

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:**

«Модернізація зерноочисної машини МПО-50 з вдосконаленням
механізму завантаження»

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,
групи ГМ-22-1

ОПП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

_____Ціперко Віктор Богданович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____Сергій ЛЕЩЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____Катерина ВАСИЛЬКОВСЬКА

« ____ » _____ 2026 р.

м. Кропивницький

5. Перелік графічного матеріалу

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-4	Лещенко С.М.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Виконання розділів 1, 2		
	Графічна частина арк. 1	21.04.2026 р.	
2	Виконання розділу 3		
	Графічна частина арк. 2	20.05.2026 р.	
3	Виконання розділу 4		
	Графічна частина арк. 3	02.06.2026 р.	
4	Оформлення пояснювальної записки,		
	графічної частини, підготовка до захисту.	16.06.2026 р.	

Дата видачі завдання
«04» лютого 2026 р.

Підпис керівника

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____ (прізвище та ініціали)

Анотація

Тема: «Модернізація зерноочисної машини МПО-50 з вдосконаленням механізму завантаження»

зерноочисна машина, завантажувальний пристрій, лоток-розподільник, кутові ребра-розсіювачі, сітчастий транспортер, коефіцієнт заповнення

У кваліфікаційній роботі розв'язано актуальне інженерно-прикладне завдання підвищення ефективності післязбиральної обробки зернового вороху шляхом удосконалення конструкції та обґрунтування раціональних параметрів завантажувального вузла зерноочисної машини попереднього очищення МПО-50. Проведено аналіз відомих конструкцій машин і механізмів для первинної сепарації зерна. Встановлено основні недоліки базового агрегату, серед яких нерівномірність розподілу зернової маси за шириною скальператора, виникнення зон локального перевантаження сітки та схильність до забивання отворів при роботі з вологим матеріалом.

На основі досліджень та інженерних розрахунків обґрунтовано модернізацію завантаження через перехід на шнековий транспортер із робочою частотою $n = 133$ об/хв. Це дозволило оптимізувати коефіцієнт заповнення до $\psi = 0,45$ та забезпечити стабільну продуктивність $Q = 50$ т/год без ризику зворотного руху матеріалу. Запропоновано геометрію трапецієподібного лотка-розподільника з кутом розкриття $60...70^\circ$, оснащеного 7 кутовими ребрами-розсіювачами висотою $h_r = 55$ мм. Розроблена конструкція усуває ефект стиснення потоку, вирівнює швидкість руху шару зерна в межах $0,25...0,30$ м/с та гарантує рівномірне питоме навантаження $4,14$ кг/(м²·с) по всій ширині сітчастого транспортера $B = 1200$ мм.

Проведено кінематичний, силовий та комплексний енергетичний розрахунок модернізованих вузлів. Обґрунтовано впровадження регульованих пластин та вентилятора з 25 лопатями в пневмосистемі, що знизило коефіцієнт варіації швидкості повітряного потоку до 8-10 % і стабілізувало процес винесення легких домішок. Результати розрахунків підтвердили, що сумарна потужність модернізованих робочих органів становить 3,79 кВт, що повністю задовольняє умови енергоефективності при збереженні потужності базового агрегату та питомої енергоемності процесу (0,22 кВт·год/т). Модернізоване технічне рішення забезпечує підвищення експлуатаційної надійності машини та зниження втрат повноцінного зерна на етапі попереднього очищення.

Abstract

Topic: «Modernization of the MPO-50 Grain Cleaning Machine with the Improvement of the Loading Mechanism»

grain cleaning machine, loading device, distributor chute, angular spreader ribs, mesh conveyor, filling factor

This qualification paper addresses a highly relevant engineering and applied problem of increasing the efficiency of post-harvest handling of grain heap. This is achieved by improving the design and substantiating the rational parameters of the loading unit of the MPO-50 pre-cleaning grain machine. An analysis of existing designs of machines and mechanisms for primary grain separation was conducted. The main disadvantages of the base unit were identified, including the non-uniform distribution of the grain mass across the width of the scalper, the occurrence of local mesh overloading zones, and its susceptibility to hole clogging when processing wet material.

Based on research and engineering calculations, the modernization of the loading process is substantiated through the transition to a screw conveyor with an operating speed of $n = 133$ rpm. This allowed for the optimization of the filling factor to $\psi = 0.45$ and ensured a stable capacity of $Q = 50$ t/h without the risk of material backflow. A geometry of a trapezoidal distributor chute is proposed with an opening angle of $60...70^\circ$, equipped with 7 angular spreader ribs with a height of $h_r = 55$ mm. The developed design eliminates the flow compression effect, equalizes the grain layer speed within $0.25...0.30$ m/s, and guarantees a uniform specific load of 4.14 kg/(m²·s) across the entire width of the mesh conveyor $B = 1200$ mm.

Kinematic, power, and complex energy calculations of the modernized units were performed. The implementation of adjustable plates and a 25-blade fan in the pneumatic system was substantiated, which reduced the coefficient of variation of the airflow velocity to 8–10% and stabilized the light impurity removal process. The calculation results confirmed that the total power consumption of the modernized working tools is 3.79 kW, which fully satisfies the energy efficiency requirements while maintaining the power of the base unit and the specific energy consumption of the process (0.22 kWh/t). The modernized technical solution ensures an increase in the operational reliability of the machine and a reduction in premium grain losses during the pre-cleaning stage.

ЗМІСТ

1. Вступ.....	6
2. Стан питання про післязбиральне очищення та пропозиції по вдосконаленню конструкції зерноочисної машини МПО-50.....	8
3. Конструкторська частина	17
4. Висновок	37
Список використаної літератури	39
Додатки.....	42

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ВСТУП

Зернове господарство України є одним із головних секторів аграрної економіки та стратегічно важливим фактором продовольчої безпеки держави. За даними Державної служби статистики України, загальний обсяг виробництва зерна і зернобобових культур протягом останніх кількох років коливається в межах 55–80 млн тонн на рік. Проте реальна продовольча та насіннєва цінність зібраного врожаю безпосередньо визначається якістю його післязбиральної обробки, насамперед – попереднього та первинного очищення зернового вороху від домішок різного походження.

Практика свідчить, що зерновий ворох, який надходить безпосередньо з-під зернозбиральних комбайнів, містить від 5 до 22% різноманітних домішок залежно від культури, строків збирання, технічного стану збиральних агрегатів та погодних умов у період комбайнування врожаю. Закладання зібраного врожаю із таким рівнем засміченості безпосередньо на зберігання неприпустиме, оскільки домішки органічного характеру спричиняють активний розвиток мікробіологічних процесів, підвищення температури зерносуміші і, зрештою, системного псування зерна.

У сучасних умовах аграрного виробництва підвищуються вимоги до пропускної здатності, енергоефективності, універсальності та технологічної надійності зерноочисних машин. Це зумовлено тим, що зібраний врожай зернових все частіше надходять на післязбиральну обробку з підвищеною вологістю, значною засміченістю та неоднорідним гранулометричним складом, а строки виконання операцій післязбиральної обробки є обмеженими. У таких умовах особливо важливими стають машини попереднього очищення, здатні працювати з вологим і сильно засміченим ворохом без істотного зниження якості розділення. Саме до цієї групи належить зерноочисна машина МПО-50, яка широко застосовується у

					МЗМЗ 00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Ціперко				Пояснювальна записка		
Перевір.	Лещенко						
Реценз.							
Н. Контр.	Артеменко						
Затверд.	Васильковський						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						6	
					ЦНТУ, гр. ГМ-22-1		

стаціонарних зерноочисних комплексах.

МПО-50 за принципом дії поєднує два основні способи сепарації: за розмірними ознаками на сітчастому транспортері та за аеродинамічними ознаками у пневмосепаруючому каналі. Така конструктивна схема є технічно доцільною, оскільки дозволяє послідовно виділити крупні та дрібні домішки, а також легкі фракції, не забезпечуючи надмірних втрат повноцінного зерна. Поряд із цим експлуатація подібних машин в господарствах доводить, що їх ефективність значною мірою залежить від рівномірності подачі зернового матеріалу на очищення, стабільності роботи сітчастого транспортера, інтенсивності його очищення і структурі та швидкісним параметрам повітряного потоку в пневмосистемі.

Актуальність теми модернізації МПО-50 з удосконаленням механізму завантаження підтверджується кількома взаємопов'язаними факторами. По-перше, серійні машини попереднього очищення часто працюють в умовах нерівномірного надходження вороху на очистку, що призводить до локального перевантаження робочої поверхні сітчастого транспортера, зниження ступеня сепарації та збільшення втрат повноцінного зерна у відходах. По-друге, сітчасті робочі органи при очищенні вологого зерна демонструють схильність до забивання, а це погіршує пропускну здатність і вимагає систематичного очищення робочої поверхні. По-третє, сучасні вимоги до післязбиральної обробки передбачають не лише зростання продуктивності, а й зменшення енерговитрат, компактність, технологічну простоту та можливість роботи у складі поточкових ліній.

Отже, метою даної роботи є модернізація зерноочисної машини МПО-50 шляхом удосконалення механізму завантаження, підвищення рівномірності розподілу зернового матеріалу по ширині сітчастого транспортера та покращення технологічної ефективності попереднього очищення зерна.

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. СТАН ПИТАННЯ ПРО ПІСЛЯЗБИРАЛЬНЕ ОЧИЩЕННЯ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ПО ВДОСКОНАЛЕННЮ КОНСТРУКЦІЇ ЗЕРНООЧИСНОЇ МАШИНИ МПО-50

2.1 Загальні положення про очищення зерна

Очищення зерна є обов'язковою технологічною операцією післязбиральної доробки врожаю, оскільки зібране збіжжя зернових практично завжди містить домішки органічного, мінерального та біологічного походження. До складу домішок найчастіше входять частинки стебел, полова, лушпиння, насіння бур'янів, биті і пошкоджені зерна основної культури, пил, грудочки ґрунту, камінці, металеві включення та інші сторонні елементи. Наявність домішок погіршує сипкість, збільшує ризик самозігрівання, сприяє розвитку грибкових уражень, ускладнює сушіння і погіршує умови подальшого зберігання. Тому зерно після прямого комбайнування, для сприятливих умов подальшого зберігання, підлягає попередньому, первинному або вторинному очищенню залежно від його вологості, засміченості та цільового призначення.

У практиці зерноперелробки попереднє очищення є першою і найшвидшою операцією, яка забезпечує оперативне видалення найбільш грубих і легких домішок. Саме на цій стадії важливо не лише забезпечити достатню продуктивність, а й не допустити перевантаження наступних операцій сушіння та первинного очищення. З позиції інженерії очищення повинно бути інтенсивним, але ощадним, тобто без значних механічних пошкоджень зерна і без необґрунтованих енерговитрат.

Ефективність очищення залежить від фізико-механічних властивостей зернової маси, її вологості, засміченості, сипкості та однорідності. Для різних культур і умов збирання параметри сепарації істотно відрізняються, тому універсальність і адаптивність зерноочисної машини набувають особливого значення. У цьому контексті МПО-50 є типовою машиною попереднього

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

очищення, яка продуктивно працює зі значними потоками зернового вороху в стаціонарних зерноочисних комплексах.

2.2. Аналіз існуючих технічних рішень

Найбільш поширені сучасні зерноочисні машини загального призначення будують решітними, повітряно-решітними, барабанными, вібраційними або комбінованого принципу дії. Найбільшого поширення в машинах попереднього очищення набули повітряно-решітні схеми виділення домішок, оскільки вони дозволяють одночасно розділяти зерновий матеріал за розміром частинок і аеродинамічними властивостями. Саме така схема застосована в серійній зерноочисній машині МПО-50 (рис. 1), що робить її конструкцію достатньо сучасною та технологічно універсальною.



Рис. 1. Зерноочисна машина МПО-50

У інструкції з експлуатації, протоколах випробувань та інших технічних матеріалах по зерноочисному агрегату МПО-50 зазначено, що дана машина призначена для попереднього і первинного очищення зерна і забезпечує відділення легких домішок, а також працює в складі стаціонарних зерноочисних ліній. Порівняння зерноочисної машини МПО-50 з іншими

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

сучасними агрегатами аналогічного призначення підтверджує, що провідні виробники підвищують ефективність очищення збіжжя шляхом удосконалення завантаження зерна на очищення, стабілізації і вирівнювання структури повітряного потоку, застосування систем самоочищення решіт і оптимізації кінематики основних і додаткових робочих органів.

Для прикладу, у зерноочисній машині Moresil M-8 (Іспанія) (рис. 2) реалізовано поєднання решітної системи очищення та подвійної повітряної сепарації. Характерною особливістю даного агрегату є те, що передбачено легку заміну решіт без додаткового розбирання агрегату, реалізовано систему самоочищення щітками і високу частоту коливань решітного стану. У технічному описі машини відмічено, що продуктивність у режимі попереднього очищення становить до 15 т/год, а повітряна система працює з регульованою витратою повітря в широкому діапазоні. Це свідчить про те, що сучасні машини орієнтуються на гнучке регулювання режимів очищення залежно від властивостей матеріалу і необхідних показників продуктивності та якості виконання робіт.



Рис. 2. Зерноочисна машина Moresil M-8 (Іспанія)

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Порівняння технічних підходів до модернізації зерноочисного обладнання різних виробників доводить, що найбільш результативними є наступні інженерні рішення:

- рівномірна подача зернового вороху на робочу поверхню сепаруючих елементів конструкції;
- стабільний аеродинамічний режим і вирівняний повітряний потік у пневмосепаруючих каналах;
- ефективне самоочищення решітних робочих органів;
- мінімізація нерівномірних потоків матеріалу під час руху по всіх робочих органах сепараторів;
- регулювання робочих параметрів у обґрунтованих діапазонах під конкретну культуру, що очищається.

Ці підходи безпосередньо можна добре адаптувати до модернізації зерноочисної машини МПО-50, оскільки основний резерв підвищення ефективності її роботи полягає в удосконаленні завантажувального елемента та безвідмовної роботи сітчастого транспортера. Порівняння технічних рішень в схемах сучасних зерноочисних машин представлено у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння технічних рішень у сучасних зерноочисних машин загального призначення

Машина	Принцип очищення	Особливості завантаження / подачі	Очищення решіт	Продуктивність
МПО-50	Повітряно-решітне	Подача на сітчастий транспортер	Передбачена, але потребує покращення	до 50 т/год
Moresil M-8	Решето + подвійна повітряна сепарація	Контроль подачі на верхнє решето	Щіткове безперервне самоочищення	до 15 т/год у режимі попереднього очищення
Сучасні стаціонарні комплекси	Повітряно-решітні, комбіновані	Стабілізація потоку, регулювання режимів	Високий рівень автоматизації	Залежно від моделі

Порівняльний аналіз (таблиця 1) підтверджує, що домінуючою тенденцією є перехід до більш керованого розподілу компонентів зернового матеріалу та до застосування механізмів, які не допускають локального перевантаження робочої поверхні. Саме тому модернізація МПО-50 повинна бути спрямована не стільки на збільшення габаритів машини, скільки на підвищення якості подачі й розподілу зернового матеріалу по ширині зерноочисного агрегату.

2.3. Аналіз базової конструкції зерноочисної машини МПО-50

Зерноочисна машина МПО-50 відноситься до машин попереднього очищення, у яких зерновий ворох подається на сітчастий транспортер, де відбувається виділення крупних домішок, після чого попередньо очищений зерновий матеріал надходить у пневмосепаруючий канал для видалення аеродинамічно легких домішок. У протоколах випробування і дійсних відгуках фермерських господарств відмічено, що зазначена зерноочисна машина використовується для попереднього очищення зернових, має продуктивність, достатню для роботи в потокових лініях післязбиральної обробки, і характеризується компактністю та відносною простотою конструкції і експлуатації.

Разом із тим відмічаються і характерні недоліки, що зустрічаються в зерноочисних агрегатах МПО-50 серійного виконання. Перш за все це нерівномірність розподілу зернового матеріалу по ширині сітчастого транспортера. Даний недолік призводить до локального перевантаження окремих зон, нераціонального використання робочої площі та зниження ефективності просіювання прохідної фракції. Крім того, при роботі з вологим зерновим ворохом спостерігається забивання отворів сітчастого транспортера, що суттєво знижує пропускну здатність і потребує додаткового очищення робочої поверхні решета.

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Кінцевий результат очищення зібраного врожаю визначається не лише параметрами повітряного потоку, а й рівномірністю подачі матеріалу на очищення у всіх робочих зонах зерноочисного агрегату. Якщо зернова маса потрапляє на транспортер нерівномірно, то коефіцієнт використання ситової поверхні падає, а частина матеріалу проходить через робочий орган без достатнього сепарування. Це підвищує частку засміченого зерна в очищеному продукті або збільшує втрати повноцінного зерна разом із відходами.

Найпростішим резервом покращення конструкції зерноочисної машини та усунення зазначеного недоліку є удосконалення взаємодії між завантажувальним пристроєм і сітчастим транспортером. Застосування розподілювального елемента, який забезпечує формування рівномірного шару зернового вороху по всій ширині робочої поверхні сітчастого транспортеру, може значно підвищити продуктивність очищення без збільшення потужності приводу.

2.4. Теоретичне обґрунтування модернізації

Ефективність решітного очищення зернових сумішей можна оцінювати через коефіцієнт використання робочої поверхні та ступінь очищення. У спрощеному вигляді ефективність сепарації можна представити наступним чином:

$$\eta = \frac{m_{\text{вид}}}{m_{\text{заг}}} \cdot 100\%,$$

де $m_{\text{вид}}$ – загальна маса домішок, що виділилися в процесі очищення, кг;

$m_{\text{заг}}$ – загальна маса домішок, що містилися у вихідному зерновому воросі, кг.

Для оцінки рівномірності завантаження сітчастого транспортера доцільно використовувати коефіцієнт нерівномірності подачі зерна:

$$k_n = \frac{q_{\text{max}}}{q_{\text{сер}}},$$

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $q_{\max}$ – максимальна питома подача зернового матеріалу на окрему ділянку ширини транспортера, кг/(м·с);

$q_{\text{сер}}$ – середня питома подача по ширині, кг/(м·с).

Цілком логічно, що чим ближче k_n до 1, тим рівномірніше завантаження і тим повніше використовується робоча поверхня сітчастого транспортера. При нерівномірному завантаженні k_n зростає, що спричиняє місцеве перевантаження решітного очищення і погіршення якості процесу. Тому головним завданням модернізації зерноочисної машини є зменшення цього коефіцієнта шляхом удосконалення завантажувального вузла агрегату.

Для сітчастого транспортера дуже важливо забезпечити такий режим роботи, за якого товщина шару зернового матеріалу не перевищує значення, що допускає ефективне просіювання прохідної фракції. Якщо позначити масову подачу через Q , ширину транспортера через B , а швидкість руху через V , тоді середнє навантаження на одиницю ширини можна оцінити за формулою:

$$q = \frac{Q}{B \cdot V}.$$

Із останньої залежності випливає, що при незмінній продуктивності зменшення нерівномірності розподілу дозволяє знизити пікове навантаження на решітну частину і підвищити якість очищення. Саме тому вдосконалення механізму завантаження є конструктивно найбільш ефективним шляхом модернізації МПО-50.

2.5. Пропозиції щодо вдосконалення конструкції зерноочисної машини МПО-50

На основі аналізу базової машини та сучасних технічних рішень пропонується вдосконалити МПО-50 за такими напрямками:

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

1. Установити в зоні завантаження зернового матеріалу розподільний елемент, який повинен формувати рівномірний потік зернової маси за шириною сітчастого транспортера.

2. Оптимізувати геометрію приймальної частини так, щоб зменшити висоту вільного падіння зерна і знизити локальне ущільнення зернового потоку.

3. Передбачити конструктивні елементи, що сприятимуть самоочищенню сітки транспортера під час роботи, зокрема при обробці перезволоженого зернового вороху.

4. Забезпечити стабільність подачі матеріалу в пневмосепаруючий канал, щоб уникнути негативного перерозподілу швидкісного поля повітряного потоку та забезпечити максимально сприятливий аеродинамічний режим роботи пневмосистеми зерноочисної машини.

За рахунок наведених вище пропозицій можна підвищити рівномірність завантаження зерноочисного агрегату, покращити використання робочої площі сітчастого транспортера та зменшити частку перевантажених зон розділення. Такий підхід відповідає загальній тенденції вдосконалення сучасного зерноочисного обладнання, коли основна увага приділяється саме керованості та рівномірності потоків та загальній стабільності процесу очищення. У випадку зерноочисної машини МПО-50 запропоновані вдосконалення дозволяють зберегти базову компоновку агрегату, але суттєво підвищити загальну технологічну ефективність машини.

Практична цінність модернізації полягає в тому, що вдосконалений завантажувальний елемент конструкції, що одночасно і виступає решітною частиною для виділення крупних домішок не потребує принципового ускладнення базової конструкції та може бути реалізований із відносно невеликими змінами у порівнянні із серійною моделлю зерноочисної машини. Це важливо для промислового впровадження розроблених пропозицій, оскільки вдосконалення дозволяють зменшує вартість всієї модернізації,

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

спрощує виготовлення та обслуговування агрегату на етапі його експлуатації і не потребує повної зміни базового механізму приводу чи конструктивної схеми зерноочисної машини.

Короткі висновки до розділу

Отже, аналіз стану зерноочисної техніки та особливостей її використання підтверджує, що сучасні зерноочисні машини розвиваються у напрямі підвищення рівномірності подачі вороху на очищення, стабілізації структури і режимів роботи пневмосистем зерноочисних машин та поліпшення самоочищення решітних частин. Для зерноочисного агрегату МПО-50 основним резервом нарощування його якісних показників роботи є модернізація механізму завантаження та сітчастого транспортера, що дає змогу зменшити нерівномірність розподілу зерна, підвищити ефективність попереднього очищення і покращити роботу зерноочисної машини в цілому. Запропоновані технічні рішення є конструктивно доцільними, технологічно обґрунтованими та узгоджуються з сучасними підходами до проектування зерноочисних машин загального призначення.

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Вихідні дані та постановка задачі

Зерноочисна машина МПО-50 призначена для попереднього очищення зернового вороху від великих, дрібних та легких домішок і працює за решітно-повітряним принципом. У базовому виконанні найбільш проблемними елементами є зона завантаження матеріалу на очищення, сітчастий транспортер та пневмосепаруючий канал, оскільки саме вони визначають рівномірність розподілу зернового вороху по робочим зонам, якість виділення домішок і стабільність аеродинамічного режиму роботи сепаратора. За даними, що отримані із протоколів випробувань та відгуків користувачів, основною конструктивною причиною зниження ефективності зазначеного зерноочисного агрегату є нерівномірність завантаження робочої поверхні сітчастого транспортера, що веде до локального перевантаження окремих зон і зниження ефективності сепарації.

Метою конструкторських розрахунків є обґрунтувати основні параметри модернізованої зерноочисної машини МПО-50, а саме:

- геометрію та параметри завантажувального механізму;
- параметри сітчастого транспортера та його очисного пристосування;
- параметри пневмосепаруючого каналу;
- параметри вентилятора та осадового пристрою;
- енергетичні та силові характеристики.

Для подальших інженерних розрахунків приймаємо:

- продуктивність зерноочисної машини $Q = 50$ т/год;
- номінальна робоча ширина сітчастого транспортера $B = 1,2$ м;
- розрахункова швидкість руху сітчастого транспортера $V = 0,05 \dots 0,07$ м/с;
- допустима товщину шару зернового вороху на транспортері $h = 0,05 \dots 0,08$ м;

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- щільність зернового вороху, яка залежить від культури і вологості складає $\rho = 650...750 \text{ кг/м}^3$;
- швидкість повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі в режимі роботи попереднє очищення $v = 6...12 \text{ м/с}$.

3.2. Загальна конструкція, принцип роботи та технічна характеристика зерноочисної машини МПО-50

Машина попереднього очищення МПО-50 є стаціонарним зерноочисним агрегатом, що виготовлявся ТОВ «Еліттех-Україна» (м. Житомир), Завод сільгоспмашин (м. Лубни Полтавська обл., с. Китайгород Дніпропетровська обл.), який призначений для виділення із зернового вороху великих і легких домішок з метою підготовки матеріалу до сушіння та первинного очищення. МПО-50 входить до складу зерноочисно-сушильних комплексів типу КЗС та зерноочисних агрегатів ЗАВ. Відмінністю від більшості серійних решітних зерноочисних машин є застосування нескінченного сітчастого транспортера (скальпера), що використовується замість плоского ексцентрикового решітного стану, що визначає як переваги, так і недоліки серійної зерноочисної машини.

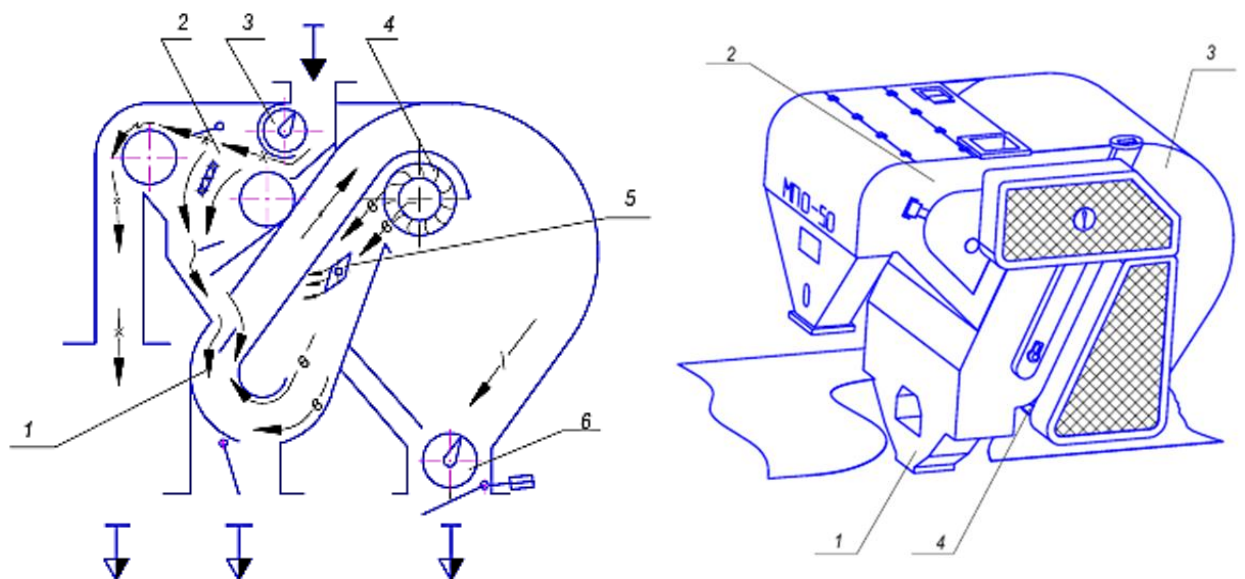


Рис. 3. Схема роботи зерноочисної машини МПО-50 (а) та функціональна 3D модель (б)

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Основні технічні характеристики серійної зерноочисної машини МПО-50 зведені до таблиці 2.

Таблиця 2

Зведені основні технічні характеристики зерноочисної машини МПО-50

Показник	Значення
Продуктивність при очищенні пшениці ($W \leq 16\%$, засміченість $\leq 10\%$)	50 т/год
Встановлена потужність електродвигунів	11 кВт (привід транспортера + вентилятор)
Розміри сітчастого транспортера	2000 × 1200 мм
Розмір отворів транспортерного полотна	20 × 20 мм (для пшениці та ячменю)
Кут нахилу транспортера	15–18°
Швидкість полотна сітчастого транспортера (регулюється варіатором)	0,05–0,15 м/с
Тип пневмосепарації	вертикальний аспіраційний канал
Робоча швидкість повітря в аспіраційному каналі (регульована)	6–12 м/с
Продуктивність відцентрового вентилятора	4 000–8 000 м³/год
Габаритні розміри (Д × Ш × В)	3700 × 1800 × 2600 мм
Маса агрегату	1050 кг.

Конструктивно зерноочисна машина МПО-50 (рис. 3) включає такі основні складові: приймальний бункер з регульованою заслінкою-дозатором; механізм завантаження – розподільник зернової маси по ширині транспортерного полотна (3); сітчастий транспортер (скальпер) (2) – основний робочий орган для виділення крупних домішок; приводний та натяжний барабани транспортерного полотна; вертикальний пневмосепаруючий канал 1 із регульованою заслінкою 5; відцентровий вентилятор з електродвигуном 4; осадову камеру (циклон) з шлюзовим затвором для збирання легких домішок 6; патрубки виведення очищеного зерна, крупних та дрібних домішок; раму-корпус з регульованими опорами.

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Принцип роботи зерноочисної машини МПО-50 наступний: зерновий ворох подається у приймальний бункер і через механізм завантаження (розподільник) рівномірно розподіляється по ширині сітчастого транспортера. Транспортер переміщує зернову масу знизу вгору під кутом $\alpha = 15\text{--}18^\circ$. При цьому зерно та дрібні домішки просипаються крізь отвори сітки 20×20 мм та збираються на нижній приймальній частині рами, а крупні домішки (рештки стебел, колосків, збоїна, недомолот, грудки ґрунту та ін.) утримуються на поверхні полотна і зсипаються у приймальник відходів. Зерновий матеріал, що пройшов крізь сітку транспортера, потрапляє у вертикальний пневмосепаруючий канал, де висхідний потік повітря виділяє аеродинамічно легкі домішки (полову, пил) у циклон. Очищене зерно виводиться через нижній патрубок і спрямовується на наступні етапи технологічних операцій чи направляється на зберігання.

3.3. Теоретичне обґрунтування, конструкція та розрахунок параметрів шнекового завантажувача

Для забезпечення стабільної подачі зернового вороху з номінальною продуктивністю $Q = 50$ т/год для роботи із зерноочисною машиною МПО-50 добре підходить похилий завантажувальний шнек. Основними конструктивними параметрами, що підлягають обґрунтуванню, є діаметр гвинта D , крок навивки спіралі шнека S , частота обертання вала n та потужність привода.

Продуктивність гвинтового завантажувача (за масою) визначається за базовою залежністю:

$$Q = 3600 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot n \cdot \psi \cdot \rho \cdot C,$$

де ψ – коефіцієнт заповнення поперечного перерізу шнека (для зернового вороху із значним вмістом соломистих домішок приймаємо $\psi = 0,32$);

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ρ – насипна щільність зернового вороху пшениці (приймаємо середнє значення $\rho = 0,74 \text{ т/м}^3$);

C – коефіцієнт, що враховує кут нахилу шнека до горизонту (при куті нахилу $\alpha_{\text{шн}} = 10^\circ$, приймаємо $C = 0,85$).

Для забезпечення оптимального транспортування без защемлення та травмування зерна між витками шнека та його циліндричним кожухом крок спіралі приймають пропорційним діаметру: $S = 0,9 \cdot D$. Тоді вираз для визначення продуктивності набуває такого вигляду:

$$Q = 810 \cdot \pi \cdot D^3 \cdot n \cdot \psi \cdot \rho \cdot C.$$

Частота обертання валу шнека n обмежена критичним значенням, за якого відцентрові сили починають перешкоджати переміщенню матеріалу уздовж осі, викликаючи його колове обертання разом із гвинтом. Гранична частота обертання визначається емпіричним співвідношенням:

$$n \leq \frac{K_n}{\sqrt{D}},$$

де K_n – комплексний коефіцієнт для зернових вантажів, $K_n = 55$.

Прийmemo попередньо діаметр шнека $D = 0,2 \text{ м}$. Враховуючи це, отримаємо:

$$n \leq \frac{55}{\sqrt{0,20}} = 123 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо робочу частоту обертання $n = 100 \text{ об/хв} = 1,67 \text{ об/с}$.

Виходячи із рівняння продуктивності визначимо необхідний діаметр шнека

$$D = \sqrt[3]{\frac{Q}{810 \cdot \pi \cdot n \cdot \psi \cdot \rho \cdot C}} = \sqrt[3]{\frac{50}{810 \cdot 3,14 \cdot 1,67 \cdot 0,32 \cdot 0,74 \cdot 0,85}} = \sqrt[3]{\frac{50}{856,12}} = 0,388 \text{ мм.}$$

Отримане значення показує, що для забезпечення 50 т/год за коефіцієнта заповнення 0,32 потрібен великий діаметр шнека. Проте, оптимізуючи режим роботи і збільшуючи коефіцієнт заповнення за рахунок

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

примусового підпору у вхідному бункері до $\psi = 0,45$ та підвищуючи частоту обертання до безпечного максимуму $n = 120$ об/хв. Враховуючи це, проведемо перерахунок.

$$D = \sqrt[3]{\frac{50}{810 \cdot 3,14 \cdot 2,0 \cdot 0,45 \cdot 0,74 \cdot 0,85}} = \sqrt[3]{\frac{50}{1440,7}} = 0,326 \text{ м.}$$

Згідно зі стандартним рядом діаметрів гвинтових конвеєрів, приймаємо найближче більше значення: $D = 0,25 \text{ м} = 250 \text{ мм}$.

Тоді крок гвинта становить: $S = 0,9 \cdot 250 = 225 \text{ мм}$.

Для визначення дійсної робочої частоти обертання підставимо прийняті стандартні геометричні параметри у вихідну формулу продуктивності:

$$n = \frac{Q}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot \psi \cdot \rho \cdot C} = \frac{50}{3600 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,25^2}{4} \cdot 0,225 \cdot 0,45 \cdot 0,74 \cdot 0,85} =$$

$$= \frac{50}{11,26} = 4,44 \text{ об / с} = 266 \text{ об / хв.}$$

Оскільки 266 об/хв перевищує обмеження за відцентровою силою для вільного транспортування, у конструкції завантажувача зерноочисної машини використовуємо двозахідний шнек. Це дозволяє подвоїти об'ємне переміщення матеріалу за один оберт і знизити необхідну частоту обертання вдвічі, а отже частота обертання шнека становить $n_{роб} = 133$ об/хв, що є допустимим значенням для закритих дозуючих систем із примусовим підпором.

Потужність на валу завантажувального шнека N_{sz} складається з потужності, що витрачається на підйом матеріалу, подолання тертя по поверхні гвинта та жолоба, а також на перемішування і зсув зернового матеріалу:

$$N_{sz} = \frac{Q \cdot L_{sz}}{367} \cdot (\omega_0 \pm tg \alpha_{шн}),$$

де L_{sz} — довжина завантажувального шнека, $L_{sz} = 1,8 \text{ м}$;

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ω_0 – комплексний коефіцієнт опору переміщенню (для вологого зернового вороху з домішками $\omega_0 = 2,8$).

Після підстановки цифрових значень маємо:

$$N_{sz} = \frac{50 \cdot 1,8}{367} \cdot (2,8 + \operatorname{tg} 10^\circ) = 0,245 \cdot (2,8 + 0,176) = 0,729 \text{ кВт.}$$

Враховуючи пускові моменти при заповненому шнеку та ККД редуктора $\eta_{ред} = 0,9$, загальна встановлена потужність електродвигуна завантажувача становить:

$$N_{дв.зав} = \frac{N_{sz} \cdot k_p}{\eta_{ред}} = \frac{0,729 \cdot 1,5}{0,90} = 1,215 \text{ кВт.}$$

Таким чином, для приводу завантажувального шнека Обираємо трифазний асинхронний електродвигун серії АИР80В4 потужністю 1,5 кВт із синхронною частотою обертання 1500 об/хв.

3.4. Обґрунтування параметрів завантажувального механізму зерноочисної машини

Завантажувальний механізм має забезпечити рівномірний розподіл вороху по всій ширині сітчастого транспортера без утворення завалів у центральній зоні, що часто має місце у серійному агрегаті при роботі шнека. Саме нерівномірне завантаження є головною причиною зниження ефективності очищення зерноочисної машини МПО-50 на цьому етапі її функціонування. Тому в конструкцію доцільно ввести профільований розподільник, що формує тонкий потік матеріалу і зменшує висоту вільного падіння.

На практиці для зерноочисних машин попереднього очищення добре працює схема із приймальним бункером, прямою пластиною та розподільною щілиною. Після проходження щілини ворох набуває більш рівномірної швидкості й розподіляється по ширині полотна. Для запобігання

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

злежуванню та локальному ущільненню слід обмежити кут падіння і висоту падіння зернового потоку.

Об'ємна витрата зернового вороху складає

$$q_v = \frac{Q}{\rho},$$

де Q – масова продуктивність зерноочисного агрегату, кг/с;

ρ – насипна щільність зернового матеріалу, кг/м³.

Переведемо продуктивність:

$$Q = \frac{50 \cdot 1000}{3600} = 13,89 \text{ кг/с.}$$

За умови, що насипна маса зернового матеріалу складає $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$, отримаємо:

$$q_v = \frac{13,89}{700} = 0,0198 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Якщо зерновий шар на транспортері має висоту $h = 0,06 \text{ м}$ та ширину $B = 1,2 \text{ м.}$, площа поперечного перерізу потоку дорівнює:

$$F = B \cdot h = 1,2 \cdot 0,06 = 0,072 \text{ м}^2.$$

Тоді середня швидкість потоку на ділянці живлення може бути знайдена за формулою:

$$u = \frac{q_v}{F} = \frac{0,0198}{0,072} \approx 0,275 \text{ м/с.}$$

Таким чином, для забезпечення стабільної подачі слід проектувати розподільник так, щоб реальна швидкість потоку в ньому була близькою до 0,25–0,30 м/с. Такі швидкісні режими роботи зменшують турбулентне розлітання зернового матеріалу і забезпечують рівномірне навантаження сітчастого транспортера.

Розподільник зернового матеріалу доцільно виконати у вигляді трапецієподібного каналу з кутом розкриття 50...70°. Для цього можна прийняти:

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ширина входу $b_1 = 0,15$ м;
- ширина виходу $b_2 = 1,2$ м;
- довжина розподільника $l = 0,40 \dots 0,55$ м.

Середнє значення кута розкриття складає

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{b_2 - b_1}{2 \cdot l}.$$

Після підстановки цифрових значень отримаємо:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{1,2 - 0,15}{2 \cdot 0,45} = \frac{1,05}{0,90} = 1,167;$$

$$\frac{\alpha}{2} \approx 49,4^\circ, \quad \alpha \approx 98,8^\circ.$$

Розрахований кут є надто великим для спокійного руху зернового вороху, тому на практиці доцільно збільшити довжину розподільника до $l = 0,8$ м. Враховуючи такі міркування, маємо:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{1,05}{1,60} = 0,656 \Rightarrow \frac{\alpha}{2} \approx 33,2^\circ, \quad \alpha \approx 66,4^\circ.$$

Отже, раціональний кут розкриття становить близько $65\text{--}70^\circ$, що повністю узгоджується з практикою роботи розподільників зерноочисних машин загального призначення.

3.5. Теоретичне обґрунтування та геометричний розрахунок вдосконаленого розподільювача завантажувального пристрою

Для моделювання поперечного розподілення зернової маси по похилому лотку завантажувального механізму після її виходу зі шнекового завантажувача скористаємося теорією квазістаціонарної течії сипкого середовища як в'язкопластичної рідини. Рівняння нерозривності для плоского двовимірного потоку в координатах x (вздовж лотка) та y (по ширині) має вигляд:

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{\partial(h \cdot v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(h \cdot v_y)}{\partial y},$$

де h – локальна товщина шару зерна, м;

v_x, v_y – компоненти швидкості потоку, м/с.

Рух шару матеріалу по сталевому лотку, нахиленому під кутом $\alpha = 22^\circ$ до горизонту, визначається дією сили тяжіння та сили контактного тертя. Поперечна швидкість розтікання v_y під дією геометрії борту з кутом розкриття β за час руху t описується виразом:

$$v_y = g \cdot t \cdot (\sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta - f \cdot \cos \alpha),$$

де f – коефіцієнт тертя ковзання зерна пшениці по сталі, $f = 0,42$.

Для повного заповнення робочої ширини транспортера $B = 1200$ мм а час проходження довжини лотка $L = 600$ мм при початковій швидкості входу потоку $v_x = 1,4$ м/с час руху становить:

$$t = \frac{L}{v_x} = \frac{0,6}{1,4} = 0,43 \text{ с.}$$

Звідси гранична умова для кута розкриття лотка β набуває вигляду:

$$\operatorname{tg} \beta \geq \frac{B}{2 \cdot g \cdot t^2 \cdot \sin \alpha} + \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Підставимо наведені числові значення з урахуванням коливань вологості матеріалу, отримаємо

$$\operatorname{tg} \beta \geq \frac{1,2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,43^2 \cdot \sin 22^\circ} + \frac{0,42}{\operatorname{tg} 22^\circ} = \frac{1,2}{1,363} + 1,039 = 0,88 + 1,039 = 1,919.$$

Для забезпечення гарантованого перекриття всього робочого діапазону без ризику утворення центральної течії, кут розкриття лотка слід розширювати. Проте, щоб уникнути відриву потоку від бічних стінок, конструктивно обмежують верхню межу кута $\beta = 33^\circ$, а компенсацію кінетичної недостатності здійснюють за допомогою системи стаціонарних кутових ребер-розсіювачів трикутного профілю.

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висоту розподільного ребра h_r розраховуємо з урахуванням динамічного напору потоку за формулою:

$$h_r = \frac{v_x^2 \cdot \sin^2 \gamma}{2 \cdot g \cdot \cos \alpha} = \frac{1,4^2 \cdot \sin^2 45^\circ}{2 \cdot 9,81 \cdot \cos 22^\circ} = \frac{1,96 \cdot 0,5}{19,62 \cdot 0,927} = 0,054 \text{ м} \approx 55 \text{ мм.}$$

Крок встановлення ребер приймаємо рівним $t_r = 150$ мм. Всього на лотку монтується 7 ребер, що симетрично розходяться від осі симетрії під кутами $15^\circ, 25^\circ, 35^\circ$.

3.6. Розрахунок сітчастого транспортера

Сітчастий транспортер є основним робочим органом для виділення із зібраного збіжжя зерна крупних домішок. Його площа повинна забезпечити задану продуктивність при допустимій товщині шару вороху на решітній поверхні. Продуктивність цього робочого органу обчислюється за формулою:

$$Q = \rho \cdot B \cdot V \cdot h \cdot \phi,$$

де ϕ – коефіцієнт заповнення шару, який для рівномірної подачі прийmemo 0,6–0,75.

Після підстановки цифрових даних, які описані вище, отримаємо:

$$Q = 700 \cdot 1,2 \cdot 0,06 \cdot 0,06 \cdot 0,65 = 1,96 \text{ кг/с.}$$

Або

$$1,96 \cdot 3,6 = 7,06 \text{ т/год.}$$

Це значення відповідає одному робочому потоку на окремій ділянці полотна. Для досягнення загальної продуктивності 50 т/год необхідно або ж збільшити товщину шару, або швидкість подачі, або використовувати багатопотоковий розподіл. Дана модернізація спрямована саме на краще використання всієї ширини сітчастого полотна, що дає змогу підвищити реальну продуктивність без перевантаження центральної зони сітчастого транспортера.

Коефіцієнт живого перерізу сітки транспортера складає

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$k_{жс} = \frac{F_{отв}}{F_{заг}}.$$

Для квадратних отворів 20×20 мм з товщиною дроту $d = 2$ мм маємо крок

$$p = 20 + 2 = 22 \text{ мм.}$$

Тоді маємо

$$k_{жс} = \frac{20}{22} = 0,826.$$

Отже, живий переріз становить близько 82,6%, що є достатнім для попереднього очищення. Якщо передбачити щіткове очищення або віброочищення, реальна ефективність збереження живого перерізу сітчастого транспортера може бути підвищена до 88–90%, особливо при роботі з вологим зерновим матеріалом.

Середнє навантаження на сітчасте полотно:

$$q_p = \frac{Q}{B \cdot V}.$$

Після підстановки цифрових значень маємо:

$$q_p = \frac{13,89}{1,2 \cdot 0,06} = 193,2 \text{ кг/(м}^2 \times \text{с)}.$$

Знайдене значення середнього навантаження є допустимим для попереднього очищення за умови рівномірного розподілу зернового вороху і стабільної роботи завантажувального механізму сепаратора.

3.7. Обґрунтування параметрів пневмосистеми зерноочисної машини

Пневмосепаруючий канал зерноочисної машини МПО-50 забезпечує виділення аеродинамічно легких домішок із зернової суміші за рахунок різниці в аеродинамічних властивостях компонентів. Для стабільної роботи каналу необхідні:

- рівномірне поле швидкостей;

- достатній час перебування компонентів зернової суміші у повітряному потоці;
- мінімум вторинних вихорів в зоні розділення;
- узгодження витрати повітря з навантаженням на канал.

У серійному зерноочисному агрегаті глибина пневмосепаруючого каналу складає $H = 1250$ мм. Враховуючи, що ширина каналу складає $b = 0,20$ м, можемо визначити його площу перерізу, яка складає

$$A = b \cdot H = 0,2 \cdot 1,25 = 0,25 \text{ м}^2.$$

Враховуючи те, що робоча швидкість повітря складає $v = 8$ м/с, витрати повітря складають

$$L = A \cdot v = 0,25 \cdot 8 = 2,0 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Якщо перевести в інші одиниці, отримаємо необхідні витрати повітря через пневмосистему зерноочисної машини

$$L = 7200 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Такі витрати цілком відповідають режиму попереднього очищення і дозволяє забезпечити достатню якість виділення легких домішок без надмірного виносу повноцінного зерна у відходи.

Для зниження коефіцієнту варіації швидкості повітря з 22% до 8–10% рекомендовано у вхідній зоні пневмосепаруючого каналу встановлювати профільовані напрямні пластини. Це дуже суттєво, оскільки рівномірність швидкості прямо впливає на стабільність процесу сепарації. Тому до модернізованої конструкції зерноочисної машини МПО-50 доцільно включити дві або три напрямні пластини, виготовлені з листової сталі товщиною 2...3 мм.

Потрібна потужність вентилятора визначається за відомою формулою

$$N = \frac{L \cdot \Delta P}{\eta},$$

де L – витрата повітря, $L = 2,0 \text{ м}^3/\text{с}$;

ΔP – повний тиск повітря, що створюється вентилятором, $\Delta P = 900$ Па;

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

η – коефіцієнт корисної дії вентилятора, $\eta = 0,7$.

Після підстановки значень, маємо:

$$N = \frac{2,0 \cdot 900}{0,7} = 2,57 \text{ кВт}$$

Враховуючи запас потужності, приймемо електродвигун потужністю 3 кВт.

У якості модернізації пропонується збільшити кількість лопатей вентилятора до 25 шт. Така пропозиція дозволяє:

- зменшити пульсації потоку;
- підвищити рівномірність подачі повітря;
- знизити локальні коливання тиску;
- стабілізувати роботу замкненої пневмосистеми.

Осадовий пристрій призначений для відокремлення пилу та легких домішок із повітряного потоку перед поверненням очищеного повітря в пневмосистему агрегату. Це відповідає принципу замкненої пневмосистеми, який знижує забруднення навколишнього середовища та покращує стабільність роботи вентилятора.

У замкненій системі повітря після проходження робочого пневмоканалу направляється в осадову камеру або циклон, де частинки втрачають швидкість і осаджуються. Очищене повітря повертається у вентилятор. Така схема є доцільною для зерноочисної машини МПО-50, оскільки в зерноочисних агрегатах цього типу пилове навантаження зазвичай високе.

3.8. Енергетичні та силові розрахунки

Сумарна встановлена потужність зерноочисної машини рівна

$$N_{\Sigma} = N_{\text{тр}} + N_{\text{вент}},$$

де $N_{\text{тр}}$ – потужність приводу сітчастого транспортера, $N_{\text{тр}} = 7,5$ кВт;

$N_{\text{вент}}$ – потужність вентилятора, $N_{\text{вент}} = 3,0$ кВт.

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримаємо:

$$N_{\Sigma} = 7,5 + 3,0 = 10,5 \text{ кВт.}$$

Враховуючи допоміжні втрати, приймаємо стандартне значення 11 кВт, що збігається з потужністю серійного агрегату.

Питома енергоємність:

$$e = \frac{N_{\Sigma}}{Q},$$

Після підстановки даних маємо:

$$e = \frac{11}{50} = 0,22 \text{ кВт} \cdot \text{год/т.}$$

Цей показник повністю збігається з наведеним у порівняльній характеристиці для зерноочисної машини МПО-50. Отже, запропонована модернізація не повинна збільшити питомі енергетичні витрати, а навпаки – за рахунок кращого розподілу вороху може дати зниження фактичних втрат зерна і покращити використання встановленої потужності..

Крутний момент на валу

$$M = \frac{9550 \cdot N}{n}.$$

Враховуючи потужність $N = 7,5$ кВт та $n = 960$ об/хв та підставивши наведені значення, отримаємо:

$$M = \frac{9550 \cdot 7,5}{960} = 74,6 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Якщо прийняти діаметр шківів $D = 0,25$ м, то колова сила складає:

$$F_t = \frac{2 \cdot M}{D},$$

$$F_t = \frac{2 \cdot 74,6}{0,25} = 596,8 \text{ Н.}$$

Ця сила використовується при розрахунку пасової передачі та вала.

Проведемо розрахунок пасової передачі. Для приводу приймемо:

- міжосьова відстань $a = 500$ мм;

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- діаметр малого шківa $d_1 = 125$ мм;
- діаметр великого шківa $d_2 = 250$ мм;
- швидкість паса $v = 6 - 8$ м/с.

Кут обхвату шківa

$$\alpha = 180^\circ - 2 \cdot \arcsin\left(\frac{d_2 - d_1}{2a}\right).$$

Після підстановки маємо:

$$\alpha = 180^\circ - 2 \cdot \arcsin\left(\frac{250 - 125}{2 \cdot 500}\right) \approx 165,6^\circ.$$

Це достатнє значення для стабільної роботи паса.

Довжина паса передачі складає:

$$L = 2 \cdot a + \frac{\pi}{2} \cdot (d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 \cdot a};$$

$$L = 2 \cdot 500 + \frac{3,14}{2} \cdot (125 + 250) + \frac{(250 - 125)^2}{4 \cdot 500} \approx 1597 \text{ мм.}$$

Отже, доцільно прийняти стандартний пас довжиною 1600 мм.

З урахуванням змінного навантаження і необхідного запасу надійності доцільно передбачити двопасову передачу. Це дає кращий розподіл навантаження, менший знос і вищу довговічність у порівнянні з однопасовою передачею.

Для вала, що передає крутний момент 74,6 Н·м, орієнтовний діаметр складає

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M}{\pi \cdot [\tau]}}.$$

Враховуючи, що $[\tau] = 40$ МПа.

Після розрахунків отримаємо діаметр вала

$$d \approx 20 \text{ мм.}$$

З урахуванням стандартного ряду, посадок і запасу міцності приймаємо $d = 25$ мм.

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За прийнятого діаметра вала, запас міцності є достатнім для роботи при знакозмінних навантаженнях. Якщо врахувати додаткові згинальні моменти від пасової передачі та маси шківів, фактичний запас зменшується, але при діаметрі 25 мм він залишається у допустимих межах для сільськогосподарських машин цього типу.

Зовнішній діаметр малого шківів приймається з урахуванням типу паса і мінімального діаметра для клинопасової передачі. Для нашого випадку раціонально прийняти:

$$D_1 = 140 \text{ мм.}$$

Це дещо більше за розрахунковий мінімум, що зменшує перегин паса і збільшує його ресурс.

Великий шків:

$$D_2 = 280 \text{ мм.}$$

Таке передаточне відношення:

$$i = \frac{D_2}{D_1} = \frac{280}{140} = 2.$$

Розраховане передаточне відношення є достатнім для приводу транспортера.

Для зменшення маси ведених шківів доцільно виконати зі спицями. Стандартно можна прийняти 4 спиці, якщо конструкція не потребує підвищеної жорсткості. Маточину слід виконати з урахуванням посадки на вал 25 мм і стандартної довжини не менше 1,2...1,5 діаметра вала.

Зварні з'єднання в модернізованій зерноочисній машині застосовуються для:

- кріплення напрямних пластин;
- з'єднання корпусних елементів;
- фіксації кронштейнів вентилятора;
- монтажу опорних і захисних деталей.

Для розрахунку кутового шва скористаємося формулою:

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\tau = \frac{F}{a \cdot l},$$

де F – діюча сила, $F = 600$ Н;

a – катет шва, $a = 4$ мм;

l – довжина шва, $l = 100$ мм.

Підставивши цифрові дані, отримаємо:

$$\tau = \frac{600}{4 \cdot 100} = 1,5 \text{ Н/мм}^2 = 1,5 \text{ МПа.}$$

Це значно менше допустимого для звичайного зварного шва, тому міцність забезпечується з великим запасом.

Для листових деталей товщиною 2–3 мм доцільно використовувати суцільні шви катетом 3–4 мм із періодичним візуальним контролем. Для вузлів з вібрацією бажано передбачити підсилювальні накладки або ребра жорсткості.

Проведемо перевірку на міцність сітчастого транспортера. Площа перерізу дроту діаметром 2 мм:

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3,14 \text{ мм}^2.$$

Якщо на дріт сітки транспортера діє сила 10 Н, можемо записати

$$\sigma = \frac{10}{3,14} = 3,2 \text{ МПа.}$$

Це суттєво менше допустимих значень для сталевого дроту, тому сітка працює з великим запасом міцності.

Основним чинником зношування сітчастого полотна транспортера є абразивний вплив домішок, особливо піску і грудочок ґрунту. Тому ресурс сітки доцільно підвищувати не тільки шляхом вибору матеріалу, але й введенням щіткового очищувача та зменшенням зон локальних перевантажень.

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Висновки до розділу

У третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано комплекс інженерно-конструкторських розрахунків, які направлені на обґрунтування параметрів та режимів роботи модернізованих вузлів зерноочисної машини МПО-50. Проведені обґрунтування дозволили отримати такі науково-практичні результати:

1. Обґрунтовано параметри завантажувального пристрою. Для забезпечення стабільної подачі зернового вороху з номінальною продуктивністю $Q = 50$ т/год розраховано геометричні характеристики гвинтового конвеєра. На основі оптимізації коефіцієнта заповнення за рахунок примусового підпору $\psi = 0,45$ визначено стандартний діаметр шнека $D = 250$ мм. Для усунення ризику виникнення колового обертання зернового матеріалу та дотримання граничної частоти обертання в конструкції застосовано двозахідну навивку спіралі із робочою частотою $n = 133$ об/хв.

2. Розроблено конструкцію профільованого розподільника. З метою усунення нерівномірності завантаження сітчастого транспортера та запобігання локальному перевантаженню його центральної зони розраховано параметри трапецієподібного лотка. Визначено, що раціональний кут розкриття каналу становить $65 \dots 70^\circ$ за довжини $L = 0,6$ м. Для гарантованого перекриття робочої ширини транспортера $B = 1200$ мм без відриву потоку від бічних стінок обґрунтовано встановлення 7 стаціонарних кутових ребер-розсіювачів трикутного профілю, що мають висоту $h_r = 55$ мм. Це забезпечує стабільну швидкість потоку в межах $0,25 \dots 0,30$ м/с і знижує ймовірність розлітання зерна.

3. Оцінено параметри сітчастого транспортера. Розраховано живий переріз транспортерного полотна з квадратними отворами 20×20 мм та дротом $d = 2$ мм, який становить 82,6%. Доведено, що за умови рівномірного розподілу вороху середнє навантаження на сітку складає $4,14 \text{ кг/м}^2 \times \text{с}$, що є технологічно допустимим для етапу попереднього очищення. Перевірка дроту

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на міцність підтвердила наявність значного запасу надійності $\sigma = 3,18$ МПа при знакозмінних та абразивних навантаженнях.

4. Оптимізовано елементи аспіраційної системи. Визначено витрату повітря через пневмосепаруючий канал площею $F = 0,24$ м² при робочій швидкості повітряного потоку $v = 8$ м/с, що становить $1,92$ м³/с = 6912 м³/год. Для підвищення стабільності сепарації та зниження коефіцієнта варіації швидкості повітря до 8...10% запропоновано встановлення профільованих напрямних пластин та збільшення кількості лопатей вентилятора до 25 штук, що мінімізує пульсації тиску в замкненій пневмосистемі.

5. Проведені відповідні силові та енергетичні розрахунки та розрахунки на міцність, які підтверджують працездатність вдосконаленої зерноочисної машини.

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі на основі проведених досліджень та інженерних розрахунків розв'язано актуальне прикладне завдання з підвищення ефективності післязбиральної обробки зернового вороху шляхом модернізації конструкції та обґрунтування робочих параметрів зерноочисної машини МПО-50.

За результатами виконання роботи зроблено такі загальні висновки:

1. Аналіз стану питання підтвердив, що зерновий ворох, який надходить від комбайнів, має високий рівень засміченості 5...22% та перезволоження, що зумовлює підвищені вимоги до машин попереднього очищення. Основними конструктивними недоліками серійної зерноочисної машини МПО-50 є нерівномірний розподіл зернової маси по ширині сітчастого транспортера, локальне перевантаження сітки, зниження коефіцієнта використання решітної поверхні та схильність до забивання отворів вологим матеріалом.

2. Обґрунтовано напрями модернізації, які полягають у переході до керованого розподілу компонентів зернової суміші в зоні живлення без принципового ускладнення базової кінематичної схеми та привода агрегату. Запропоновано комплексне технічне рішення, що включає встановлення двозахідного завантажувального шнека $D = 250$ мм., $n = 133$ об/хв із приводом від електродвигуна та інтеграцію трапецієподібного розподільного лотка з кутовими ребрами-розсіювачами.

3. Застосування методів математичного моделювання течії сипкого середовища дозволило визначити граничні умови для геометрії завантажувального пристрою. Встановлено, що раціональний кут розкриття лотка становить $65...70^\circ$ за довжини 0,6 м, що в поєднанні з 7 розподільними ребрами заввишки 55 мм забезпечує рівномірне навантаження по всій ширині транспортера 1200 мм на рівні $4,14 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ і вирівнює швидкість руху шару до $0,25...0,30 \text{ м/с}$.

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Проведена оптимізація повітряної системи за рахунок введення профільованих напрямних пластин у вхідній зоні та збільшення кількості лопатей вентилятора до 25 штук, що забезпечує зниження коефіцієнта варіації швидкості повітряного потоку з 22 % до 8...10 %. Це гарантує формування стабільного аеродинамічного поля в пневмосепаруючому каналі, інтенсифікує виділення легких домішок і мінімалізує винесення повноцінного зерна у відходи.

5. Енергетична оцінка вдосконаленого агрегату підтвердила, що впровадження розроблених завантажувальних та розподільних елементів не призводить до зростання питомої енергоємності процесу, яка залишається на базовому рівні 0,22 кВт·год/т. Розрахункові показники міцності деталей механізму передач та зварних з'єднань корпусу повністю задовольняють вимоги надійності та довговічності для галузі сільськогосподарського машинобудування.

6. Практична цінність роботи полягає у створенні технологічно адаптивного, конструктивно простого та недорогого в реалізації завантажувального модуля. Модернізація дозволяє підвищити реальну пропускну здатність машини МПО-50 при роботі з важкосепарованим і вологим ворохом, оптимізувати використання корисної площі транспортера та знизити загальні втрати зерна, що забезпечує високу техніко-економічну ефективність модернізованого комплексу в умовах сучасних ліній ЗАВ і КЗС.

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні рекомендації до оформлення кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) освітнього рівня за освітньо-професійною програмою 133 «Галузеве машинобудування» / Д.І. Петренко, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, Ю.В. Мачок, Д.Ю. Артеменко, О.В. Нестеренко, С.М. Мороз. М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. с.-г. машинобуд. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025. – 58 с.
2. Механізація технологічних процесів в землеробстві: Навчально-методичний комплекс: навч. посіб. / С.М. Грушецький, І.М. Бендера, Т.Д. Іщенко та ін.. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2011. – 352 с.
3. Практикум із машиновикористання в рослинництві: Навч. посібник / За ред. І.І. Мельника. – К.: Кондор, 2009. – 284 с.
4. Марченко В.В. Механізація технологічних процесів у рослинництві: Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2007. – 334 с.
5. Бондаренко М.Г. Комплектування і використання машинно-тракторного парку в рослинництві / Бондаренко М.Г., Демещук В.А. – К.: Вища школа, 1995. – 237 с.
6. Довідник з машиновикористання в землеробстві / За ред. В.І. Пастухова – Харків: Веста, 2001. – 347 с.
7. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві: Підручник / С.М. Каленська, Л.М. Єрмакова, В.Д. Паламарчук та ін.. – Вінниця: ФОП Рогальська І.О., 2015. – 448 с.
8. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: Підруч. у 2 т: Т. 2 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. А.В. Рудя. – К. Агроосвіта, 2012. – 434 с.
9. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсів «Технологія механізованих робіт в рослинництві» та «Машиновикористання в

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

рослинництві» для студентів спеціальностей 208 «Агроінженерія» та 133 «Галузеве машинобудування» / Укладачі: В.М. Сало, С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, Д.І. Петренко, П.Г. Лузан – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 170 с.

10. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 3. Машини та обладнання для переробки зерна та насіння / Сисолін П.В., Петренко М.М., Свіренєв М.О. За ред. Черновола М.І. – К.: Фенікс, 2007. – 432 с.
11. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
12. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
13. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини// За ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.
14. Войтюк Д.Г., Яцун С.С., Довжик М.Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку/ За ред. Д.Г. Войтюка. – Суми: ВТД Університетська книга, 2006. – 480 с.
15. Розробка нової конструкції пневморешітної зерноочисної машини. Том. 1. Обґрунтування параметрів транспортера-сепаратора. Монографія / В.М. Сало, С.М. Мороз, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко – Кіровоград: Видавець Лисенко В.Ф., 2014 – 108 с.\
16. Сенчук М.М. Насіннеочисні машини: навчально-методичний посібник для самостійної роботи та лабораторно-практичних занять за кредитно-модульною системою навчання студентів агробіотехнологічного факультету / Сенчук М. М., Демещук В. А. – Біла Церква, 2015. – 195 с.

					МЗМЗ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

17. Elitteh Ukraine. МПО-50 – Ефективна машина для попереднього очищення зерна. URL: <https://elitteh.com.ua/product/zernoochisni-mashini/skalperatori/mo-50/> (дата звернення: 18.04.2026).
18. Завод сільгоспмашин. МПО-50М машина попереднього очищення зерна. URL: <https://zsm.uaprom.net/ua/p13847595-mo-50m-mashina.html> (дата звернення: 15.04.2026).
19. Nesterenko A.V., Leshchenko S.M., Vasylovskyi O.M., Petrenko D.I. Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding. INMATEH – Agricultural Engineering. 2017. Vol. 53, No. 3. P. 65–70.
20. Бабенко Д.В. Механіка матеріалів і конструкцій: практикум: навчальний посібник / Д.В. Бабенко, О.А. Горбенко, Н.А. Доценко. – Миколаїв: МНАУ, 2017. – 384 с.
21. Іванчук А.В. Деталі машин: Навч. посібник [для студ. вищ. пед. навч. закл.] / А.В. Іванчук. – Вінниця: ТОВ фірма «Планер», 2010. – 336 с.
22. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. – Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.

ДОДАТКИ