

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 загального призначення з
розробкою завантажувального механізму»

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,
групи ГМ-22-1
ОПП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»
_____Черниш Володимир Іванович
«___» _____2026 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____Дмитро ПЕТРЕНКО
«___» _____2026 р.

Рецензент
доцент, канд. техн. наук
_____Олександр СКІБІНСЬКИЙ
«___» _____2026 р.

м. Кропивницький

Анотація

Тема: «Модернізація зерноочисної машини загального призначення з розробкою завантажувального механізму»

Об'єктом дослідження є процес післязбиральної обробки зерна в пневматичних сепараторах. У роботі обґрунтовано модернізацію машини ПСМ шляхом впровадження пруткового решета, активного щіткового живильника та дворівневої системи пневмоканалів. Виконано інженерні розрахунки вала живильника на міцність і жорсткість, що підтвердили надійність конструкції. Реалізація рішень дозволила підвищити ефективність очищення до 99,76% при низьких енерговитратах 0,034 кВт·год/т, забезпечивши якісну сепарацію багатокомпонентного зернового вороху.

Ключові слова: пневмосепарування, активний живильник, очищення зерна, ефективність сепарації

Abstract

Topic: «Modernization of a general-purpose grain cleaning machine with the development of a loading mechanism»

The object of the research is the process of post-harvest grain processing in pneumatic separators. The study substantiates the modernization of the PSM machine through the implementation of a rod screen, an active brush feeder, and a two-level pneumatic channel system. Engineering calculations of the feeder shaft for strength and rigidity were performed, confirming the structural reliability. The implementation of these solutions allowed for an increase in cleaning efficiency to 99.76% with low energy consumption of 0.034 kWh/t, ensuring high-quality separation of multi-component grain material.

Keywords: pneumatic separation, active feeder, grain cleaning, separation efficiency

Зміст

Номер розділу	Структурна одиниця і розділ	Сторінка
1	Вступ	
2	Стан питання технічного забезпечення післязбирального обробітку	
3	Конструкторська частина	
4	Висновки	
-	Список використаної літератури	
-	Додатки	

1. Вступ

Ефективність післязбиральної обробки зерна є визначальним фактором збереження врожаю та його подальшої ринкової вартості. Серед широкого спектра технічних засобів особливе місце посідають зерноочисні машини, що використовують повітряний потік як основне середовище для сепарації. Одним із представників такого обладнання є машини загального призначення, призначені для очищення зерносумішей у вертикальних та похилих пневматичних каналах.

Конструктивна схема такого обладнання базується на принципі пневмосепарування, де розділення компонентів зернової маси відбувається завдяки різниці в їхніх аеродинамічних властивостях.

Попри відпрацьовану схему роботи, досвід експлуатації подібних пневмосепаруючих машин вказує на наявність ряду стримуючих факторів [1-3]. Головною проблемою залишається відносно низький рівень технологічної ефективності при роботі з багатокомпонентними або сильно засміченими сумішами.

Аналіз існуючих досліджень та виробничої практики [2, 3, 7-12] дозволяє виділити кілька критичних зон, що потребують наукового та конструкторського переосмислення. По перше, якість сепарації безпосередньо залежить від способу введення зерна в пневмоканал – відсутність попередньої підготовки матеріалу (наприклад, видалення крупних соломистих часток) створює завихрення та порушує стабільність процесу. По друге, неефективне використання об'ємів, оскільки осадові камери класичних машин зазвичай виконують лише пасивну роль збору пилу, хоча за умови зміни геометрії та швидкостей потоку вони можуть функціонувати як додаткові зони сепарації.

					ЗОМ 00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Черниш				Пояснювальна записка		Літ.	Аркуш
Перевірив	Петренко							Аркушів
Н. контр.	Артеменко						ЦНТУ, гр. ГМ-22-1	
Затверд.	Васильковський							

Таким чином, виникає об'єктивна необхідність у параметричному обґрунтуванні та модернізації пневматичної системи. Перехід від простої одноступеневої схеми до комбінованих двоканальних систем аспірації дозволить не лише підвищити чистоту кінцевого продукту, а й забезпечити чіткий поділ суміші на фракції (основне насіння, фуражне зерно, відходи) за один прохід.

2. Стан питання технічного забезпечення післязбирального обробітку

2.1. Загальна класифікація аеродинамічних ЗОМ

Аеродинамічний метод очищення базується на фундаментальному фізичному принципі – при взаємодії повітряного потоку з частинками зерноsumіші різної маси та форми спостерігається їхнє диференційоване переміщення. Характеристикою, яка визначає поведінку кожної частинки у повітряному потоці, є критична швидкість витання (швидкість зависання).

Залежно від конструктивного виконання аспіраційної системи розрізняють кілька типів аеродинамічного розділення: очищення у вертикальних аспіраційних каналах з рівномірним поперечним перерізом; очищення у каналах з регульованим перерізом; відцентрово-повітряне розділення; безрешітне аеродинамічне сортування у зваженому шарі.

Зерноочисні машини загального призначення, в яких застосовується аеродинамічне розділення зерноsumішей, можна класифікувати за декількома ознаками.

За ступенем використання аеродинамічного принципу:

- повітряно-решітні машини – в яких аеродинамічне очищення доповнює решітне розсіювання (основна група машин загального призначення);

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- безрешітні аеродинамічні сепаратори – в яких розділення зерноsumіші здійснюється виключно потоком повітря за показниками питомої ваги та парусності.

За характером переміщення:

- стаціонарні – монтуються у зерноочисних агрегатах і лініях;
- самопересувні (самохідні) – можуть самостійно пересуватися між купами зерна на токах і складах.

2.2. Огляд зерноочисних машин з аеродинамічним розділенням

Очисник вороху самопересувний ОВС-25 (рис. 2.1) є одним з найпоширеніших у вітчизняному аграрному виробництві представників класу повітряно-решітних машин загального призначення [1, 3, 4]. Широко застосовується для первинного очищення зернового вороху колосових, зернобобових, круп'яних культур, кукурудзи, соняшнику, сорго в усіх землеробських зонах.

Машина випускається у декількох модифікаціях: ОВС-25 (базова самопересувна), ОВС-25С (стаціонарна), ОВС-25Ц (з циклонною системою очищення повітря), ОВС-25У (з підвищеною висотою вивантажувального елеватора), ОВС-25ЦБ (з циклоном та бункером) [4].

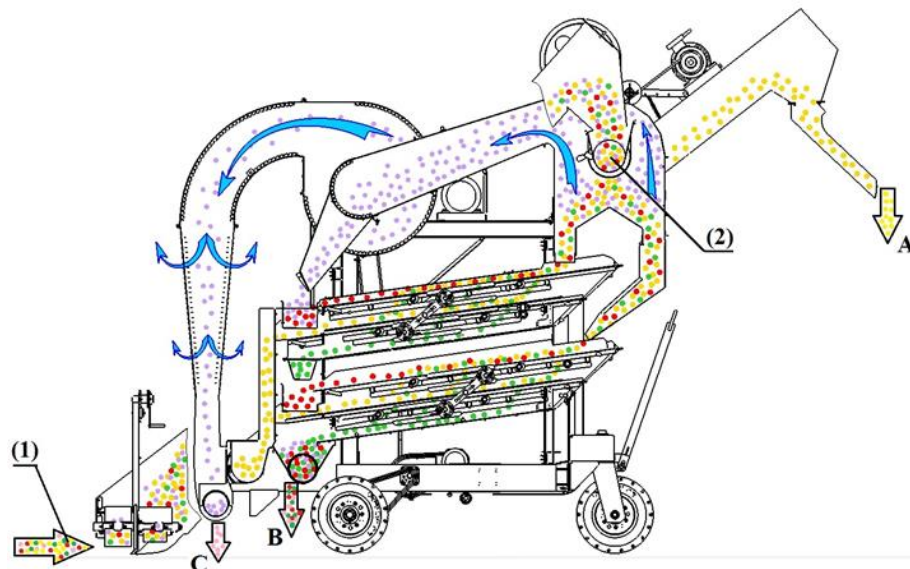


Рис. 2.1. Технологічна схема очисника вороху ОВС-25

Принцип аеродинамічного розділення ОВС-25. Зерновий ворох надходить у приймальну камеру, яка розподіляє матеріал на дві рівні частини і направляє їх у повітряні канали. Потік повітря, що нагнітається вентилятором, рухається знизу вгору крізь зерновий шар в аспіраційних каналах. Легкі домішки (полова, оболонки, бите зерно, пил), швидкість витання яких менша за швидкість повітряного потоку в каналі, підхоплюються і виносяться у відстійну камеру або циклон. Повноцінне зерно, швидкість витання якого перевищує швидкість потоку, опускається вниз і надходить на решітні стани для подальшого розсіювання.

Регулювання інтенсивності повітряного потоку здійснюється за допомогою рухомої заслінки, що перекриває вікно у корпусі вентиляторного блоку. Така конструкція дозволяє оперативно налаштовувати машину на очищення різних культур з різним рівнем засміченості.

Переваги:

- універсальність: придатна для очищення широкого спектра культур – пшениці, жита, ячменю, вівса, кукурудзи, соняшнику, сорго, гречки, зернобобових;
- мобільність самохідних варіантів (ОВС-25): машина самостійно пересувається складом, підбирає зерно елеватором шириною 5,3 м без допоміжної техніки та персоналу;
- дворазове повітряне очищення у двох аспіраційних каналах забезпечує ефективне виділення легких домішок;
- автоматичне очищення решіт щітками (частота коливань 29 кол/хв) запобігає закупорюванню отворів і підтримує стабільну продуктивність;
- можливість вбудовування стаціонарного варіанта (ОВС-25С) у технологічні лінії ЗАВ-20, ЗАВ-40, ЗАВ-100 як заміна застарілих машин.

Недоліки:

- недостатня ефективність виділення важких домішок (пісок, земля, дрібні камені) суто аеродинамічним методом – потрібне доповнення

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- обмежена ефективність при надмірно високій засміченості вороху (більше 20%): при сильно забрудненому матеріалі рекомендується попереднє проходження через машину МПО-50М, що збільшує капіталовкладення та складність лінії;

- залежність якості очищення від рівномірності налаштування швидкості повітряного потоку та кваліфікації оператора;

- обмеження по вологості оброблюваного матеріалу: при вологості понад 20% продуктивність і якість очищення суттєво знижуються;

- відносно висока вартість самохідних модифікацій з циклонними системами порівняно з простими стаціонарними аналогами.

Наступна загальнопоширена зерноочисна машина ЗВС-20А (рис. 2.2) є стаціонарним повітряно-решітним сепаратором, що призначений для первинного та вторинного очищення зерна [1].

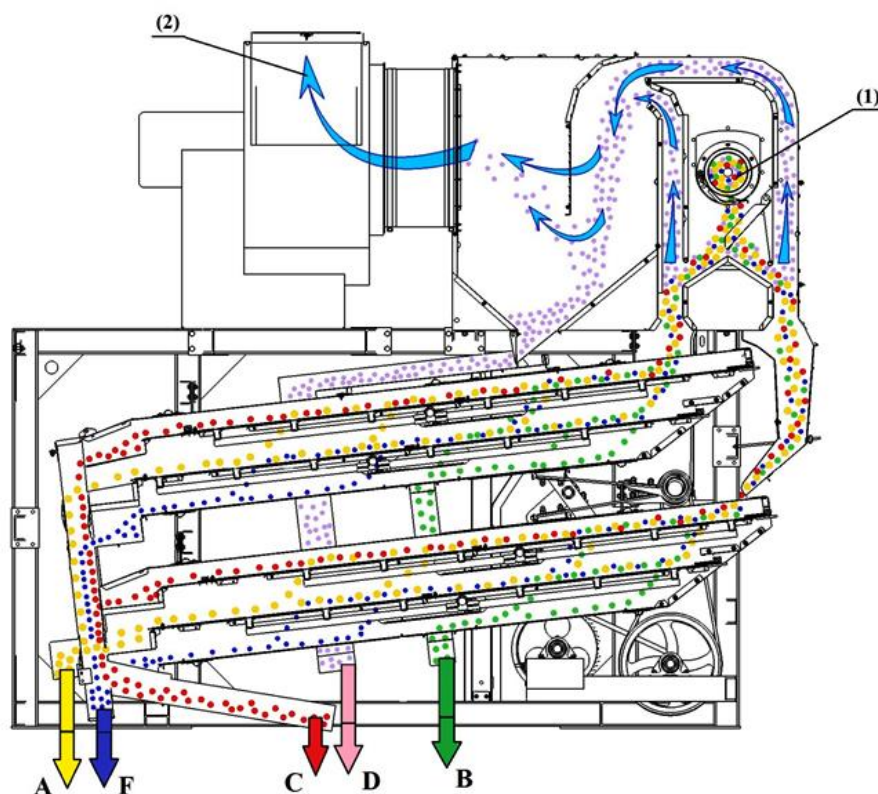


Рис. 2.2. Технологічна схема зерноочисної машини ЗВС-20А

Машина може функціонувати у трьох режимах: попереднього очищення, первинного очищення та калібрування зерна на насіння. Широко застосовується у зерноочисних лініях ЗАВ-10, ЗАВ-20, ЗАВ-40, КЗС та зерносушильних комплексах.

В основі роботи ЗВС-20А лежить поєднання аеродинамічного (повітряного) та решітного розділення [1, 3]. Первинний аеродинамічний етап реалізується у вертикальному аспіраційному каналі, де звисхідний потік повітря відокремлює легку фракцію домішок до надходження матеріалу на решітні стани. Після решітного розсіювання здійснюється повторне повітряне очищення у другому аспіраційному каналі, де виносяться домішки, відокремлені від зерна у процесі просіювання.

Переваги:

- три режими роботи в одній машині – це дає змогу застосовувати ЗВС-20А як для грубого очищення, так і для підготовки насіннєвого матеріалу, що підвищує економічність парку техніки;
- ефективна робота на сильно засміченому вороху – машина зарекомендувала себе навіть в умовах підвищеної засміченості, що підтверджено практикою у різних землеробських зонах;
- можливість встановлення у парі для збільшення загальної продуктивності лінії з незначними капіталовкладеннями;
- модульна сумісність з серійними зерноочисними агрегатами ЗАВ дозволяє органічно вписатися у типові технологічні лінії;
- дворазова аспірація (до та після решітних органів) забезпечує комплексне аеродинамічне очищення матеріалу.

Недоліки:

- стаціонарне виконання вимагає зведення окремого приміщення або споруди та наявності системи норій і транспортерів для переміщення зерна, що збільшує початкові інвестиції;

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- обмеженість аеродинамічного розділення: при виділенні важких мінеральних домішок аспірація не забезпечує достатнього результату, необхідне доповнення каменевидільними машинами;

- потреба у синхронізації з іншими машинами лінії ускладнює налаштування і підвищує вимоги до кваліфікації персоналу.

Наступними розглянемо аеродинамічні сепаратори серії ICM – це безрешітні пневматичні машини нового покоління. Лінійка охоплює моделі з продуктивністю від 3 до 200 т/год [5]. Базова модель ICM-5 (рис. 2.3) має продуктивність до 50 т/год за умови попереднього просіювання. Сепаратори застосовуються для сортування та калібрування насіння будь-яких сільськогосподарських культур за питомою вагою та парусністю.



Рис. 2.3. Технологічна схема сепаратора ICM:

1 – бункер; 2 – імпульсний блок; 3 – сепараційна камера; 4 – вихід відпрацьованого повітря; 5 – мінеральна (каміння) фракція; 6 – посівна фракція зерна; 7 – товарна фракція зерна; 8 – фуражна фракція.

Важливою особливістю є те, що сепаратори ICM призначені для застосування після попереднього просіювання на повітряно-решітних машинах і виступають як додаткове обладнання для якіснішого фінального сортування насіннєвого матеріалу.

На відміну від повітряно-решітних машин, сепаратори ICM реалізують

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виключно аеродинамічний принцип з використанням зваженого (псевдозрідженого) шару зернового матеріалу. Висхідний потік повітря, що нагнітається вентилятором з регульованою швидкістю (управляється частотним перетворювачем), піднімає та зважує матеріал у камері сепарації. Внаслідок відмінностей у питомій вазі та парусності, важчі і повніші зерна осідають і вивантажуються з однієї точки, а легші (щуплі, пустоносні, з пошкодженими оболонками) виносяться потоком у другу фракцію або відходи. Циклонні моделі ІСМ-ЦОК (рис. 2.4) оснащені замкнутим циклон-осадовим комплексом (ЦОК), який уловлює пил і дрібні частинки.

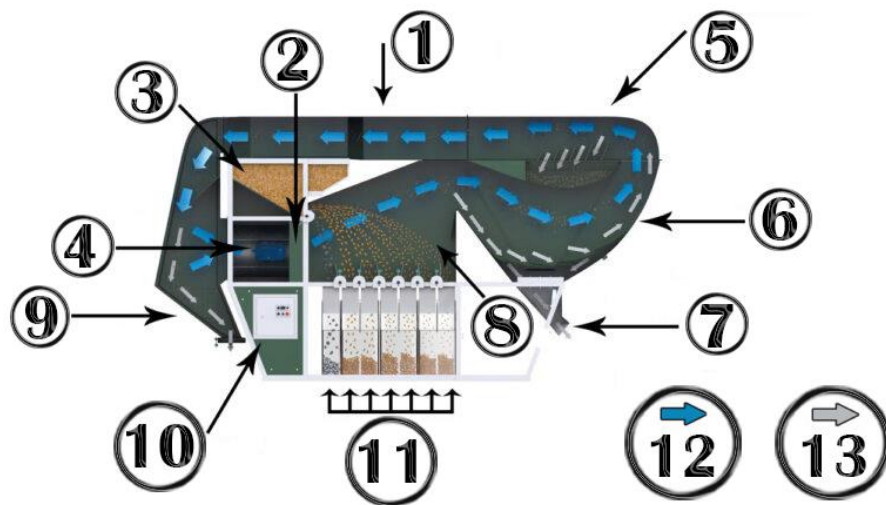


Рис. 2.4. Технологічна схема сепаратора ІСМ-ЦОК:

1 – повітропровід замкнутої пневмосистеми; 2 – секція статичного тиску; 3 – бункер; 4 – нагнітальний блок; 5, 9 – осадові камери; 6 – ЦОК; 7 – лоток виводу відходів; 8 – сепараційна камера; 10 – електрошафа; 11 – лотки виходу зернових фракцій; 12 – повітря; 13 – сміттєві фракції.

Переваги:

- висока точність сортування за питомою вагою дозволяє відібрати найповноцінніші зерна з підвищеним вмістом поживних речовин, що забезпечує схожість насіння до 98%;
- безконтактне з металевими деталями оброблення зерна – матеріал не травмується, що є критично важливим при підготовці елітного насіннєвого

матеріалу;

- широкий охоплений діапазон культур: придатні для пшениці, жита, рису, вівса, ячменю, кукурудзи, сорго, проса, гречки, гороху, сої та інших культур без заміни робочих органів;

- швидкий перехід з культури на культуру без заміни решіт або трієрних циліндрів скорочує технологічні зупинки;

- циклонні моделі ІСМ-ЦОК з замкнутим контуром повітря забезпечують суттєве зниження запиленості на робочому місці та до 30% економії електроенергії;

- компактність: модель ІСМ-5 має габарити 2150 × 460 × 1800 мм, телескопічні ніжки та колісну базу, що дозволяє розміщення у звичайному приміщенні.

Недоліки:

- не замінює повітряно-решітні машини: сепаратори ІСМ застосовуються виключно після попереднього просіювання і не здатні самотійно з одним проходом видалити великі та дрібні решітні домішки;

- ефективність залежить від однорідності вихідного матеріалу: при надмірно засміченому або вологому вороху якість сортування знижується, може знадобитись необхідність повторного проходу;

- необхідність додаткового обладнання (норій, транспортерів) для організації повноцінної технологічної лінії збільшує загальну вартість комплексу.

Дещо схожий принцип роботи застосовано у аеродинамічних сепараторах серії САД (рис. 2.5). Лінійка включає моделі з продуктивністю від 4 до 50 т/год (САД-4, САД-5, САД-15, САД-50) [6]. Позиціонуються як прилади для сепарації зерна за ознаками біологічної цінності, тобто за параметрами, що корелюють з здатністю насіння до ефективного проростання та формування врожаю.

Принципова відмінність сепараторів САД полягає у методі з

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Матеріал надходить у зону сепарації, де зважується у повітряному потоці. Під дією різних складових потоку зерна розподіляються на фракції: зерна, сформовані у середній зоні колоса (качана, кошика), які мають найвищу питому вагу і найоптимальніший баланс між вагою та парусністю, відбираються окремо. Виробник стверджує, що саме такий добір забезпечує найвищу посівну та врожайну якість насіння. Управління потоком здійснюється за допомогою регулювальних пристроїв без застосування вібраційних елементів.

- унікальна концепція сепарації за ознаками біологічної цінності зерна

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє не просто виділити повноцінні зерна, а й сформувати насіннєву фракцію з найвищим потенціалом врожайності;

- відсутність вібролотка і механічного контакту з решетами виключає травмування насіннєвого матеріалу, що особливо важливо для культур з ніжними оболонками;

- широкий спектр оброблюваних культур – від зернових (пшениця, жито, рис, овес, ячмінь, кукурудза, сорго, просо, гречка) до зернобобових, олійних, баштанних та зелених культур з переналаштуванням потоку повітря;

- можливість компонування у мобільний зерноочисний комплекс СЗК-САД-15 (сепаратор + норії + підбирач зерна + пульт керування на колісній базі) для роботи безпосередньо на токах.

Недоліки:

- необхідність попередньої обробки матеріалу за традиційними технологіями: при дуже забрудненому воросі виникає потреба у повторному проходженні через сепаратор;

- як і сепаратори ІСМ, машини САД не здатні замінити повний цикл попереднього та первинного очищення з повноцінним решітним розсіюванням.

Ще однією машиною, яка забезпечує обробку зерноsumішей повітряним потоком є сепаратор ПСМ-25 – стаціонарна машина, призначена для фінального (остаточного) очищення та калібрування насіння. Її головна особливість – акцент на пневмосепарації, що дозволяє розділяти зерно не лише за розміром, а й за питомою вагою (виділення неповноцінного, незрілого або ураженого шкідниками насіння). Сепаратор (рис. 2.6) забезпечує розділення зерноsumіші вертикальним повітряним потоком з осадженням легкої фракції у осадовій камері циклонного типу.

Основою агрегату є жорсткий корпус, на якому змонтовано приймальний бункер та вертикальний пневмосепаруючий канал, оснащений підтримуючою сіткою. Технологічний процес забезпечується системою

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вивантаження, що включає вузли для виведення очищеного зерна, відібраних фракцій та легких домішок. Пневматична частина машини представлена осадовою камерою та блоком вентиляторів, розміщених на окремій рамі. Керування параметрами сепарації здійснюється через механізм регулювання швидкості повітря. Силовий привід вентиляторів реалізовано за допомогою індивідуальних електродвигунів.



Рис. 2.6. Загальний вигляд сепаратора ПСМ

Переваги:

- висока якість сортування: машина спеціалізується на видаленні важковідокремлюваних часток, які неможливо відсіяти звичайними решетами (наприклад, порожнє зерно, яке за розміром ідентичне здоровому);
- універсальність інтеграції: ПСМ-25 може працювати як самостійна одиниця, так і бути частиною складних зерноочисних комплексів (ЗАВ) або насіннєвих ліній;
- ефективність для насінництва завдяки точному налаштуванню повітряних потоків – дозволяє відібрати найбільш біологічно цінне насіння з високою енергією проростання.

Недоліки та експлуатаційні особливості:

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- висока енергоємність: потужність у 37 кВт є значною порівняно з простими решітними очисниками;
- стаціонарність: на відміну від самопересувних моделей (наприклад, ОВС-25), ця машина потребує стаціонарного монтажу та додаткових транспортних пристроїв (норій, конвеєрів) для подачі та відведення зерна;
- складність налаштування: пневмосистема потребує дуже точного регулювання;
- вузька спеціалізація: ПСМ-25 найбільш ефективна саме на етапі вторинного очищення. Використовувати її для сильно засміченого вороху, що щойно надійшов з поля, недоцільно через швидке перевантаження системи.

2.3. Обґрунтування модернізації

Проведений аналіз стану питання технічного забезпечення післязбирального обробітку в частині зерноочисних машин загального призначення з аеродинамічним розділенням зерносумішей дозволяє зробити такі висновки.

По-перше, аеродинамічне розділення є невід'ємною складовою практично усіх сучасних зерноочисних машин загального призначення, оскільки дозволяє ефективно відокремлювати легкі домішки (полову, пил, бите зерно, рослинні рештки) з мінімальними втратами основного зерна. У повітряно-решітних машинах (ОВС-25, ЗВС-20А) аспірація є необхідним доповненням до решітного розсіювання, яке забезпечує комплексне очищення.

По-друге, безрешітні аеродинамічні сепаратори (ІСМ серії ХЗЗО, САД серії Аеромех, ПСМ) являють собою принципово інший клас машин, зорієнтованих на тонке сортування зерна за питомою вагою і парусністю. Вони не замінюють повітряно-решітну обробку, але як завершальний засіб підготовки насіннєвого матеріалу є значно ефективнішими з точки зору якості відбору.

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По-третє, кожен з розглянутих типів машин займає свою нішу у технологічному ланцюгу: повітряно-решітні машини (ОВС-25, ЗВС-20А) забезпечують масове попереднє та первинне очищення зернового вороху; аеродинамічні сепаратори (ІСМ, САД, ПСМ) застосовуються на завершальному етапі для підготовки насінневих фракцій з підвищеним потенціалом врожайності. Оптимальним з технологічної та економічної точки зору є застосування цих машин у комплексі.

По-четверте, головним недоліком, характерним для всіх засобів виключно аеродинамічного розділення, є залежність ефективності від вологості матеріалу, рівня засміченості та правильності налаштування повітряного потоку. При підвищеній вологості або надмірному засміченні якість очищення суттєво знижується, що потребує додаткових проходів або попереднього підсушування.

Досвід використання зерноочисної машини ПСМ-25 [1, 3] виявив, що вона має потенціал до підвищення технологічної ефективності шляхом модернізації за наступними напрямками (рис. 2.7):

- попереднє фракціонування на вході: впровадити механізм грубого очищення безпосередньо в зоні вивантаження з бункера. Встановлення колосового решета на початковому етапі дозволить відсікати крупні солонисті та незернові домішки ще до потрапляння маси в основні канали, що суттєво знижує ризик забивання робочих органів;

- прецизійне дозування зернового потоку: оптимізувати систему подачі вороху до пневмосепаруючих каналів. Рівномірне «розтягування» зерноsumіші по всій площині каналу забезпечує стабільну аеродинамічну експозицію кожної зернини, що критично для якісного розділення;

- перепрофілювання осадової камери: трансформувати осадову камеру у функціональний похилий пневмоканал. Таке рішення дозволяє реалізувати додатковий цикл сепарації безпосередньо в камері, розділяючи матеріал, що туди потрапив, на дві чіткі фракції: товарне насіння (важча частина, що

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

осаджується під дією гравітації та зміненого вектора повітря); легкі відходи (пил, солома та дрібні домішки, що виводяться аспірацією).

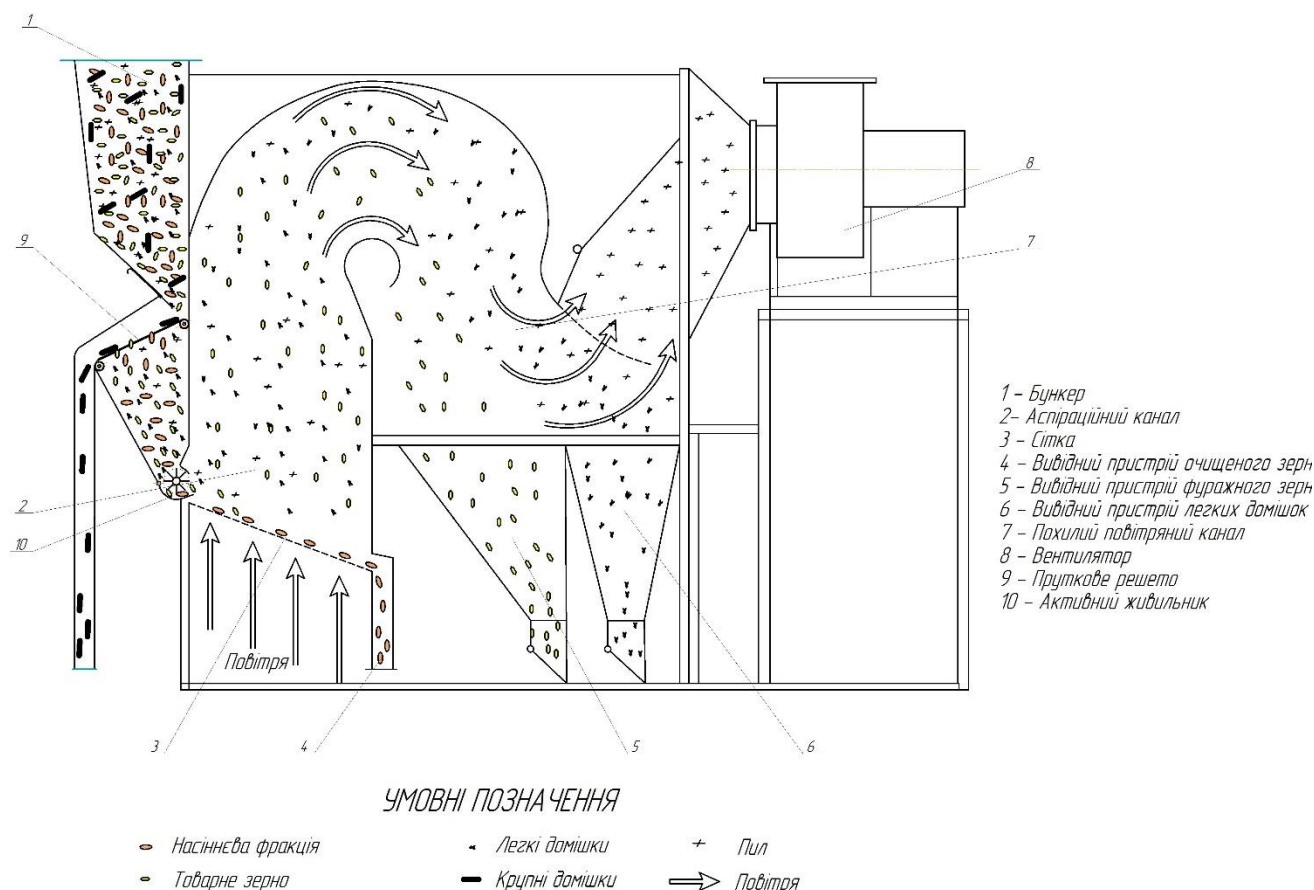


Рис. 2.7. Модернізована схема зерноочисної машини ПСМ

Алгоритм функціонування оновленої конструкції (рис. 2.7) реалізується за такою схемою.

Зернова маса з приймального бункера 1 потрапляє на пруткове колосове решето 9 (рис. 2.8, а). Тут відбувається первинне фракціонування: великі домішки відокремлюються «сходом», тоді як основний зерновий ворох проходить крізь прутки та спрямовується до активного живильника 10.

Ротор живильника, виконаний у формі щіткового барабана (рис. 2.8, б), забезпечує рівномірне розшарування суміші. Це дозволяє точно задати початкову швидкість та оптимальний кут введення зерна у першу аспіраційну систему 2.

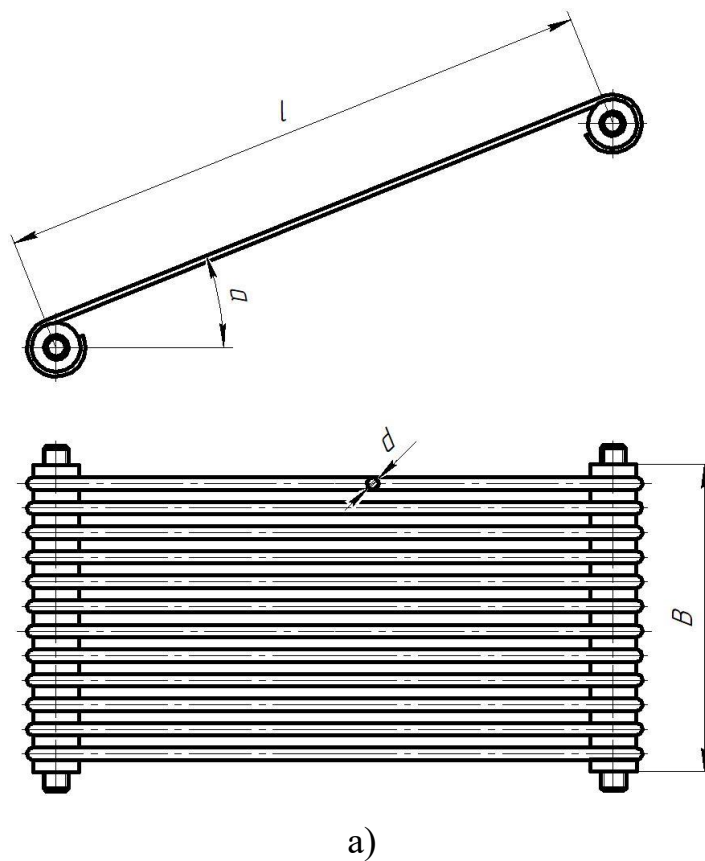


Рис. 2.8. Конструктивний вигляд елементів сепаратора: а) колосове решето; б) активний живильник

У вертикальному пневмосортувальному каналі (2) під дією повітряного потоку відбувається основний поділ: важка (насіннева) фракція опускається на підтримуючу сітку 3 і транспортується до вивантажувального пристрою 4; легкі

компоненти підхоплюються повітрям і виносяться до другої аспіраційної системи – похилого пневмоканалу 7.

У похилому каналі реалізується принцип розділення за питомою вагою. Матеріал диференціюється на: фуражне насіння, що осаджується у відповідній приймальній камері 5; легкі домішки, які збираються у камері 6.

Обидві камери обладнані самопіджимними клапанами, що підтримують необхідне розрядження та герметичність пневмосистеми під час роботи.

Запилений повітряний потік всмоктується вентиляторами 8 і спрямовується до зовнішнього пилоочисника для остаточної фільтрації перед викидом в атмосферу.

Висновки по розділу

Аналіз науково-технічної бази та сучасного стану засобів післязбирального обробітку зерна в частині аеродинамічного розділення дозволяє сформулювати наступні висновки.

Встановлено, що пневморозділення є критично важливим етапом у всіх типах зерноочисних машин. Якщо у комбінованих машинах (ОВС-25, ЗВС-20А) аспірація виконує допоміжну роль очищення від легких домішок, то в безрешітних сепараторах (ІСМ, САД, ПСМ) вона стає основним інструментом тонкого калібрування насіння за питомою вагою, що є ключовим для підвищення врожайності.

Основним дестабілізуючим фактором для виключно пневматичних машин залишається їхня висока чутливість до вологості сировини та рівня засміченості крупними рештками, що призводить до зниження продуктивності та необхідності повторних технологічних циклів.

Досвід експлуатації базової моделі ПСМ-25 підтвердив необхідність її конструктивного вдосконалення для усунення виявлених недоліків. Запропоновано комплексне рішення, що базується на трьох векторах:

- механічна інтенсифікація на вході: встановлення пруткового

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

колосового решета забезпечує відсікання грубих домішок, запобігаючи забиванню робочих каналів;

- оптимізація мікрогеометрії потоку: впровадження активного щіткового живильника гарантує стабільну та рівномірну експозицію зернин у пневмоканалі, що підвищує чіткість сепарації;

- функціональна трансформація: перетворення осадової камери на похилий пневмоканал створює додатковий ступінь розділення, дозволяючи диференціювати легку фракцію на фуражне насіння та відходи.

Реалізація запропонованих заходів дозволяє перевести зерноочисну машину ПСМ з розряду допоміжних машин у клас високопродуктивних універсальних сепараторів, здатних ефективно працювати з зерновим ворохом складної структури.

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Конструкторська частина

3.1. Вихідні дані та загальна концепція розрахунку

Модернізована зерноочисна машина ПСМ-25 призначена для очищення та сортування зернових культур із забезпеченням продуктивності 25 т/год. Конструктивні зміни охоплюють три ключові вузли: колосове решето попереднього фракціонування, активний щітковий живильник та перепрофільований похилий пневмоканал.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для проектного розрахунку

Параметр	Значення
Номінальна продуктивність Q	25 т/год = 6,944 кг/с
Об'ємна маса зерна пшениці ρ	750...800 кг/м ³ (прийнято 780 кг/м ³)
Початкова засміченість вороху ε	10 % (за ДСТУ)
Ефективність очищення η	≥ 98 %
Вологість зерна W	≤ 17 % (за ДСТУ)

3.2. Розрахунок колосового решета попереднього фракціонування

Колосове решето встановлюється безпосередньо на виході з приймального бункера та відокремлює великі соломисті й незернові домішки «сходом» ще до потрапляння вороху до пневмосепаруючих каналів. Правильний підбір площі та режиму руху решета є визначальним для надійної роботи всієї машини.

Потрібна площа просівної поверхні решета F визначається виходячи з питомого навантаження зерна на одиницю площі. Для колосових зернових культур при попередньому очищенні нормативне питоме навантаження становить $q = 12...18$ кг/(м²·с) [9, 13, 14], приймається $q = 15$ кг/(м²·с).

Площа решета:

$$F = Q / q = 6,944 / 15 = 0,463 \text{ м}^2.$$

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З конструктивних міркувань та з урахуванням запасу надійності (коефіцієнт запасу $k = 1,25$) приймається площа решета:

$$F_{np} = k \cdot F = 1,25 \cdot 0,463 \approx 0,58 \text{ м}^2.$$

Геометричні розміри решета (ширина $\times$ довжина): $B = 0,7 \text{ м}$; $L = 0,83 \text{ м}$.

Колосове решето виконується у вигляді прутків (колосників) із зазорами, що забезпечують прохід зерна та затримку соломи. Розмір зазору між прутками (ширина щілини) b визначається залежно від еквівалентного діаметра зерна.

Ширина щілини між прутками:

$$b = d_{\text{зерна}} + \Delta,$$

де $d_{\text{зерна}}$ – ширина зерна пшениці (поперечний розмір), мм;

Δ – технологічний допуск на проходження, $\Delta = 1,5 \dots 2,0 \text{ мм}$.

Для пшениці ширина зерна становить $d_{\text{зерна}} = 3,5 \dots 4,5 \text{ мм}$ (середнє 4 мм).

Приймається:

$$b = 4,0 + 1,5 = 5,5 \text{ мм}.$$

Діаметр прутків $d_{np} = 6 \text{ мм}$. Крок розміщення прутків:

$$t = b + d_{np} = 5,5 + 6 = 11,5 \text{ мм}.$$

Кількість прутків на ширині решета:

$$n = B / t = 700 / 11,5 \approx 61 \text{ пруток},$$

де B – ширина решета, мм; t – крок прутків, мм.

Таблиця 3.2 – Параметри колосового решета

Параметр	Розрахункове знач.	Прийняте знач.
Площа решета F , м ²	0,463	0,58
Ширина решета B , м	-	0,70
Довжина решета L , м	-	0,83
Зазор між прутками b , мм	5,5	5,5

3.3. Розрахунок активного щіткового живильника

Активний живильник виконаний у вигляді щіткового барабана та виконує функцію рівномірного розподілу зернового вороху по ширині пневмосепаруючого каналу. Від рівномірності подачі залежить якість аеродинамічного розділення.

Об'ємна витрата вороху, що надходить до живильника:

$$V_{\varepsilon} = Q / \rho,$$

де ρ – насипна (об'ємна) маса вороху з урахуванням засміченості, кг/м³.

З урахуванням засміченості $\varepsilon = 10 \%$ ефективна насипна маса дещо нижча за значення чистого зерна. Приймається $\rho_{\text{вор}} = 680$ кг/м³.

$$V_{\varepsilon} = 6,944 / 680 = 0,01021 \text{ м}^3/\text{с} \approx 10,21 \text{ л/с}.$$

Об'єм матеріалу, що захоплюється барабаном за один оберт:

$$V_{\text{об}} = V_{\varepsilon} / n_{\text{об}},$$

де $n_{\text{об}}$ – частота обертання барабана, об/с, приймається $n_{\text{об}} = 3$ об/с (180 хв⁻¹).

Тоді:

$$V_{\text{об}} = 0,01021 / 3 = 3,404 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{об}.$$

Теоретичний об'єм захоплення щіткового барабана:

$$V_m = \pi \cdot (R_2^2 - R_1^2) \cdot L_{\text{об}} \cdot k_3,$$

де R_2 – зовнішній радіус щіток, м;

R_1 – радіус маточини барабана, м;

$L_{\text{об}}$ – довжина барабана (ширина каналу), $L_{\text{об}} = B = 0,70$ м;

k_3 – коефіцієнт заповнення міжщіткового простору ($k_3 = 0,35 \dots 0,50$, прийнято 0,40).

З умови $V_{\text{т}} = V_{\text{об}}$ при $R_1 = 0,08$ м (діаметр маточини 160 мм):

$$R_2^2 = V_{\text{об}} / (\pi \cdot L_{\text{об}} \cdot k_3) + R_1^2,$$

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_2^2 = 3,404 \cdot 10^{-3} / (3,1416 \cdot 0,70 \cdot 0,40) + 0,08^2 \approx 0,10 \text{ м.}$$

Приймається зовнішній діаметр барабана $D_6 = 2R_2 = 200$ мм, діаметр маточини 160 мм. Довжина щіток:

$$l_{щ} = R_2 - R_1 = 100 - 80 = 20 \text{ мм.}$$

Лінійна швидкість кінців щіток (окружна швидкість по зовнішньому радіусу):

$$V_{щ} = \omega_6 \cdot R_2 = 2\pi \cdot n_6 \cdot R_2,$$

де ω_6 – кутова швидкість барабана, рад/с.

$$V_{щ} = 2\pi \cdot 3 \cdot 0,10 = 1,885 \text{ м/с.}$$

Дана швидкість знаходиться в межах рекомендованого діапазону 1,5...2,5 м/с [13], що гарантує рівномірне розшарування без механічного пошкодження зерна (обчислена на основі критерію непошкодженості – прискорення на кінцях щіток:

$$a_w = \omega_6^2 \cdot R_2 = (2\pi \cdot 3)^2 \cdot 0,10 = 35,5 \text{ м/с}^2 < 100 \text{ м/с}^2.$$

Потужність, що витрачається на привід живильника:

$$N_{жс} = M_{np} \cdot \omega_6,$$

де M_{np} – крутний момент від сили тертя матеріалу об щітку.

Оцінка за питомим опором:

$$M_{np} = f \cdot Q \cdot R_2^2 / V_{щ},$$

$$M_{np} \approx 0,45 \cdot 6,944 \cdot 0,01 / 1,885 \approx 0,0166 \text{ кН·м,}$$

$$N_{жс} = 0,0166 \cdot 18,85 = 0,313 \text{ кВт.}$$

З урахуванням к.к.д. приводу $\eta_{np} = 0,85$ та коефіцієнта запасу $k = 1,3$:

$$N_{жуст} = N_{жс} \cdot k / \eta_{np} = 0,313 \cdot 1,3 / 0,85 \approx 0,48 \text{ кВт.}$$

Приймається електродвигун з потужністю $N = 0,55$ кВт, $n_n = 1440$ хв⁻¹ (серія АИМ, модель АИМ-71В4 [16]).

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4. Аеродинамічний розрахунок першого вертикального пневмосепаруючого каналу

Основна аеродинамічна сепарація відбувається у вертикальному каналі, де висхідний повітряний потік розподіляє зерновий матеріал на важку (товарну) та легку (відходи) фракції. Точний розрахунок швидкості повітря та перерізу каналу є ключовим для досягнення заданої ефективності очищення.

Умовою якісного розділення є забезпечення у каналі швидкості повітряного потоку v_k , яка перевищує швидкість витання легких домішок v_l , але не досягає швидкості витання зерна v_z :

$$v_l < v_k < v_z.$$

Швидкість витання сферичної частинки визначається з балансу сил (аеродинамічного опору та ваги) [9, 11, 14]:

$$v_{\text{вум}} = \sqrt[3]{(4 \cdot g \cdot d \cdot \rho_{\text{ч}} / (3 \cdot Cx \cdot \rho_n))},$$

де d – характерний розмір частинки, м;

$\rho_{\text{ч}}$ – питома маса частинки, кг/м³;

ρ_n – густина повітря при температурі 20°C, $\rho_n = 1,205$ кг/м³;

Cx – коефіцієнт аеродинамічного опору (для зерна в перехідному режимі $Cx \approx 0,45$).

Для зерна пшениці: $d_z = 4 \cdot 10^{-3}$ м; $\rho_z = 1270$ кг/м³:

$$v_z = \sqrt[3]{(4 \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 1270 / (3 \cdot 0,45 \cdot 1,205))} = 11,06 \text{ м/с.}$$

Для полови (легка фракція): $d_l = 10 \cdot 10^{-3}$ м; $\rho_l = 80$ кг/м³; $Cx \approx 1,3$:

$$v_l = \sqrt[3]{(4 \cdot 9,81 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 80 / (3 \cdot 1,3 \cdot 1,205))} = 2,58 \text{ м/с.}$$

Робоча швидкість повітря у каналі обирається із умови ефективного транспортування легкої фракції при збереженні зерна:

$$v_p = 0,6 \cdot v_z = 0,6 \cdot 11,06 = 6,64 \text{ м/с.}$$

Умова виконується:

$$2,58 < 6,64 < 11,06 \text{ м/с.}$$

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Необхідний переріз каналу визначається із умови забезпечення заданої об'ємної витрати повітря:

$$L_n = v_p \cdot F_k,$$

де L_n – об'ємна витрата повітря, м³/с;

F_k – площа поперечного перерізу каналу, м².

Витрата повітря визначається із умови рівномірного аеродинамічного впливу на весь потік вороху шириною $B = 0,70$ м. Глибина каналу a обирається технологічно: $a = 0,04$ м (40 мм) – для рівномірного шару вороху.

$$F_k = B \cdot a = 0,70 \cdot 0,04 = 0,028 \text{ м}^2.$$

Потрібна витрата повітря:

$$L_n = 6,64 \cdot 0,028 = 0,186 \text{ м}^3/\text{с} = 669 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Висота каналу визначається з умови повного осадження зерна до виходу з каналу. Час перебування зерна у каналі:

$$\tau = H_k / (v_z - v_p),$$

де H_k – висота каналу, м.

Мінімально необхідний час осадження (шлях зерна до сітки):

$$\tau_{\min} = a / v_z,$$

де v_z – горизонтальна складова швидкості зерна.

Оскільки вхідна швидкість вороху з живильника $V_{\text{вх}} \approx 0,5$ м/с, час перебування у зоні сепарації повинен бути не менше:

$$\tau_{\min} = a / V_{\text{вх}} = 0,04 / 0,5 = 0,08 \text{ с}.$$

Висота зони активної сепарації:

$$H_k = (v_z - v_p) \cdot \tau_{\min} = (11,06 - 6,64) \cdot 0,08 = 0,35 \text{ м}.$$

Приймається $H_k = 0,50$ м з конструктивним запасом.

Повний тиск, який повинен розвивати вентилятор, включає втрати на подолання аеродинамічного опору каналу та вхідних/вихідних секцій:

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta P_{\text{заг}} = \Delta P_{\kappa} + \Delta P_{\text{вх}} + \Delta P_{\text{вих}} + \Delta P_{\phi},$$

де ΔP_{κ} – втрати тиску у каналі;

$\Delta P_{\text{вх}}, \Delta P_{\text{вих}}$ – місцеві втрати на вході та виході;

ΔP_{ϕ} – втрати у фільтрі (пилоочиснику).

Втрати тиску у каналі (за Дарсі–Вейсбахом) [1]:

$$\Delta P_{\kappa} = \lambda \cdot (H_{\kappa} / d_{\text{г}}) \cdot (\rho_n \cdot v_p^2) / 2,$$

де λ – коефіцієнт тертя Дарсі, $\lambda = 0,025$ (гладкі стінки);

$d_{\text{г}}$ – гідравлічний діаметр каналу, м.

Гідравлічний діаметр прямокутного перерізу ($B \times a$):

$$d_{\text{г}} = 2 \cdot B \cdot a / (B + a) = 2 \cdot 0,70 \cdot 0,04 / (0,70 + 0,04) = 0,0757 \text{ м},$$

$$\Delta P_{\kappa} = 0,025 \cdot (0,50 / 0,0757) \cdot (1,205 \cdot 6,64^2) / 2 = 4,39 \text{ Па}.$$

Місцеві втрати (сума коефіцієнтів $\zeta_{\text{вх}} = 0,5$; $\zeta_{\text{вих}} = 1,0$; $\zeta_{\text{реш}} = 2,0$; $\zeta_{\phi} = 3,0$):

$$\Delta P_{\text{міс}} = (\zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{вих}} + \zeta_{\text{реш}} + \zeta_{\phi}) \cdot \rho_n \cdot v_p^2 / 2,$$

$$\Delta P_{\text{міс}} = 6,5 \cdot 1,205 \cdot 44,09 / 2 = 6,5 \cdot 26,56 = 172,6 \text{ Па}.$$

Сумарний тиск вентилятора:

$$\Delta P_{\text{заг}} = 4,39 + 172,6 \approx 177 \text{ Па}.$$

Потужність вентилятора:

$$N_{\text{в}} = L_n \cdot \Delta P_{\text{заг}} / (1000 \cdot \eta_{\text{в}}),$$

де $\eta_{\text{в}}$ – к.к.д. відцентрового вентилятора, $\eta_{\text{в}} = 0,65 \dots 0,75$ (прийнято 0,70);

$$N_{\text{в}} = 0,186 \cdot 177 / (1000 \cdot 0,70) = 0,047 \text{ кВт}.$$

З урахуванням коефіцієнта запасу $k = 1,3$ і к.к.д. передачі $\eta_{\text{пер}} = 0,95$:

$$N_{\text{вуст}} = 0,047 \cdot 1,3 / 0,95 \approx 0,064 \text{ кВт}.$$

Приймається вентилятор відцентровий серії ВЦ 4-75 № 3,15, $n = 1450$ хв⁻¹, продуктивність 700 м³/год, тиск 250 Па, $N = 0,25$ кВт (встановлена потужність з урахуванням пускових режимів та роботи пилоочисника) [14, 17].

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5. Розрахунок похилого пневмоканалу (друга аспіраційна система)

Похилий пневмоканал (осадова камера перепрофільована) реалізує принцип розділення матеріалу за питомою масою: фуражне насіння осаджується під дією гравітаційної складової, а легкі домішки виводяться повітряним потоком.

У похилому каналі ефективна сила, що утримує частинку, є рівнодією сили тяжіння та аеродинамічної сили. Умова осадження важкої (фуражної) фракції:

$$G \cdot \cos(\beta) > F_a,$$

де G – сила тяжіння частинки, Н;

β – кут нахилу каналу до горизонту, град.;

F_a – аеродинамічна сила повітряного потоку.

Для частинки фуражного зерна ($\rho_\phi = 1150 \text{ кг/м}^3$, $d_\phi = 3,5 \text{ мм}$):

$$v_{\text{вумф}} = \sqrt{(4 \cdot 9,81 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1150 / (3 \cdot 0,45 \cdot 1,205))} = 9,86 \text{ м/с}.$$

Швидкість повітря у похилому каналі обирається меншою за швидкість витання фуражного зерна, але достатньою для виносу легких домішок ($v_l = 2,58 \text{ м/с}$):

$$v_{\text{нк}} = 0,55 \cdot v_{\text{вумф}} = 0,55 \cdot 9,86 = 5,42 \text{ м/с}.$$

Умова перевірки:

$$v_{\text{нк}} > v_l \rightarrow 5,42 > 2,58 \text{ м/с (легкі домішки виносяться)}.$$

Оптимальний кут нахилу каналу (умова транспортування важкої фракції самопливом при коефіцієнті тертя $f = 0,40$ для зерна по металу):

$$\tan(\beta) \geq f \rightarrow \beta \geq \arctg(0,40) = 21,8^\circ.$$

Приймається $\beta = 30^\circ$ (забезпечує надійне самопливне транспортування та формує достатню гравітаційну складову для осадження важкої фракції).

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ширина похилого каналу дорівнює ширині машини: $B_{нк} = 0,70$ м. Глибина каналу визначається з умови забезпечення необхідної витрати повітря та швидкості:

$$a_{нк} = L_{n2} / (v_{нк} \cdot B_{нк}),$$

де L_{n2} – об'ємна витрата повітря другої аспіраційної системи, м³/с.

Оскільки до похилого каналу надходить легка фракція (≈ 10 % маси вороху) та аеродинамічний потік з першого каналу, витрата повітря:

$$L_{n2} = 0,55 \cdot L_{n1} = 0,55 \cdot 0,186 = 0,102 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$a_{нк} = 0,102 / (5,42 \cdot 0,70) = 0,102 / 3,794 = 0,030 \text{ м}.$$

Приймається $a_{нк} = 30$ мм. Довжина похилого каналу (час перебування $\geq 0,15$ с):

$$L_{нк} = v_{нк} \cdot \tau_{\min} / \cos(\beta) = 5,42 \cdot 0,15 / \cos(30^\circ) = 0,94 \text{ м}.$$

Приймається $L_{нк} = 1,00$ м (з урахуванням розміщення приймальних камер).

3.6. Перевірочний розрахунок продуктивності та ефективності

Для перевірки відповідності розрахованих параметрів вимогам завдання виконується зворотний розрахунок продуктивності та оцінка технологічної ефективності.

Максимальна питома концентрація вороху у каналі (за умови стабільної сепарації):

$$\mu_{\max} = \rho_{\text{вор}} \cdot a_k \cdot V_{\text{вх}} / (L_n \cdot \rho_n),$$

де $a_k = 0,04$ м – глибина каналу;

$V_{\text{вх}} = 0,5$ м/с – швидкість вороху на вході (задається живильником),

$$\mu = 680 \cdot 0,04 \cdot 0,5 \cdot 0,70 / (0,186 \cdot 1,205) = 42,5 \text{ кг/кг}.$$

Перевірка за масовою витратою вороху через канал:

$$Q_{\text{пер}} = \rho_n \cdot L_n \cdot \mu = 1,205 \cdot 0,186 \cdot 42,5 = 9,52 \text{ кг/с} = 34,3 \text{ т/год} > 25 \text{ т/год}.$$

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пропускна здатність каналу перевищує задану продуктивність, що забезпечує резерв продуктивності ~37 %.

Загальна ефективність очищення розраховується як добуток часткових ефективностей кожного сепаруючого елементу за умови їх незалежної роботи:

$$\eta_{\text{заг}} = 1 - (1 - \eta_1) \cdot (1 - \eta_2) \cdot (1 - \eta_3),$$

де η_1 – ефективність колосового решета (відокремлення великих домішок), $\eta_1 = 0,92$;

η_2 – ефективність вертикального пневмоканалу, $\eta_2 = 0,85$;

η_3 – ефективність похилого пневмоканалу, $\eta_3 = 0,80$.

$$\eta_{\text{заг}} = 1 - (1 - 0,92) \cdot (1 - 0,85) \cdot (1 - 0,80) = 0,9976 = 99,76 \ %.$$

Розрахована загальна ефективність очищення 99,76 % перевищує задану $\geq 98 \ %$, що підтверджує правильність конструктивного рішення та достатність модернізованих вузлів для досягнення необхідної якості очищення зерна.

3.7. Розрахунок встановленої потужності приводних механізмів

Загальна встановлена потужність машини визначається сумою потужностей усіх приводних механізмів з урахуванням можливості одночасного пуску (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Зведена відомість потужностей приводних механізмів

Вузол / механізм	Розрахункова N , кВт	Встановлена N , кВт	Модель двигуна / агрегату
Активний щітковий живильник	0,48	0,55	АИМ-71В4
Вентилятор аспіраційної системи	0,064+0,040	0,25	ВЦ 4-75 №3,15
Разом	0,584	0,8	—

Питома витрата електроенергії на очищення 1 т зерна:

$$w = N_{\text{загуст}} / Q = 0,85 / 25 = 0,034 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}.$$

Отримане значення питомої витрати енергії відповідає кращим зразкам вітчизняних та зарубіжних зерноочисних машин аналогічної продуктивності (0,05...0,12 кВт·год/т), що свідчить про раціональність прийнятих конструктивних рішень.

3.8. Зведена таблиця конструктивних та технологічних параметрів

Таблиця 3.4 – Зведені конструктивні та технологічні параметри модернізованої машини ПСМ-25

Параметр	Значення	Одиниця
Колосове решето		
Робоча площа F_{np}	0,58	м ²
Ширина B	0,70	м
Довжина L	0,83	м
Зазор між прутками b	5,5	мм
Активний живильник		
Зовнішній діаметр барабана D_{δ}	200	мм
Довжина барабана L_{δ}	700	мм
Частота обертання n_{δ}	180	хв ⁻¹
Окружна швидкість $V_{\text{ш}}$	1,89	м/с
Встановлена потужність $N_{\text{уст}}$	0,55	кВт
Вертикальний пневмоканал		
Швидкість повітря v_p	6,64	м/с
Переріз ($B \times a$)	700 × 40	мм
Висота каналу H_k	500	мм
Витрата повітря L_n	669	м ³ /год
Похилий пневмоканал		
Кут нахилу β	30	град.

Швидкість повітря $v_{нк}$	5,42	м/с
Переріз ($B \times a_{нк}$)	700×30	мм
Довжина каналу $L_{нк}$	1000	мм
Загальні показники		
Продуктивність Q	25	т/год
Ефективність очищення $\eta_{заг}$	99,76	%
Встановлена потужність $N_{заг}$	1,85	кВт
Питома витрата енергії w	0,034	кВт·год/т

3.9. Розрахунки на міцність та жорсткість вала активного живильника

Варіант завантаження передбачає, що вал встановлений на двох опорах (підшипниках). Основними навантаженнями є крутний момент від приводу та згинальний момент від ваги барабана зі щітками та зернової маси.

Геометричні параметри вала:

- загальна довжина $L_{\Sigma} = 840$ мм.
- робоча частина: $l_1 = 700$ мм, $d_1 = 30$ мм.
- підшипникові шийки: $l_2 = 54$ мм, $d_2 = 20$ мм.
- шийка під шків: $l_3 = 32$ мм, $d_3 = 18$ мм.

Силові параметри:

- кутова швидкість: $\omega_6 = 18,85$ рад/с ($n = 180$ хв⁻¹);
- розрахункова потужність: $N = 0,48$ кВт (480 Вт).

Крутний момент:

$$M_{кр} = N / \omega_6 = 480 / 18,85 = 25,46 \text{ Н·м.}$$

Кручення є основним видом деформації для приводних валів. Перевіримо найбільш напружений (найтонший) переріз вала під шківом ($d_3 = 18$ мм).

Дотичні напруження при крученні [15]:

$$\tau_k = M_{kp} / W_p,$$

де W_p – полярний момент опору перерізу. Для суцільного круглого вала:

$$W_p = 0,2 \cdot d^3.$$

Розрахунок для $d = 18$ мм:

$$W_{p3} = 0,2 \cdot 18^3 = 1166,4 \text{ мм}^3,$$

$$\tau_k = 25460 / 1166,4 = 21,8 \text{ МПа.}$$

Для конструкційних сталей (Сталь 25) допустимі напруження на кручення $[\tau_k] = 22 \dots 32$ МПа. Умова $\tau_k < [\tau_k]$ виконується з хорошим запасом.

Розрахунок на сумісну дію згину та кручення.

Найбільш небезпечним є переріз посередині робочої зони вала ($d = 30$ мм), де діє максимальний згинальний момент від ваги конструкції та сил опору матеріалу.

Оцінимо сумарне радіальне навантаження F_Σ (вага барабана + тиск зерна). Для щіткового барабана довжиною 700 мм орієнтовне навантаження складає $F = 200 \dots 300$ Н. Прийmemo $F = 250$ Н як рівномірно розподілене.

Максимальний згинальний момент для балки на двох опорах:

$$M_{zg} = F \cdot L / 8 = 250 \cdot 700 / 8 = 21875 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 21,9 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Згідно з третьою теорією міцності (енергетичною) [15]:

$$M_{ekv} = \sqrt{(M_{zg}^2 + M_{kp}^2)},$$

$$M_{ekv} = \sqrt{(21,9^2 + 25,46^2)} = 33,6 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Перевірка міцності в робочій зоні ($d = 30$ мм).

Осьовий момент опору:

$$W = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 30^3 = 2700 \text{ мм}^3.$$

Розрахункове напруження:

$$\sigma_{ekv} = M_{ekv} / W = 33600 / 2700 = 12,4 \text{ МПа.}$$

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки по розділу

У результаті виконаних інженерно-конструкторських розрахунків встановлено оптимальні параметри трьох модернізованих вузлів зерноочисної машини ПСМ-25.

Площа колосового решета $0,58 \text{ м}^2$ при зазорі між прутками $5,5 \text{ мм}$ забезпечує надійне попереднє фракціонування та відокремлення великих домішок.

Щітковий барабан-живильник діаметром 200 мм та довжиною 700 мм при частоті обертання 180 хв^{-1} забезпечує рівномірне розшарування вороху й точне дозування подачі зерна до пневмоканалів.

Вертикальний пневмоканал перерізом $700 \times 40 \text{ мм}$ при швидкості повітря $6,64 \text{ м/с}$ та похилий пневмоканал перерізом $700 \times 30 \text{ мм}$ при куті нахилу 30° й швидкості $5,42 \text{ м/с}$ разом формують дворівневу аеродинамічну систему, що задовольняє умові ефективного розділення для обох ступенів.

Розрахована загальна ефективність очищення $99,76 \%$ перевищує задану норму (98%), а питома витрата електроенергії $0,034 \text{ кВт} \cdot \text{год/т}$ відповідає найкращим показникам сучасних машин аналогічного класу.

Проведені розрахунки валу активного живильника виявили, що розрахункові напруження ($\sigma_{ekv} = 12,4 \text{ МПа}$) значно нижчі за допустимі для сталі 25 ($[\sigma] = 60 \dots 80 \text{ МПа}$), тобто вал має значний коефіцієнт запасу міцності.

Завдяки збільшеному діаметру середньої частини (30 мм) при довжині 700 мм , прогин вала буде мінімальним, що критично важливо для збереження зазору щіток живильника. Переходи від $d = 30$ до $d = 20 \text{ мм}$ слід виконати з радіусами заокруглення (галтелями) не менше $1,5 \dots 2 \text{ мм}$ для зниження концентрації напружень.

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Висновки

У ході виконання роботи проведено комплексне інженерне обґрунтування модернізації зерноочисної машини ПСМ-25, що дозволило трансформувати її з вузькоспеціалізованого обладнання у високоефективний універсальний сепаратор. За результатами досліджень та розрахунків зроблено наступні висновки.

Встановлено, що перехід від пасивного осадження пилу до активного двоступеневого пневмосепарування дозволяє диференціювати зернову суміш на три чіткі фракції (основне зерно, фураж та відходи). Це вирішує проблему низької ефективності очищення сильно засміченого вороху, характерну для базових моделей аспіраційних машин.

Обґрунтовано використання пруткового колосового решета площею 0,58 м², яке виконує роль бар'єрного фільтра, нівелюючи ризик забивання пневмоканалів грубими рештками.

Впровадження активного щіткового живильника (Ø 200 мм) забезпечує перехід до потокового контрольованого введення матеріалу. Частота обертання 180 хв⁻¹ гарантує стабільну експозицію кожної зернини в повітряному потоці, що є критичною умовою для прецизійного сепарування.

Спроектована дворівнева система пневмоканалів (вертикальний зі швидкістю 6,64 м/с та похилий зі швидкістю 5,42 м/с) забезпечує послідовне вилучення домішок з різними аеродинамічними властивостями. Це дозволяє досягти показника чистоти кінцевого продукту на рівні 99,76 %, що суттєво перевищує нормативні вимоги (98 %).

Доведено енергоефективність запропонованих змін – питома витрата енергії становить лише 0,034 кВт·год/т, що ставить модернізовану машину в один ряд із кращими світовими аналогами.

Розрахунки на міцність підтвердили високу надійність конструкції: максимальні напруження у валу живильника (12,4 МПа) не перевищують 20 %

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

від допустимої межі для сталі 25. Прийнята ступінчаста геометрія вала (30/20/18 мм) забезпечує необхідну жорсткість, унеможливлюючи прогини, які могли б порушити технологічний зазор щіток.

Реалізація запропонованого комплексу технічних рішень дозволяє забезпечити високу якість підготовки насінневого матеріалу навіть за умов підвищеної вологості та високої засміченості вихідної сировини, мінімізуючи кількість повторних циклів очищення.

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

1. Моделювання технологічних процесів в типових об'єктах післязбиральної обробки і зберігання зерна (очищення, сепарація, сушіння, активне вентилування, охолодження) : колект. монографія / Котов Б. І. та ін.; Нац. акад. аграр. наук України, Нац. наук. центр "Ін-т механізації та електрифікації сіл. госп-ва". Київ; Ніжин : Лисенко М. М. [вид.], 2017. 551 с.
2. Лещенко С.М. Обґрунтування параметрів пневмосепаруючої системи інерційного прямоточного сепаратора зерна: дис. ... кандидата техн. наук : 05.05.11 / Сергій Миколайович Лещенко. – Кіровоград, 2010. – 192 с.
3. Котов Б. І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів / Б. І. Котов, С. П. Степаненко, М. Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград. – 2003. – Вип. 33. – С. 53–59.
4. Каталог продукції «Оріхівський Завод Сільгоспмашин». Очисники вороху ОВС-25. URL: <https://ua.orehovselmash.com/>.
5. Каталог продукції Харківського заводу зерноочисного обладнання. Зерновий сепаратор ICM-5. URL: <https://ismgrain.com.ua/goods/separator-zernovoy-ism-5/>.
6. Каталог продукції підприємства АЕРОМЕХ. Зернові сепаратори. URL: <https://ua.aeromeh.com.ua/>.
7. Ефективність розділення зернового матеріалу на фракції турбінним сепаратором / Д. І. Петренко, О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, О. В. Нестеренко. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Вип. 43. Ч. 2. 2013. С. 230-236.
8. Степаненко С. П., Котов Б. І. Основні концептуальні положення пневматичного фракціонування зернових матеріалів. Механізація та

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- електрифікація сільського господарства : загальнодерж. зб. 2018. Вип. № 8 (107). С. 80-88.
9. Котов, Б. І., Степаненко, С. П. (2020). Основні теоретичні положення сепарації зернового матеріалу в повітряних каналах з нерівномірною швидкістю повітряного потоку. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 50, С. 122-133.
 10. Недельський Д.С., Петренко Д.І. Мехатронні принципи керування зерноочисними сепараторами. Вісник Степу. Науковий збірник ІСГС НААН. Вип. 22. Вінниця : НІЛАН-ЛТД, 2025. С. 84-86.
 11. Nesterenko, O. V., Leshchenko, S. M., Vasylovskyi, O. M., & Petrenko, D. I. (2017). Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding. INMATEH – Agricultural Engineering, 53(3), 65-70.
 12. Оцінка рівномірності розподілу та засміченості зерна при його багаторівневному введенні в пневмосепаруючий канал / О. В. Нестеренко, С. М. Лещенко, О. М. Васильковський, Д. І. Петренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – Вип. 51. – С. 111-116.
 13. Обґрунтування конструктивних параметрів інерційного прямоточного сепаратора зерна / О. М. Васильковський, М. І. Васильковський, І. М. Осипов // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 29. – 2001. – С. 234-238.
 14. Теорія і розрахунки параметрів процесів і робочих органів сільськогосподарських машин: Практикум. Морозов І.В., Бакум М.В., Пастухов В.І., Горбатовський О.М., Кириченко Р.В., Козій О.Б., Леонов В.П., Нікітін С.П.; за редакцією проф. І.В. Морозова. Харків: ХНТУСГ, 2011.

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15. Філімоніхін, Г. Б. Опір матеріалів. Частина 1 : навч. посіб. / Г. Б. Філімоніхін, В. В. Пирогов, Л. С. Олійніченко. - Кропивницький : ЦНТУ, 2024. - 165 с.
<https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/14084>.
16. Невдаха Ю.А., Пирогов В.В. Деталі машин. Курсове проектування. Частина 1: Навчальний посібник. Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2018. 252 с.
17. Методичні вказівки з курсу «Деталі машин і основи конструювання» для студентів спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка освітні програми «Авіаційні двигуни та енергетичні установки», «Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок» 131 Прикладна механіка освітня програма «Обладнання та технології ливарного виробництва» всіх форм навчання. / Укл. Н.О. Задоя, О.А. Алексєєв. – Запоріжжя, ЗНТУ, 2019 – 62 с.
18. Гайдамака А.В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків : НТУ «ХП», 2020. – 275 с.

					ЗОМ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		