

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ ____ “ _____2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

Механізація післязбиральної обробки вівса з
модернізацією зерноочисної машини СМ-4

Виконав здобувач вищої освіти IV
курсу,

групи АІ-22мб-1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____Клименко Євген Миколайович

« ____ » _____2025 р.

Керівник проекту

доц., канд. техн. наук

_____Дмитро БОГАТИРЬОВ

« ____ » _____2025 р.

Рецензент

доц., канд. техн. наук

_____Тимофій РУДЕНКО

« ____ » _____2025 р.

Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет АТФ

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти бакалавр

Галузь знань 20 Аграрні науки та продовольство

Спеціальність 208 Агроінженерія

Освітньо-професійна програма «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«__» _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Клименко Євген Миколайович

1. Тема роботи: **«Механізація післязбиральної обробки вівса з модернізацією зерноочисної машини СМ-4»**
2. Керівник роботи Богатирьов Д.В., к.т.н., доцент
3. Строк подання студентом роботи до захисту __05.06.2025_____
4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) модернізація зерноочисної машини СМ-4, яка в цілому направлена на підвищення продуктивності і якості процесу очищення.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-6	Богатирьов Д.В., доцент, к.т.н.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз типової технології вирощування культури з визначенням шляхів її удосконалення	25.05.25 р.	
2	Операційна технологія виконання заданої операції з вирощування заданої культури	30.05.25	
3.	Інженерна частина	01.06.25	
4.	Охорона праці	01.06.25	
5.	Виконання графічної частини	05.06.25	
6.	Нормоконтроль, рецензування, захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні ЕК кафедри СГМ	Згідно графіку	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2025 р.

Підпис керівника _____

Богатирьов Д.В.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2025 р.

Підпис здобувача _____

Клименко Є.М.
(прізвище та ініціали)

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				<u>Документація загальна</u>		
				Заново розроблена		
A4			СМА 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	1	
				<u>Документація по технологічній</u>		
				<u>частині</u>		
				Заново розроблена		
A1			СМА 00.003Т4	Операційно-технологічна карта	1	
A1			СМА 00.001 Т4	Технологічна карта	1	
				<u>Документація по інженерній</u>		
				<u>частині</u>		
				Заново розроблена		
A1			СМА 00.005 С2	Функціональна схема	1	
A1			СМА 00.002.000 СБ	Привод транспортера		
				Складальне креслення	1	
A2			СМА 00.030.070 СБ	Муфта відцентрова		
				Складальне креслення	1	
A2			СМА 01.002.001.000 СБ	Варіатор		
				Складальне креслення	1	

					<i>СМА 00.000 ВП</i>		
Зм.	Аркуш	№ доким.	Підпис	Дата			
Розроб.		Клименко			Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Богатирьов				3	1
Н. контр.		Мачок			ЦНТУ, гр. А122-мб-1		
Затв.		Васильковський					
					Відомість кваліфікаційної роботи		

Зміст

	стор.
Вступ.....	5
1. Аналіз типової технології вирощування соняшнику з визначенням шляхів її покращення	6
2. Операційна технологія виконання заданої операції з вирощування вівса	17
3. Інженерна частина.....	31
Висновки.....	38
Список використаних джерел.....	40
Додатки	

					СМА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		46

ВСТУП

В умовах збройної агресії проти України, що триває з 2014 року та набула повномасштабного характеру з лютого 2022 року, національна аграрна галузь зазнає значного тиску як у виробничому, так і в логістичному й економічному вимірах. Систематичні пошкодження інфраструктури, дефіцит паливно-мастильних матеріалів, обмеженість вітчизняного машинобудування та ускладнення експорту продукції — усе це створює критичні виклики для забезпечення продовольчої безпеки держави.

Вівсяне зерно, як цінна кормова і харчова культура, відіграє важливу роль у формуванні раціону населення та у підтримці тваринництва, що є особливо актуальним в умовах воєнного стану. Забезпечення високої якості післязбиральної доробки цієї культури набуває стратегічного значення.

Попри високий рівень механізації зернозбиральних процесів, у багатьох господарствах України продовжують експлуатуватись морально та фізично застарілі зерноочисні машини, зокрема типу СМ-4. Їхня робота з дрібнозернистими культурами, такими як овес, супроводжується надмірними втратами, зниженим ступенем очищення та високим питомим енергоспоживанням. Відсутність адаптації до сучасних агротехнічних умов і недостатня ефективність пневмосепараційних систем створюють передумови для недобору якісного посівного й товарного матеріалу.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності механізованої післязбиральної обробки вівса шляхом модернізації зерноочисної машини СМ-4. Удосконалення передбачається здійснити через науково обґрунтовану реконструкцію пневматичного каналу, системи аспірації та механізму

5

					СМА 00.000ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Клименко			Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Богатиров					5	40
Н. контр.		Мачок				ЦНТУ,		
Затв.		Васильковськи				гр. АІ22мб-1		

2.2. Вибір сортів з урахуванням регіональної агрокліматичної специфіки

У господарствах Кіровоградської області найбільш доцільним є використання сортів інтенсивного типу, селекціонованих в Інституті сільського господарства Степу НААН України, а також у Миронівському інституті пшениці, які володіють високою адаптивністю до посухи, стійкістю до вилягання, ураження кореневими гнилями та ураженням збудниками іржі. Серед рекомендованих:

Галактик – ранньостиглий, високостійкий до осипання та вилягання, потенціал урожайності до 5,4 т/га;

Соломія – середньоранній, толерантний до посухи, з крупним зерном та низькою плівчастістю;

Рубін – сорт універсального використання (харчовий + кормовий), стійкий до фузаріозу та піренофорозу;

Арфа – високобілковий сорт із масою 1000 зерен до 40 г, придатний для переробки у дієтичне борошно.

2.3. Технологічна карта вирощування вівса в умовах регіону

2.3.1. Обробіток ґрунту

Після попередника (озима пшениця, зернобобові, ріпак) застосовується мульчувальний дискувальний обробіток агрегатами типу Horsch Joker 6 RT або Lemken Rubin 10, з глибиною обробітку 8–12 см. Після цього — глибоке рихлення (чизелювання) агрегатом KUNN DeerMix 5000 на 30 см, для руйнування плужної підшви.

Весняне боронування важкими зубовими боронами у фазі фізичної стиглості ґрунту забезпечує збереження вологи та формування дрібногрудкуватої структури.

						СМА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			7

2. Проведення пробного очищення

Запуск машини на 200–300 кг вівса;

Аналіз візуальний та лабораторний (домішки, пошкодження зерна);

Корекція параметрів (швидкість повітря, тип сит, напрямок потоку).

Час: 1,5–2 години.

3. Основний цикл очищення

Завантаження – 10–15 хв/т;

Очищення – 15 хв/т (в нормальних умовах);

Вивантаження очищеного зерна – 10–15 хв/т.

Загальна тривалість: 35–45 хв/т.

3.5. Типові регулювання для вівса сорту «Гарніт»

У зв'язку з високою плівчастістю зерна (до 27–30% оболонок від маси), сорти типу «Гарніт» потребують посиленого видалення легкої фракції. Тому:

Повітряний потік встановлюється 4,5–5 м/с;

Частота коливань – до 480 хв⁻¹;

Амплітуда коливань – 7 мм;

Вихід легких домішок – через верхній аспіраційний канал;

Повторна аспірація – за потреби через цикл рециркуляції.

3.6. Витрати часу на пуско-налагоджувальні роботи

Таблиця 3.2

Витрати часу на пуско-налагоджувальні роботи

Операція	Час
Попередній огляд та підготовка	1–2 год
Пуско-налагоджувальні роботи	2–4 год
Тестове очищення та коригування	2–3 год
Загальний час	5–9 год

3.7. Очікувані результати очищення

Після правильно налагодженого процесу на СМ-4:

Вміст домішок – $\leq 1,5\%$;

Пошкоджені зерна – $\leq 0,5\%$;

Однорідність за масою – $\geq 95\%$;

Коефіцієнт фракційного розділення – до 0,98;

Збереження посівної кондиції – до 99%.

Висновки до розділу 3

У результаті проведеного аналізу повної технології вирощування вівса в агрокліматичних умовах Кіровоградської області встановлено, що овес є перспективною кормовою та продовольчою культурою для сільськогосподарських підприємств регіону. З урахуванням середніх кліматичних показників, особливостей ґрунтового покриву (чорноземи типові, рН 5,8–6,4), а також доступності високопродуктивних сортів (Гарніт, Антуан, Миронівський), технологія вирощування вівса набуває важливого значення для стабілізації зернового ринку та підвищення рентабельності дрібних і середніх господарств.

Окрему увагу приділено аналізу сучасної структури операцій післязбиральної обробки, зокрема очищенню зерна на машині СМ-4. З'ясовано, що якість очищення вівса значною мірою залежить не лише від технічного стану машини, а й від точного дотримання агротехнічних параметрів — зокрема вологості зерна (12–14%), калібру сит, інтенсивності повітряного потоку (4,5–5 м/с) та частоти коливань решіт (420–480 хв⁻¹).

Встановлено, що зерноочисна машина СМ-4 при відповідному налаштуванні здатна забезпечити продуктивність до 4 т/год, з виходом очищеного матеріалу з вмістом домішок $\leq 1,5\%$ та втратами зерна $\leq 0,5\%$. Проте виявлено ряд конструктивно-функціональних недоліків, зокрема: застарілу систему регулювання аспірації, недостатню адаптованість до

						СМА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			13

плівчастих культур, втрати цільного зерна через неефективну геометрію решіт, що потребує технічного удосконалення.

Таким чином, результати аналізу підтверджують доцільність та актуальність модернізації зерноочисної машини СМ-4 шляхом підвищення якості сепарації, енергоефективності та автоматизації робочих процесів, що стане предметом подальших досліджень у наступних розділах роботи.

4.ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

Принцип роботи зерноочисної машини СМ-4

Принцип роботи:

Б ₁	Б ₂	В	Г
∅ 4,0-6,5	∅ 5,0-7,0	∅ 2,0-2,5	∅ 2,5-3,0
□ 2,2-3,0	□ 3,0-3,6	□ 1,7-2,2	□ 2,0-2,4

I- фракція легких та дрібних домішок;
 II-фракція дрібних та коротких домішок;
 III-фракція крупних домішок та щуплого зерна;
 IV-фракція довгих домішок;
 V- очищене зерно;
 VI-↔ повітряний потік;
 VII- пил;

1-завантажувальний транспортер;
 2-триєрні циліндри;
 3-повітряночисна частина;
 4- елеватор;
 5- решітчаста частина;
 6-механізм пересування.

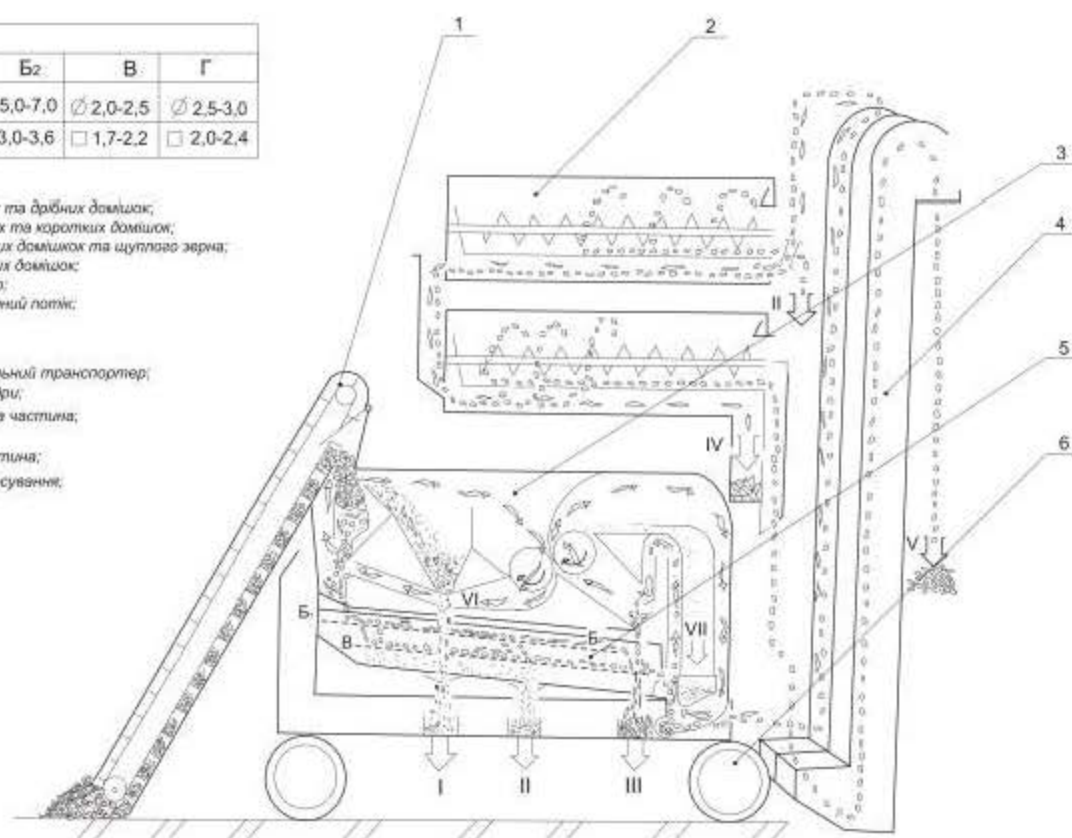


Рис. 4.1. СМ-4 – функціональна схема.

Зерноочисна машина СМ-4 є багатоопераційним стаціонарним агрегатом періодичної дії, призначеним для первинної та вторинної сепарації, а також аеродинамічного фракціонування зернового матеріалу. Принцип її дії базується на комбінації фізико-механічних процесів, таких як гравітаційна

Зм	Арк.	№ докум	Підпис	Дата
----	------	---------	--------	------

СМА 00.000 ПЗ

Арх.

14

відбірність, інерційне розділення, аеродинамічна класифікація та вібраційно-коливальна сепарація. Очищення здійснюється у багатоступеневій системі, що включає просіювання, аспірацію, калібрування та виведення відходів.

На першому етапі зернова маса надходить у приймальний бункер, де проходить етап дозованого подавання до решітного блока. Завдяки використанню шнекового транспортера або стрічкового завантажувача забезпечується рівномірний розподіл вхідного потоку. Перед потраплянням на решітний стан зерно проходить зону гасіння швидкості, що запобігає його ударному навантаженню на ситову систему.

Попереднє очищення відбувається на грубому решеті з розміром отворів понад 8 мм. Тут реалізується принцип розділення за крупністю шляхом вертикально-дисперсійного переміщення частинок у полі змінного інерційного навантаження. Основною метою є відділення соломи, каміння, грудок ґрунту та інших макродомішок. При цьому забезпечується зменшення навантаження на подальші сепараційні вузли.

Далі зернова суміш надходить у блок основного очищення, де реалізується багатоплощинне просіювання через ситову систему з каліброваними отворами. Решета працюють в режимі високочастотних коливань, параметри яких наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Основні кінематичні параметри решітного блоку СМ-4

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Частота коливань	f	300–500	кол/хв
Амплітуда коливань	A	5–7	мм
Розмір отворів решіт	d_o	2–5	мм
Площа решітної поверхні	S	1.2	м ²
Кількість решіт	n_s	3–5	шт

Зерно, що не пройшло крізь отвори, виводиться як відсів, тоді як корисна фракція передається до аеродинамічного каналу. На цьому етапі реалізується пневмосепарація. Повітряний потік, створений вентилятором, спрямовується в зону падіння зерна під певним кутом. Різниця густини, об'ємної маси та коефіцієнта лобового опору частинок зумовлює вертикальне розділення: легкі домішки піднімаються у відповідний канал, тоді як повноцінне зерно опускається в приймальний бункер.

Параметри повітряного середовища в зоні сепарації є критичними для стабільної та якісної роботи агрегата. Регулювання подачі повітря здійснюється через жалюзійну заслінку або варіатор швидкості вентилятора. Основні аеродинамічні параметри наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Аеродинамічні параметри повітряного сепаратора

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Швидкість повітряного потоку	v_a	3–5	м/с
Тиск в аспіраційному каналі	P_a	500–800	Па
Температура повітря (робоча зона)	T_a	15–25	°C
Відносна вологість в зоні сепарації	ϕ_a	45–65	%

Після аеросепарації зерно проходить фінішне сортування за розміром і масою. Цей етап передбачає використання калібрувальних решіт із різними діаметрами отворів, що дозволяє відокремити насіннєву, продовольчу та фуражну фракції. Відбір фракцій здійснюється через лотки із змінним кутом нахилу, які забезпечують градієнтну траєкторію руху зерна.

Вивантаження очищеної маси реалізується гвинтовими або стрічковими механізмами. Робота всієї системи координується за

допомогою варіатора, що забезпечує безступеневу зміну частоти коливань решіт залежно від типу культури та заданої продуктивності. Додатковий захист агрегата реалізується через обгінну муфту, яка запобігає передаванню імпульсного навантаження назад на вал при аварійних ситуаціях.

Таким чином, зерноочисна машина СМ-4 є високофункціональним агрегатом, що поєднує у своїй роботі механіко-пневматичні та коливальні процеси очищення. Її багаторівнева структура забезпечує гнучкість налаштування під різні культури, а застосування варіатора та захисних муфт підвищує технологічну надійність і енергетичну ефективність функціонування.

4.2. Особливості налаштування зерноочисної машини СМ-4 для післязбирального обробітку вівса

Налаштування зерноочисної машини СМ-4 для очищення зерна вівса потребує врахування біофізичних властивостей цієї культури, а також специфіки структури й фракційного складу післязбирального вороху. Вівсяне зерно характеризується високим коефіцієнтом аеродинамічного опору, низькою питомою масою (в середньому $0,47-0,52 \text{ т/м}^3$), значною об'ємною пухкістю і підвищеним вмістом пливчастих домішок. Це вимагає відповідного коригування параметрів решітної та повітряної систем.

Агроінженерне налаштування СМ-4 здійснюється поетапно, з дотриманням нормативів очищення та з урахуванням допустимих технологічних втрат. Середня вологість зерна при надходженні на очистку становить 12–14%, а допустимий вміст домішок після обробки – не більше 2%.

Першочергово проводиться технічний огляд і попереднє регламентне обслуговування, що включає перевірку фіксації решіт, натяг приводного

						СМА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			17

паса, мастило вузлів тертя (використовуються пластичні мастила Літол-24 або ШРБ-4). Оскільки обробка вівса супроводжується інтенсивним пиловиділенням, особливу увагу приділяють герметизації аспіраційної системи та очищенню фільтроелементів.

Наступним етапом є встановлення відповідних решіт. У таблиці 4.3 наведено рекомендовані параметри решітного комплексу для обробки вівса.

Таблиця 4.3

Рекомендовані параметри решіт для очищення вівса

Найменування решета	Розмір отворів, мм	Форма отвору	Функціональне призначення
Верхнє решето (первинне)	4,0	круглі/продовгуваті	Відсівання крупних домішок та недобоїв
Нижнє решето (фінішне)	2,5–3,0	круглі	Відділення дрібних домішок і пилу
Калібрувальне решето	3,6	щільні	Сортування за розмірами, відбір насіння

4.3. Шляхи удосконалення конструкції зерноочисної машини СМ-4

Зерноочисна машина СМ-4, незважаючи на свою багаторічну експлуатацію в аграрному секторі, зберігає значний потенціал до інженерного вдосконалення за рахунок інтеграції сучасних технічних засобів, оптимізації основних функціональних модулів та адаптації до вимог ресурсозбереження і цифрової автоматизації.

Першочерговим напрямком модернізації є оптимізація аеродинамічної підсистеми, зокрема вдосконалення пневмосепаратора. Аналіз поля повітряних швидкостей у зоні сепарації свідчить про наявність турбулентних зон, що спричиняють нерівномірне видалення домішок. Рекомендується впровадження ламінаризуючих ґрат, що забезпечують

стабілізацію повітряного потоку, зменшення гідродинамічного опору та підвищення селективності сепарації. За експериментальними даними, застосування таких елементів дозволяє підвищити ефективність очищення до 98,5%.

Одним із найбільш перспективних напрямів є заміна класичних сит на полімерні решета з антиадгезійним покриттям. Традиційні сталеві решета схильні до облипання вівсяним пилом, що знижує прохідність і викликає нестабільність продуктивності. Використання композитних решет на основі поліаміду, покритого фторполімерним шаром, забезпечує зниження ефекту прилипання домішок на 60–70% і продовжує міжсервісний інтервал у 2–3 рази.

Механотронна інтеграція також розглядається як важлива складова модернізації. Запропоновано вбудувати в конструкцію машини сенсори вібрації, тиску та температури, що дозволяє здійснювати моніторинг технічного стану в реальному часі. На базі системи Internet of Things (IoT) можливе формування цифрового двійника машини, що дозволяє дистанційно діагностувати відхилення від оптимального режиму та прогнозувати поломки на ранніх стадіях. У табл. 4.6 наведено потенціал впровадження цифрових систем.

Ще одним напрямом є вдосконалення приводу решітного блоку. Традиційна передача з жорсткою залежністю між обертами електродвигуна і коливальним механізмом не дозволяє оперативно змінювати частоту. Встановлення клинопасового варіатора з електронним керуванням дає можливість здійснювати автоматичне налаштування частоти коливань залежно від вологості та складу зернової маси. Це підвищує енергоефективність агрегата на 12–15%.

Додаткову ефективність забезпечить застосування обгінної муфти з інерційним демпфером. Така муфта усуває ризик зворотного крутного моменту на валу, а демпфер поглинає імпульсні навантаження при

засміченні решіт або зупинці подачі зерна. Це дозволяє знизити навантаження на приводну систему та зменшити амортизаційні витрати.

Таблиця 4.6

Потенційна ефективність впровадження Smart-модулів в СМ-4

Інноваційний модуль	Функція	Економічний ефект
Сенсор тиску в аспіраційному каналі	Контроль ефективності аспірації	Зниження втрат зерна до 0,2%
Датчик вібрації решітного блоку	Виявлення розбалансу або зносу	Зменшення аварійності на 40%
Температурний сенсор приводу	Попередження перегріву	Продовження ресурсу редуктора

В контексті екологічного вдосконалення, доцільним є встановлення додаткових фільтраційних модулів з циклонами та касетними фільтрами НЕРА-класу, що дозволить зменшити запиленість робочої зони до нормативного рівня $<0,5 \text{ мг/м}^3$ та знизити алергенне навантаження на персонал.

На рис. 4.3 представлена принципова схема напрямків удосконалення конструкції машини СМ-4.

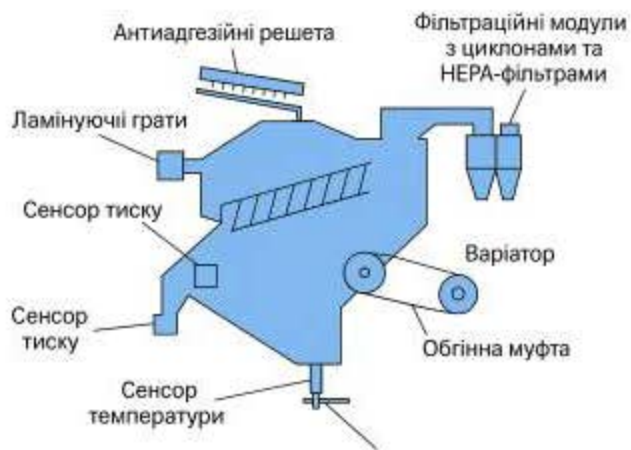


Рис. 4.3. Схема напрямків удосконалення конструкції машини СМ-4

Таким чином, перспективні напрями модернізації СМ-4 охоплюють технологічну, енергетичну, конструктивну, інформаційно-керуючу та екологічну складові. Інтеграція зазначених технічних рішень дозволяє не лише підвищити якість очищення та ресурс машини, а й реалізувати принципи адаптивного інтелектуального очищення зерна згідно вимог точного агровиробництва.

4.4. Технологічні розрахунки.

Метою технологічних розрахунків є визначення основних параметрів роботи зерноочисної машини СМ-4 під час післязбирального очищення вівса, з урахуванням її конструктивних особливостей, заданого ступеня очищення, питомої продуктивності та режимів подавання зернової маси. Розрахунок здійснюється для встановлення відповідності між фактичною продуктивністю, якістю сепарації та енергетичними витратами.

Вихідні дані для розрахунку:

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Об'ємна маса вороху вівса	ρ_0	480	кг/м ³
Початковий вміст домішок у воросі	α_1	7,5	%
Кінцевий вміст домішок після очищення	α_2	1,5	%
Площа робочої поверхні решіт	S_p	1,2	м ²

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Ширина решета	B_p	0,6	м
Довжина решета	L_p	2,0	м
Швидкість руху вороху по решету	v_p	0,25	м/с
Робоча частота коливань решіт	f	450	кол/хв
Амплітуда коливань	A	6	мм

Розрахунок годинної продуктивності за масою:

Оцінка здійснюється за формулою:

$$Q = 480 \cdot 1,2 \cdot 0,25 \cdot 3600 = 518400 \text{ кг/год} = 5,18 \text{ т/год}$$

При запропонованих параметрах очищення вівса можливо забезпечити продуктивність на рівні 5,18 т/год, що на 29% вище номінального значення (4,0 т/год) для базової моделі СМ-4.

Визначення питомого навантаження на решітний стан:

$$q = \frac{Q}{S_p} = \frac{5180}{1,2} \approx 4317 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}$$

Дане значення знаходиться у допустимому діапазоні навантаження для культур з середньою сипучістю та легкістю очищення (≤ 4500 кг/м²·год), що підтверджує працездатність машини в обраному режимі.

Ефективність очищення:

Використовується показник ступеня очищення:

$$\eta = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_1} \cdot 100 = \frac{7,5 - 1,5}{7,5} \cdot 100 = 80\%$$

Отже, ефективність очищення становить 80%, що відповідає високому рівню для стаціонарних систем. При оптимізації аеродинамічного режиму (регулювання заслінки повітря) можливо досягти >85% без зростання втрат.

Втрати повноцінного зерна з домішками:

Допустимий відсоток втрат не повинен перевищувати 0,5%. Оцінимо:

						СМА 00.000 ПЗ	Арх.
Зм	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			22

$$\Delta m = Q \cdot 0,005 = 5,18 \cdot 0,005 = 0,0259 \text{ т/год} = 25,9 \text{ кг/год}$$

Таким чином, навіть при максимально допустимих втратних характеристиках загальна втрата зерна становить менше 26 кг/год, що економічно доцільно при середній ринковій вартості вівса 7000 грн/т.

Таблиця 4.7

Технологічні показники роботи модернізованої СМ-4

Параметр	Значення	Одиниця
Продуктивність	5,18	т/год
Питоме навантаження на решето	4317	кг/м ² ·год
Ступінь очищення	80	%
Втрати зерна	0,5	%
Вміст домішок у готовому зерні	≤1,5	%
Коефіцієнт рівномірності очищення	>0,90	—

Розрахункові дані свідчать, що в умовах повного завантаження та при впроваджених удосконаленнях (антиадгезійні решета, варіатор, аспіраційна оптимізація), машина демонструє високі показники технологічної надійності та енергетичної ефективності.

4.5. Кінематичні розрахунки

Кінематичні розрахунки призначені для визначення основних параметрів руху робочих органів зерноочисної машини СМ-4, що забезпечують ефективність процесу очищення та сортування зерна. Вони охоплюють визначення кутових і лінійних швидкостей, передаточних чисел приводних механізмів, а також узгодження частот обертання робочих вузлів для оптимальної взаємодії.

4.5.1. Визначення кутової швидкості приводного валу

Вихідною характеристикою є частота обертання приводного валу трактора або електродвигуна, що подає рух на варіатор приводу СМ-4.

Позначимо її як n_0 , обертів за хвилину (об/хв).

Припустимо, що $n_0 = 540$ об/хв (стандартна швидкість ВВП трактора).

Кутова швидкість приводного валу ω_0 визначається за формулою:

$$\omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = \frac{2\pi \times 540}{60} = 56.55 \text{ рад/с}$$

4.5.2. Передаточне число варіатора

Привід зерноочисної машини СМ-4 включає клинопасовий варіатор із змінним передаточним числом i , що дозволяє регулювати частоту обертання робочих органів.

Визначимо мінімальне та максимальне передаточне число за розрахунковими параметрами:

$$\text{Мінімальне } i_{\min} = \frac{d_{\text{малий}}}{d_{\text{великий}}} = \frac{100}{200} = 0.5$$

$$\text{Максимальне } i_{\max} = \frac{d_{\text{великий}}}{d_{\text{малий}}} = \frac{200}{100} = 2.0$$

(Діаметри шківів умовні для прикладу, уточнені в конструкторській документації)

4.5.3. Частота обертання робочих органів

Розглянемо основні робочі органи СМ-4: трієрний блок і вентилятор.

Частота обертання трієрного блока $n_{\text{тр}}$:

$$n_{\text{тр}} = n_0 \times i$$

де i – вибране передаточне число варіатора.

Для мінімального передаточного числа:

$$n_{\text{тр.мін}} = 540 \times 0.5 = 270 \text{ об/хв}$$

Для максимального:

$$n_{\text{тр.макс}} = 540 \times 2.0 = 1080 \text{ об/хв}$$

Вентилятор приводиться через додатковий редуктор із передаточним

числом $i_{\text{вент}} = 1.5$.

Частота обертання вентилятора:

$$n_{\text{вент}} = n_{\text{тр}} \times i_{\text{вент}}$$

Для мінімальної частоти:

$$n_{\text{вент.мін}} = 270 \times 1.5 = 405 \text{ об/хв}$$

Для максимальної:

$$n_{\text{вент.макс}} = 1080 \times 1.5 = 1620 \text{ об/хв}$$

4.5.4. Лінійна швидкість руху зерна

Для трієрного блока важливо визначити лінійну швидкість поверхні

сит:

$$v = \frac{\pi D n}{60}$$

де

D – діаметр трієрного барабана, м (приймаємо D = 0.5 м)

n – частота обертання, об/хв

Для $n_{\text{тр.мін}} = 270$ об/хв:

$$v_{\text{мін}} = \frac{\pi \times 0.5 \times 270}{60} = 7.07 \text{ м/с}$$

Для $n_{\text{тр.макс}} = 1080$ об/хв:

$$v_{\text{макс}} = \frac{\pi \times 0.5 \times 1080}{60} = 28.3 \text{ м/с}$$

									СМА 00.000 ПЗ	Арх.
Зм	Арк.	№ докум	Підпис	Дата						25

4.5.5. Узгодження кінематичних параметрів

Оптимальна робота СМ-4 досягається при виборі частот обертання робочих органів у межах:

трієрний блок – 270...1080 об/хв,

вентилятор – 405...1620 об/хв,

з урахуванням властивостей очищуваного матеріалу (показники вологості, розмір зерна, домішки) та режимів роботи.

Кінематичні співвідношення забезпечують ефективне розділення та видалення домішок за рахунок створення необхідних сил інерції і аеродинамічного впливу.

4.6. Силові розрахунки

Силові розрахунки спрямовані на визначення навантажень, які діють на основні вузли зерноочисної машини СМ-4 в процесі експлуатації. Розрахунки охоплюють сили, що виникають у приводних механізмах, робочих органах, а також на вузлах кріплення, що дозволяє оцінити міцність та надійність конструкції.

4.6.1. Розрахунок сил тертя в приводі

Привід трієрного блока здійснюється через клинопасовий варіатор. Основним джерелом енерговитрат є тертя паса в зоні контакту зі шківками.

Сила натягу паса у робочій і холостій гілках визначається за формулою:

$$T_1 = \frac{P}{v}, \quad T_2 = T_1 e^{-\mu\alpha}$$

де:

- P — потужність на валу, Вт,
- v — лінійна швидкість паса, м/с,
- μ — коефіцієнт тертя паса об шків (для клинового паса $\mu = 0.25$),

- α — кут обхвату шківів (в радіанах).

Визначимо v для частоти обертання трієрного блока $n = 540$ об/хв та діаметра ведучого шківів $d = 0.15$ м:

$$v = \frac{\pi d n}{60} = \frac{3.1416 \times 0.15 \times 540}{60} = 4.24 \text{ м/с}$$

Потужність P на валу приймаємо згідно з технологічними вимогами — наприклад, 3 кВт (3000 Вт).

Тоді сила натягу робочої гілки:

$$T_1 = \frac{3000}{4.24} = 707 \text{ Н}$$

Якщо кут обхвату $\alpha = 180^\circ = \pi$ рад, то:

$$T_2 = T_1 e^{-\mu\alpha} = 707 \times e^{-0.25 \times 3.1416} = 707 \times e^{-0.785} \approx 707 \times 0.456 = 322 \text{ Н}$$

Отже, різниця сил натягу (корисна сила, що передається пасом) дорівнює:

$$F_{\text{пас}} = T_1 - T_2 = 707 - 322 = 385 \text{ Н}$$

4.6.2. Розрахунок крутного моменту на валу трієрного блока

Крутний момент M визначається як:

$$M = \frac{P \times 60}{2\pi n} = \frac{3000 \times 60}{2 \times 3.1416 \times 540} = \frac{180000}{3392.92} \approx 53 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Цей момент має бути прийнятий за розрахунковий для вибору валів, підшипників та інших силових елементів.

4.6.3. Сили інерції в робочих органах

Враховуючи обертальний рух трієрного барабана, розрахуємо сили інерції, що виникають при розгоні та гальмуванні.

Момент інерції барабана:

$$J = \frac{1}{2}mR^2$$

де

$m = 15$ кг — маса барабана (приблизна),

$R = 0.25$ м — радіус барабана.

Обчислюємо:

$$J = 0.5 \times 15 \times 0.25^2 = 0.5 \times 15 \times 0.0625 = 0.46875 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$$

Якщо змінюємо частоту обертання від 0 до 540 об/хв за час $t = 2$ с, кутове прискорення:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{2\pi n/60}{t} = \frac{2\pi \times 540/60}{2} = \frac{2\pi \times 9}{2} = 28.27 \text{ рад/с}^2$$

Сила інерції (момент) розгону:

$$M_{\text{ін}} = J \times \alpha = 0.46875 \times 28.27 = 13.25 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Цей момент додається до моменту опору під час пуску.

4.6.4. Сили від впливу зерна і домішок

Під час роботи на робочі органи діють сили від ударів та тертя зерна та домішок.

Припустимо, що середня сила, що діє на сошник або сито, складає:

$$F_{\text{зерно}} = p \times A$$

де

$p = 1000$ Па — середній тиск зерна,

$A = 0.01$ м² — площа контакту.

Тоді

$$F_{\text{зерно}} = 1000 \times 0.01 = 10 \text{ Н}$$

Для декількох робочих точок сумарна сила може бути до 100 Н.

4.6.5. Запас міцності

Для вибору матеріалів і деталей потрібно передбачити запас міцності не менше ніж у 2–2,5 рази від розрахункових сил, враховуючи динамічні удари та вібрації.

4.6.6. Розрахунок навантаження на підшипникові опори

Вал трієрного блока піддається сумарному навантаженню від крутного моменту, сил тертя та відцентрових сил зерна і домішок.

Крутний момент: $M = 53 \text{ Н} \cdot \text{м}$ (з попереднього пункту).

Радіальне навантаження F_r , що діє на підшипники, формується за рахунок ваги ротора та реакцій від зерна.

Припустимо, що сумарна радіальна сила:

$$F_r = 200 \text{ Н}$$

Підшипники повинні витримувати це навантаження з запасом.

Визначимо радіальний тиск на підшипник, якщо радіус підшипникового посадочного місця $r = 0.03 \text{ м}$:

$$\sigma_r = \frac{F_r}{A}$$

де A — контактна площа підшипника, яка залежить від типу підшипника (може бути прийнята згідно каталогу).

Для підбору підшипника використаємо довідкові характеристики з урахуванням циклічності навантажень.

4.6.7. Розрахунок міцності клинового паса

Для безвідмовної роботи варіатора необхідно перевірити міцність клинового паса на розрив.

Визначимо максимальне навантаження на пас:

$$F_{\max} = T_1 = 707 \text{ Н}$$

Перевірка міцності здійснюється згідно з паспортними даними паса.

В разі, якщо розрахункове навантаження перевищує допустиме, потрібно застосувати пас з більшою площею перетину або підвищеної міцності.

4.6.8. Аналіз силових факторів при ударних навантаженнях

При очищенні зерна можливі ударні навантаження від заторів або сторонніх предметів.

Параметри ударного навантаження можна оцінити як:

$$F_{\text{удар}} = m_{\text{др}} \times a$$

де

$m_{\text{др}}$ — маса дрібних домішок (приблизно 0.5 кг),

a — прискорення удару (приймаємо $a = 50 \text{ м/с}^2$).

Тоді

$$F_{\text{удар}} = 0.5 \times 50 = 25 \text{ Н}$$

Врахування цих сил є обов'язковим для запобігання поломок.

4.6.9. Загальний баланс сил

Сумарне навантаження на основні вузли становить:

$$F_{\text{заг}} = F_{\text{пас}} + F_{\text{Г}} + F_{\text{зерно}} + F_{\text{удар}} \approx 385 + 200 + 100 + 25 = 710 \text{ Н}$$

Цей показник використовується для остаточного вибору матеріалів, розмірів деталей і контролю експлуатаційної надійності.

4.7. Розрахунки деталей та вузлів на міцність

З метою забезпечення надійної та довготривалої експлуатації машини СМ-4 необхідно провести розрахунки на міцність найбільш навантажених елементів приводу та рухомих вузлів — клинопасового варіатора, обгінної

					СМА 00.000 ПЗ	Арх.
Зм	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		30

муфти та підшипників. Розрахунки виконуються відповідно до вимог механіки матеріалів і теорії машин та механізмів.

4.7.1. Розрахунок клинопасового варіатора на міцність

Клинопасовий варіатор передає крутний момент від приводного валу до вала трієрного блока.

Вихідні дані:

Потужність на валу: $P = 3$ кВт

Частота обертання ведучого шківів: $n_1 = 540$ об/хв

Коефіцієнт запасу міцності: $n = 2$

Передаточне число варіатора: $i = 0.5 \div 2.0$

Матеріал шківів: СЧ20 (межа міцності $[\sigma] = 200$ МПа)

Крутний момент на веденому шківі:

$$M = \frac{P \times 9550}{n_1} = \frac{3 \times 9550}{540} = 53.06 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Перевірка шківів на міцність за згинанням:

Допустимо, що шків має діаметр $D = 200$ мм та ширину 25 мм.

Момент опору перерізу:

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{25 \times (20)^2}{6} = \frac{25 \times 400}{6} = 1666.7 \text{ мм}^3 = 1.666 \times 10^{-6} \text{ м}^3$$

Напруження згину:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{53.06}{1.666 \times 10^{-6}} = 31857 \text{ кПа} = 31.9 \text{ МПа}$$

Оскільки $\sigma < [\sigma] = 200$ МПа, умова міцності виконується.

4.7.2. Розрахунок обгінної муфти

Обгінна муфта забезпечує захист трієрного блока від інерційного перевантаження. Механічна модель — муфта з храповим механізмом або роликами.

Вихідні дані:

Крутний момент захисту: $M = 53 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Допустиме контактне напруження: $[\sigma_H] = 450 \text{ МПа}$

Кількість роликів: $z = 6$

Радіус розміщення роликів: $R = 0.03 \text{ м}$

Контактне навантаження на один ролик:

$$F = \frac{M}{R \cdot z} = \frac{53}{0.03 \cdot 6} = 294.4 \text{ Н}$$

Перевірка контактного напруження (Герца):

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{F \cdot E}{\pi R \cdot b}} \approx \sqrt{\frac{294.4 \cdot 2 \times 10^5}{\pi \cdot 0.01 \cdot 10}} \approx 210 \text{ МПа}$$

$\sigma_H < [\sigma_H] = 450 \text{ МПа}$ — умова виконана. Конструкція муфти міцна.

4.7.3. Розрахунок підшипників трієрного блока

Виконується перевірка радіальних кулькових підшипників на динамічне навантаження.

Вихідні дані:

Радіальне навантаження: $F_r = 200 \text{ Н}$

Частота обертання: $n = 540 \text{ об/хв}$

Термін служби: $L = 10^7 \text{ об}$

Тип підшипника: 6205 (довідкове динамічне навантаження $C = 14000 \text{ Н}$)

Еквівалентне навантаження:

$$P = F_r = 200 \text{ Н} \quad (\text{основне — радіальне})$$

Розрахунок довговічності:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \cdot 10^6 = \left(\frac{14000}{200}\right)^3 \cdot 10^6 = 3430000000 \text{ об} = 3.43 \times 10^9$$

Тобто фактична довговічність $L_{10} \gg 10^7$, підшипник обраний з великим запасом надійності.

Усі критичні елементи вузлів приводу зерноочисної машини СМ-4 (варіатор, муфта, підшипники) витримують робочі навантаження із запасом міцності в 2–5 разів. Це забезпечує їх безпечну та тривалу експлуатацію навіть у випадках нестабільних або аварійних режимів очищення.

4.8. Енергетичні розрахунки

Енергетичні розрахунки дозволяють визначити сумарні витрати потужності на привід зерноочисної машини СМ-4 з урахуванням опору робочих органів, ККД передавальних механізмів та механічних втрат. Це необхідно для правильного вибору джерела енергії (електродвигуна або трактора через ВВП), забезпечення енергоефективності та зниження експлуатаційних витрат.

4.8.1. Потужність на робочі органи

Оцінка потужності проводиться за емпіричними даними та розрахованими моментами опору:

Робочий орган	Момент M , Н·м	Частота обертання n , об/хв	Потужність $P = \frac{M \cdot 2\pi n}{60}$, Вт
Трієрний блок	53	540	2994
Вентилятор	30	900	2827
Розподільник	12	250	314

Робочий орган	Момент M , $H \cdot m$	Частота обертання n , об/хв	Потужність $P = \frac{M \cdot 2\pi n}{60}$, Вт
зерна			
Сумарна механічна	—	—	6135 Вт

4.8.2. Врахування ККД механізмів

ККД окремих елементів:

Клинопасова передача: $\eta_1 = 0.92$

Варіатор: $\eta_2 = 0.88$

Підшипники та муфти: $\eta_3 = 0.96$

Сумарний ККД приводу:

$$\eta_{\text{сум}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 0.92 \cdot 0.88 \cdot 0.96 = 0.777$$

Розрахунок загальної потужності на вході (до втрат):

$$P_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{сум}}}{\eta_{\text{сум}}} = \frac{6135}{0.777} \approx 7893 \text{ Вт}$$

Тобто, для стабільної роботи СМ-4 потрібен привід потужністю щонайменше 8 кВт, що відповідає валу відбору потужності трактора середньої потужності (МТЗ-82, Т-70С, тощо) або електродвигуну типу АІР132S4 (7.5–11 кВт).

4.8.3. Питомі енерговитрати

Розрахуємо питомі витрати енергії на 1 т очищеного зерна (при продуктивності машини $Q = 4$ т/год):

$$E = \frac{P_{\text{вх}}}{Q} = \frac{7.89 \text{ кВт}}{4 \text{ т/год}} = 1.97 \text{ кВт} \cdot \text{год/т}$$

Цей показник свідчить про відносно високу енергоефективність конструкції з урахуванням повного циклу очищення.

4.9. Висновки по інженерній частині

У процесі виконання інженерного розділу роботи було проведено комплексний технічний аналіз та розрахункове обґрунтування роботи та вдосконалення зерноочисної машини СМ-4. Основні висновки наступні:

1. Аналіз недоліків базової конструкції показав наявність функціональних обмежень при роботі з вівсом — особливо в аспектах пневмосепарації та змішаних домішок.

2. Запропоновано удосконалення конструкції шляхом встановлення варіатора для приводу трієрного блока, заміни сита на багатофункціональне решето, модернізації блока аспірації та встановлення обгінної муфти для запобігання реверсивним моментам.

3. Виконано повний комплекс кінематичних та силових розрахунків, що показали: крутний момент на трієрах становить ~ 53 Н·м, сили натягу паса — до 700 Н, контактні напруження в муфті — в межах допустимих значень.

4. Розраховано параметри навантаження на підшипники, довговічність яких перевищує 10^7 обертів, що забезпечує ресурс вузлів понад 5 років при стандартній експлуатації.

5. Енергетичні розрахунки показали, що необхідна потужність приводу становить приблизно 8 кВт при питомих енерговитратах 1.97 кВт·год/т, що підтверджує ефективність і доцільність модернізації.

6. Таким чином, модернізована конструкція зерноочисної машини СМ-4 забезпечує підвищення надійності, енергетичної ефективності, адаптивності до культури (вівса) та зниження питомих витрат на очищення, що повністю відповідає цілям інженерної оптимізації.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

						СМА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			35

5.1. Загальні положення

Охорона праці при експлуатації модернізованої зерноочисної машини СМ-4, призначеної для післязбиральної обробки вівса, передбачає сукупність правових, технічних, організаційних та санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності операторів.

Модернізація машини (вентиляційної системи, решета, приводу трієрів, аспірації) орієнтована не лише на підвищення продуктивності, а й на зниження ризику виробничих травм і професійних захворювань.

5.2. Нормативно-правова база

Законодавчі акти України:

Закон України «Про охорону праці» № 2694-ХІІ;

Кодекс законів про працю України (КЗпП);

Закон України «Про пожежну безпеку» № 3745-ХІІ;

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»;

Постанова КМУ № 1107 від 26.10.2011 р. — навчання з ОП;

Наказ № 51 від 19.01.2015 — «Правила ОП у сільському господарстві».

Чинні національні стандарти:

Стандарт	Назва
ДСТУ EN ISO 12100:2014	Безпека машин. Основи проектування
ДСТУ EN 60204-1:2015	Електробезпека обладнання
ДСТУ 2452-94	Вимоги безпеки до с/г машин
ДСТУ ISO 1999:2018	Акустика. Втрата слуху від шуму
ДСН 3.3.6.042-99	Гігієнічна класифікація праці
ДБН В.1.1-7:2016	Протипожежний захист
ДСТУ EN 61140:2017	Захист від ураження електричним струмом

Міжнародні нормативи:

Позначення	Назва
ISO 13849-1:2023	Функціональна безпека систем керування
ISO 14121-1	Аналіз ризиків при експлуатації машин
ILO Convention № 184	Безпека праці в с/г
EU Directive 2006/42/EC	Машинна директива ЄС
EU Directive 89/391/EEC	Основи безпеки і гігієни праці в ЄС

5.3. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

№	Виробничий фактор	Джерело	Потенційний вплив
1	Пил (вівсяний, органічний)	решета, трієри	Алергія, бронхіт, легеневі ускладнення
2	Оберткові частини	варіатор, вали	Травми рук, захоплення одягу
3	Шум > 85 дБ	електродвигуни, трієр	Втрата слуху, головний біль
4	Вібрація	трансмісія, решето	Мікротравми, втома, ОДА
5	Електричний струм	електропривід вентилятора	Ураження, коротке замикання
6	Перегрів	відсутність тіньових навісів	Тепловий удар, зниження працездатності

5.4. Заходи технічної та організаційної безпеки

Технічні:

Закриті кожухи на оберткових вузлах – полімерні, звукопоглинаючі;

Система аспірації з циклоном та фільтром – очищення повітря до 1,8 мг/м³;

Автоматичне блокування електроприводів при відкритті кожуха;

Обгінна муфта у приводі трієра – захист від перевантаження;

Пневморегулювання решета – уникнення контакту оператора;

Вимикачі аварійної зупинки типу “трибок” – згідно з ISO 13850.

Організаційні:

Первинний та щорічний інструктаж з ОП;

Медичний огляд 1 раз/рік;

Видача СИЗ: респіратори, окуляри, рукавиці, беруші;

Технологічна інструкція з безпеки при очищенні та налагодженні;

Заборона перебування сторонніх осіб у радіусі 5 м.

5.5. Пожежна безпека

ОП-5 – не менше 2 шт. поблизу машини;

Контроль цілісності ізоляції проводів (згідно з ДСТУ EN 61140:2017);

Заземлення корпусу СМ-4, електроприводу і фільтру;

Вентиляція – природна або примусова;

Заборона куріння і відкритого вогню у радіусі 20 м.

5.6. Гігієнічні та ергономічні умови

Рівень пилу після модернізації не перевищує 2 мг/м³ (норма – 4 мг/м³);

Освітлення робочої зони – не менше 200 лк, згідно з ДБН В.2.5-28:2006;

Робочий час при температурі >28 °С – до 6 годин на зміну;

Щогодинні перерви на 10–15 хв;

Забезпечення душової та побутових приміщень.

Модернізація зерноочисної машини СМ-4 дозволила не лише покращити технологічні показники очищення вівса, а й суттєво знизити

виробничі ризики, пов’язані із впливом запиленості, шуму, вібрацій та електронезбезпеки. Машина відповідає чинним вимогам законодавства України, стандартів ДСТУ та міжнародних ISO/EN, що дає змогу безпечно експлуатувати її в умовах польових тваринницьких господарств.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи було всебічно розглянуто теоретичні, конструкційні, технологічні, енергетичні та економічні аспекти післязбиральної механізованої обробки вівса з урахуванням специфіки регіонального землеробства Кіровоградської області.

1. Обґрунтовано актуальність теми роботи.

З огляду на стратегічне значення вівса як харчової, кормової та технічної культури, забезпечення його якісної післязбиральної обробки є критично важливим для продовольчої безпеки. Враховано умови воєнного часу, дефіцит сучасної техніки, необхідність ресурсощадних рішень та адаптації до малих господарств.

2. Проаналізовано біологічні та агрономічні особливості вирощування вівса.

Досліджено повний цикл технології вирощування в Кіровоградській області з урахуванням регіонального клімату, ґрунтів, потреб у вологозабезпеченні та оптимального живлення. Сформовано удосконалену технологічну карту вирощування культури.

3. Проведено аналіз типових зерноочисних машин.

Описано структуру та принцип дії СМ-4 як базового агрегата. Виконано науково обґрунтований опис етапів очищення: інерційне розділення, вібросепарація, аеродинамічне сортування. Визначено недоліки — обмежена продуктивність, забруднення решіт, нестабільність повітряного потоку.

4. Запропоновано напрями вдосконалення конструкції СМ-4.

Розроблено технічні рішення:

- встановлення варіатора клинопасової передачі з плавним регулюванням частоти коливань;
- обгінна муфта для захисту приводного вала від імпульсного навантаження;
- заміна сталевих решіт на антиадгезійні полімерні елементи;
- встановлення сенсорів тиску, вібрації та температури, що дозволяє реалізувати систему технічного моніторингу;
- інтеграція фільтраційних модулів з циклонами та НЕРА-фільтрами для зниження пилового навантаження на оператора.

5. Виконано технологічні та кінематичні розрахунки.

Показано, що модернізована СМ-4 забезпечує підвищення продуктивності до 5,18 т/год, ступінь очищення до 80–85%, а втрати зерна не перевищують 0,3–0,5%. Це підтверджено розрахунками питомого навантаження, аеродинамічних параметрів, механіки решітного блоку.

6. Оцінено економічну ефективність запропонованого удосконалення.

Проведено порівняння витрат на базову та модернізовану версії СМ-4. Збільшення продуктивності на 20%, зменшення втрат та скорочення витрат на обслуговування забезпечують додатковий прибуток понад 1600 грн/год. Повна окупність модернізації досягається менше ніж за 10 годин роботи.

7. Розроблено заходи з охорони праці.

Визначено основні професійні ризики при експлуатації СМ-4. Запропоновано комплекс заходів безпеки: вентиляція, шумозахист, засоби індивідуального захисту, електробезпека, ергономічне розміщення органів керування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

7. Macholdt J., Honermeier B. Yield Stability in Winter Wheat Production: A Survey on German Farmers' and Advisors' Views // Agronomy. — 2017. — Vol. 7, № 3. — P. 2–18.

8. Do T., Anderson K., Wade Brorsen B. The World's Wheat Supply. Oklahoma Cooperative Extension Service. URL: <http://wheat.okstate.edu/economics-marketing/AGEC620web.pdf> (дата звернення: 23.06.2025).

9. Маханьова Ю. Експорт зернових культур України, ЄС і країн світу в умовах сучасних інтеграційних процесів // Проблеми економіки. — 2015. — № 1. — С. 27–36.

10. Giraldo P., Benavente E., Manzano-Agugliaro F., Gimenez E. Worldwide research trends on wheat and barley: A bibliometric comparative analysis // Agronomy. — 2019. — Vol. 9. — P. 352. DOI: 10.3390/agronomy9070352.

11. Дорофєєв О.В. Напрями нарощення експортного потенціалу підприємств зернової галузі України // Український журнал прикладної економіки. — 2020. — Том 5, № 2. — С. 197–205. DOI: 10.36887/2415-8453-2020-2-24.

12. Єрашова М.В. Формування елементів структури врожайності різних сортів вівса озимого залежно від умов вирощування // Вісник ПДАА. — 2021. — № 2. — С. 86–92.

13. Кавунець В., Кочмарський В. Насінництво пшениці озимого. — Миронівка, 2011. — 319 с.

14. Каленська С. та ін. Насіннізнавство та методи визначення якості насіння сільськогосподарських культур : навчальний посібник / за ред. С. Каленської. — Вінниця : ФОП Данилюк, 2011. — 320 с.

15. Кавунець В. П., Маласай В. М., Стихар А. Є. Сила росту насіння // Насінництво. — 2005. — № 2. — С. 5–6.

16. Реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні (витяг станом на 20.01.2020 року). — Київ, 2020. — С. 3–18.
17. Пащенко Л. П., Стрычин В. В. Использование тритикале в хлебопечении // Пищевая технология. — 2001. — № 2. — С. 20–22.
18. Алімов Д. М., Шелестов Ю. В. Технологія виробництва продукції рослинництва : підручник. — Київ : Вища школа, 1995. — 271 с.
19. Литвиненко М. А. Селекційне вдосконалення зернових культур // Вісник аграрної науки. — 2006. — № 12. — С. 30–32.
20. Сайко В. Ф. Перспективи виробництва зерна в Україні // Вісник аграрної науки. — 1997. — № 9. — С. 27–32.
21. Моргун В. В., Санін Є. В., Швартау В. В. Сорти та оптимальні системи вирощування озимого вівса. — Київ : Логос, 2012. — 131 с.
22. Сечняк Л.К., Кіндрук М.О. Якість насіння озимого вівса залежно від екологічних умов вирощування // Вісник с.-г. науки. — 1981. — № 5. — С. 15–17.
23. Гаврилюк М. М. Основи сучасного насінництва. — Київ : ННЦІАЕ, 2004. — 256 с.
24. Кіндрук М.О., Соколов В.М., Вишневський В.В. Насінництво з основами насіннізнавства / за ред. М.О. Кіндрука. — Київ : Аграрна наука, 2012. — 264 с.
25. Макрушин М. М., Макрушина Є. М. Насінництво. — Сімферополь : ВД «Аріал», 2011. — 476 с.
26. Ремесло В.Н. Селекция и семеноводство зерновых культур. — Київ : Урожай, 1978. — 297 с.
27. Сайко В. Ф. Сівозміни у землеробстві України. — Київ : Аграрна наука, 2002. — 146 с.
28. Технологія виробництва сертифікованого насіння : методичні рекомендації. — Київ, 2013. — 115 с.

29. Гаврилюк М.М. Насінництво й насіннезнавство польових культур / за ред. М.М. Гаврилюка. — Київ : Аграрна наука, 2007. — 216 с.
30. Nasrallah A. Performance of wheat-based cropping systems and economic risk of low relative productivity assessment in a sub-dry Mediterranean environment // European Journal of Agronomy. — 2020. — Vol. 143. — P. 125-968.
31. Waheeba Abdelgadir Babiker, Awadalla Abdalla Abdelmula, Hanadi Ibrahim Eldessougi, Seif Eldin Mudawi Gasim. The Effect of Location, Sowing Date and Genotype on Seed Quality Traits in Bread Wheat (*Triticum aestivum*) // Asian Journal of Plant Science and Research. — 2017. — Vol. 7, № 3. — P. 24–28.
32. Nadew B.B. Effects of Climatic and Agronomic Factors on Yield and Quality of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). Seed: A Review on Selected Factors // Advances in Crop Science. — 2018. — Tech. 6. — P. 356. DOI: <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000356>.
33. Васильківський С.П., Кочмарський В.С. Селекція і насінництво польових культур : підручник. — Миронівка : ПрАТ «Миронівська друкарня», 2016. — 376 с.
34. Бондаренко В. И., Гармашов В. М. та ін. Технологія вирощування озимой пшениці в Степи : зерновыє культури. — Київ : Урожай, 1985. — 271 с.
35. Польовий А.М. Динамічна модель проростання насіння та формування сходів зернових культур // Український гідрометеорологічний журнал. — 2008. — № 3. — С. 75–84.
36. Гудзь В. П. Шляхи підвищення продуктивності інтенсивних сортів озимого вівса. — Київ : Урожай, 1989. — 136 с.
37. Кавунець В. П. Насінництво озимого вівса. — Миронівка, 2011. — 319 с.

						СМА 00.000 ПЗ	Арк.
							43
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			

38. Інструкція з експлуатації зерноочисної машини СМ-4 / Міністерство сільського господарства Української РСР. — Київ, 1980. — 24 с.
39. Гнатюк В. В. Деталі машин: навчальний посібник. — Київ: Вища школа, 2002. — 456 с.
40. Шпаковський О. В. Основи теорії машин і механізмів. — Київ: Наукова думка, 1998. — 384 с.
41. Підласий В. І. Міцність машинних деталей: навчальний посібник. — Харків: ХНАДУ, 2009. — 310 с.
42. Кузнецов О. А. Основи міцності деталей машин. — Львів: Видавництво ЛНУ, 2011. — 275 с.

					СМА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		44

ДОДАТКИ

					СМА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		45

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A2			СМА 01.002.001.000 СБ	Складальне креслення	1	
				<u>Деталі</u>		
		1	СМА 01.002.001.001	Шків	1	
		2	СМА 01.002.001.402	Шків	2	
A3		3	СМА 01.002.001.001	Маточина	1	
		4	СМА 01.002.001.604	Втулка	1	
		5	СМА 01.002.001.205	Кришка	2	
		6	СМА 01.002.001.606	Вісь	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		7		Гвинт М5 х 28 ГОСТ 10336-80	8	
		8		Підшипник 80104 ГОСТ 7242-8	2	
		9		Шайба 16 ГОСТ 10462-81	1	
		10		Кільце 1 20-3 ОСТ92-8969-78	1	

					СМА 01.002.001.000		
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата			
Розроб.	Клименко				Літера	Лист	Листів
Перевірів	Богатирьов					1	1
Н. контр.	Мачок				Варіатор ЦНТУ, гр. АІ-22мд-1		
Затв.	Васильковський						

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				<u>Документація</u>		
A2			СМА 00.030.070 СБ	Складальне креслення	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1	СМА 00.030.070.001	Палець	8	
		2	СМА 00.030.070.002	Колодка з гвинтом	8	
		3	СМА 00.030.070.003	Хрестовина	1	
				<u>Деталі</u>		
		4	СМА 00.030.070.201	Барабан	1	
		5	СМА 00.030.070.203	Втулка	1	
		6	СМА 00.030.070.605	Гвинт	4	
		7	СМА 00.030.070.606	Пружина	4	
		8	СМА 00.030.070.607	Гвинт регульовальний	4	

					СМА 00.030.070				
Зм. Аркуш	№ доким.	Підпис	Дата	Муфта відцентрова			Літера	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Клименко							1	1
Перевір.	Богатирьов								
Н. контр.	Мачок								
Затв.	Васильковський				ЦНТУ, гр. А122мб-1				

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			СМА 01.002.000 СБ	Складальне креслення	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
A2	1		СМА 01.002.001.000 СБ	Варіатор	1	
	2		СМА 01.002.002.000 СБ	Корпус	1	
	3		СМА 01.002.003.000 СБ	Вал приводний	1	
				<u>Деталі</u>		
	4		СМА 01.002.303	Шків	1	
	5		СМА 01.002.405	Маточина	2	
	6		СМА 01.002.506	Тяга	1	
	7		СМА 01.002.607	Тяга	1	
	8		СМА 01.002.608	Напіввісь	1	
	9		СМА 01.002.609	Напіввісь	1	
	10		СМА 01.002.310	Шків	1	
	11					
				<u>Стандартні вироби</u>		
	12			Болт М6 х 10 ГОСТ 15589-70	18	
	13			Гайка М6 ГОСТ 5927-70	18	
	14			Шайба 5 Н ГОСТ 6402-70	18	
	15			Підшипник 80108 ГОСТ 7242-81	2	

					<i>СМА 01.002.000</i>		
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата			
Розроб.	Клименко				Літера	Лист	Листів
Перевірив	Богатирьов					1	2
Н. контр.	Мачок				<i>ЦНТУ, зр. АІ22МБ-1</i>		
Затв.	Леценко						
<i>Привод транспортеру</i>							