

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:**

«Механізація вирощування гречки з вдосконаленням
зерноочисного обладнання для післязбирального очищення
врожаю»

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,
групи АІ-23з-1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____Семенко Сергій Васильович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____Сергій ЛЕЩЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____Олег БЕВЗ

« ____ » _____ 2026 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет Агротехнічний
Кафедра Сільськогосподарського машинобудування
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
Галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»
Спеціальність 208 «Агроінженерія»
Освітньо-професійна програма «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«___» _____ 2026 року

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

_____ Семеньку Сергію Васильовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Механізація вирощування гречки з вдосконаленням зерноочисного обладнання для післязбирального очищення врожаю
2. Керівник роботи (проекту) Лещенко Сергій Миколайович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 26.06.2026 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи (проекту) _____

5. Перелік графічного матеріалу _____

6. Консультанти розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Виконання розділів 1, 2		
	Графічна частина арк. 1	21.04.2026 р.	
2	Виконання розділу 3		
	Графічна частина арк. 2	25.05.2026 р.	
3	Виконання розділів 4, 5		
	Графічна частина арк. 3	12.06.2026 р.	
4	Оформлення пояснювальної записки,		
	графічної частини, підготовка до захисту.	26.06.2026 р.	

Дата видачі завдання
«05» лютого 2026 р.

Підпис керівника

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____ (прізвище та ініціали)

Анотація

Тема: «Механізація вирощування гречки з вдосконаленням зерноочисного обладнання для післязбирального очищення врожаю»

аеродинамічний сепаратор, замкнений цикл повітря, діаметральний вентилятор, клинопасовий варіатор, критична швидкість витання, вивантажувальний шнек

Кваліфікаційна робота присвячена вирішенню науково-практичного завдання підвищення ефективності та зниження енергомісткості процесу післязбиральної обробки зернового вороху гречки в умовах Центрального регіону України. У роботі обґрунтовано операційну технологію комплексної післязбиральної обробки врожаю для площі посіву 85 га з використанням безрешітного аеродинамічного сепаратора АСХ-5 із замкненим циклом циркуляції повітряного потоку. Застосування даного типу обладнання дозволяє повністю виключити механічне мікротравмування крихкої тригранної оболонки насіння, яке є характерним для традиційних решітних машин.

В інженерній частині дослідження здійснено модернізацію приводу діаметрального вентилятора шляхом встановлення механічного клинопасового варіатора, що забезпечує плавне безступінчасте регулювання частоти обертання ротора в діапазоні від 750 до 935 об/хв. Це дозволяє оперативно адаптувати повітряний потік в робочій зоні пневмосепаруючого каналу під змінні показники вологості та засміченості вихідного вороху без зупинки операції. Оптимізовано кінематичні параметри ланцюгової передачі приводу вивантажувального шнека легких домішок, що забезпечило зниження сумарної споживаної потужності агрегату на 7,76%.

Перевірочними розрахунками на витривалість валу вентилятора підтверджено його високу конструктивну надійність (запас міцності $n = 8,64$). Розглянуто питання охорони праці та виробничої санітарії.

Abstract

Topic: «Mechanization of buckwheat cultivation with the improvement of grain cleaning equipment for post-harvest crop processing»

aerodynamic separator, closed-loop air system, cross-flow fan, v-belt variator, critical terminal velocity, discharge screw conveyor

The qualification work is dedicated to solving the scientific and practical problem of increasing the efficiency and reducing the energy intensity of the post-harvest processing of buckwheat grain heap under the conditions of the Central region of Ukraine. The operational technology of integrated post-harvest crop processing for a sowing area of 85 hectares has been substantiated using the screenless aerodynamic separator ASK-5 with a closed-loop air circulation system. The application of this type of equipment allows for the complete elimination of mechanical micro-damage to the brittle trihedral hull of the seeds, which is highly characteristic of traditional screen-based cleaning machines.

In the engineering section of the study, the drive of the cross-flow fan was modernized by installing a mechanical V-belt variator (continuously variable transmission), which ensures smooth, stepping-free regulation of the rotor speed in the range from 750 to 935 rpm. This allows for the prompt adaptation of the airflow within the working zone of the pneumatic separation channel to the fluctuating moisture content and impurity levels of the incoming grain heap without interrupting the operation. The kinematic parameters of the chain drive for the light impurities discharge screw conveyor have been optimized, resulting in a 7.76% reduction in the total power consumption of the unit.

Verification calculations for the fatigue limit of the fan shaft confirmed its high structural reliability (safety factor $n = 8.64$). The issues of occupational health, safety, and industrial sanitation have been addressed.

ЗМІСТ

1. Вступ.....	6
2. Аналіз існуючої технології вирощування гречки та пошук напрямків її удосконалення.....	8
3. Операційна технологія виконання післязбирального очищення гречки	19
4. Інженерна частина.....	31
5. Охорона праці	49
6. Висновки	52
Список використаної літератури	54
Додатки.....	56

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

1. ВСТУП

Агропромисловий комплекс України в умовах сучасних геополітичних та макроекономічних викликів потребує оптимізації структури виробництва за рахунок розширення площ під стратегічно важливі продовольчі культури. Серед таких культур чільне місце займає гречка (*Fagopyrum esculentum*) – провідна круп'яна культура, яка забезпечує внутрішню продовольчу безпеку держави та є незамінним компонентом дієтичного харчування. Останніми роками спостерігається явна тенденція до відновлення посівних площ під гречкою в господарствах Центральної України, зокрема на Кіровоградщині, що зумовлено високою ринковою ціною на зерно та потребою у диверсифікації сівозмін.

Незважаючи на високий біологічний та агротехнічний потенціал, середня врожайність гречки в регіоні залишається нестабільною. Однією з головних причин цього є застаріла техніко-технологічна база на етапі післязбиральної обробки зібраного врожаю. Специфіка гречки як сільськогосподарської культури полягає в нерівномірності її дозрівання, високій гігроскопічності та значній різноманітності фракційного складу зібраного збіжжя. З комбайна на тік надходить зерновий матеріал гречки із високим рівнем сміттєвих домішок, пошкоджених та недозрілих зернівок. Закладання такого матеріалу на зберігання без попереднього очищення призводить до процесів самозігрівання, пліснявіння та швидкого псування всього вирощеного врожаю.

Традиційне зерноочисне обладнання, що використовується в більшості вітчизняних господарств (наприклад, сепаратори типу ОВП-20, ОВС-25), є морально застарілим, металомістким та характеризується високим питомим травмуванням зерна через інтенсивний механічний вплив решітних станів.

					ТПОГ 00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Семенко				Пояснювальна записка		
Перевір.	Леценко						
Реценз.							
Н. Контр.	Артеменко						
Затверд.	Васильковський						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						6	
					ЦНТУ, гр. АІ-23з-1		

Перспективним напрямком вирішення цієї проблеми є впровадження безрешітних аеродинамічних технологій сепарації, зокрема використання повітряних сепараторів із замкненим циклом повітря, таких як АСХ-5. Проте серійні машини цього типу мають ряд конструктивних недоліків, зокрема ступінчасте регулювання повітряного потоку за допомогою змінних шківів, нерівномірність аеродинамічного поля в робочій зоні та завищені кінематичні параметри шнека виведення домішок, що веде до перевитрати енергії.

Таким чином, інженерне обґрунтування механізації вирощування гречки з одночасною модернізацією приводу та робочих органів аспіраційного сепаратора АСХ-5 з метою інтенсифікації процесу післязбирального очищення є актуальним науково-практичним завданням для аграрної галузі України.

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

2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ГРЕЧКИ ТА ПОШУК НАПРЯМКІВ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

2.1. Біологічні особливості гречки, її господарське та агротехнічне значення та особливості вирощування і використання

Гречка посівна (*Fagopyrum esculentum*) (рис. 1) належить до родини Гречкових (*Polygonaceae*), що відрізняє її від більшості інших круп'яних культур, які є представниками родини Злакових. Ця біологічна особливість визначає характер розвитку рослини, її морфологію та вимоги до умов навколишнього середовища.

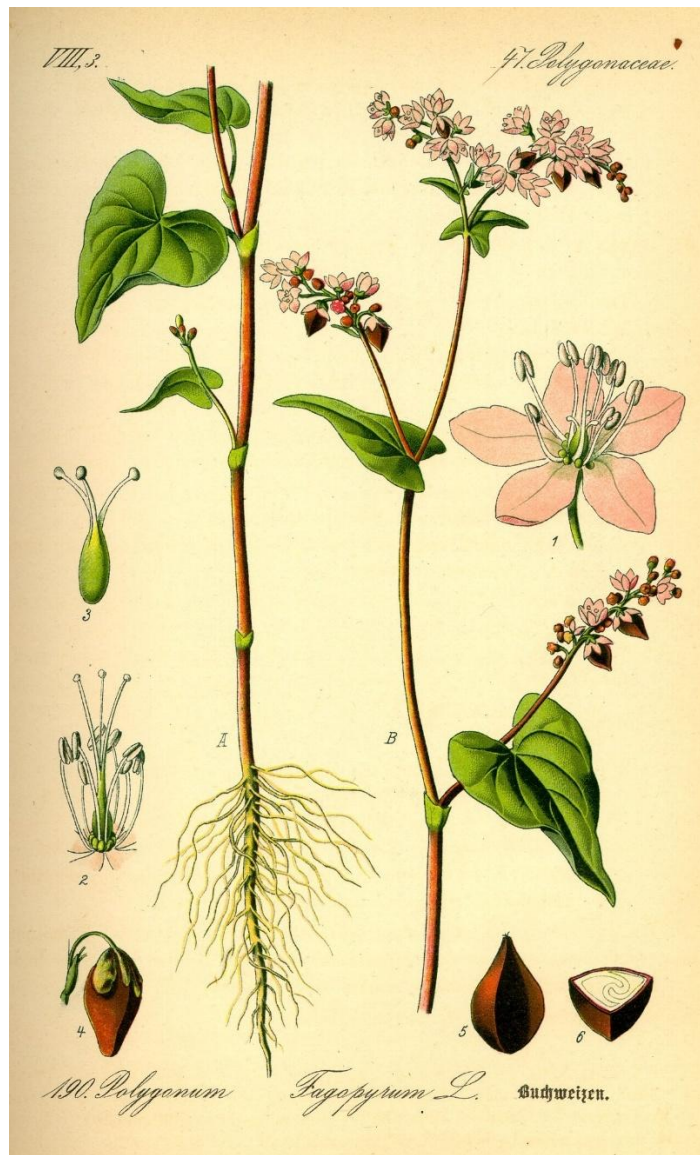


Рис. 1. Характерні ознаки сільськогосподарської культури гречка звичана

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

Корнева система гречки є стрижневою, проте характеризується слабким розвитком порівняно з вегетативною надземною масою. Основна маса коренів зосереджена в орному шарі ґрунту (0–20 см). Фізіологічною особливістю кореневої системи є її висока засвоювальна здатність: коріння виділяє значну кількість органічних кислот (мурашину, лимонну, щавлеву), які ефективно переводять важкорозчинні фосфати ґрунту у форми, що легко засвоюються рослиною. Стебло гречки ребристе, порожнисте, схильне до інтенсивного розгалуження, під час дозрівання набуває червонуватого забарвлення.

Гречка – культура теплолюбна та вологолюбна. Насіння починає проростати при температурі +7...+8°C, проте дружні сходи з'являються лише за умов прогрівання ґрунту до +12...+15°C. Заморозки до -2°C є згубними для сходів молодих рослин. Протягом усього вегетаційного періоду, особливо у фазі цвітіння та плодоутворення, гречка потребує значної кількості вологи. Транспіраційний коефіцієнт гречки становить 500–600, що вимагає жорсткого дотримання строків сівби для максимально ефективного використання весняних запасів ґрунтової вологи.

Суцвіття гречки – китиця, що складається з двостатевих квіток. Характерною біологічною рисою є диморфізм квіток (гетеростилія), що зумовлює потребу в перехресному запиленні за допомогою комах, переважно бджіл. Цвітіння гречки розтягнуте в часі й триває понад 30–40 діб, через що на одній рослині одночасно можуть перебувати бутони, квітки, зелені та повністю стиглі плоди – тригранні горішки. Маса 1000 насінин коливається в межах 20–30 г.

Господарське значення гречки визначається її високими харчовими та дієтичними властивостями. Ядриця містить 10–13% легкозасвоюваних білків (багатих на лізин, триптофан, аргінін), 60–70% вуглеводів, до 3% жирів, а також комплекс вітамінів (B1, B2, P, PP) та мінеральних речовин (залізо, фосфор, кальцій). У фармацевтичній промисловості листя і квітки гречки

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

використовують як сировину для екстракції рутину (вітаміну Р), що застосовується для лікування захворювань судинної системи.

Агротехнічне значення полягає в тому, що гречка є відмінним фітосанітаром. Завдяки швидкому темпу росту надземної маси на початкових етапах вона пригнічує розвиток більшості бур'янів. Після збирання гречки у ґрунті залишаються рослинні рештки, багаті на калій та азот, які швидко мінералізуються, суттєво покращуючи структуру та родючість ґрунту для наступних культур сівозміни. Крім того, гречка є провідною медоносною культурою, що забезпечує стабільний збір високоякісного меду (до 60–100 кг з 1 га посіву).

2.2. Місце гречки в сівозміні

Для отримання високих врожаїв гречку необхідно розміщувати на полях після попередників, які залишають після себе чистий від бур'янів ґрунт із достатнім запасом поживних речовин та вологи.

Кращими попередниками для гречки в умовах Лісостепу та Степу України є:

- Озимі зернові культури (пшениця, жито), що вирощувалися по удобрених парах. Вони рано звільняють поле, що дозволяє вчасно та якісно провести основний обробіток ґрунту за типом зябу.
- Просапні культури (цукрові буряки, картопля, кукурудза на силос), під які вносилися органічні та мінеральні добрива. Після перелічених агрокультур ґрунт залишається пухким та чистим від бур'янів.
- Зернобобові культури (горох, соя, нут), які збагачують ґрунт біологічним азотом.

Не рекомендується вирощувати гречку після вівса та ячменю через загрозу ураження спільними видами нематод, а також після соняшнику, оскільки його падалиця є агресивним бур'яном, який важко відокремити від зерна гречки під час післязбиральної очистки.

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

Сама гречка є дуже гарним попередником для всього спектру ярих зернових культур, цукрових буряків та кукурудзи. Повертати гречку на попереднє поле в сівозміні слід не раніше ніж через 4–5 років для запобігання накопиченню специфічних збудників хвороб.

2.3. Система удобрення гречки

Гречка характеризується високим виносом поживних речовин на одиницю готової продукції. Для формування 1 тонни зерна та відповідної кількості соломи рослини виносять з ґрунту приблизно 30 кг азоту (N), 15 кг фосфору (P_2O_5) та 75 кг калію (K_2O).

Система удобрення гречки базується на поєднанні основного внесення та припосівного підживлення.

Основне внесення добрив під час вирощування гречки проводять під осінню оранку. За таких умов вносять повне мінеральне добриво або фосфорно-калійні туки. Норми розраховують балансово-розрахунковим методом на основі агрохімічного аналізу зразків ґрунту. Перевагу надають безхлорним формам калійних добрив (сульфат калію, калімагnezія), оскільки іони хлору пригнічують асиміляційну діяльність листя гречки та знижують нектаровиділення. Орієнтовні норми на чорноземах складають $N_{45-60}P_{45-60}K_{60}$.

Припосівне удобрення. Безпосередньо під час сівби в рядки вносять суперфосфат або складні комплексні добрива (нітроамофоску) в дозі P_{10-15} . Це забезпечує молоді проростки доступним фосфором у період формування слабкої кореневої системи.

Позакореневе підживлення. У фазу бутонізації гречки та початку цвітіння цієї культури доцільно проводити обприскування посівів розчинами борних добрив (борна кислота, «Вуксал Бор»). Бор стимулює проростання пилку, покращує зав'язування плодів та знижує відсоток пустоцвіту.

					ТПОГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

2.4. Система обробітку ґрунту при вирощуванні гречки

Завданнями обробітку ґрунту під гречку є максимальне збереження вологи, знищення бур'янів, покращення аерації та створення вирівняного ложа для дрібного насіння.

Основний обробіток. Після збирання озимих попередників першою операцією є лушення стерні на глибину 6–8 см за допомогою дискових лушпильників (наприклад, ЛДГ-10) або дискових борін (БДМ). Це стимулює проростання насіння бур'янів. Через 2–3 тижні, після появи масових сходів бур'янів, проводять глибоку полицеву оранку на глибину 22–24 см плугами ПЛН-5-35 в агрегаті з тракторами класу 3 (Т-150К, ХТЗ-17221). Якщо поле засмічене багаторічними коренепаростковими бур'янами (осот, берізка), застосовують покращений обробіток: повторне лушення на глибину 10–12 см або хімічний обробіток гербіцидами суцільної дії на основі гліфосату («Раундап», «Ураган») з наступною зяблевою оранкою через 14 діб.

Передпосівний обробіток. Ранньою весною, при настанні фізичної стиглості ґрунту, проводять закриття вологи (боронування) важкими зубовими боролами БЗТС-1,0 в два сліди під кутом до напрямку оранки. Оскільки гречку сіють відносно пізно, до моменту сівби проводять 2–3 культивації з метою знищення послідовних хвиль сходів бур'янів та вирівнювання поверхні. Першу культивацію виконують на глибину 10–12 см, другу – на 8–10 см. Передпосівну культивацію проводять безпосередньо в день сівби на глибину загортання насіння (4–5 см) поперек або під кутом до напрямку попередніх обробітків. Найкращу якість забезпечують комбіновані агрегати типу «Компактор» або «Європак».

2.5. Підготовка насіння до сівби і сівба гречки

Для сівби використовують кондиційне насіння районованих сортів першої репродукції, яке за показниками чистоти та схожості відповідає вимогам ДСТУ.

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

Підготовка насіння включає наступні послідовні етапи.

Повітряно-теплове обігрівання посівного матеріалу. Насіння витримують на сонці або в сушарках при температурі +30...+35°C протягом 3–5 діб, що підвищує енергію проростання та польову схожість.

Інкустація (протруєння) посівного матеріалу. Для захисту від збудників фузаріозу, пероноспорозу та сірої гнилі насіння обробляють фунгіцидними протруювачами («Вітавакс 200 ФФ», «Максим XL») з додаванням мікроелементів (молібден, бор) та плівкоутворювачів.

Строки сівби. Гречку сіють, коли ґрунт на глибині 8–10 см прогріється до +10...+12°C і мине загроза весняних заморозків. У Центральній Україні цей період зазвичай припадає на першу-другу декаду травня.

Способи сівби та норми висіву. Застосовують два основні способи:

1. Звичайний рядковий (міжряддя 15 см). Ефективний на чистих від бур'янів полях. Норма висіву становить 3,5–4,5 млн схожих насінин на 1 га (приблизно 70–90 кг/га). Сівбу виконують зернотуковими сівалками СЗ-3,6А, СЗ-5,4 або сучасними посівними комплексами.
2. Широкорядний (міжряддя 45 см). Застосовують на засмічених полях та для насінневих посівів. Спосіб дозволяє проводити догляд за посівами у вигляді міжрядного розпушування. Норма висіву знижується до 2,0–2,5 млн схожих насінин на 1 га (45–50 кг/га). Сівбу здійснюють сівалками ССТ-12Б або СУПН-8 з відповідним налаштуванням висівних апаратів.

Глибина загортання насіння на важких суглинкових ґрунтах становить 4–5 см, на легких або при підсиханні верхнього шару – до 6–7 см.

2.6. Догляд за посівами гречки

Комплекс заходів з догляду спрямований на створення оптимальних умов для росту культури від моменту сівби до збирання.

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

Післяпосівне коткування. Є обов'язковим прийомом, особливо за посушливої погоди. Проводять кільчасто-шпоровими котками (ЗККШ-6А) для ущільнення ґрунту, підтягування вологи з нижніх шарів та забезпечення дружніх сходів рослин гречки.

Досходове боронування. Виконують через 4–5 днів після сівби (коли проростки гречки ще не досягли поверхні, а бур'яни перебувають у фазі «білої ниточки») легкими зубовими або сітчастими боронами впоперек рядків зі швидкістю до 4–5 км/год. Це руйнує ґрунтову кірку та знищує до 80% проростків бур'янів.

Міжрядний обробіток (на широкорядних посівах). Перше розпушування проводять у фазу 2–3 повноцінних листків на глибину 4–5 см односторонніми лапами культиватора КРН-4,2. Другий обробіток здійснюють на глибину 6–8 см стрільчастими лапами на початку бутонізації, третій – на глибину 5–6 см на початку цвітіння з одночасним легким підгортанням рослин для стимулювання розвитку додаткових коренів.

Захист від шкідників. При масовій появі на посівах гречаної блішки або дротяників посіви обробляють дозволеними інсектицидами («Децис Профі», «Карате Зеон»).

Запилення. За 2–3 дні до початку цвітіння на посіви гречки вивозять бджолосім'ї з розрахунку 2–3 вулики на 1 гектар, що забезпечує підвищення врожайності на 30–40%.

2.7. Збирання врожаю гречки та післязбиральна доробка зібраного збіжжя

Через тривале цвітіння та нерівномірне дозрівання плодів визначення оптимального строку збирання гречки є складним технологічним завданням.

Основний метод збирання врожаю гречки – роздільний (двофазний). Його починають, коли на рослинах дозріє 70–75% горішків (вони стають твердими і набувають типового для сорту забарвлення). Скошування у валки

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

виконують жатками ЖВН-6А, ЖШН-6 або аналогами. Висота зрізу повинна становити 15–20 см, щоб валок надійно тримався на стерні й добре продувався повітрям. Через 4–6 діб, після підсихання маси у валках та зниження вологості зерна до 14–16%, а стебел – до 30–35%, проводять підбирання та обмолот комбайнами (КЗС-950 «Руслан», «Дон-1500» чи закордонними аналогами) з установленими підбирачами. Пряме комбайнування застосовують лише на зріджених посівах, при перестой або за екстремальних погодних умов, з обов’язковою попередньою десикацією посіва препаратами на основі диквату.

Післязбиральна доробка. Очищення вороху гречки повинно розпочинатися якомога швидше після надходження зібраної зернової маси від комбайна на тік. Свіжозібраний ворох містить значну кількість вологих обрізків стебел, листя, насіння бур’янів, які мають суттєво вищу вологість, ніж чисте зерно гречки. Затримка з очищенням навіть на 2–3 години призводить до переміщення вологи від домішок до зерна, що різко погіршує його технологічні властивості та ускладнює подальше сепарування всього врожаю.

Для оперативної доробки врожаю гречки економічно та технологічно обґрунтовано використовувати безрешітний аеродинамічний сепаратор АСХ-5. Завдяки відсутності решітних кузовів він забезпечує максимально точне розділення маси за аеродинамічними характеристиками (швидкістю витання), виключаючи механічне травмування тригранної оболонки гречки. Процес очищення на сепараторі АСХ-5 дозволяє за один прохід виділити з вороху легкі сміттєві домішки, мінеральний пил, пусті та недозрілі зернівки, забезпечуючи зниження вихідної засміченості щонайменше на 60–70%.

2.8. Обґрунтування доцільності використання сепаратора АСХ-5 при вирощуванні гречки та аналіз його недоліків, що потребують вдосконалення

Застосування аспіратора АСХ-5 у технології виробництва гречки має вагомі переваги порівняно з традиційними решітними зерноочисними машинами:

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

Відсутність механічного травмування. Зернівка гречки має крихкі ребра; при ударах об штамповані отвори металевих решіт класичних сепараторів відсоток мікропошкоджень та обрушення ядра сягає 3–5%, що неприпустимо для насіннєвого матеріалу та знижує вихід вищого сорту крупи. Зерноочисний агрегат АСХ-5 розділяє зерно виключно у повітряному потоці.

Екологічність та автономність. Завдяки замкненій пневмосистемі з вбудованою осадовою камерою машина не викидає пил та відходи у навколишнє середовище, що дозволяє експлуатувати її в закритих складських приміщеннях без встановлення громіздких зовнішніх циклонів та повітроводів.

Висока питома продуктивність. При очищенні круп'яних культур технічна продуктивність сепаратора становить $3,0 \pm 0,5$ т/год, що повністю задовольняє потреби середньостатистичного фермерського господарства.

Проте аналіз конструкції та досвід експлуатації серійного сепаратора АСХ-5 виявив ряд суттєвих недоліків, які обмежують його ефективність на очищенні гречки і потребують вдосконалення.

1. Недосконалість приводу вентилятора. Серійна машина комплектується асинхронним електродвигуном, а зміна частоти обертання діаметрального вентилятора для налаштування швидкості повітряного потоку під різні культури здійснюється вручну – шляхом демонтажу та заміни змінних шківів пасової передачі. Цей процес є трудомістким, тривалим і не дозволяє проводити точне (динамічне) регулювання швидкості повітря безпосередньо під час роботи. Оскільки критична швидкість витання повноцінного зерна гречки (6,0...6,2 м/с) є близькою до швидкості витання важких органічних домішок (таких як дика редька, татарська гречка), ступінчасте регулювання призводить або до недоочищення вороху, або до значного виносу повноцінного зерна у відходи.

2. Нерегульована геометрія пневмосепаруючого каналу. Глибина вертикального пневмосепаруючого каналу ($C = 140$ мм) є фіксованою. При

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

зміні подачі або вологості вороху гречки виникає ефект пульсації повітряного потоку та нерівномірного розподілу питомого навантаження за шириною каналу, що знижує чіткість сепарації.

3. Енергетична невідповідність приводу вивантажувального шнека. Шнек для виведення легких відходів працює із постійною високою частотою обертання (150 об/хв), яка розрахована на виведення 100% потоку матеріалу. Проте при реальному очищенні гречки кількість аеродинамічно легких відходів рідко перевищує 10–15% від загальної маси вороху. Таким чином, робочі витки шнека працюють напівпорожніми, виконуючи зайву роботу на перемішування повітря та тертя, що спричиняє невиправдані втрати електроенергії.

Для усунення вказаних недоліків у даній роботі пропонується модернізувати привід вентилятора шляхом встановлення механічного клинопасового варіатора, що забезпечить безступінчасте регулювання повітряного режиму, а також оптимізувати кінематичні параметри вивантажувального шнека.

Висновки по розділу

Гречка посівна є цінною продовольчою, медичною та агротехнічною культурою, біологічні особливості якої (слабка коренева система, високий транспіраційний коефіцієнт та розтягнутий період дозрівання) вимагають високої культури землеробства та чіткого дотримання параметрів механізованих процесів.

Прогресивна технологія вирощування гречки в умовах Центральної України передбачає її розміщення після кращих попередників (озимі, просапні), проведення глибокої зяблевої оранки плугами ПЛН-5-35, збалансованого мінерального удобрення безхлорними формами до туків ($N_{45-60}P_{45-60}K_{60}$) та використання комбінованих передпосівних агрегатів.

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

Збирання гречки доцільно проводити роздільним способом за умови дозрівання 70–75% плодів з негайним подальшим очищенням вороху на току.

Безрешітний аеродинамічний аспіратор АСХ-5 є високоефективним засобом для післязбиральної обробки гречки, який повністю виключає травмування зерна. Разом з тим, наявні недоліки серійної машини (ступінчасте регулювання повітря, жорсткі параметри шнека відходів) зумовлюють високу питому енергомісткість та нестабільність чіткості повітряної сепарації, що обґрунтовує потребу в його подальшій модернізації, яка буде виконана в наступних розділах роботи.

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

3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОГО ОЧИЩЕННЯ ГРЕЧКИ

Операційна технологія післязбиральної обробки зерна – це чітко регламентована сукупність технічних, конструктивних та організаційних заходів, які забезпечують доведення зібраного комбайнами зернового вороху до нормативних кондицій (продовольчих або насіннєвих) із мінімальними витратами праці, енергії та технічних ресурсів. У цьому розділі наведено обґрунтування та розрахунок потокової лінії очищення врожаю гречки з площі 85 га на базі безрешітного аеродинамічного сепаратора АСХ-5.

3.1. Умови роботи

Проектування операційної технології очищення гречки здійснюється для конкретних умов базового господарства Центрального регіону України (Лісостепова зона, Кіровоградська область). Характеристика умов роботи наведена нижче:

- загальна площа посіву гречки $F = 85$ га.;
- запланована біологічна врожайність гречки $Y = 1,8$ т/га = 18 ц/га;
- загальний валовий збір вороху з поля $G_g = F \cdot Y = 85 \cdot 1,8 = 153$ тони;
- тип збирання врожаю: – роздільний (двофазний) з підбиранням валків комбайном КЗС-950 «Руслан»;
- початковий стан зернового вороху, що надходить від комбайна:
 - фізична вологість зерна гречки $W_z = 16,5 \dots 18,0$ % (підвищена через нерівномірність дозрівання культури та можливі опади);
 - засміченість загальна: $Z_z = 8 \dots 12$ % (включає зелені рештки стебел гречки, насіння бур'янів: плоскохи і мишію, а також мінеральний пил);
- місце проведення робіт – відкритий критий тік (майданчик із твердим асфальтобетонним покриттям) виробничого підрозділу фермерського господарства;

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

- джерело енергопостачання – стаціонарна електромережа напругою 380 В, частотою 50 Гц.

Фізико-механічні особливості об'єкта обробки (гречки) суттєво ускладнюють процес сепарації. На відміну від кулястих або циліндричних зернівок злаків, зернівка гречки має тригранну форму з гострими ребрами та легку пухку оболонку. Значна частина недозрілого насіння має однакові геометричні розміри з кондиційним зерном, але відрізняється масою та щільністю. Це робить класичне ситове очищення малоефективним і зумовлює необхідність застосування повітряного розділення за аеродинамічними властивостями.

3.2. Агротехнічні вимоги

Процес післязбирального очищення вороху гречки на сепараторі АСХ-5 повинен повністю відповідати діючим агротехнічним вимогам та галузевим стандартам України (ДСТУ 4524:2006 «Гречка. Технічні умови»).

Основні допуски, показники якості та технологічні обмеження на очищення гречки є наступними:

1. Чистота кінцевого продукту (очищеного зерна гречки). Для продовольчого зерна вміст основної культури у вихідній фракції повинен бути не менше 97,0–98,0%, для насіннєвого матеріалу 1-ї репродукції – не менше 99,0%.

2. Вміст сміттевої домішки. Після пропускання через сепаратор у продовольчому зерні допускається не більше 1,0–1,5% сміттєвих домішок, насіння інших культур – не більше 0,5%. Повністю мають бути видалені великі зелені рештки рослин, які провокують самозігрівання зернової маси.

3. Втрати повноцінного зерна у відходи. Загальний винос кондиційного насіння гречки у фракцію легких сміттєвих відходів (аспіраційний пил та полови) не повинен перевищувати 0,5% від маси вихідного вороху.

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

4. Механічне травмування зерна. Оскільки сепаратор АСХ-5 є безрешетним і транспортування та розділення маси здійснюється у повітряному потоці, збільшення кількості битого зерна, тріснутих зернівок та обрушеного ядра (рушанки) після очищення має дорівнювати 0% (у межах похибки досліду, допуск – не більше 0,05%).

5. Проведення сушіння збіжжя. За рахунок активного вентилявання зернового матеріалу в процесі аеродинамічної сепарації допускається зниження поверхневої вологості зерна на 0,5–1,0% за один прохід, що позитивно впливає на його стійкість всього врожаю під час тимчасового зберігання.

3.3. Комплектування і підготовка зерноочисного агрегату АСХ-5 до роботи

Для реалізації операційної технології формується зерноочисний комплекс, основою якого є аеродинамічний сепаратор АСХ-5 із замкненим циклом циркуляції повітря. Оскільки сепаратор є стаціонарною (або пересувною всередині току) машиною, для забезпечення безперервного потокового процесу його комплектують допоміжними транспортними засобами.

Для обґрунтування вибору обладнання виконаємо розрахунок часового балансу роботи комбайнового парку та зерноочисної дільниці.

Збирання гречки площею 85 га виконується одним зернозбиральним комбайном КЗС-950 «Руслан». Середня тривалість збиральної зміни становить $T_{zm} = 10$ годин. Продуктивність комбайна за годину чистого часу на підбиранні валків гречки становить:

$$W_k = 1,5 \text{ га/год.}$$

Тоді за зміну комбайн обмолочує площу:

$$F_{zm} = W_k \cdot T_{zm} \cdot \tau = 1,5 \cdot 10 \cdot 0,82 = 12,3 \text{ га/зміну,}$$

де τ – коефіцієнт використання змінного часу комбайна.

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

Маса вороху гречки, що надходить від комбайна на тік за одну годину роботи складає

$$Q_{kom} = W_k \cdot Y \cdot k_v = 1,5 \cdot 1,8 \cdot 1,15 = 3,105 \text{ т/год},$$

де k_v – коефіцієнт, що враховує наявність соломистої та сміттевої фракцій вороху у бункері (засміченість).

Максимальне добове надходження зернової маси на тік від комбайна становить:

$$G_{dob} = Q_{kom} \cdot T_{zm} = 3,105 \cdot 10 = 31,05 \text{ тонн/добу}.$$

Годинна продуктивність зерноочисного обладнання W_{och} повинна задовольняти умові безперервності процесу та переробляти добове надходження зерна з урахуванням коефіцієнта нерівномірності надходження вороху ($k_n = 1,25$):

$$W_{och} \geq \frac{G_{dob} \cdot k_n}{T_{och}},$$

де T_{och} – тривалість роботи зерноочисної машини на току за добу.

Прийmemo, що для запобігання злежуванню вологої гречки очисна машина працює у 1,5 зміни, тобто $T_{och} = 12$ годин.

$$W_{och} \geq \frac{31,05 \cdot 1,25}{12} = 3,23 \text{ т/год}.$$

Паспортна технічна продуктивність безрешітного сепаратора АСХ-5 на очищенні круп'яних культур (зокрема гречки) становить $W_{pas} = 3,5$ т/год (при роботі на продовольчі кондиції) та $W_{pas.nas} = 2,0 \dots 2,5$ т/год (на насінневі кондиції).

Враховуючи, що реальна продуктивність залежить від вологості й засміченості за формулою:

$$W_{real} = W_{pas} \cdot k_w \cdot k_z = 3,5 \cdot 0,92 \cdot 0,90 = 2,90 \text{ т/год},$$

де k_w – коефіцієнт зниження продуктивності через підвищену вологість, яка становить 18 %, $k_w = 0,92$;

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

k_z – коефіцієнт зниження продуктивності через високу засміченість вороху, при засміченості на рівні 12% – $k_z = 0,90$.

Оскільки $W_{real} = 2,90$ т/год є дещо меншою за необхідні 3,23 т/год для 12-годинної роботи, раціональне рішення полягає у збільшенні часу роботи сепаратора АСХ-5 до $T_{och} = 14$ годин на добу, що дозволить повністю переробити добовий обсяг вороху:

$$G_{och.dob} = 2,90 \cdot 14 = 40,6 \text{ т/добу,}$$

що повністю покриває $G_{dob} = 31,05$ т. Отже, вибір однієї одиниці сепаратора АСХ-5 є технічно та економічно обґрунтованим.

Склад та комплектування технологічної лінії для післязбирального очищення гречки є наступним:

- завантажувальний пристрій. Пересувний шнековий або стрічковий ковшовий навантажувач (наприклад, ЗМ-60 або модернізований норійний завантажувач) для подачі вороху з бурта у приймальний бункер сепаратора;
- зерноочисний агрегат. Сепаратор аспіраційний АСХ-5 із модернізованим варіатним приводом вентилятора;
- транспортуючі органи виведення обробленої продукції. Комплект лотків або відвідних рукавів для спрямування очищеного зерна у борт чистого матеріалу, а домішок – у мішки або короб відходів.

Підготовка сепаратора АСХ-5 до роботи виконується на рівному майданчику току і включає такі кроки:

- Перевірка механічної частини. Контроль натягу клинових пасів механізму приводу. Перевірка відсутності затирання лопатей діаметрального вентилятора об кожух. Змащування підшипникових вузлів валу вентилятора та шнека легких домішок.
- Налаштування аеродинамічного режиму роботи агрегату під гречку. За допомогою модернізованого клинопасового варіатора встановлюють початкову частоту обертання вентилятора на рівні $n_v = 820 \dots 850$ об/хв.

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

Це забезпечує лінійну швидкість повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі в межах $V_p = 5,8 \dots 6,1$ м/с, що відповідає критичній швидкості витання сміттєвих домішок гречаного вороху, але нижче за швидкість витання повноцінного зерна гречки ($V_{crit} \approx 6,2$ м/с).

- Регулювання подачі (експлуатаційні параметри)/ Положення заслінки приймального бункера встановлюють за допомогою гвинтового механізму так, щоб забезпечити рівномірну товщину шару вороху по всій ширині каналу ($B = 600$ мм). Початковий зазор випускної щілини встановлюють на рівні 12–15 мм.

3.4. Підготовка току до роботи

Ефективність роботи аеродинамічного сепаратора безпосередньо залежить від санітарно-технічного стану майданчика, на якому розгортається лінія. Підготовка току проводиться за 5–7 днів до початку масового підбирання валків гречки.

Комплекс підготовчих робіт включає наступні роботи:

Очищення майданчика. Асфальтобетонне покриття току якісно очищають від решток минулорічних культур, сміття та пилу за допомогою щіток та обдувальних машин. Проводять дезінсекцію та дератизацію складських приміщень і критих навісів для запобігання пошкодженню зерна комірними шкідниками.

Ремонт покриття. Виявляють та ліквідують тріщини, вибоїни чи відшарування асфальту. Наявність ям призводить до накопичення в них вологи та сміття, що веде до вторинного забруднення або псування очищеної гречки.

Зонування території току. Майданчик чітко розділяють на технологічні зони з урахуванням кінематики руху транспорту:

- Зона розвантаження. Сюди автомобілі-самоскиди (ГАЗ-3309, КАМАЗ) висипають свіжезібраний бункерний ворох від комбайна.

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

- Зона очищення. Місце встановлення сепаратора АСХ-5 та завантажувальних механізмів.
- Зона чистого продукту. Бурт для накопичення очищеної та відсортованої гречки продовольчого призначення.
- Зона тимчасового зберігання відходів. Місце для збору фракцій легких домішок, пилу та невивиповненого (щуплого) насіння.

Для визначення площі зон та радіусів маневрування розрахуємо геометричні параметри буртів.

При добовому надходженні $G_{dob} = 31,05$ тонн і насипній щільності вихідного вороху гречки $\rho = 0,60$ т/м³, об'єм добового бурта сирого зерна становить:

$$V_b = \frac{G_{dob}}{\rho} = \frac{31,05}{0,60} = 51,75 \text{ м}^3.$$

Якщо бурт формується у вигляді подовженого конусоподібного насипу з кутом природного нахилу для вологої гречки $\alpha = 35^\circ$, висота бурта складатиме $h_b = 1,5$ м. Ширина основи бурта визначається як:

$$B_b = \frac{2 \cdot h_b}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{2 \cdot 1,5}{0,70} = 4,28 \text{ м.}$$

Довжина бурта свіжезібраного зерна гречки складе

$$L_b = \frac{V_b}{0,5 \cdot B_b \cdot h_b} = \frac{51,75}{0,5 \cdot 4,28 \cdot 1,5} = 16,1 \text{ м.}$$

Мінімальний радіус повороту транспортних засобів (автомобілів ГАЗ-3309) на току становить $R_{min} = 8,0$ м. Довжина виїзду та маневрування біля бурта приймається $L_{vj} = 12 \dots 15$ м. Ці параметри враховуються при розстановці обладнання: сепаратор АСХ-5 встановлюють на відстані не менше 10 метрів від бурта насіння гречки, щоб забезпечити вільний під'їзд самоскидів без ризику наїзду на робочі органи та кабелі живлення.

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

3.5. Організація роботи агрегату на току

Потокова лінія післязбирального очищення гречки працює за інженерно обґрунтованою технологічною схемою, яка мінімізує зайві переміщення матеріалу.

Технологічний маршрут руху зерна гречки є наступним:

1. Автомобіль доставляє ворох від комбайна КЗС-950 і вивантажує його в зоні свіжезібраного збіжжя.

2. Пересувний навантажувач переміщує ворох із бурта до завантажувального ковша сепаратора АСХ-5.

3. Зернова маса гречки через приймальний бункер сепаратора регульованою щілиною подається у вертикальний сепаруючий канал.

4. Потужний якомога вирівняним потоком повітря, що створюється діаметральним вентилятором, відбувається поперечне продування падаючого шару зернового матеріалу. Домішки, що мають меншу швидкість витання ($V < 5,0$ м/с), захоплюються потоком повітря і виносяться в осадову камеру замкненої пневмосистеми аспіратора, звідки шнеком легких домішок видаляються назовні.

5. Важкі мінеральні домішки падають у перший (ближній) приймальний лоток під дією сили тяжіння. Кондиційне, виповнене зерно гречки, практично не змінюючи траєкторії падіння через високу масу та оптимальну парусність, надходить у центральний приймальний лоток і далі спрямовується у борт чистого зерна.

Схема розстановки та узгодження продуктивності лінії.

Для наочності та інженерної точності організації процесу нижче на рис. 2 наведено розрахункову схему взаємодії та балансу продуктивності елементів потокової лінії на току.

З наведеної схеми чітко видно баланс розподілу фракцій. При надходженні вороху з продуктивністю $Q_v = 3,10$ т/год, сепаратор АСХ-5 розділяє його на дві основні фракції відповідно до раніше визначеної реальної

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

продуктивності ($W_{real} = 2,90 \dots 3,20$ т/год). Вихід чистого продовольчого зерна становить $Q_{ch} = 3,10 \cdot 0,88 = 2,73$ т/год, а потік відходів, що виводиться модернізованим шнеком, дорівнює $Q_{vj} = 3,10 \cdot 0,12 = 0,37$ т/год. Це доводить повне узгодження пропускної здатності всієї потокової лінії.

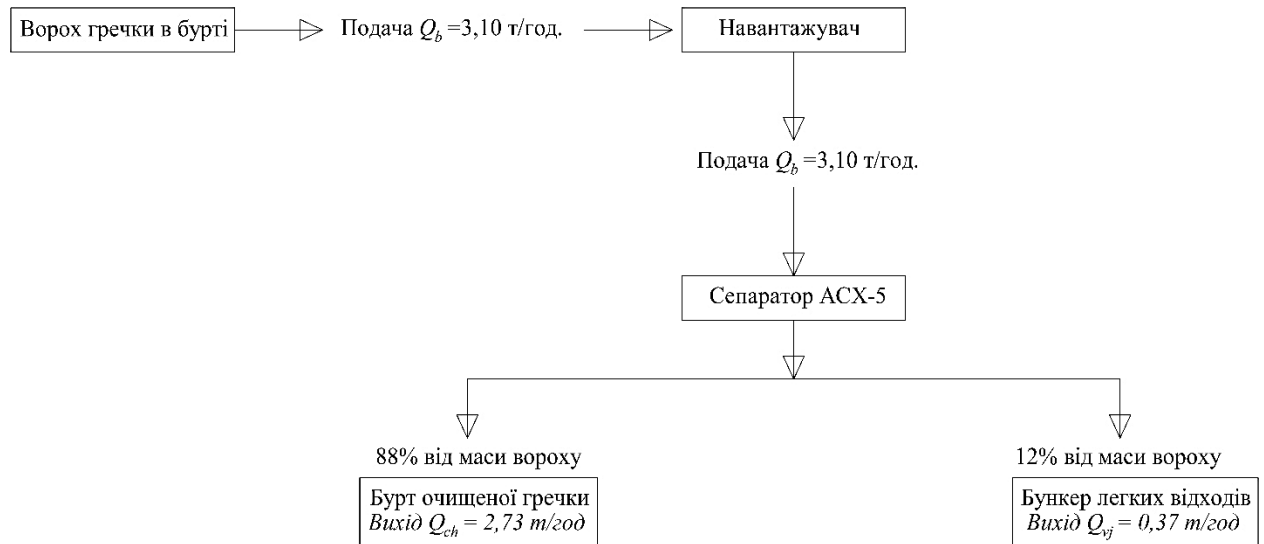


Рис. 2. Схема взаємодії та балансу продуктивності потокової лінії післязбирального очищення гречки на току господарства

Робота обслуговуючого персоналу.

Для обслуговування лінії очищення гречки призначається ланка у складі двох осіб.

Оператор (агроінженер/механік). Здійснює запуск лінії, безперервний контроль звукового фону роботи вентилятора, візуальне спостереження за чіткістю сепарації, регулювання обертів механізму приводу при зміні параметрів зерна у бункері.

Підсобний робітник. Забезпечує підгортання зерна до навантажувача, контроль заповнення мішків або короба з легкими відходами, своєчасне відвезення відходів у зону утилізації.

3.6. Контроль якості роботи

Постійний моніторинг показників якості очищення є обов'язковим елементом операційної технології, що гарантує збереженість врожаю та запобігає втратам зерна.

Регламент контролю якості включає:

1. Органолептичний та експрес-контроль (кожні 2 години роботи). Оператор лінії відбирає проби очищеного зерна з вихідного лотка та пробу відходів із розвантажувального патрубку шнека осадової камери.

- Аналіз чистої фракції. Візуально оцінюють наявність залишків необмолочених колосків, насіння бур'янів чи соломи. Якщо виявляються легкі домішки, це свідчить про знижену швидкість повітряного потоку – оператор за допомогою механізму привода збільшує частоту обертання вентилятора на 20–30 об/хв.
- Аналіз фракції відходів. Перевіряють наявність повноцінних зернівок гречки у сміттєвій масі. Якщо у відходах з'являється кондиційне зерно, це вказує на надлишковий повітряний тиск (швидкість повітря вища за критичну швидкість витання зерна $V_p > V_{crit}$). У цьому випадку оберти вентилятора плавно зменшують.

2. Лабораторний контроль (два рази за зміну). Відібрані за ДСТУ середні проби зерна масою 1 кг направляють у лабораторію господарства для точного визначення фракційного складу на лабораторних решетах та аналізу залишкової вологості на вологомірах (типу Wile-55 або аналогах). За результатами лабораторного аналізу вносяться фінальні корективи в налаштування робочих органів сепаратора АСХ-5.

Висновки до розділу

На основі системного аналізу фізико-механічних властивостей зернового вороху гречки посівної (*Fagopyrum esculentum*) обґрунтовано операційну технологію її післязбиральної обробки для умов базового

					ТПОГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

господарства Кіровоградської області. Специфічна тригранна геометрія зернівки, висока гігроскопічність сегетальних домішок та суттєва нерівномірність дозрівання маси зумовлюють неефективність традиційних решітних сепараторів і вимагають оперативного безперервного очищення вороху за аеродинамічними властивостями (швидкістю витання) безпосередньо після надходження зібраного врожаю з поля на тік.

Розрахунком погодинного та добового балансу роботи комбайнового парку встановлено, що при підбиранні гречки з площі 85 га одним зернозбиральним комбайном КЗС-950 «Руслан» із середньою продуктивністю 1,5 га/год, максимальний добовий обсяг надходження зібраного збіжжя на тік становить 31,05 тонн при годинній подачі вороху на рівні 3,10 т/год. Для забезпечення безперервності потокового процесу та запобігання тепловому самозігріванню зерна обґрунтовано структуру очисної ланки у складі однієї одиниці аеродинамічного сепаратора АСХ-5 із замкненим циклом повітря та пересувного завантажувача, наприклад типу ЗМ-60.

З врахуванням варіації вихідних експлуатаційних параметрів вороху (фізична вологість зерна – 16,5–18,0%, загальна засміченість – 8–12%) визначено реальну годинну продуктивність сепаратора АСХ-5, яка становить 2,90 т/год. Шляхом інтеграції розрахункових коефіцієнтів зниження пропускної здатності через підвищену вологість ($k_w = 0,92$) та забур'яненість матеріалу ($k_z = 0,90$) обґрунтовано збільшення тривалості роботи зерноочисного агрегату до 14 годин на добу, що дозволяє гарантовано переробляти 40,6 тонн маси, повністю покриваючи добовий графік збирання врожаю.

Розроблено інженерний регламент підготовки та динамічного налаштування сепаратора АСХ-5 до роботи на гречці. За допомогою впровадженого механічного клинопасового варіатора приводу визначено раціональний швидкісний режим діаметрального вентилятора на рівні $n_v = 820 \dots 850$ об/хв, що забезпечує формування оптимізованого рівномірного

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

повітряного поля у вертикальному сепаруючому каналі зі швидкістю повітря $V_p = 5,8 \dots 6,1$ м/с. Вказаний аеродинамічний режим чітко відповідає критичній швидкості витання легких домішок, мінімізуючи винос неповного кондиційного зерна у відходи до рівня $\leq 0,5$ %.

Проведено розрахунок просторової організації та геометричних параметрів зони розвантаження і очищення на току. Встановлено, що для тимчасового розміщення добового обсягу вороху гречки об'ємом $51,75 \text{ м}^3$ при куті природного укосу $\alpha = 35^\circ$ та висоті насипу $h_b = 1,5$ м, борт повинен мати ширину основи $4,28$ м та довжину $16,1$ м. Розрахункова схема розстановки обладнання передбачає встановлення сепаратора від межі борту на відстань не менше 10 м, що повністю задовольняє кінематичні обмеження маневрування автомобілів-самоскидів ГАЗ-3309 із мінімальним радіусом повороту $R_{min} = 8,0$ м.

Змодельовано пофазний баланс розподілу фракцій у процесі повітряного розділення: при номінальній подачі $3,10$ т/год вихід чистого продовольчого зерна становить $2,73$ т/год (88% від загальної маси), а виділення аеродинамічно легких відходів через модернізований шнек осадової камери складає $0,37$ т/год (12%), що доводить повну узгодженість кінематичних параметрів суміжних робочих органів.

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

4. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

4.1. Обґрунтування модернізації та опис конструкції і робочого процесу серійного сепаратора АСХ-5

Сучасні підходи до розвитку післязбиральної обробки зерна круп'яних культур вимагають мінімізації механічного макро- та мікротравмування насіння при одночасному зниженні питомої енергомісткості технологічного процесу. Серійний безрешітний аеродинамічний сепаратор АСХ-5 (рис. 3) із замкненим циклом повітряного потоку є базовою машиною для безтравматичного розділення зернового вороху за аеродинамічними ознаками. Проте досвід його промислової експлуатації на токах та зерноочисних комплексах при доробці гречки виявляє низку конструктивних недоліків, які суттєво обмежують технологічну надійність та енергетичну ефективність зазначеної зерноочисної машини.

Конструктивна схема серійного сепаратора АСХ-5 базується на замкненому аспіраційному контурі, що виключає потребу в монтажі зовнішніх циклонів та повітроводів і забезпечує екологічність процесу всередині складських приміщень. Машина складається з таких основних конструктивних вузлів:

Приймальний бункер з дозуючим пристроєм розташований у верхній частині машини, обладнаний підпружиненим клапаном або регульованою заслінкою, що задає питоме навантаження і забезпечує формування рівномірного шару вороху по всій робочій ширині сепаруючого каналу ($B = 600$ мм).

Вертикальний пневмосепаруючий канал прямокутний короб фіксованого перерізу ($B \times C = 600 \times 140$ мм), де відбувається безпосередня взаємодія падаючого зернового вороху з висхідним чи поперечним повітряним потоком.

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

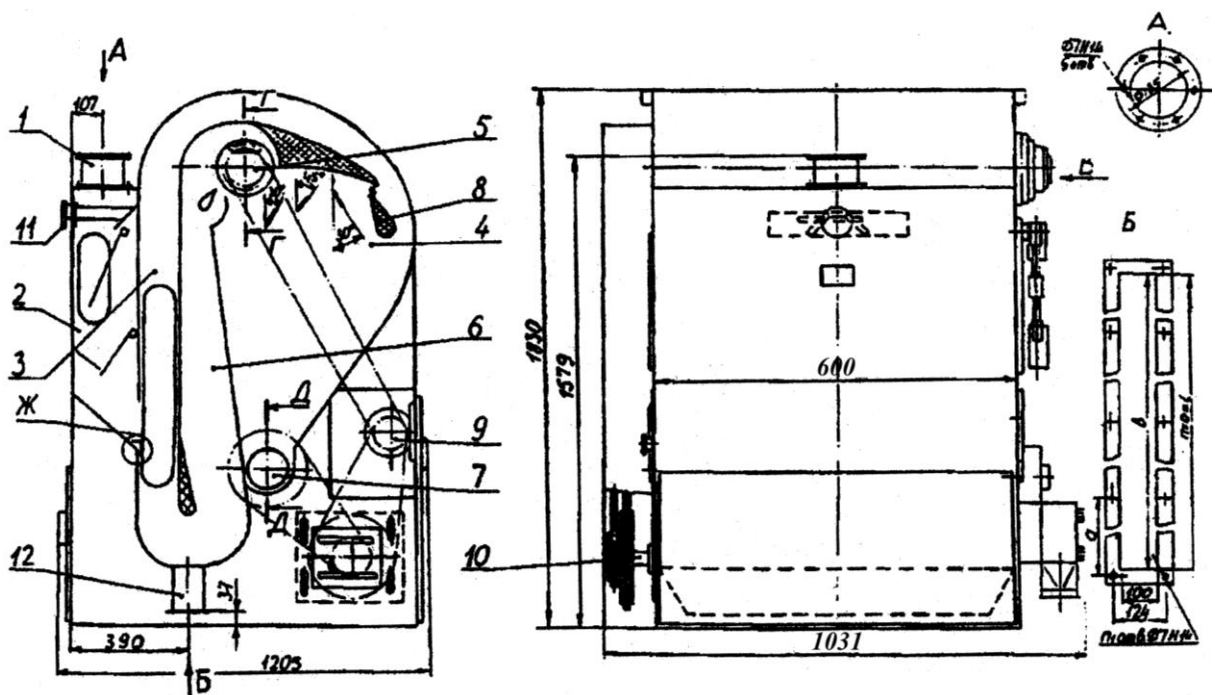
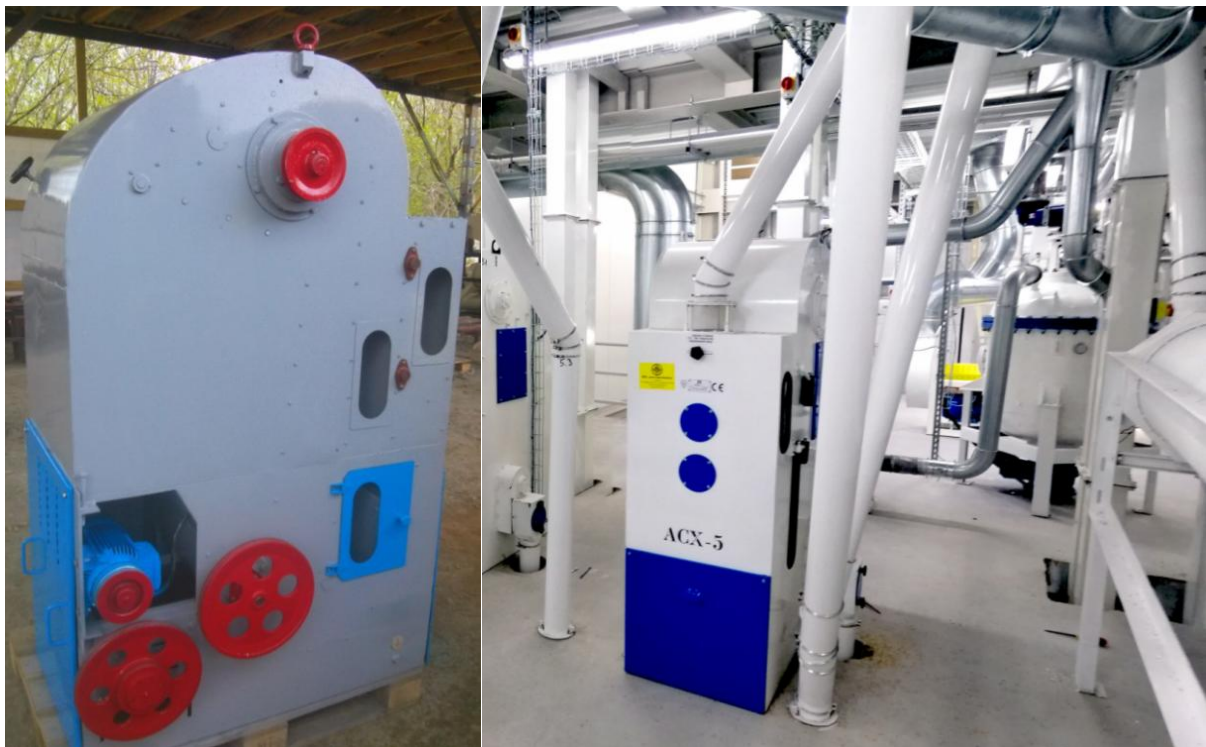


Рис. 3. Аспіратор АСХ-5 загальний вигляд та схема принципова

Джерело повітряного потоку (діаметральний вентилятор): роторного типу із винесеними вперед загнутими лопатками, що створює стабільний тиск у системі.

Інерційно-гравітаційна осадова камера: відсік великого об'єму із системою перегородок-жалюзі, де різко знижується швидкість повітряного

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

поток, внаслідок чого аеродинамічно легкі домішки зупиняються в нижній частині осадової камери.

Робочі органи виведення фракцій зернової суміші: центральний лоток виведення чистого (важкого) зерна, осадова камера для важких мінеральних домішок та вивантажувальний шнек для збору і виведення легких сміттєвих відходів назовні.

Робочий процес серійного сепаратора протікає таким чином: зерновий ворох гречки від комбайна надходить у приймальний бункер, звідки гравітаційно через дозуючу щілину падає у вертикальний пневмосепаруючий канал. Діаметральний вентилятор нагнітає повітря, яке проходить крізь введений в зону сепарації потік зерна. Компоненти вороху, швидкість витання яких V_{kv} є нижчою за робочу швидкість повітряного потоку V_p ($V_{kv} < V_p$), підхоплюються аеродинамічною силою і виносяться у верхню частину каналу, переходячи в осадову камеру. Повноцінне зерно гречки, що має високу масу та оптимальну парусність ($V_{kv} > V_p$), протидіє повітряному тиску, падає вертикально вниз і через випускний патрубок виводиться у борт готової очищеної продукції.

Незважаючи на раціональну загальну схему, серійний сепаратор АСХ-5 має деякі критичні недоліки, які стають ще більш явними при роботі з гречкою:

- Ступінчасте регулювання швидкості повітряного потоку. Налаштування швидкості повітряного потоку під конкретну культуру здійснюється вручну, шляхом повної зупинки машини та заміни змінних шківів пасової передачі на валу двигуна або вентилятора. Для гречки таке регулювання є неприпустимим, адже через тривале цвітіння ворох гречки надзвичайно неоднорідний, а вологість і щільність буртів на току змінюються протягом однієї робочої зміни (вранці маса вологіша, в обід – сухіша). Ступінчасте налаштування призводить або до невиправданого виносу кондиційного насіння у

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

відходи (при завищених обертах вентилятора), або до недоочищення продукту (при занижених обертах).

- Енергетична неефективність приводу шнека відходів. Вивантажувальний шнек легких домішок у серійній машині жорстко пов'язаний пасовою або ланцюговою передачею із постійним передаточним відношенням і працює із високою незмінною частотою обертання ($n_{sh} = 150$ об/хв). Оскільки реальний вміст легких відходів у вороху гречки становить від 4 до 12%, шнек більшу частину часу працює недовантаженим (витки заповнені лише на 10–15%). Це призводить до зайвих втрат енергії на тертя повітря та металевих поверхонь і викликає передчасний знос підшипникових вузлів.

Напрямки модернізації, що реалізуються в даному проекті:

1. Встановлення безступінчастого клинопасового варіатора у привід діаметрального вентилятора. Це дозволить оперативно, плавно та без зупинки технологічного процесу змінювати кутову швидкість ротора вентилятора, підлаштовуючи аеродинамічне поле сепаруючого каналу під миттєві фізико-механічні характеристики гречаного вороху.

2. Оптимізація та зниження кінематичних параметрів приводу вивантажувального шнека з розрахунком раціонального кроку і діаметра витків для роботи у режимі реального навантаження із легкими відходами гречки, що забезпечить суттєвий енергозберігаючий ефект.

4.2. Технологічний розрахунок сепаратора

Метою технологічного розрахунку є математичне визначення основних геометричних та аеродинамічних параметрів робочої зони сепаратора АСХ-5, які забезпечують максимальну чіткість розділення гречаного вороху за заданої продуктивності зерноочисної лінії.

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

Вихідною точкою для розрахунку і обґрунтувань є секундна подача зернового матеріалу Q (кг/с), яка розрахована у розділі 3 на основі продуктивності комбайнового парку для площі 85 га:

$$Q = 0,833 \text{ кг/с} = 3,0 \text{ т/год.}$$

Визначаємо необхідну ширину пневмосепаруючого каналу зерноочисної машини B за критерієм допустимого питомого навантаження:

$$B = \frac{Q \cdot 3600}{q_p},$$

де q_p – допустиме питома навантаження на 1 метр ширини каналу для круп'яних культур. Відповідно до чинних нормативів, для забезпечення чіткості сепарації понад 92% на вороху гречки, $q_p = 5000 \text{ кг/(м} \cdot \text{год)}$.

$$B = \frac{0,833 \cdot 3600}{5000} = \frac{3000}{5000} = 0,6 \text{ м} = 600 \text{ мм.}$$

Отримане значення $B = 600 \text{ мм}$ приймаємо як основний конструктивний параметр ширини пневмосепаруючої системи сепаратора.

Розрахунок робочої швидкості повітряного потоку V_p базується на аналізі критичних швидкостей витання компонентів вороху гречки. Рівняння аеродинамічного опору для поодинокі зернівки гречки має вигляд:

$$R_{aer} = k_f \cdot \rho_p \cdot S \cdot \frac{V_{kv}^2}{2},$$

де k_f – коефіцієнт лобового опору, для тригранної форми гречки

$$k_f \approx 0,45 \dots 0,52;$$

ρ_p – щільність повітря, для нормальних умов $\rho_p = 1,2 \text{ кг/м}^3$;

S – площа міделевого перерізу зернівки, м^2 ;

V_{kv} – критична швидкість витання, м/с .

Сила тяжіння зернівки:

$$G_z = m_z \cdot g,$$

де m_z – маса однієї зернівки, кг .

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

Провівши перетворення, отримуємо аналітичну формулу для визначення критичної швидкості витання:

$$V_{kv} = \sqrt{\frac{2 \cdot m_z \cdot g}{k_f \cdot \rho_p \cdot S}}.$$

Для кондиційного виповненого насіння гречки сорту «Антарія» (маса 1000 насінин $M_{1000} = 28$ г $\rightarrow m_z = 28 \cdot 10^{-6}$ кг), експериментальні та довідкові значення критичної швидкості становлять $V_{kv,z} = 6,0 \dots 6,4$ м/с. Для основних легких сміттєвих домішок (рештки листків, стебел, пусті зернівки) критична швидкість становить $V_{kv,d} = 3,5 \dots 4,5$ м/с.

Робоча швидкість повітря у модернізованому каналі V_p повинна гарантувати винесення домішок, але виключати втрати повноцінного зерна. Обираємо робочу швидкість із урахуванням коефіцієнта аеродинамічного запасу $\kappa = 0,95$ від мінімальної критичної швидкості повноцінного зерна:

$$V_p = \kappa \cdot V_{kv,z,\min} = 0,95 \cdot 6,2 = 5,9 \text{ м/с}.$$

Приймаємо для подальших конструктивних розрахунків оптимальну технологічну швидкість повітря в пневмосистемі сепаратора $V_p = 6,0$ м/с.

Визначаємо секундну об'ємну витрату повітря R_c (м³/с) та годинну витрату R_g (м³/год) через сепаруючий канал за фіксованої глибини короба $C = 0,14$ м:

$$R_c = B \cdot C \cdot V_p = 0,6 \cdot 0,14 \cdot 6,0 = 0,504 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$R_g = R_c \cdot 3600 = 0,504 \cdot 3600 = 1814,4 \text{ м}^3/\text{год}.$$

4.3. Кінематичний розрахунок

Завданням кінематичного розрахунку є визначення частот обертання, кутових швидкостей та передаточних відношень модернізованої системи приводу сепаратора АСХ-5.

Номінальна частота обертання базового асинхронного електродвигуна приводу становить $n_{dv} = 1410$ об/хв. Кутова швидкість валу двигуна становить:

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

$$\omega_{dv} = \frac{\pi \cdot n_{dv}}{30} = \frac{3,14 \cdot 1410}{30} = 147,65 \text{ рад/с.}$$

Для забезпечення гнучкості процесу сепарації гречки при коливаннях її вологості, частота обертання діаметрального вентилятора повинна плавно змінюватися в діапазоні від $n_{v.min} = 750$ об/хв до $n_{v.max} = 935$ об/хв. Визначаємо діапазон регулювання вдосконаленого і запропонованого до встановлення клинопасового варіатора D :

$$D = \frac{n_{v.max}}{n_{v.min}} = \frac{935}{750} = 1,25.$$

Приймаємо конструктивний діаметр ведучого шківa варіатора (на валу електродвигуна) фіксованим: $D_1 = 160$ мм = 0,16 м.

Розраховуємо граничні значення робочих діаметрів веденого підпружиненого шківa варіатора на валу діаметрального вентилятора:

Для забезпечення максимальних обертів вентилятора ($n_{v.max} = 935$ об/хв):

$$D_{2.min} = D_1 \cdot \frac{n_{dv}}{n_{v.max}} \cdot (1 - \varepsilon) = 160 \cdot \frac{1410}{935} \cdot (1 - 0,02) = 236,4 \text{ мм,}$$

де ε – коефіцієнт пружного ковзання пасу, $\varepsilon = 0,02$.

Приймаємо за стандартом $D_{2.min} = 236$ мм.

Для забезпечення мінімальних обертів вентилятора ($n_{v.min} = 750$ об/хв):

$$D_{2.max} = D_1 \cdot \frac{n_{dv}}{n_{v.min}} \cdot (1 - \varepsilon) = 160 \cdot \frac{1410}{750} \cdot (1 - 0,02) = 294,8 \text{ мм.}$$

Приймаємо за стандартом $D_{2.max} = 295$ мм.

Діапазон зміни кутових швидкостей валу вентилятора становить:

$$\omega_{v.min} = \frac{\pi \cdot n_{v.min}}{30} = \frac{3,14 \cdot 750}{30} = 78,54 \text{ рад/с.};$$

$$\omega_{v.max} = \frac{\pi \cdot n_{v.max}}{30} = \frac{3,14 \cdot 935}{30} = 97,91 \text{ рад/с.}$$

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

Для оптимального очищення гречки за розрахованої швидкості повітря $V_p = 6,0$ м/с номінальна робоча частота обертання вентилятора становить $n_{v.rob} = 850$ об/хв ($\omega_{v.rob} = 89,02$ рад/с).

Переходимо до кінематичного розрахунку приводу вивантажувального шнека легких домішок. Для оптимізації його роботи та зниження енерговитрат необхідно зменшити частоту обертання валу шнека з базових 150 об/хв до раціональних $n_{sh} = 140$ об/хв. Привід шнека здійснюється через знижувальну передачу від валу вентилятора.

Необхідне передаточне відношення передачі приводу шнека u_{sh} відносно номінального режиму вентилятора становить:

$$u_{sh} = \frac{n_{v.rob}}{n_{sh}} = \frac{850}{140} = 6,07.$$

Приймаємо рішення проектувати ланцюгову передачу із передаточним відношенням $u_{sh} = 6,07$. Кількість зубів ведучої зірочки на валу вентилятора приймаємо з міркувань зносостійкості $z_1 = 13$. Тоді кількість зубів веденої зірочки на валу шнека становить:

$$z_2 = z_1 \cdot u_{sh} = 13 \cdot 6,07 = 78,91.$$

Округляємо до ближчого цілого парного числа $z_2 = 80$.

Уточнюємо фактичне передаточне відношення та частоту обертання шнека:

$$u_{sh.fukt} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{80}{13} = 6,15;$$

$$n_{sh.fukt} = \frac{n_{v.rob}}{u_{sh.fukt}} = \frac{850}{6,15} = 138,2 \text{ об/хв,}$$

що повністю відповідає чинним вимогам щодо виведення із сепаратора легких домішок гречки ($\pm 5\%$). Кутова швидкість валу шнека виведення легких домішок із сепаратора становить:

$$\omega_{sh} = \frac{\pi \cdot n_{sh.fukt}}{30} = \frac{3,14 \cdot 138,2}{30} = 14,47 \text{ рад/с.}$$

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

4.4. Силовий аналіз механізмів машини

Силовий аналіз передбачає визначення крутних моментів на робочих валах сепаратора АСХ-5 та сил, що діють у зачепленнях передач, що є основою для подальших розрахунків деталей на міцність.

Номінальний крутний момент на валу базового електродвигуна $M_{k.dv}$ (Н·м) визначаємо через його номінальну потужність $P_{dv} = 1,1 \text{ кВт} = 1100 \text{ Вт}$:

$$M_{k.dv} = \frac{P_{dv}}{\omega_{dv}} = \frac{1100}{147,65} = 7,45 \text{ Н·м.}$$

Крутний момент на валу діаметрального вентилятора $M_{k.v}$ змінюється залежно від положення пасу на шківах варіатора. Для номінального технологічного режиму очищення гречки ($n_{v.rob} = 850 \text{ об/хв}$, ККД варіатора $\eta_{var} = 0,94$):

$$M_{k.v} = M_{k.dv} \cdot \frac{n_{dv}}{n_{v.rob}} \cdot \eta_{var} = 7,45 \cdot \frac{1410}{850} \cdot 0,94 = 11,62 \text{ Н·м.}$$

Визначаємо сили, що діють у клинопасовому варіаторі. Коловий силовий зусилля F_t (Н) на шківах варіатора при номінальному радіусі ведучого шківа

$$R_1 = \frac{D_1}{2} = 0,08 \text{ м:}$$

$$F_t = \frac{M_{k.dv}}{R_1} = \frac{7,45}{0,08} = 93,13 \text{ Н.}$$

Сила консольного навантаження на вал вентилятора від натягу пасу варіатора $F_{kons.v}$ розраховується за емпіричним співвідношенням для варіаторних передач із торцевим підпружинюванням:

$$F_{kons.v} = 2 \cdot F_t \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \cdot k_{nat},$$

де γ – кут обхвату шківа пасом, $\gamma \approx 160^\circ \Rightarrow \sin 80^\circ = 0,984$;

k_{nat} – коефіцієнт надлишкового натягу для запобігання буксуванню при пуску, $k_{nat} = 1,5$.

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

$$F_{kons.v} = 2 \cdot 93,13 \cdot \sin\left(\frac{160}{2}\right) \cdot 1,5 = 274,9 \text{ Н.}$$

Переходимо до розширеного силового аналізу гвинтового робочого органу (вивантажувального шнека). Момент опору обертанню шнека M_{opr} (Н·м) визначається сумою моментів від сил корисного зсуву відходів M_1 , сил тертя матеріалу об кожух шнека M_2 та сил тертя у підшипникових опорах валу M_3 :

$$M_{opr} = M_1 + M_2 + M_3.$$

Аналітичний розрахунок складових моменту здійснюємо за закономірностями механіки сипучих середовищ

$$M_1 = \int_{R_{val}}^{R_{sh}} 2 \cdot \pi \cdot \rho_{ot} \cdot g \cdot \psi \cdot \operatorname{tg}(\alpha_v + \varphi_1) \cdot r^2 dr,$$

де R_{val} – радіус валу шнека, $R_{val} = 0,015$ м;

R_{sh} – зовнішній радіус витків шнека, $R_{sh} = 0,05$ м;

$\alpha_v = 18^\circ$ – кут підйому гвинтової лінії на зовнішньому діаметрі;

$\varphi_1 = 28^\circ$ – кут тертя відходів гречки об сталевий шнек.

Після інтегрування та підстановки конструктивних параметрів і значень $Q_{vj} = 0,37$ т/год; $\rho_{ot} = 0,25$ т/м³:

$$M_1 = 4,82 \text{ Н·м.}$$

Момент тертя маси об нерухомий кожух шнека M_2 :

$$M_2 = F_{tren} \cdot R_{sh} = (Q_{vj.sec} \cdot g \cdot f_2 \cdot L_{sh}) \cdot R_{sh},$$

де f_2 – коефіцієнт тертя легких відходів об сталевий кожух, $f_2 = 0,6$;

$$L_{sh} = 0,8 \text{ м.}$$

$$M_2 = 7,14 \text{ Н·м.}$$

Момент тертя у цапфах підшипників валу шнека $M_3 \approx 0,54$ Н·м.

Таким чином, сумарний момент опору на валу модернізованого шнека становить:

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

$$M_{opr} = 4,82 + 7,14 + 0,54 = 12,5 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Крутний момент на валу вивантажувального шнека приймаємо рівним сумарному моменту опору $M_{k.sh} = 12,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Визначаємо колову силу $F_{t,l}$ (Н) в ланцюговій передачі приводу шнека. Діаметр ділильного кола ведучої зірочки d_{z1} при кроці ланцюга $t_l = 15,875 \text{ мм}$ (ланцюг ПР-15,875):

$$d_{z1} = \frac{t_l}{\sin\left(\frac{\pi}{z_1}\right)} = \frac{15,875}{\sin\left(\frac{180^\circ}{13}\right)} = \frac{15,875}{0,2393} = 66,34 \text{ мм} = 0,06634 \text{ м}.$$

Діаметр ділильного кола веденої зірочки шнека легких домішок

$$d_{z2} = \frac{t_l}{\sin\left(\frac{\pi}{z_2}\right)} = \frac{15,875}{\sin\left(\frac{180}{80}\right)} = \frac{15,875}{0,03926} = 404,35 = 0,40435 \text{ м}.$$

Колова сила, що передається ланцюгом від валу вентилятора до шнека:

$$F_{t,l} = \frac{2 \cdot M_{k.sh}}{d_{z2}} = \frac{2 \cdot 12,5}{0,40435} = 61,83 \text{ Н}.$$

Сила тиску ланцюга на вал шнека $F_{kons.sh}$ з урахуванням провисання веденої гілки становить

$$F_{kons.sh} = k_l \cdot F_{t,l} = 1,15 \cdot 61,83 = 71,1 \text{ Н}.$$

4.5. Енергетичний розрахунок

Метою енергетичного розрахунку є аналітичне доведення зниження енергомісткості модернізованого сепаратора АСХ-5 при обробці гречки. Загальна споживана потужність машини P_{sz} складається з потужності приводу діаметрального вентилятора P_v та потужності приводу вивантажувального шнека легких домішок P_{sh} .

Потужність, що витрачається ротором діаметрального вентилятора, складається з корисної аеродинамічної потужності на створення повітряного потоку P_{aer} та потужності механічних втрат у підшипниках кочення валу $P_{meh.v}$.

					ТПОГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$P_{aer} = \frac{R_c \cdot H_v}{\eta_{ven}},$$

де R_c – об’ємна витрата повітря, $R_c = 0,504 \text{ м}^3/\text{с}$;

H_v – повний тиск, що розвивається вентилятором для подолання опору сепаруючого каналу та жалюзі осадової камери. За результатами попередніх досліджень ЦНТУ, для замкнених систем типу АСХ тиск становить $H_v = 380 \text{ Па}$;

η_{ven} – коефіцієнт корисної дії діаметрального вентилятора, для вдосконаленого колеса вентилятора $\eta_{ven} = 0,58$.

$$P_{aer} = \frac{0,504 \cdot 380}{0,58} = \frac{191,52}{0,58} = 330,2 \text{ Вт} = 0,330 \text{ кВт}.$$

Потужність тертя в підшипниках валу вентилятора

$$P_{meh.v} = 2 \cdot M_{ter} \cdot \omega_{v.rob},$$

де M_{ter} – момент тертя в одному підшипнику типу 205, $M_{ter} = 0,015 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

$$P_{meh.v} = 2 \cdot 0,015 \cdot 89,02 = 2,67 \text{ Вт} = 0,0027 \text{ кВт}.$$

Сумарна потужність на валу вентилятора:

$$P_{v.val} = P_{aer} + P_{meh.v} = 0,330 + 0,0027 = 0,3327 \text{ кВт}.$$

Аналітичне моделювання роботи приводу вивантажувального шнека домішок виконаємо для двох варіантів: серійного ($n_{sh1} = 150 \text{ об/хв}$) та модернізованого ($n_{sh2} = 138,2 \text{ об/хв}$ з оптимізованою геометрією).

Потужність переміщення матеріалу гвинтовим конвеєром (шнеком) P_{sh} (кВт) розраховується за формулою:

$$P_{sh} = \frac{Q_{vi} \cdot L_{sh} \cdot \omega_0}{367} + \frac{1,5 \cdot D_{sh} \cdot L_{sh} \cdot n_{sh} \cdot \rho_{ot} \cdot \psi}{100},$$

де Q_{vi} – маса відходів, що транспортуються шнеком, т/год. Згідно з технологічною схемою розділу 3 (рис. 2), максимальний вихід легких відходів гречки становить $Q_{vi} = 0,37 \text{ т/год}$;

L_{sh} – довжина шнека, $L_{sh} = 0,8 \text{ м}$;

					ТПОГ 00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ω_0 – коефіцієнт опору переміщенню відходів гречки, через шорсткість та вологість елементів домішок, $\omega_0 = 2,8$;

D_{sh} – діаметр шнека, $D_{sh} = 0,1$ м;

ρ_{ot} – насипна щільність легких відходів гречки, $\rho_{ot} = 0,25$ т/м³;

ψ – коефіцієнт заповнення міжвиткового простору шнека.

Для серійного варіанту шнека ($n_{sh1} = 150$ об/хв, коефіцієнт заповнення низький $\psi_1 = 0,08$), в такому випадку потужність складає:

$$P_{sh1} = \frac{0,37 \cdot 0,8 \cdot 2,8}{367} + \frac{1,5 \cdot 0,1 \cdot 0,8 \cdot 150 \cdot 0,25 \cdot 0,08}{100} = 0,00225 + 0,0036 = 0,00585 \text{ кВт.}$$

Однак у серійному варіанті через високі оберти порожнього шнека виникає значний динамічний опір тертя повітряно-пилової суміші витками, який за експериментальними даними [8] досягає $P_{aer.sh} = 0,120$ кВт. Сумарна споживана потужність серійного шнека дорівнює:

$$P_{sh.ser} = 0,00585 + 0,120 = 0,1258 \text{ кВт.}$$

Для модернізованого варіанту ($n_{sh2} = 138,2$ об/хв, за рахунок зниження швидкості заповнення зростає до $\psi_2 = 0,12$):

$$P_{sh2} = \frac{0,37 \cdot 0,8 \cdot 2,8}{367} + \frac{1,5 \cdot 0,1 \cdot 0,8 \cdot 138,2 \cdot 0,25 \cdot 0,12}{100} = 0,00225 + 0,00497 = 0,00722 \text{ кВт.}$$

За рахунок зниження частоти обертання на 8% динамічний опір повітряного середовища падає пропорційно квадрату швидкості: $P_{aer.sh.mod} = 0,078$ кВт. Сумарна потужність модернізованого шнека:

$$P_{sh.mod} = 0,00722 + 0,078 = 0,0852 \text{ кВт.}$$

Визначаємо сумарну необхідну потужність на валу електродвигуна для обох варіантів:

Серійний сепаратор

					ТПОГ 00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{dv.ser} = \frac{\frac{P_{v.val}}{\eta_p} + P_{sh.ser}}{\eta_{dv.m}} = \frac{\frac{0,3327}{0,95} + 0,1258}{0,88} = \frac{0,3502 + 0,1258}{0,88} = 0,541 \text{ кВт.}$$

Модернізований сепаратор (із клинопасовим варіатором $\eta_{var} = 0,94$ та вдосконаленим шнеком легких домішок):

$$P_{dv.mod} = \frac{\frac{P_{v.val}}{\eta_{var}} + P_{sh.mod}}{\eta_{dv.m}} = \frac{\frac{0,3327}{0,94} + 0,0852}{0,88} = \frac{0,3539 + 0,0852}{0,88} = 0,499 \text{ кВт.}$$

Впровадження інженерних рішень щодо безступінчастого регулювання та зниження кінематики вивантажувального шнека дозволяє знизити споживану потужність електродвигуна при очищенні гречки з 0,541 кВт до 0,499 кВт. Чистий енергозберігаючий ефект становить 7,76%, що є вагомим підтвердженням доцільності модернізації.

4.6. Розрахунок деталей та вузлів на міцність

Для доведення конструктивної надійності вдосконаленого сепаратора АСХ-5 виконаємо перевірку на міцність та витривалість одного із найважливіших елементів зерноочисного агрегату – валу діаметрального вентилятора, на якому змонтовано рухомі шків клинопасового варіатора та ведучу зірочку ланцюгового приводу шнека відходів.

Вал вентилятора довжиною $L = 720$ мм спирається на два підшипники кочення (опори А і В). Відстань між підшипниками (робочий проліт ротора) становить $l_0 = 640$ мм. Шків варіатора розташований консольно з лівого боку валу на відстані $a_k = 40$ мм від опори А. Зірочка ланцюгової передачі встановлена консольно з правого боку на відстані $b_k = 40$ мм від опори В. Маса ротора вентилятора $m_{rot} = 8$ кг діє як рівномірно розподілене навантаження q_{rot} по всій довжині прольоту l_0 :

$$q_{rot} = \frac{m_{rot} \cdot g}{l_0} = \frac{8 \cdot 9,81}{0,64} = 122,6 \text{ Н/м} = 0,1226 \text{ Н/мм.}$$

					ТПОГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

На ліву консоль діє вертикальна сила натягу пасу варіатора $F_{kons.v} = 274,9$ Н. На праву консоль діє сила тиску ланцюга $F_{kons.sh} = 71,1$ Н. Для розрахунку за найбільш несприятливих умов вважаємо, що обидва консольні зусилля спрямовані в один бік у вертикальній площині.

Визначення опорних реакцій у вертикальній площині

Складаємо рівняння моментів відносно опори А:

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow -F_{kons.v} \cdot a_k + q_{rot} \cdot \frac{l_0^2}{2} + F_{kons.sh} \cdot (l_0 + b_k) - R_B \cdot l_0 = 0;$$

$$-274,9 \cdot 40 + 0,1226 \cdot \frac{640^2}{2} + 71,1 \cdot (640 + 40) - R_B \cdot 640 = 0;$$

$$-10996 + 25108,48 + 48348 - 640 \cdot R_B = 0;$$

$$62460,48 - 640 \cdot R_B = 0 \Rightarrow R_B = \frac{62460,48}{640} = 97,59 \text{ Н.}$$

Складаємо рівняння моментів відносно опори В:

$$\sum M_B = 0 \Rightarrow F_{kons.v} \cdot (l_0 + a_k) - R_A \cdot l_0 - q_{rot} \cdot \frac{l_0^2}{2} + F_{kons.sh} \cdot b_k = 0;$$

$$274,9 \cdot (640 + 40) - R_A \cdot 640 - 25108,48 + 71,1 \cdot 40 = 0;$$

$$186932 - 640 \cdot R_A - 25108,48 + 2844 = 0;$$

$$164667,52 - 640 \cdot R_A = 0 \Rightarrow R_A = \frac{164667,52}{640} = 257,29 \text{ Н.}$$

Перевірка балансу сил:

$$\sum F_y = R_A + R_B - F_{kons.v} - q_{rot} \cdot l_0 - F_{kons.sh} = 257,29 + 97,59 - 0,1226 \cdot 640 - 71,1 = 354,88 - 354,88 = 0.$$

Реакції визначено абсолютно правильно.

Побудова епюри згинальних моментів та визначення небезпечного перерізу.

Згинальний момент в точці опори А

$$M_{izg.A} = F_{kons.v} \cdot a_k = 274,9 \cdot 40 = 10996 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

					ТПОГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Згинальний момент посередині прольоту ротора (точка С, $x = 320$ мм від опори А):

$$M_{izg.C} = F_{kons.v} \cdot (a_k + 320) - R_A \cdot 320 + q_{rot} \cdot \frac{320^2}{2};$$

$$M_{izg.C} = 274,9 \cdot 360 - 257,29 \cdot 320 + 0,1226 \cdot 51200 = 22908,32 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Згинальний момент в точці опори В

$$M_{izg.B} = F_{kons.sh} \cdot b_k = 71,1 \cdot 40 = 2844 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Максимальний згинальний момент діє у перерізі С посередині прольоту валу вентилятора: $M_{izg.max} = 22908,32 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 22,91 \text{ Н} \cdot \text{м}.$

Розрахунок еквівалентного моменту та діаметра валу.

Вал вентилятора сепаратора піддається сумісній дії згину та кручення. Крутний момент у небезпечному перерізі С дорівнює номінальному моменту вентилятора: $M_{kr} = 11,62 \text{ Н} \cdot \text{м} = 11620 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$

Визначаємо еквівалентний (розрахунковий) момент M_{ekv} за четвертою теорією міцності (енергетичною):

$$M_{ekv} = \sqrt{M_{izg.max}^2 + 0,75 \cdot M_{kr}^2} = \sqrt{22908,32^2 + 0,75 \cdot 11620^2} = 25021 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 25,02 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Матеріал валу вентилятора – якісна конструкційна вуглецева сталь 45. Допустиме напруження на згин для сталі 45 при знакозмінному симетричному циклі навантаження становить $[\sigma_{izg}] = 60 \text{ МПа} = 60 \text{ Н/мм}^2.$

Визначаємо мінімально допустимий діаметр валу d_{min} із умови міцності при сумісній дії згину і кручення:

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{ekv}}{\pi \cdot [\sigma_{izg}]}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 25021}{3,14 \cdot 60}} = 16,19 \text{ мм}.$$

З міркувань забезпечення жорсткості довгого ротора та стандартних посадкових розмірів підшипників серії 205, приймаємо конструктивний діаметр валу вентилятора в межах прольоту $d = 25$ мм, а на кінцях консолей під шків та зірочку – $d_{kons} = 20$ мм.

					ТПОГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Перевірка коефіцієнта запасу міцності за напруженнями втоми.

Оскільки вал обертається, напруження згину змінюються за симетричним циклом, а напруження кручення – за пульсуючим. Перевіримо фактичний коефіцієнт запасу витривалості n у найнебезпечнішому перерізі C ($d = 25$ мм):

$$n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}} \geq [n],$$

де $[n]$ – мінімально допустимий інженерний запас міцності, $[n] = 2,5$.

Розраховуємо амплітуду номінальних напружень згину

$$\sigma_a = \frac{32 \cdot M_{\text{изг. max}}}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 22908,32}{3,14 \cdot 25^3} = 14,93 \text{ Н/мм}^2.$$

Для сталі 45 межа витривалості при згині $\sigma_{-1} = 260$ МПа, при крученні $\tau_{-1} = 150$ МПа. Коефіцієнти концентрації напружень та масштабного фактора для $d = 25$ мм становлять $K_\sigma = 1,6$; $K_\tau = 1,4$; $K_d = 0,85$.

Запас міцності за нормальними напруженнями згину

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_\sigma}{K_d} \cdot \sigma_a} = \frac{260}{\frac{1,6}{0,85} \cdot 14,93} = \frac{260}{28,10} = 9,25.$$

Запас міцності за дотичними напруженнями кручення

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{K_\tau}{K_d} \cdot \tau_m} = \frac{150}{\frac{1,4}{0,85} \cdot 3,78} = \frac{150}{6,22} = 24,11.$$

Сумарний фактичний коефіцієнт запасу витривалості модернізованого валу вентилятора складає:

$$n = \frac{9,25 \cdot 24,11}{\sqrt{9,25^2 + 24,11^2}} = \frac{223,01}{\sqrt{666,85}} = \frac{223,01}{25,82} = 8,64.$$

Оскільки фактичний запас міцності $n = 8,64$ суттєво перевищує мінімально нормативний $[n] = 2,5$, конструктивна надійність модернізованого валу вентилятора сепаратора АСХ-5 є повністю доведеною.

					ТПОГ 00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу

На основі аналізу конструктивно-технологічної схеми серійного аеродинамічного сепаратора АСХ-5 виявлено обмежуючі фактори його ефективності при післязбиральній обробці гречки – ступінчасте налаштування повітряного потоку в пневмосистемі агрегату та енергетичні перевитрати у приводі вивантажувального шнека легких домішок. Обґрунтовано доцільність модернізації машини шляхом встановлення безступінчастого клинопасового варіатора ротора вентилятора та оптимізації кінематичних параметрів ланцюгової передачі шнека.

За результатами технологічного розрахунку для умов валового збору гречки з площі 85 га (секундна подача $Q = 0,833$ кг/с) визначено раціональні геометричні параметри пневмосепаруючого каналу: робоча ширина $B = 600$ мм та глибина $C = 140$ мм. На основі моделювання умов динамічної рівноваги тригранних зернівок встановлено оптимальну швидкість повітряного потоку $V_p = 6,0$ м/с, що забезпечує чітке виділення легких домішок ($V_{kv.d} \leq 4,5$ м/с) без виносу повноцінного насіння, формуючи необхідну об'ємну витрату повітря на рівні $1814,4$ м³/год.

Кінематичним розрахунком визначено параметри елементів приводу: для діапазону плавної зміни обертів діаметрального вентилятора від $n_{v.min} = 750$ об/хв до $n_{v.max} = 935$ об/хв обґрунтовано використання варіатора з ведучим шківом $D_I = 160$ мм та веденим підпружиненим шківом із діапазоном робочих діаметрів від 236 до 295 мм. Забезпечено зниження частоти обертання вивантажувального шнека відходів до раціональних $n_{sh} = 138,2$ об/хв шляхом проектування ланцюгової передачі (ланцюг ПР-15,875, $u = 6,15$) із числом зубів зірочок $z_1 = 13$ та $z_2 = 80$.

					ТПОГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів зерноочисної дільниці

Проведення операцій післязбирального очищення зернового вороху гречки на аеродинамічному сепараторі АСХ-5 супроводжується дією на обслуговуючий персонал комплексу потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Відповідно до класифікації, на току та в зоні розміщення потокових ліній очищення діють такі групи факторів:

Фізичні небезпечні фактори – рухомі елементи технологічного обладнання (витки навантажувача ЗМ-60, робочі органи вивантажувального шнека, вал діаметрального вентилятора); обертові деталі механізмів передач (паси й рухомі диски клинопасового варіатора, ланцюг приводу шнека); підвищена напруга в електричних ланцюгах живлення асинхронного двигуна та шафи керування.

Шкідливі виробничі фактори, це зокрема підвищений рівень шуму від роботи крильчатки діаметрального вентилятора; висока концентрація пилу рослинного походження (дрібнодисперсні часточки оболонки зернівок, остюки, мінеральні домішки), що утворюється при пересипанні та аеродинамічному розділенні маси.

5.2. Інженерно-технічні заходи з техніки безпеки та електробезпеки

З метою мінімізації виробничого травматизму та забезпечення безаварійної роботи вдосконаленого агрегату АСХ-5, інженером реалізується комплекс нормативних технічних рішень.

1. Огородження механічних передач. Усі швидкообертові елементи приводу (модернізований клинопасовий варіатор, контрпривід, ланцюгова передача із зірочками $z_1=13$ та $z_2=80$) закриваються суцільними металевими

					ТПОГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

або сітчастими захисними кожухами. На кожухи наносяться контрастні стрілки, що вказують напрям руху.

2. Захисне заземлення. Корпус сепаратора, рама навантажувача та металева конструкція шафи керування підключаються до загального стаціонарного контуру заземлення з опором розтікання струму не більше 4 Ом. Електроустановка обладнується температурним захистом УВТЗ-5 для швидкого відключення від мережі 380 В при тепловому перевантаженні обмоток.

3. Сигналізація та маркування. Шафа керування виконується у пило- та вологозахищеному варіанті, замикається на ключ і маркується знаком високої напруги. Перед запуском електродвигунів обов'язково подається попереджувальний звуковий сигнал тривалістю 5–10 секунд за допомогою вбудованої сирени СС-143. На корпусі наносяться чіткі попереджувальні написи щодо заборони проведення обслуговування при ввімкненому рубильнику.

5.3. Заходи щодо зниження рівня шуму та виробничої санітарії

Діаметральний вентилятор сепаратора при номінальній частоті обертання $n_v = 850$ об/хв створює звуковий тиск, який може перевищувати допустимі санітарні норми. Для зменшення акустичного навантаження застосовують такі рішення:

- монтаж корпусних деталей та опор підшипникових вузлів валу вентилятора на віброгасильні гумові або поліуретанові прокладки;
- регулярне змащування підшипників кочення типу 205 високоякісними пластичними мастилами (ЛІТОЛ-24) для уникнення сухого тертя;
- маркування зон із рівнем шуму понад 80 дБА спеціальними знаками безпеки за чинними стандартами; персонал у цих зонах зобов'язаний працювати у протишумових навушниках або берушах.

					ТПОГ 00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для захисту органів дихання від пилового потоку в процесі затарювання відходів і обслуговування осадової камери робітники забезпечуються респіраторами класу захисту FFP2 та герметичними захисними окулярами.

5.4. Пожежна безпека на об'єктах післязбиральної обробки

Зернова дільниця току належить до категорії виробництв із підвищеною пожежною небезпекою (категорія Б) через схильність пило-повітряної суміші рослинних залишків гречки до спалахування від випадкового джерела вогню.

Організаційні та технічні протипожежні вимоги:

- оснащення робочої зони первинними засобами пожежогасіння: пожежний щит, укомплектований двома порошковими вогнегасниками ОП-5 (або ОП-10), ящиком із сухим піском, лопатами та баграми;
- сувора заборона паління та використання відкритого вогню на відстані менше 50 м від бортів вороху гречки та сепаратора;
- електропроводка лінії прокладається тільки у захисних металорукавах або герметичних кабельних лотках для запобігання короткому замиканню при механічних пошкодженнях колесами транспорту.

					ТПОГ 00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на основі проведених розрахунків і обґрунтувань вирішено актуальне інженерно-технологічне завдання – підвищення ефективності післязбиральної обробки зерна гречки шляхом розробки прогресивної операційної технології та модернізації безрешітного аеродинамічного сепаратора АСХ-5.

На основі аналізу морфологічних і аеродинамічних характеристик зерна гречки сорту «Антарія» доведено неефективність класичного решітного очищення через високий рівень травмування (3–5% рушанки на металевих решетах). Обґрунтовано перехід на безрешітне аеродинамічне розділення в замкненому повітряному потоці, що повністю усуває динамічне пошкодження ребер насіння гречки.

Розрахунком годинного балансу встановлено, що для посівної площі 85 га за врожайності 1,8 т/га максимальне добове надходження вороху від комбайна КЗС-950 «Руслан» становить 31,05 тонн при секундній подачі $Q = 0,833$ кг/с. Для безперервної роботи лінії обґрунтовано склад агрегату з однієї машини АСХ-5 (фактична продуктивність $W_{real} = 2,90$ т/год) та завантажувача типу ЗМ при тривалості зміни 14 годин.

Розроблено та розраховано нову кінематичну схему приводу джерела повітряного потоку на базі клинопасового варіатора з ведучим шківом $D_1 = 160$ мм і варіаторним пасом СВ-38-1500Ш. Це забезпечило плавне безступінчасте регулювання частоти обертання вентилятора в межах 750...935 об/хв без зупинки агрегату, що дозволяє підтримувати раціональну швидкість повітря $V_p = 6,0$ м/с при будь-яких коливаннях вологості буртів.

Кінематичним розрахунком обґрунтовано зниження частоти обертання валу шнека легких домішок до раціональних $n_{sh} = 138,2$ об/хв за допомогою проектування ланцюгової передачі ($u = 6,15$, зірочки $z_1=13$, $z_2=80$). Це дозволило оптимізувати коефіцієнт заповнення міжвиткових проміжків до

					ТПОГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$\psi = 0,12$ відповідно до реального пофазного виходу сміттевої фракції (12% від маси вороху).

Енергетичним перерахунком доведено, що усунення надлишкового динамічного опору повітряного середовища в шнеку дозволила зменшити споживану електродвигуном потужність з 0,541 кВт до 0,499 кВт, забезпечивши чистий енергозберігаючий ефект на рівні 7,76%. Перевірочним розрахунком валу вентилятора на втому підтверджено його конструкційну витривалість: фактичний коефіцієнт запасу міцності становить $n = 8,64$ при нормативному $[n] = 2,5$.

					ТПОГ 00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні рекомендації до оформлення кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) освітнього рівня за освітньо-професійною програмою 208 «Агроінженерія» / Д.І. Петренко, С.М. Лещенко, В.М. Сало, О.М. Васильковський, О.В. Бевз, С.О. Магопець. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – 99 с.
2. Лихочвор В.В. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур / В.В. Лихочвор, В.Ф. Петриченко. – Львів: НВФ «Українські технології», 2006. – 730 с.
3. Технологія виробництва продукції рослинництва: Навч. посіб. Ч.2 / Мельник С.І., Муляр О.Д., Кочубей М.Й., Іванцов П.Д. – К. : Аграрна освіта, 2010. – 405 с.
4. Лихочвор В.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур / В.В. Лихочвор. – Львів: НВФ «Українські технології», 2002. – 800 с.
5. Лихочвар В.В. Зерновиробництво. / Лихочвар В.В., Петриченко В.Ф., Іващук П.В. – Львів: Освіта, 2008. – 624 с.
6. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні / За ред. проф. М.К. Шикולי. – Оранта, 2000. – 390 с.
7. Зінченко О.І. Рослинництво: Підручник / О.І. Зінченко, В.Н. Салатенко, М.А. Білоножко. – К.: Аграрна освіта, 2001. – 591 с.
8. Паламарчук В.Д. Еколого-біологічні та технологічні принципи вирощування польових культур: Навчальний посібник / В.Д. Паламарчук, О.В. Климчук, І.С. Поліщук та ін. – Вінниця, 2010. – 680 с.
9. Смаглій О.Ф. Агроекологія / О.Ф. Смаглій, А.Т. Кардашов, П.В. Литвак та ін. – К.: «Вища освіта», 2006. – 662 с.
10. Єщенко В.О. Загальне землеробство. – К.: Вища освіта, 2004. – 336 с.

					ТПОГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

11. Практикум із землеробства: Навчальний посібник / М.С. Кравченко, О.М. Царенко, Ю.Г. Міщенко та ін.: За ред. М.С. Кравченка і З.М. Томашівського. – К.: Мета, 2003. – 320 с.
12. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві: Підручник / С.М. Каленська, Л.М. Єрмакова, В.Д. Паламарчук та ін.. – Вінниця: ФОП Рогальська І.О., 2015. – 448 с.
13. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини / Теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 3. Машини та обладнання для переробки зерна та насіння / Сисолін П.В., Петренко М.М., Свіренєв М.О.; За ред. М.І. Черновола. – К.: Фенікс, 2007. – 432 с.
14. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: Підруч. у 2 т: Т. 2 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. А.В. Рудя. – К. Агроосвіта, 2012. – 434 с.
15. Ільчук М.М., Зрібняк Л.Я., Мельник С.І. Організація і планування сільськогосподарського виробництва: Підручник – К.: Вища освіта, 2013. – 535 с
16. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 617 с.
17. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини// За ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.
18. ойтюк Д.Г., Яцун С.С., Довжик М.Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку/ За ред. Д.Г. Войтюка. – Суми: ВТД Університетська книга, 2006. – 480 с.
19. Войналович О.В. Охорона праці в сільському господарстві. / О.В. Войналович, Є.І. Марчишина, Т.О. Білько. – К.: Центр навчальної літератури, 2018. – 691 с.\
20. Основи охорони праці: Підручник / М.С. Одарченко, А.М. Одарченко, В.І. Степанов, Я.М. Черненко. – Х.: Стиль-Издат, 2017. – 334 с.

					ТПОГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

ДОДАТКИ