на годину праці працівників, які беруть участь у виробництві, грн.;

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

α_n - коефіцієнт, який вказує, яка частина працівників буде отримувати у вигляді премій, складає 1,2-1,4;

$\alpha_{дод}$ - коефіцієнт, який вказує на розміри додаткової оплати праці, складає 1,12-1,16;

$\alpha_{від}$ - відсоток відрахування на інші види страхування, приймається 1,261.

Розмір заробітної плати залежить від чисельності робочої сили та погодинної ставки працівника

$$OT_{тар} = T_{em} \tau_{год} \quad (5.26)$$

де: T_{em} – трудомісткість робіт, необхідних виготовлення робочого органу зернокидача, люд-год.;

$\tau_{год}$ – годинна тарифна ставка за розрядом робітника, руб.

Загальновиробничі та загальногосподарські витрати визначаються у відсотках від основної зарплати на виготовлення установки:

Загальний обсяг виробництва і загальні витрати підприємства визначаються у відсотках від базової заробітної плати виробництва установки

$$OP = \frac{OT_{тар} \cdot \mu_{зв}}{100} \quad (5.27)$$

де $\mu_{зв}$ – відсоток загальновиробничих витрат, складає 15 ... 20%.

$$OX = \frac{OT_{тар} \cdot \mu_{зг}}{100} \quad (5.28)$$

де $\mu_{зг}$ – відсоток загальних витрат підприємства (за даними підприємства становить 15.25%).

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Результати досліджень, проведених під час виконання даної роботи, дозволяють зробити такі висновки:

В результаті теоретичних досліджень визначено швидкість руху частинки поверхнею нескінченної стрічки. Прийнятий раціональний спосіб подачі матеріалу на стрічку. Розглянуто процес контактної взаємодії зернівки з лопаткою та визначено фактори, що впливають на величину сили (травмування) у момент контакту. На підставі цього визначено та прийнято наступні параметри комбінованого стрічкового кидача зерна:

- геометричні параметри: діаметри ведучого та веденого барабанів – 300 мм, діаметр притискного барабана – 250 мм, ширина стрічки – 320 мм;

- кінематичні параметри: діапазон частот обертання провідного барабана від 900 хв-1 до 1800 хв-1 і відповідно швидкість стрічки від 8 до 16 м/с;

- конструктивний параметр - наявність лопаток на притискному барані, які виготовлені з пружного матеріалу (з модулем Юнга не більше 300 МПа), встановлені із зазором 3-5 мм від поверхні нескінченної стрічки.

На підставі експериментальних досліджень у виробничих умовах встановлено, що експериментальний робочий орган комбінованого стрічкового металника зерна при швидкостях стрічки до 16 м/с не спричиняє значного пошкодження оброблюваного матеріалу (мікротравмування не більше 3% і дроблення менше 0, 5%), що набагато нижче за серійні зернометачі. Використання експериментального металника (при швидкостях стрічки – 16 м/с) дозволяє знизити вологість оброблюваного зерна при одноразовому пропуску на 1,78% (вих. 15,8%).

При впровадженні модернізованого робочого органу – комбінованого стрічкового зернокидача можна отримати чистий дохід 864361 рублів з терміном окупності 2 роки.

					КРМ.133ГМмз_22.08.000 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		