

Центральноукраїнський національний технічний університет

ЦЗДО

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ ____ ” _____ 2025 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:**

«Механізація вирощування гороху з удосконаленням зерноочисного
комплексу ЗАВ-20»

Виконав здобувач вищої освіти ІІ
курсу,

групи АІ-24МЗ

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____ Цирфа Олександр

Миколайович

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Олександр НЕСТЕРЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Тимофій РУДЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: АГРОТЕХНІЧНИЙ

Кафедра: СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Рівень вищої освіти: МАГІСТР

Галузь знань: «СІЛЬСЬКЕ, ЛІСОВЕ, РИБНЕ ГОСПОДАРСТВО ТА
ВЕТЕРИНАРНА МЕДИЦИНА»

Освітньо-професійна програма: Н7 «АГРОІНЖЕНЕРІЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«___» _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА

Цирфи Олександра Миколайовича

1. Тема роботи: «**Механізація вирощування гороху з удосконаленням зерноочисного комплексу ЗАВ-20**»
2. Керівник роботи: Нестеренко О.В., канд. техн. наук, доцент
3. Строк подання студентом роботи до захисту: 26.12.2025 року
4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи: підвищення ефективності технології вирощування гороху шляхом вдосконалення післязбирального очищення та модернізації пневмосистеми повітряно-решітного модуля зерноочисної машини.
5. Перелік ілюстративного матеріалу: 1. Технологічна карта на вирощування гороху; 2. Огляд пневмосистем зерноочисних машин; 3. Сепаруючий блок; 4. Об'єкт досліджень; 5. Експериментальна установка. 6. Результати експериментальних досліджень. 7. Складальне креслення вузла та деталювання

АНОТАЦІЯ

Тема: «Механізація вирощування гороху з удосконаленням зерноочисного комплексу ЗАВ-20»

Ключові слова: пневмосепарація; насіння гороху; післязбиральне очищення;

В дипломній роботі вдосконалено технологію вирощування гороху шляхом підвищення ефективності післязбирального очищення та модернізації зерноочисного комплексу ЗАВ-20.

Проведений огляд пневмосистем сепараторів визначено їх переваги та недоліки та обґрунтовано напрямки підвищення ефективності їх роботи.

Експериментально обґрунтовані основні конструктивні параметри пневмосепараційного каналу з вертикальним розділювачем зерна, які дозволяють отримати високу ефективність виділення легких домішок при очищенні насіння гороху матеріалу.

На основі експериментальних досліджень розроблені креслення вузла та деталей пневмосистеми сепаратора.

ABSTRAKT

Topic: «Mechanization of pea cultivation with improvement of the ZAV-20 grain cleaning complex»

Key words: pneumatic separation; pea seeds; post-harvest cleaning;

In the thesis, the technology of growing peas was improved by increasing the efficiency of post-harvest cleaning and modernization of the grain cleaning complex ZAV.

A review of the pneumatic systems of separators was conducted, their advantages and disadvantages were determined, and directions for increasing the efficiency of their work were substantiated.

The main design parameters of the pneumatic separation channel with a vertical grain separator were experimentally substantiated, which allow for high efficiency of separation of light impurities when cleaning pea seeds from the material.

Based on experimental studies, drawings of the unit and parts of the pneumatic system of the separator were developed.

Зміст

1. Вступ.....	5
2. Стан технології післязбирального очищення гороху в господарстві та обґрунтування напрямку досліджень.....	6
3. Наукова частина	20
4. Практична реалізація результатів досліджень	39
5. Охорона праці.....	41
6. Загальні висновки.....	44
Список використаних джерел.....	45
Додатки	47

1. ВСТУП

В умовах сучасного розвитку агропромислового комплексу України особливої актуальності набуває підвищення ефективності виробництва зернобобових культур, серед яких важливе місце займає горох.

Ця культура є цінним джерелом рослинного білка, має значний попит на внутрішньому та зовнішньому ринках, а також відіграє важливу роль у формуванні сталих сівозмін завдяки здатності збагачувати ґрунт азотом. Водночас реалізація потенціалу врожайності гороху значною мірою залежить від рівня механізації технологічних процесів його вирощування та післязбиральної обробки [3].

Незважаючи на наявність різноманітних технічних засобів для механізованого вирощування гороху, практика показує, що окремі етапи технологічного процесу, зокрема очищення зерна після збирання, залишаються недостатньо ефективними. Зерно гороху характеризується підвищеною крихкістю, різноманітністю за розмірами та наявністю значної кількості домішок, що ускладнює процес його очищення на серійних зерноочисних комплексах. Недосконалість існуючих машин і технологічних схем призводить до втрат продукції, пошкодження зерна та зниження його посівних і товарних якостей [1, 2].

У зв'язку з цим виникає об'єктивна необхідність удосконалення зерноочисних комплексів з урахуванням фізико-механічних властивостей зерна гороху та умов їх експлуатації в господарствах різних форм власності .

Раціональне поєднання сучасних технічних рішень і вдосконалених робочих органів дозволяє підвищити якість очищення, зменшити енерговитрати та забезпечити стабільну роботу зерноочисного обладнання.

У зв'язку з цим метою даної магістерської роботи є обґрунтування шляхів удосконалення технології вирощування гороху та його післязбиральної обробки на основі комплексної механізації виробничих процесів, дотримання агротехнічних вимог і мінімізації енерго- та матеріальних витрат.

2. СТАН ТЕХНОЛОГІЇ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОГО ОЧИЩЕННЯ ГОРОХУ В ГОСПОДАРСТВІ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ

2.1. Аналіз технології вирощування гороху.

Серед зернобобових культур, які вирощуються сьогодні в Україні, горох посідає одне з провідних місць після сої, займаючи приблизно 30 % загальної площі під цими культурами [1]. Таке широке поширення пояснюється його високими показниками продуктивності, а також цінними харчовими та кормовими властивостями, що забезпечують попит як на внутрішньому ринку, так і для експорту [1].

Горох є універсальною культурою: його зерно використовується у виробництві продуктів харчування для людей, а також у кормових сумішах для тварин, що підвищує його економічну привабливість для сільськогосподарських підприємств [1, 2].

Середня врожайність гороху в Україні становить близько 24 ц/га, однак у господарствах із високим рівнем агротехніки та сучасним механічним забезпеченням цей показник може досягати 40–45 ц/га і навіть більше [3].

Досягнення таких результатів свідчить про значний потенціал вітчизняного агровиробництва та можливість подальшого зростання середньої врожайності культури за умови впровадження прогресивних технологій вирощування, удосконалення систем удобрення, контролю за шкідниками та хворобами, а також оптимізації механізованих операцій [1].

Таким чином, горох є не лише економічно вигідною, а й стратегічно важливою культурою для розвитку зернобобового сектора в Україні, що обґрунтовує необхідність наукових досліджень, спрямованих на підвищення його продуктивності та ефективності механізованого вирощування.

Місце гороху в сівозміні

Рациональне розміщення гороху в сівозміні є одним із ключових чинників формування стабільної врожайності та зниження фітосанітарного навантаження на посіви. Залежно від ґрунтово-кліматичної зони та спеціалізації господарства горох доцільно висівати після добре удобрених озимих зернових

культур, кукурудзи на зерно або силос, картоплі, льону-довгунця, а в регіонах із достатнім рівнем зволоження – після цукрових буряків [5]. Такі попередники забезпечують сприятливий агрофон, оптимальну структуру ґрунту та знижений рівень забур'яненості поля.

Не рекомендується розміщувати горох після інших зернобобових культур або поблизу їхніх посівів, оскільки вони мають спільний комплекс шкідників і збудників хвороб [5]. Часте повернення гороху на попереднє місце в сівозміні (раніше ніж через 4–5 років) призводить до явища так званої «горохової втоми», що проявляється у значному ураженні рослин кореневими гнилями, фузаріозом, пошкодженні нематодами, гороховою плодожеркою, бульбочковими довгоносиками та гороховим комариком [5]. Дотримання оптимального чергування культур у сівозміні є ефективним агротехнічним заходом профілактики цих негативних явищ.

Згідно з умовами завдання та з урахуванням агротехнічних вимог, попередником для гороху в даній роботі обрано озиму пшеницю, яка забезпечує сприятливі умови для формування врожаю культури.

Система удобрення при вирощуванні гороху.

Горох належить до сільськогосподарських культур із підвищеними вимогами до мінерального живлення, що обумовлює його чутливість до рівня забезпечення ґрунту основними елементами живлення. За даними наукових досліджень, для формування 1 т зерна зернобобових культур необхідна значна кількість поживних речовин, зокрема фосфору, калію та азоту [5, 6].

Важливою особливістю гороху є здатність ефективно використовувати поживні елементи, внесені під попередню культуру, у тому числі органічні й мінеральні добрива. Крім того, завдяки симбіотичним зв'язкам із бульбочковими азотфіксуючими бактеріями рослини гороху можуть забезпечувати до 70 % своєї потреби в азоті за рахунок біологічної фіксації атмосферного азоту, а також засвоювати важкодоступні форми поживних елементів із ґрунту [6].

Для умов центрального регіону України, з урахуванням середнього рівня родючості ґрунтів, у роботі прийнято норму мінеральних добрив $N_{30}P_{45}K_{60}$. За наявності можливості норму добрив доцільно коригувати на основі результатів агрохімічного аналізу ґрунту. Внесення мінеральних добрив рекомендується проводити восени під зяблевий обробіток ґрунту [5].

Органічні добрива безпосередньо під горох, як правило, не застосовують, оскільки вони сприяють надмірному розвитку вегетативної маси, що негативно впливає на формування генеративних органів і може ускладнювати процес збирання врожаю.

Обробіток ґрунту при вирощуванні гороху.

Система основного обробітку ґрунту під горох формується з урахуванням попередника, рівня забур'яненості поля та ґрунтових умов. Після стерньових попередників, зокрема озимої пшениці, за наявності однорічних бур'янів проводять одноразове дискування луцильниками типу ЛДГ-15 на глибину 6–8 см, після чого виконують зяблеву оранку плугами ПЛН-5-35 на глибину 20–22 см [6, 7].

У разі значного забур'янення поля дискування виконують двічі дисковими знаряддями ЛДГ-10А, ЛДГ-15А, ЛДГ-6000 (рис. 2.1) на глибину 10–12 см. На площах, засмічених коренепаростковими бур'янами, перше луцення здійснюють на глибину 6–8 см, а повторне – через 10–15 днів лемішними луцильниками на глибину 12–14 см, після чого проводять зяблеву оранку [6,7].



Рис. 2.1. Загальний вигляд луцильника ЛДГ-6000 (виробництво Dementia)

Після кукурудзи на зерно або силос ґрунт двічі обробляють важкими дисковими боронами у взаємно перпендикулярних напрямках на глибину 10–

12 см, а зяблеву оранку виконують на глибину 25–27 см [6, 7]. За умов низької забур'яненості допускається обмеження одним неглибоким луценням стерні.

Сучасні дослідження свідчать, що на чистих від бур'янів полях, особливо в зонах з ризиком водної та вітрової ерозії, традиційну оранку доцільно замінювати глибоким безполицевим обробітком чизельними знаряддями на глибину 30–60 см [6, 7]. Це потребує застосування відповідної ґрунтообробної техніки та ефективних гербіцидів і створює передумови для впровадження систем Mini-Till і No-Till.

Передпосівний обробіток ґрунту при вирощуванні гороху.

Передпосівний обробіток ґрунту проводять після досягнення ним фізичної стиглості. Обов'язковим агротехнічним заходом є ранньовесняне боронування, яке сприяє знищенню проростків бур'янів, зменшенню втрат вологи та вирівнюванню поверхні поля. Додатково застосовують волокуші або шлейф-борони для формування рівного посівного ложа.

За появи сходів бур'янів виконують культивуацію на глибину 10–12 см з одночасним боронуванням. За відсутності бур'янів проводять лише передпосівну культивуацію на глибину загортання насіння з вирівнюванням поверхні ґрунту.

Підготовка насіння до сівби та сівба насіння гороху.

Підготовка насіння гороху до сівби включає комплекс заходів, спрямованих на захист сходів і стимулювання початкового росту рослин. Основними операціями є протруювання насіння фунгіцидними препаратами та обробка бактеріальними препаратами з додаванням мікроелементів. За необхідності застосовують стимулятори росту, що підвищують енергію проростання та польову схожість насіння.

Сівбу гороху, як правило, здійснюють звичайним рядковим способом зерновими сівалками типу СЗ-3,6 (рис. 2.2) СЗП-3,6 та іншими. Такий спосіб забезпечує рівномірне розміщення насіння в ґрунті та зменшує ймовірність забивання сошників вологим ґрунтом.

Норма висіву залежить від зони вирощування, сорту та посівних якостей насіння. Для південного Степу України рекомендована норма становить 0,9–1,0 млн схожих зерен на 1 га, для Лісостепу – 1,3–1,4 млн, для Полісся – до 1,5 млн. Для низькорослих сортів норму висіву збільшують, а для високорослих – відповідно зменшують. За несприятливих умов сівби норму висіву підвищують на 10–15 % [6, 7].



Рис. 2.2. Сівалка СЗ-3,6 (виробник Dementia)

Глибина загортання насіння визначається типом ґрунту та умовами зволоження і в середньому становить 4–7 см, а за пересихання посівного шару може бути збільшена до 8–10 см.

Догляд за посівами насіння гороху.

Важливим елементом догляду за посівами гороху є післяпосівне коткування ґрунту, особливо за умов посушливої весни. Цей захід покращує контакт насіння з ґрунтом, сприяє підняттю вологи та забезпечує рівномірні сходи. Для коткування використовують гладкі або кільчасто-шпорові котки (рис. 2.3).

За відсутності гербіцидів до появи сходів проводять боронування для знищення бур'янів у фазі «білої ниточки». Після появи сходів боронування повторюють у фазі 3–4 листків [6, 7]. У разі подальшого забур'янення застосовують страхові гербіциди.



Рис. 2.3. Кільчато-шпоровий коток ККШ-6 («DEMETRA»)

Захист від шкідників і хвороб здійснюють шляхом обробки посівів інсектицидами та фунгіцидами, особливо в період формування генеративних органів.

Збирання гороху

Збирання гороху проводять у фазі повної стиглості за вологості зерна 13–14 %, коли рослини скидають листя, а насіння легко вимолочується з мінімальним рівнем пошкоджень. За нижчої вологості зростають втрати та травмування зерна [6, 7].

Збирання здійснюють зерновими комбайнами прямим комбайнуванням із переобладнанням жниварки для низького зрізу (4–6 см). Частоту обертів молотильного барабана встановлюють у межах 500–600 об./хв для зменшення дроблення насіння.

Післязбиральна обробка насіння гороху

Після збирання насіння гороху підлягає очищенню від домішок і, за необхідності, підсушуванню. Для цього застосовують зерноочисні комплекси та агрегати типу ЗАВ-20 (рис. 2.4), КЗС, а також окремі зерноочисні машини (ОВС-25, ОВП-20А, ОЗП-20, АСХ-5 тощо). Очищене зерно зберігають за вологості 14–15 % [6, 7].

На основі проведеного аналізу технологічних операцій у роботі розроблено технологічну карту вирощування гороху.

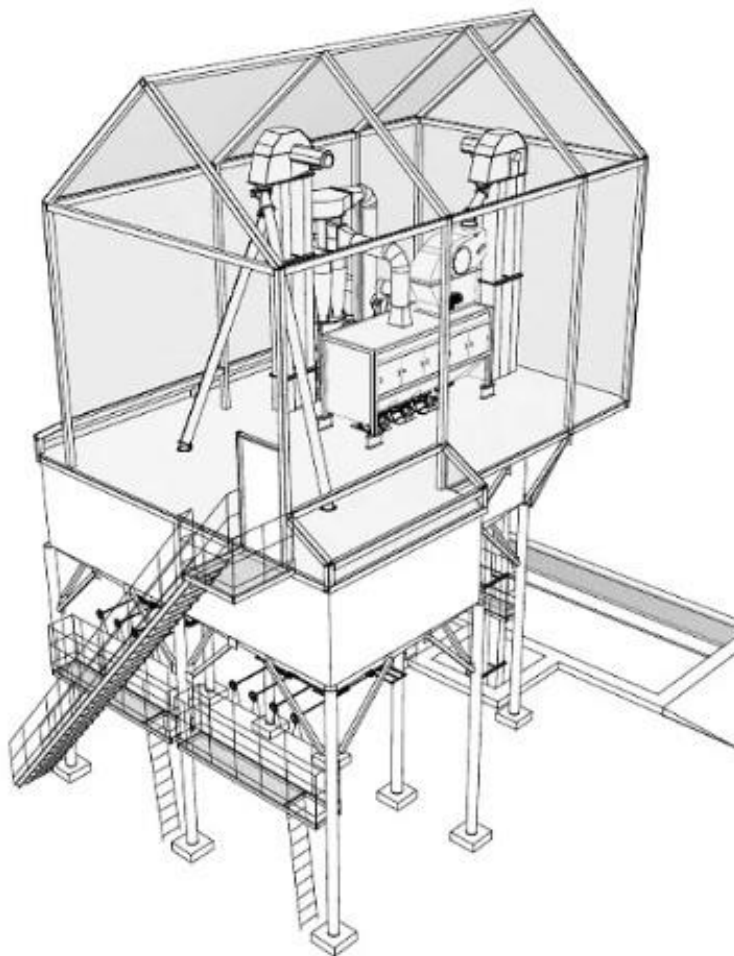


Рис. 2.4. Зерноочисний комплекс ЗАВ-20

Відповідно до методичних рекомендацій виконано технологічні розрахунки для кожної операції, а отримані результати узагальнено в технологічній карті, представлений у графічній частині магістерської роботи.

Розрахунок зерноочисного відділення

Зерноочисне відділення господарства, як і в багатьох інших агропідприємствах, організоване для роботи у дві зміни. Враховуючи розрахункові норми виконання робіт за зміну та ефективність роботи агрегату в дві зміни на день, весь зібраний врожай гороху можна очистити протягом 9 днів. Цей строк повністю відповідає нормативним вимогам для проведення

операцій попереднього очищення зерна та знаходиться в межах допустимого інтервалу 9–12 днів [6, 7].

На основі цих даних можна розрахувати необхідну кількість зерноочисних машин, які повинні бути задіяні на токах господарства для своєчасного очищення всього обсягу зібраного гороху.

2.2. Операційна технологія післязбирального очищення насіння гороху.

З метою підвищення результативності процесу вирощування гороху, поліпшення якісних показників зерна та забезпечення конкурентоспроможності сільськогосподарського підприємства розробляється технологічна карта вирощування і первинної доробки насіння гороху з використанням інтенсивної технології, яка наведена в таблиці 2.1. Запропонована технологічна карта охоплює весь комплекс агротехнічних і механізованих операцій, необхідних для отримання стабільних і високих урожаїв культури з мінімальними втратами продукції.

На підставі аналізу існуючих технологічних рішень та з урахуванням біологічних особливостей вирощування насіння гороху сформовано вдосконалену технологічну схему виробничого процесу, яка представлена на рисунку 2.1. Усі необхідні розрахунки параметрів технологічних операцій виконано відповідно до чинних методичних рекомендацій, що дозволяє забезпечити науково обґрунтований підхід до організації виробництва [8].

Окрему увагу в роботі приділено розробці та обґрунтуванню етапів післязбиральної обробки зерна на зерноочисному комплексі ЗАВ-20, що забезпечує ефективне очищення, підготовку та зберігання зерна з дотриманням установлених технологічних вимог.

Механізація технологічних операцій базової та удосконаленої
технології по вирощуванню гороху

№	Назва робіт	Базова технологія	Вдосконалена технологія
1	2	3	4
1	Лущення стерні	ЛДГ-10	ЛДГ-10
2	Оранка	ПЛН-5-35	ПЛН-5-35
3	Ранньовесняне боронування	МТЗ-80 +БЗСС-1	КУН-10
4	Культивація передпосівна поля	КПС-4	КПС-4
5	Протруювання насіння гороху	ПС-10	ПС-10
6	Навантаження насіння і добрив	ЗС-30	ЗС-30
7	Транспортування мінеральних добрив та посівного матеріалу	ГАЗ-56	ГАЗ-56
8	Культивація передпосівна	КПС-4	КПС-4
9	Посів з внесенням добрив	МТЗ-80+ СЗ-3,6А	МТЗ-80+ СЗ-3,6А
10	Прикочування посівів	ЗККШ-6	ЗККШ-6
11	Транспортування води та хімікатів	-	ГАЗ-56
12	Приготування робочого розчину	-	АПР "Темп"
13	Обприскування посівів гороху	-	ВЕКТОР-2000
14	Збирання гороху	Case 6140	Case 6140
15	Транспортування гороху	Камаз, ЗИЛ-130Б	Камаз, ЗИЛ-130Б
16	Попередня очищення гороху	ЗАВ-20	Повітряно- решітний блок МЗП-10
17	Первинне очищення насіння гороху	ЗАВ-20	Повітряно- решітний блок МЗП-10
18	Вторинне очищення насіння гороху	Повітряний сепаратор САД-5	Повітряний сепаратор САД-5

2.2.1. Розробка операційно-технологічної карти очищення насіння гороху

Для виконання операцій з очищення насіння гороху в роботі передбачено використання зерноочисного агрегату ЗАВ–20, обслуговування якого здійснюється одним оператором.

Згідно з технічною документацією, паспортна годинна продуктивність даного агрегату становить $Q_{год} = 20$ т/год, що дозволяє забезпечити необхідні темпи післязбиральної доробки насіння гороху в умовах господарства.

У базовому варіанті технології також передбачалося застосування зерноочисної машини ЗАВ-20 з аналогічною продуктивністю. Це свідчить про доцільність використання даного агрегату як перевіреного та надійного елемента технологічної лінії очищення, здатного працювати у двозмінному режимі без зниження якісних показників виконання операції.

2.2.2 Технологічний розрахунок потокової лінії очищення насіння гороху.

Для обґрунтування параметрів поточкових технологічних ліній зерноочисного агрегату першочергово визначають річний обсяг насіння гороху, що підлягає післязбиральній обробці в умовах господарства. [8, 12]:

$$M_p = Q_2 \cdot F_2,$$

де Q_2 -урожайність насіння гороху, ц/га;

F_2 - площа вирощування гороху ,га.

$$M_p = Q_2 \cdot F_2 = 25 \cdot 80 = 2000 \text{ ц}$$

Насіння гороху, яке надходить на післязбиральну доробку, характеризується певним рівнем вологості, що, як правило, відповідає гранично допустимим кондиціям. Це зумовлено особливостями погодних і кліматичних умов у період збирання культури. За таких обставин затримка з проведенням післязбиральної обробки може призвести до погіршення якості зерна та зростання його втрат унаслідок самозігрівання і розвитку мікрофлори.

Середню добову кількість насіння гороху, яке надходить на пункт очищення протягом одного робочого дня зернозбирального комбайна, визначають за відповідною розрахунковою формулою, що враховує показники врожайності, продуктивності техніки та тривалість її роботи:

$$G_{\text{доб}} = \frac{M_p}{T_{\text{кал}} \cdot K \cdot \lambda_r} \cdot \frac{100 - W_k}{100 - W_c},$$

де $T_{\text{кал}}$ – тривалість періоду збирання насіння гороху, діб;

k_3 – коефіцієнт застосування календарного часу збирання насіння гороху;

λ_2 – середній вміст насіння у зерновому матеріалі;

W_k, W_c – кондиційна і середня вологість насіння гороху ($W_k = 17\%$;

$W_c = 16\%$)

$$G_{\text{доб}} = \frac{2000}{8 \cdot 0,9 \cdot 0,84} \cdot \frac{100 - 17}{100 - 16} = 346 \text{ ц/доб}$$

Визначаємо розрахункове значення годинної продуктивності технологічної лінії:

$$Q_{p.z.} = \frac{G_{\text{доб}}}{10 \cdot t_d \cdot n},$$

де t_d - тривалість роботи агрегата за 1 зміну ($t_d = 7_{\text{год}}$);

n – кількість змін в добі ($n = 2$).

$$Q_{p.zod} = \frac{346}{10 \cdot 7 \cdot 2} = 2,47 \text{ т/год}.$$

Годинну продуктивність транспортного засобу ГАЗ - 56 визначають за формулою:

$$Q_z = \frac{G_{mp}}{t_{\text{цикл}}}$$

де G_{mp} – вантажопідйомність транспортного засобу, ($G_{mp} = 5\text{т}$);

$t_{\text{цикл}}$ - час продовження одного циклу, год ;

$$t_{\text{цикл}} = t_z + t_{\text{бв}} + t_{\text{зв}} + t_{\text{рв}},$$

де $t_{\text{зв}}, t_{\text{рв}}$ – час, який необхідний для завантаження й розвантаження тр. засобу, год ;

$t_{\text{бв}}, t_z$ – час руху транспортного засобу з вантажем і без вантажу, год;

$$t_{\text{бв}} = t_z = \frac{L}{v_{\text{бв}}},$$

$$t_{\text{об}} = t_{\text{зв}} = \frac{3}{30} = 0,1 \text{ год}$$

$$t_{\text{цикл}} = t_{\text{з}} + t_{\text{об}} + t_{\text{зв}} + t_{\text{рв}} = 0,086 + 0,11 + 0,12 + 0,084 = 0,374 \text{ год}$$

$$Q_{\text{д}} = \frac{G_{\text{мп}}}{t_{\text{ц}}} = \frac{5}{0,374} = 13,68$$

Розраховуємо потребу автомобілей ГАЗ

$$n_{\text{шт}} = \frac{Q_{\text{р.д}}}{Q_{\text{з}}} = \frac{16,84}{13,68} = 1,23 \text{ шт}$$

Прийmemo два автотранспортних засоби ГАЗ -56.

Попереднє очищення насіння гороху.

Зазначена технологічна операція здійснюється на зерноочисному комплексі ЗАВ-20, який розташований в одному з виробничих підрозділів господарства. Зібране зерно доставляється з поля до комплексу транспортними засобами, після чого підлягає первинному очищенню.

Після завершення очищення на ЗАВ-20 зернова маса переміщується на тік відповідного відділку, де виконується подальша післязбиральна обробка та підготовка до зберігання.

Для забезпечення безперервності виробничого процесу в роботі здійснюється розрахунок потокової технологічної лінії первинного очищення зерна. Розрахункову годинну продуктивність очищення зернової маси визначають з урахуванням поточного характеру збирання врожаю, що дозволяє узгодити пропускну здатність зерноочисного обладнання з фактичною продуктивністю зернозбиральної техніки та уникнути накопичення необробленого насіння гороху.

$$Q_{\text{р.з}} = \frac{G_{\text{б}}}{10 \cdot t_{\text{зм}} \cdot K},$$

$$Q_{\text{р.год}} = \frac{1368}{10 \cdot 7 \cdot 2} = 9,77 \text{ т/год.}$$

Розраховуємо потребу в кількості зерноочисних агрегатів ЗАВ-20:

$$n = \frac{346}{7 \cdot 0,78 \cdot 70} = 0,905 \text{ шт.}$$

Прийmemo 1 зерноочисний агрегат ЗАВ-20.

Відповідно до базового варіанту технології післязбиральної обробки насіння гороху зазначена операція виконується із застосуванням зерноочисної машини ЗАВ-20. Подача зернової маси до робочих органів зерноочисного агрегату здійснюється за допомогою норії, яка виконує функцію завантажувального транспортера очисної машини та забезпечує рівномірне надходження матеріалу в зону очищення.

Для виконання операції вторинного очищення зерна в роботі прийнято використання зерноочисної машини типу САД-5 з паспортною продуктивністю 5 т/год. Необхідну кількість таких машин визначають розрахунковим шляхом з урахуванням коефіцієнта використання обладнання, який у даному випадку становить 0,85.

У технологічній схемі післязбиральної обробки зерна озимої пшениці важливе місце займає операція первинного очищення. У базовій технології ця операція виконується на повітряно-решітній зерноочисній машині ЗАВ-20. В межах даної роботи запропоновано замінити зазначене обладнання на інерційно-повітряний решітний модуль МЗП-10, який характеризується підвищеною ефективністю очищення та кращою адаптованістю до сучасних вимог виробництва.

На основі запропонованої модернізації розробляється операційна карта первинного очищення зерна, в якій основну функціональну роль на зерноочисному току виконує повітряно-решітний модуль МЗП-10. Застосування даного модуля дозволяє оптимізувати технологічний процес, знизити втрати зерна та підвищити якість кінцевої продукції.

Контроль основних показників якості виконання операції

Під час попереднього очищення зернової маси зниження вмісту домішок має становити не менше 50 %, а в процесі первинного очищення має бути 60 %.

При цьому допустимі втрати повноцінного зерна у складі домішок не повинні перевищувати 0,2 % на етапі попереднього очищення та 0,5 % - під час первинного очищення [15].

Кількість зерна, що міститься в домішках, визначається шляхом просіювання проб домішок, відібраних після очищення зернового матеріалу, з використанням у класифікаторі верхнього решета з круглими отворами діаметром 6 мм.

Проведені розрахунки технологічних операцій післязбиральної обробки зерна озимої пшениці дають підстави для таких висновків:

- одним із визначальних чинників ефективності є пропускна спроможність агрегату ЗАВ-20, яка істотно обмежується недостатнім ступенем очищення та підвищеними втратами кондиційного зерна;
- пріоритетним завданням є зростання продуктивності зерноочисного комплексу шляхом удосконалення якості процесу очищення.

Висновки по розділу

На підставі аналізу існуючої технології вирощування гороху в умовах господарства, а також опрацювання наукових і виробничих джерел, сформульовано такі висновки:

- доцільним є розробка та техніко-економічне обґрунтування інтенсивної технології вирощування насіння гороху на виробничій базі господарства, що забезпечить підвищення врожайності культури до рівня 25 ц/га та сприятиме зростанню показників рентабельності;
- відповідно до поставлених завдань визначено та обґрунтовано склад технологічної лінії післязбирального очищення насіння гороху на току, зокрема розраховано необхідну кількість машин і допоміжного обладнання.

З метою удосконалення технологічного процесу післязбиральної обробки насіння гороху запропоновано підвищити продуктивність і якість виконання операції попереднього очищення шляхом модернізації комплексу ЗАВ-20, що передбачає заміну зерноочисної машини ЗАВ-20 на два повітряно-решітні модулі типу МЗП-10.

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1 Загальна характеристика наукової частини роботи

Метою роботи є вдосконалення конструкції та обґрунтування параметрів вертикального пневмосепараційного каналу повітряного решітного блоку МЗП-10 для підвищення якості пневмосепарації.

Задачі дослідження:

- виконати огляд і аналіз роботи пневмосистем зерноочисних машин й визначити напрямок вдосконалення вертикального пневмосепараційного каналу;
- виконати експериментальні дослідження по визначенню рівномірності повітряного потоку;
- обґрунтувати раціональні параметри пневмосепараційного каналу з вертикальним живильником потоку та визначити якісні показники процесу сепарації;

Предмет досліджень – пневмосепаруючий канал з вертикальним живильником зернового потоку.

Об'єкт дослідження - процес сепарації насіння гороху з вертикальним живильником зернового потоку.

Наукова новизна отриманих результатів.

- Удосконалено напрямок підвищення якості роботи повітряної системи зерноочисної машини МЗП-10 шляхом модернізації конструкції пневмосепаруючого каналу.
- визначено статистичну математичну модель процесу пневмосепарації вдосконаленого сепаратора та обґрунтовані раціональні параметри вертикального живильника зерна.

Методи дослідження. Дослідження виконувалися на основі методів математичного аналізу та моделювання процесів. Проведення експериментальної частини досліджень здійснювалося з використанням методів статистичної обробки отриманих результатів.

3.2. Огляд і аналіз роботи пневмосистем зерноочисних машин.

Однією з ключових операцій у процесі очищення зерна з метою доведення його до продовольчих і посівних кондицій, а також ефективного відокремлення фуражної частини, є пневмосепарація.

Потреба в оперативній післязбиральній обробці зерна, яке часто характеризується підвищеною засміченістю та вологістю, зумовлює підвищені вимоги до машин попереднього очищення.

Такі сепаратори повинні мати продуктивність у 2–3 рази вищу порівняно з наступними машинами потокової лінії та, відповідно до агротехнічних норм, забезпечувати очищення зернової маси з початковою вологістю до 35 % і загальним вмістом домішок до 20 %, у тому числі крупних - до 5 %. За цих умов ступінь виділення домішок має становити не менше 50 %, а втрати повноцінного зерна - не перевищувати 0,2 % [15].

За конструктивним виконанням і особливостями перебігу технологічного процесу зерноочисні машини (ЗОМ) поділяються на три основні групи [8]:

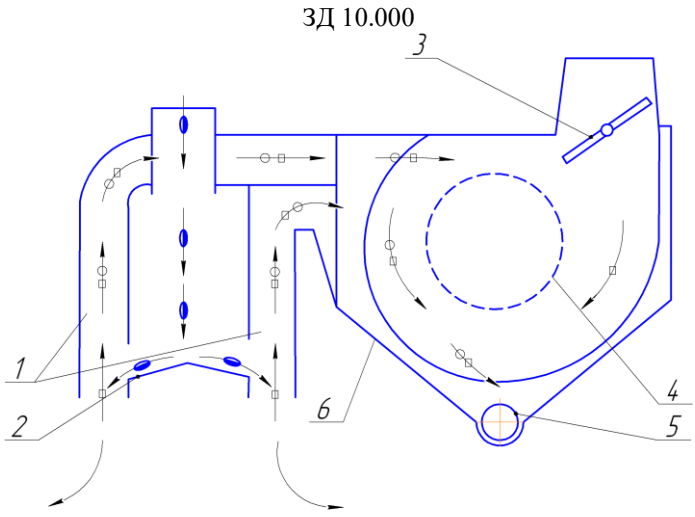
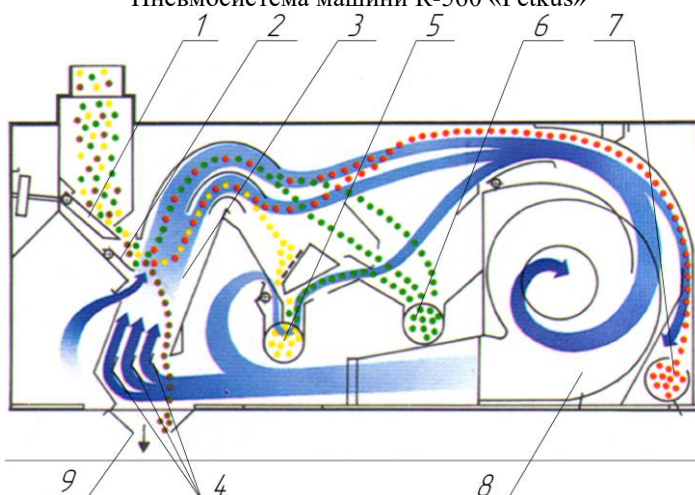
- пневмосепаратори, в яких очищення здійснюється виключно повітряним потоком;
- повітряно-решітні машини, що розділяють домішки, які відрізняються від основної культури аеродинамічними характеристиками, а також шириною і товщиною;
- повітряно-решітно-трієрні машини, які забезпечують розділення матеріалу за аеродинамічними властивостями, геометричними розмірами та довжиною.

У більшості серійних зерноочисних машин використовується традиційна схема очищення, що включає плоскі коливні решета та вертикально розташовані повітряні канали. При цьому, як правило, застосовують два пневмосепаруючі канали: перший - перед подачею зернової маси на решітне очищення, другий - після нього з метою додаткового доочищення [18, 19].

У таблиці 3.1 наведено найбільш поширені повітряні системи зерноочисних машин із зазначенням їхніх переваг, недоліків та конструктивних аналогів.

Таблиця 3.1.

Пневмо системи зерноочисних машин

схема повітряного очищення сепаратора	переваги та недоліки сепаратора	Машини, де застосовуються такі ж схеми
1	2	3
 <p>ЗД 10.000</p> <p>1 – повітряний канал; 2 – приймальник зерна; 3 – заслінка; 4 – джерело повітряного потоку; 5 – приймальник легких домішок; 6 – осадовий пристрій;</p> <p> Вихідний матеріал Очищене зерно Легкі домішки Повітряний потік Повітря з легкими домішками </p>	<p>Переваги:</p> <ul style="list-style-type: none"> - наявність двох пневмосепаруючих каналів, які працюють паралельно з решітним очищенням, що забезпечує підвищення загальної продуктивності пневматичної системи. <p>Недоліки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ускладнене налаштування пневмосистеми, оскільки зростання аеродинамічного опору в одному пневмоканалі спричиняє різке збільшення швидкості повітряного потоку в іншому; - істотне зниження ефективності та продуктивності пневмосистеми під час очищення зернової маси з підвищеною вологістю та значним рівнем засміченості. 	<p>ОВС-25, ОВП-20 та С800D «Ab Line Machinery» (Швеція);</p>
 <p>Пневмосистема машини К-560 «Petkus»</p> <p>1 – вагіль; 2 – клапан; 3 – пневмосепаруючий канал; 4 – елементи спрямування повітряного потоку; 5 – бункер приймання пошкодженого зерна; 6 – приймальний відсік фуражної фракції; 7 – приймач дрібних домішок; 8 – вентилятор; 9 – приймальний бункер очищеного зерна.</p>	<p>Переваги:</p> <ul style="list-style-type: none"> - підвищена інтенсивність подачі зернового матеріалу в пневмосепаруючий канал; - конструкція нижньої частини каналу забезпечує подвійне послідовне продування матеріалу; - замкнена циркуляційна схема повітряного потоку. <p>Недоліки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ускладнене переналагодження для очищення різних видів культур; - значна енерговитратність та металоємність при відносно низькій ефективності виділення домішок (близько 50 %). 	<p>СОК-30</p>

1	2	3
<p style="text-align: center;">Пневмо система машини «Carter Day»</p> <p style="text-align: center;"> → Вихідний матеріал → Легкі домішки → Очищене зерно → Повітряний потік → Повітря з легкими домішками </p> <p>1 – завантажувальний бункер; 2 – живильний валець; 3 – пневмосепаруючий канал; 4 – вентилятор; 5 – регульовальна заслінка повітряного потоку; 6 – осадова камера; 7 – шнек для видалення легких відходів; 8 – шнек для транспортування очищеного зерна.</p>	<p>Переваги:</p> <ul style="list-style-type: none"> -живильний валець забезпечує більш рівномірний розподіл зернового матеріалу у робочій зоні пневмосепаруючого каналу (ПНЕВМОКАНАЛ); -конструкція ПНЕВМОКАНАЛ дозволяє подвійне послідовне продування матеріалу повітряним потоком: нижче місця введення, над шнеком очищеного зерна та в зоні подачі суміші. <p>Недоліки:</p> <ul style="list-style-type: none"> -обмежена питомо-годинна продуктивність сепаратора. 	<p>Пневмо сепаратори «Carter Day», Та А1-БДЗ</p>
<p style="text-align: center;">сепаратор «МСК Maschinenbau»</p> <p style="text-align: center;"> → Вихідний матеріал → Легкі домішки → Очищене зерно → Повітряний потік → Повітря з легкими домішками </p> <p>1 – розподільчий пристрій; 2 – вібро лоток; 3, 12 – пневматичний канал (пневмоканал); 4 – маятниковий клапан; 5 – приймальна камера домішок; 6 – вентилятор; 7, 10 – заслінки; 8, 9 – перша та друга осадові пристрої; 13 – заслінка.</p>	<p>Переваги:</p> <ul style="list-style-type: none"> -застосування замкненого повітряного потоку разом з діаметральним вентилятором; -подвійне продування зернового матеріалу в зоні введення та в нижній частині пневмосепаруючого каналу; -значне зниження металоємності (в 1,3–1,6 раза) та енерговитрат (в 2 рази) порівняно зі стандартними пневмосепараторами. <p>Недоліки:</p> <ul style="list-style-type: none"> -нестабільна робота ПНЕВМОКАНАЛІ через підключення до одного вентилятора: збільшення опору в одному каналі викликає зменшення продуктивності іншого. 	<p>К-531 А та К-527А10 «Petkus» Насінеочисна машина СМ-4</p>

1	2	3
<p style="text-align: center;">Повітряна система машини МПО-100</p> <p style="text-align: center;"> —▶ Зерновий матеріал - - -▶ Легкі домішки ···▶ повітряний потік </p> <p>1, 14 –клапани; 2 – повітряний канал; 3 – сепараційний канал; 4 – скатні поверхні; 5 – відбивач; 6 – соломо прижими; 7 – транспортер; 8 – шнек завантаження; 9 – клапан; 10 – вентилятор; 11 – заслінка; 12 – осадовий пристрій; 13 – шнек домішок.</p>	<p>Переваги:</p> <ul style="list-style-type: none"> -перед надходженням у сепараційний канал зерновий матеріал розпушується за допомогою активного вальця; -конструкція нижньої частини сепараційний канал забезпечує розширену зону сепарації та подвійне продування матеріалу; -над місцем введення встановлені жалюзі, через які зерно обробляється зустрічним потоком повітря; -замкнена циркуляційна схема повітряного потоку. <p>Недоліки:</p> <ul style="list-style-type: none"> -ефективність очищення знижується при підвищеній вологості та засміченості зернової маси. 	<p>машина МПО -50 та СПО-50,.</p>
<p style="text-align: center;">сепаратор фірми «Daueb» SP-68</p> <p style="text-align: center;"> —▶ - Зерновий матеріал ···▶ - Повітряний потік </p> <p>1 – джерело повітряного потоку; 2 – живильний пристрій; 3 – сепараційний канал; 4 – конус; 5 – приймальник зерна.</p>	<p>Переваги:</p> <ul style="list-style-type: none"> -застосування кільцевого ПНЕВМОКАНАЛ, що дозволяє збільшити питомі навантаження; -забезпечує високу продуктивність при відносно низькій встановленій потужності. <p>Недоліки:</p> <ul style="list-style-type: none"> -незручне компонування з плоскорешітними робочими органами. 	<p>DA-67 «Daueb» та «Damos» (Данія).</p>

<p>Система машини АКН-200 «Harle»</p> <p> ➔ - Зерновий матеріал ~➔ - Повітряний потік </p> <p>1 – пневмо камера; 2 – заслінки; 3 – живильні вальці; 4 – лопатки; 5 – осадовий пристрій; 6 – циклон; 7 – вентилятор</p>	<p>Переваги:</p> <ul style="list-style-type: none"> -використання фракційної схеми технологічного процесу очищення; -направляючі лопатки забезпечують додаткове розпушення матеріалу в зоні пневмосепарації. <p>Недоліки:</p> <ul style="list-style-type: none"> -значна метало- та енергоємність повітряної частини машини; -при підвищенні питомого навантаження можливе засмічення направляючих лопаток соломистими домішками в пневмосепаруючій камері. 	<p>«МСК Maschinenbau» (Німеччина) та «Cimbria» (Данія) та інші.</p>
<p>Зерноочисна машина МЗП-10</p> <p> ~➔ - Повітря; X - Домішки; ➔ - Очищене зерно. </p> <p>1 – бункер зерна; 2 – заслінка подачі; 3 – струнне решето; 4 – похилий і вертикальний пневмоканали; 5 – напрямник зерна; 6 – повітропроводи; 7 –розділювач зернового потоку; 8 –заслінки; 9 –ротор; 10 – відвантажуючий рукав; 11 – ежекційний канал; 12 – підсівне решето.</p>	<p>Переваги:</p> <ul style="list-style-type: none"> -застосування раціональної послідовності технологічних операцій; -перед подачею зерна в встановлено багатоструменевий розподільник; -дворазове очищення зерна у похилому та вертикальному ПНЕВМОКАНАЛІ; -використання багатофункціонального робочого органу нового покоління (лопатевий ротор, прямогачно-інерційне самоочисне пруткове решето); -відсутність додаткових робочих органів для виведення очищеного зерна та відходів. <p>Недоліки:</p> <ul style="list-style-type: none"> -питома продуктивність повітряної сепарації нижча за решітну, що ускладнює їх інтеграцію в одній машині. 	<p>–</p>

Із проведеного огляду основних пневмосистем зерноочисних машин можна зробити такі висновки:

- сучасні пневмосистеми, як вітчизняного, так і закордонного виробництва, мають подібну конструкцію та відрізняються переважно

більшою кількістю перегородок у пневмоканалах, що сприяє стабілізації процесу пневмосепарації;

- підвищення ефективності використання повітряного потоку досягається за рахунок послідовного або паралельного впливу на зерновий матеріал;

- збільшення питомого навантаження можливе шляхом комбінованого очищення та доочищення зернової суміші, оптимізації зон пневмосепарації, подовження часу та площі контакту зерна з повітряним потоком, зміни геометрії пневмоканалів та встановлення додаткових допоміжних елементів.

3.3. Об'єкт розробки і пропозиції по його удосконаленню

Машина МЗП-10 призначена для здійснення операцій попереднього та первинного очищення зернової маси з використанням повітряно-решітного способу сепарації. Вона може застосовуватися для сепарації зерна колосових культур, бобових, соняшнику, сорго та інших видів сільськогосподарської продукції [18].

Повітряна система зерноочисної машини (рис. 3.1) виконана за схемою замкнутого циклу з двоступеневою аспірацією з послідовним проходженням через похилий і вертикальний канали.

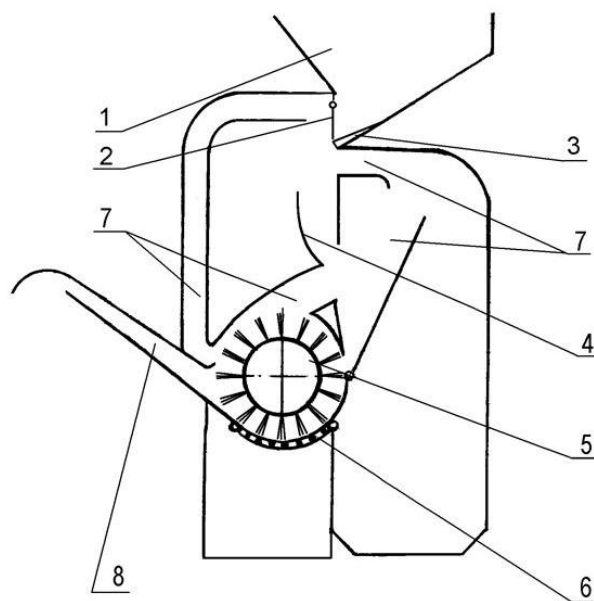


Рис. 3.1. Схема повітряно-решітного модуля.

Технічна характеристика машини приведена у вигляді таблиці 3.2.

Таблиця 3.2.

Технічні дані зерноочисної машини МЗПІ-10

Найменування	Одиниці виміру	Значення
1	2	3
машина	-	МЗПІ-10
Продуктивність при попередню сепарацію	т/год	8...10
Потужність блоку	кВт	3,7
Маса повітряно-решетного блоку	кг	120
Габарити:		
довжина	мм	3280
висота	мм	2850
ширина	мм	4500

Зерноочисна машина МЗПІ-10 має забезпечити ефективність сепарації зерна не менше $\eta = 60...70\%$ і втрати матеріалу 0,2%.

Продуктивність зерноочисного модуля до 10 т/год.

Формування повітряного потоку забезпечує ротор, який одночасно створює необхідне розрідження, сприяє видаленню легких домішок та здійснює транспортування очищеного зерна за межі сепаратора.

До складу повітряно-решітного блоку входять: зерновий бункер (1), дозуючий пристрій (2), розподільник зернового потоку (3), заслінка (4), щітковий ротор з лопатками (5), решето (6), аспіраційні канали (7) та інерційний вивантажувач (8).

Зернова маса подається до сепаруючого блоку за допомогою шнекових живильників і транспортується ковшовим елеватором до решітної поверхні.

Крупні домішки затримуються на решеті та відводяться окремо, тоді як основна частина зерна, проходячи крізь отвори, надходить на наступні етапи очищення. У процесі руху зерно дворазово обробляється повітряним потоком, створеним ротором.

Лопатки ротора захоплюють зернову масу, надають їй необхідної швидкості та забезпечують рівномірний розподіл по робочій поверхні решіт. Дрібні фракції проходять крізь прорізи сит і накопичуються у спеціальному приймальному бункері. Очищене зерно, набравши кінетичної енергії, вивантажується з машини.

Незважаючи на те, що в конструкції машини МЗП-10 реалізовано раціональну послідовність технологічних операцій та передбачено двоступеневе очищення зернової маси із застосуванням замкненої повітряної системи, істотним недоліком є недостатня продуктивність повітряної сепарації.

Це ускладнює ефективне осідання легких домішок і призводить до накопичення пилоподібних частинок у циркулюючому повітряному потоці, що в кінцевому підсумку негативно позначається на ефективності процесу сепарації.

Тому, для покращення процесу сепарації в вертикальному каналі пневмосепаруючого модуля нами запропоновано встановити вертикальний розподільник зернового матеріалу. Це дасть можливість змінити концентрацію зерна в поперечному перерізу та покращить якість очищення зерна.

Для обґрунтування параметрів удосконаленого каналу з вертикальним розподільником зерна були розроблена наступна програма і методика.

3.2. Програма та методика експериментальних досліджень.

1. Дослідити вплив введення насіння гороху на аеродинамічну характеристику повітряного каналу.

2. Обґрунтувати раціональні параметри повітряного каналу з вертикальним розподільником зерна та оцінити їх вплив на якісні показники його роботи.

Експериментальна установка для дослідження каналу з вертикальним розділювачем зерна.

Для вивчення впливу конструктивних і режимних параметрів пневматичного каналу з вертикальним розділювачем зернової маси на показники роботи повітряно-решітного блоку машини МЗП-10 було використано спеціалізовану експериментальну установку, загальний вигляд якої наведено на рис. 3.2.

Конструкція такої установки забезпечує можливість регулювання основних робочих параметрів у заданих інтервалах, що дозволяє відтворювати різні режими функціонування машини в лабораторних умовах.

Одна з бокових стінок пневмосистеми виконана з прозорого оргскла, що дає змогу візуально контролювати перебіг процесів усередині каналу.

До складу експериментальної установки входять: завантажувальний бункер, дозувальний живильник, система повітряних сепараційних каналів, щітковий ротор, осадова камера, ежекційний канал, а також ємності для збору легких домішок.



Рис. 3.2. Експериментальна установка для дослідження каналу з вертикальним розділювачем зерна

Регулювання питомого навантаження зернової суміші здійснювали шляхом зміни положення заслінки завантажувального бункера. Інтенсивність повітряного потоку в пневматичному каналі задавали шляхом варіювання частоти обертання ротора.

З метою оцінки впливу геометричних параметрів пневмоканалу з вертикальним розділювачем на процес відокремлення легких домішок була проведена серія лабораторних експериментів.

Під час кожного дослідів в бункер завантажували 10 кг зернового матеріалу. Питоме зернове навантаження визначали як відношення маси матеріалу, що пройшла через канал, до його ширини та тривалості експерименту [18]:

$$q_i = \frac{m_z}{B_k \cdot t}, \quad (3.1)$$

Перед проведенням основних дослідів здійснювали тарування заслінки бункера, що дозволяло встановлювати задані значення подачі зерна для різних технологічних режимів очищення.

У процесі експериментів аналізували вплив відстані між розподільниками ($b_p = 20 \dots 60$ мм), а також величини питомого навантаження на кожен розподільник ($q_i = 200 \dots 600$ кг/дм·год) на характер розподілу швидкостей повітряного потоку в основних зонах пневмосистеми.

Критеріями ефективності процесу очищення була масова частка легких домішок у відходах та рівень втрат повноцінного зерна.

Як дослідний матеріал використовували зернову суміш гороху з вологістю 15–17 % та вмістом домішок близько 10 %.

Якість процесу сепарації визначали за кількістю виносу легких фракції:

$$\eta = \frac{m_{\text{вид}}}{m_{\text{заг}}} \quad (3.2)$$

де $m_{\text{вид}}$ – маса легких часток, які виділились повітряним потоком кг;

$m_{\text{заг}}$ – маса легких часток у вихідному зерновому матеріалі, кг;

Регулювання подачі зернового матеріалу, а відповідно й продуктивності установки, здійснюється за допомогою заслінки. Швидкість повітряного потоку змінюють шляхом збільшення обертів ротора за допомогою варіатора.

Установка функціонує за замкненим циклом руху повітря, при якому після відокремлення легких домішок в осадовій камері повітря повторно повертається в систему.

З метою встановлення впливу способу введення зернового матеріалу було досліджено розподіл швидкостей повітряного потоку в поперечному перерізі пневмосепаруючого каналу по всій його висоті.

На першому етапі пневмосепаруючий канал заповнювали традиційним способом - подачею матеріалу на одному рівні, при цьому значення питомого навантаження q_b змінювали в діапазоні 300...1800 кг/(дм·год). Початкову швидкість подачі зернового матеріалу в канал v_b задавали в межах 0,3–0,5 м/с.

Для аналізу аеродинамічних характеристик пневмосепаруючого каналу було сконструйовано спеціальний мікроманометр (рис. 3.3), який забезпечує можливість одночасного вимірювання швидкості повітряного потоку в п'яти точках поперечного перерізу каналу.

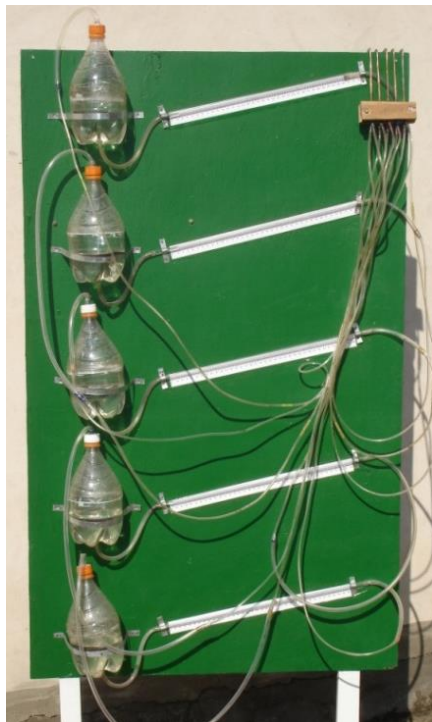


Рис. 3.3. Мікроманометр: а) – загальний вигляд;
б) – «батарея трубок Піто-Прандля».

За результатами показів батарейного мікроманометра визначали величину динамічного тиску $P_{дин}$, мм вод. ст. [19].

$$P_{дин} = \gamma \cdot \sin\alpha \cdot (h_1 - h_2),$$

де $(h_1 - h_2)$ – різниця показів мікроманометру, мм вод ст;

α – кут трубки мікроманометру, град;

γ – питома вага спирту в мікроманометрі, кг/м³.

Швидкість повітряного потоку в i -тій точці поперечного перерізу пневмосепаруючого каналу обчислювали через значення динамічного тиску за відповідною залежністю.

$$V_i = 4,04\sqrt{P_{дин i}},$$

Перевірку достовірності та точності отриманих результатів здійснювали з використанням стандартного мікроманометра типу ММН-1.

З метою встановлення впливу способу та параметрів подачі зернової суміші в пневмосепаруючий канал із кількома зерновими шарами, розташованими один над одним, на показники якості сепарації, а також для обґрунтування раціональної відстані між ними, було проведено окрему серію експериментальних досліджень.

Насіння гороху подавалося до пневмосепарувального каналу з попередньо заданою швидкістю у вигляді двох зернових потоків, розміщених один над одним на фіксованій відстані. За допомогою розділювача регулювали проміжок між рівнями подачі у діапазоні $b_i = 20 \dots 60$ мм.

Зміну відстані між розділювальними елементами здійснювали шляхом відкривання відповідних заслінок бункера із залученням необхідних напрямних. Середню швидкість повітряного потоку підтримували в межах $V_{нов} = 6,5 \dots 8,5$ м/с. Питоме зернове навантаження на кожен розділювач q_i змінювали в інтервалі $200 \text{--} 600$ кг/(дм·год).

Реєстрацію результатів розпочинали через 5 с після встановлення сталого та рівномірного витікання насіння з бункера. Кожен дослід виконували з триразовою повторюваністю.

Результати досліджень якості роботи пневмосепаруючого каналу з вертикальним розділювачем потоку.

У ході виконання експериментальних досліджень були визначені раціональні значення основних параметрів пневмоканалу повітряно-решітного блоку сепаратора МЗП-10, а також проведено оцінку якісних показників його роботи.

В процесі дослідження було проведено багатofакторний експеримент при якому проводилась оцінка основних факторів, питомого навантаження, відстані між розділювачами та швидкості повітряного потоку на ефективність виділення домішок η .

В таблиці (3.3) наведено перелік факторів, які мають найбільший вплив на якість роботи пневмосистеми сепаруючого блоку МЗП-10, разом із рівнями їх зміни та інтервалами варіювання.

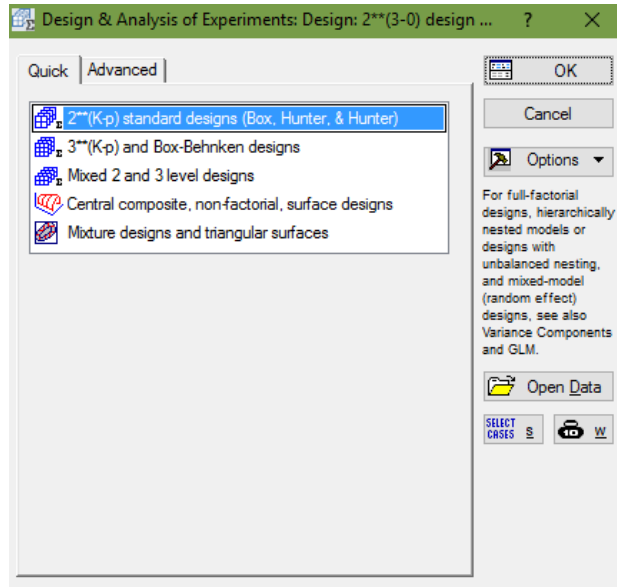
Таблиця 3.3

Рівні варіювання факторів при дослідженні пневмосистеми сепаратора МЗП-10

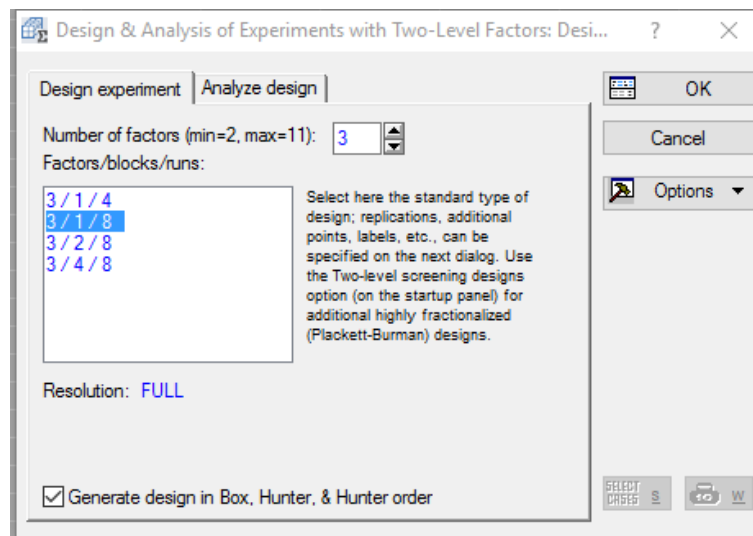
№	Фактори		Рівні варіювання факторів		Інтервал варіювання
	Назва	Позначення	Нижній (-)	Верхній (+)	
1	Величина питомого навантаження, q_{bi} , кг дм/год	x_2	200	600	200
2	Відстань між розділювачами, b , мм	x_1	20	60	20
3	Швидкість повітряного потоку, $V_{пов}$, м/с	x_3	6,5	8,5	1

Планування експериментальних досліджень здійснювалося відповідно до загальноприйнятої методики математичного планування експерименту з використанням прикладного програмного пакета STATISTICA 10 [20].

Формування матриці експерименту типу повного факторного плану з кількістю дослідів $n = 2^3 = 8$ виконувалося поетапно за допомогою стандартних інструментів програмного середовища STATISTICA 10, що забезпечували задання досліджуваних факторів і меж їх варіювання.



Після завершення етапу вибору параметрів програмне забезпечення STATISTICA 10 автоматично згенерувало експериментальну матрицю та рекомендовану послідовність проведення дослідів для об'єкта дослідження сепаратора.



Для кожної комбінації рівнів факторів дослідження проводилися з триразовою повторюваністю, що дало змогу визначити середні значення показника ефекту сепарації $Y(\eta)$, які заносилися до підсумкової таблиці результатів (Таблиця 3.4).

Побудова початкової регресійної моделі здійснювалась в автоматизованому режимі, в результаті чого були отримані числові значення коефіцієнтів математичної залежності.

Результати досліджень багатofакторного експерименту

	q_{bi} , кг/дм·год	b , мм	$V_{пов}$, м/с	η , %
1	200	20	6,5	82
2	600	20	6,5	81
3	200	60	6,5	85
4	600	60	6,5	83
5	200	20	8,5	87
6	600	20	8,5	86
7	200	60	8,5	84
8	600	60	8,5	83

На основі обробки експериментальних даних сформовано статистичну регресійну модель, яка описує функціональний зв'язок між вхідними параметрами процесу та узагальненим критерієм якості роботи, ефективністю пневмосепарації в досліджуваному каналі зерноочисної машини.

Effect Estimates; Var.: η , %; R-sqr=,99567; Adj:,9697 (Spreadsheet111) 2**(3-0) design; MS Residual=,125 DV: η , %										
Factor	Effect	Std.Err.	t(1)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	83,87500	0,125000	671,0000	0,000949	82,28672	85,46328	83,87500	0,125000	82,28672	85,46328
(1) q_{bi} , кг/дм год	-1,25000	0,250000	-5,0000	0,125666	-4,42655	1,92655	-0,62500	0,125000	-2,21328	0,96328
(2) b , мм	-0,25000	0,250000	-1,0000	0,500000	-3,42655	2,92655	-0,12500	0,125000	-1,71328	1,46328
(3) $V_{пов}$, м/с	2,25000	0,250000	9,0000	0,070447	-0,92655	5,42655	1,12500	0,125000	-0,46328	2,71328
1 by 2	-0,25000	0,250000	-1,0000	0,500000	-3,42655	2,92655	-0,12500	0,125000	-1,71328	1,46328
1 by 3	0,25000	0,250000	1,0000	0,500000	-2,92655	3,42655	0,12500	0,125000	-1,46328	1,71328
2 by 3	-2,75000	0,250000	-11,0000	0,057716	-5,92655	0,42655	-1,37500	0,125000	-2,96328	0,21328

Для подальшого аналізу модель подано у вигляді аналітичного рівняння.

Отримана математична модель відображає вплив досліджуваних факторів на процес розділення зернової маси та домішок у повітряно-решітному вузлі:

$$Y=83,87-0,62x_1-0,125 x_2+1,12 x_1-0,125 x_1 x_2+0,125 x_1 x_3-1,37 x_2 x_3$$

Перевірка її достовірності, відтворюваності, адекватності та статистичної значущості коефіцієнтів виконувалася відповідно до стандартної процедури автоматизованої верифікації в програмному середовищі STATISTICA 10.

Побудоване рівняння регресії стало основою для формування поверхонь відгуку, які наочно відображають вплив змінних факторів на цільову функцію оптимізації - показники якості очищення зернового матеріалу. Отримані графічні залежності в результаті проведення досліджень наведені нижче.

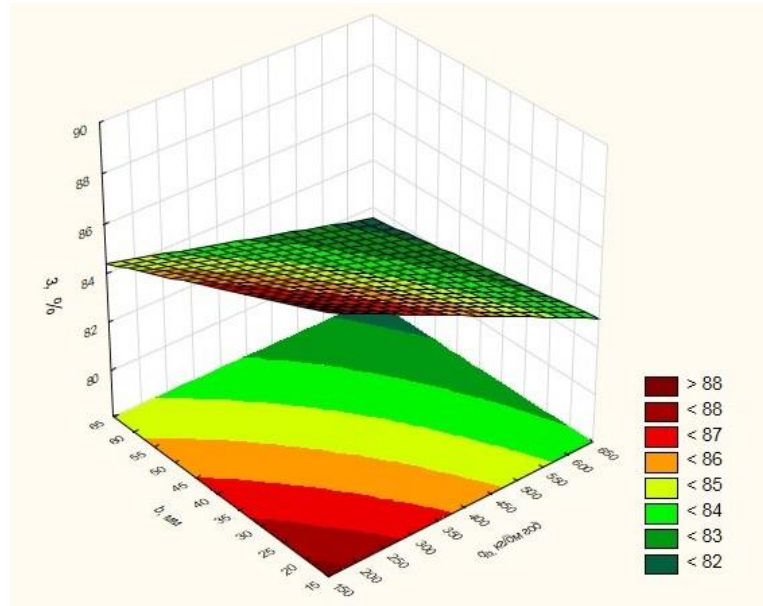


Рис. 3.4. Графік $Y = f(x_1, x_2)$, який характеризує вплив величини питомого навантаження та відстані між розділювачами на ефект сепарації

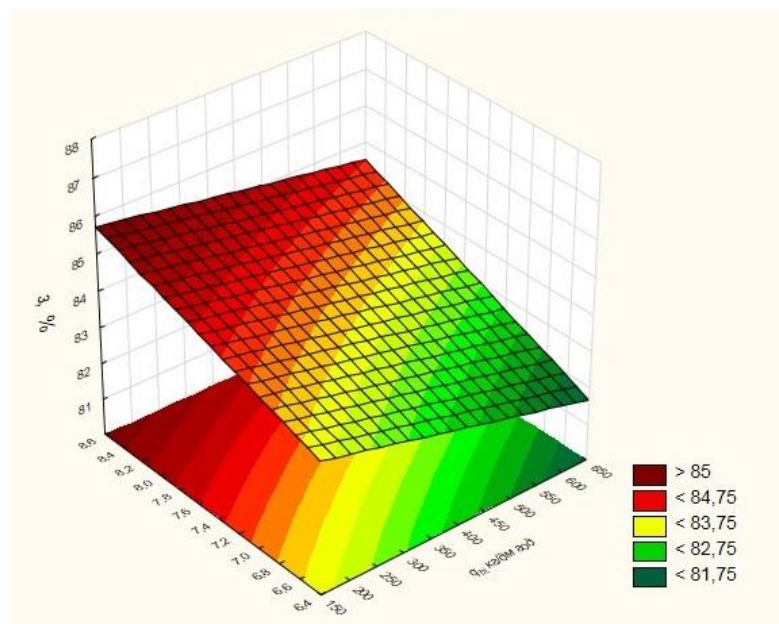


Рис. 3.5. Графічна залежність $Y = f(x_1, x_3)$, яка показує спільний вплив величини питомого навантаження і середньої швидкості повітряного потоку на ефект очищення.

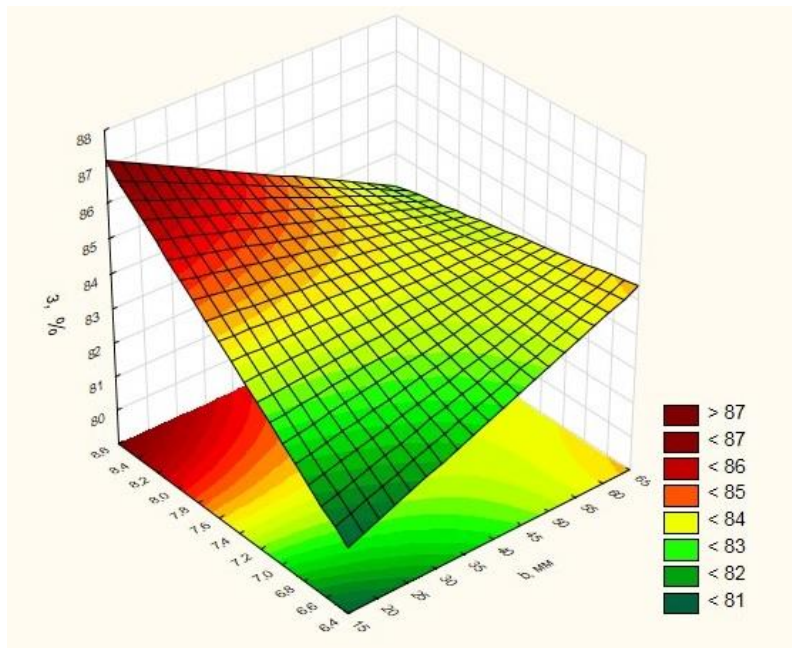


Рис. 3.6. Графік $Y = f(x_2, x_3)$, який показує залежність ефекту очищення від відстані між розділювачами і швидкістю повітряного потоку.

Аналіз результатів багатofакторного експерименту дозволяє зробити висновок, що найбільш істотний вплив на ефективність виділення домішок мають величина питомого зернового навантаження та швидкість повітряного потоку.

З урахуванням отриманих поверхонь відгуку (рис. 3.4–3.6) раціональні значення параметрів знаходяться в таких межах: питоме навантаження $q_{бі}=350\dots400$ кг/дм·год, відстань між розділювачами $b=35\dots40$ мм та середня швидкість повітряного потоку $V_{пов}=6,5\dots7,5$ м/с.

З метою підтвердження працездатності модернізованої конструкції сепаратора та обґрунтованості вибраних параметрів пневматичного каналу в подальшому виконуються інженерні розрахунки основних елементів системи.

Висновки по розділу

На підставі виконаного аналізу існуючих конструкцій зерноочисних машин та особливостей функціонування їхніх пневматичних систем окреслено основні тенденції подальшого розвитку даного виду техніки.

Встановлено, що одним із найбільш перспективних напрямків удосконалення є оптимізація умов і параметрів введення зернового матеріалу в

пневмосепаруючі канали.

В зерноочисній машині МЗП-10 реалізовано раціональну технологічну схему з послідовним дворазовим очищенням зернової маси повітряним потоком, аналіз показав, що питома продуктивність її пневмосепараційної частини поступається продуктивності решітного вузла. Це обумовлює необхідність подальшого конструктивного вдосконалення повітряної системи машини.

З метою підвищення ефективності роботи пневматичної частини запропоновано технічне рішення, яке передбачає встановлення вертикального розділювача зернового потоку у другому пневмосепараційному каналі. Запровадження такого елемента сприяє зниженню аеродинамічного опору, вирівнюванню поля швидкостей повітряного потоку по перерізу каналу та, як наслідок, покращенню якості очищення зернового матеріалу.

В результаті досліджень встановлено, що оптимальна відстань між вертикальними розділювачами b визначається величиною питомого зернового навантаження q_{bi} , а також концентрацією матеріалу в окремих зонах пневмосепаруючого каналу.

Експериментально обґрунтовано, що раціональні значення зазначених параметрів знаходяться в межах: $b = 35...40$ мм., при цьому раціональна величина питомого навантаження коливається від $q_{bi}=350...400$ кг/дм·год.

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ СЕПАРАЦІЇ В ЗЕРНООЧИСНІЙ МАШИНІ МЗПІ-10

Застосування в зерноочисній машині МЗПІ-10 у вертикальному пневмо каналі способу введення матеріалу з вертикального розділювача потоку дозволяє покращити якісні показники при основній сепарації зерна. Це дає змогу підвищити величину питомого навантаження з 800 кг/дм·год [18] до 1200 кг/дм·год.

Визначаємо ширину пневмо сепараційного каналу за формулою:

$$B_{в.к} = \frac{Q_c}{q_b \cdot k}$$

де Q_c – продуктивність сепаратора, т/год;

q_b – величина питомого навантаження по відношенню до одиниці ширини пневмо каналу, т/дм·год

k – коефіцієнт, який враховує спосіб завантаження

$$k = \frac{q_b}{q'_b}$$

де q_b – величина питомого навантаження на ширину каналу при вдосконаленому способу завантаження каналу, т/дм·год;

q'_b – величина питомого навантаження на одиницю ширини каналу з традиційним завантаженням, т/дм·год.

$$k = \frac{1,2}{0,8} = 1,5$$

Визначаємо ширину вертикального пневмо сепараційного каналу $B_{в.к}$:

$$B_{в.к} = \frac{10}{1,2 \cdot 1,5} = 5,5 \text{ дм}$$

Необхідно конструктивно збільшити ширину вертикального пневмо сепараційного каналу $B_{в.к}$, оскільки можливі зміни вологості зернового матеріалу й продуктивності сепаратора.

Тому, ширину вертикального пневмо сепараційного каналу приймемо відповідно до ширини решета $B_{в.к.}=480$ мм.

Відповідно до рекомендацій [15], співвідношення ширини вертикального каналу $B_{в.к.}$ до його глибини $C_{в.к.}$: $\frac{B_{в.к.}}{C_{в.к.}} \geq 4$

Тому, глибина вертикального каналу визначаємо з співвідношення:

$$\frac{480}{4} = 120 \text{ мм}$$

Приймаємо $C_{в.к.}=120$ мм.

Також важливим конструктивним параметром вертикального пневмосепараційного каналу є його висота $H_{в.к.}$.

Значення цього параметра обирають з урахуванням того, що зерновий матеріал перед надходженням у вертикальний канал зазнає попереднього впливу похилого повітряного потоку.

Крім того, в конструкції передбачено використання похилого щитка [18], який запобігає винесенню кондиційного зерна у відходи разом із легкими домішками.

З огляду на зазначені фактори, висоту вертикального пневмосепараційного каналу конструктивно прийнято рівною $H=300$ мм.

Далі визначаємо питому продуктивність, віднесену до площі робочого поперечного перерізу пневмосепараційного каналу.

$$q_{Fв.к} = \frac{Q_c}{B_{в.к} \cdot C_{в.к}}$$

де Q_c - продуктивність сепаратора, кг.;

$B_{в.к}, C_{в.к}$ - ширина вертикального каналу та глибина відповідно, дм.

$$q_{Fв.к} = \frac{12000}{4,8 \cdot 1,2} = 208 \text{ кг/дм} \cdot \text{год}$$

За результатами виконаних експериментальних досліджень здійснено інженерні розрахунки основних параметрів повітряної системи модернізованої зерноочисної машини МЗП-10.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при роботі з зерноочисною машиною

Операції з приймання, завантаження та вивантаження машини, а також підготовка її до роботи й технічне обслуговування перед постановкою на зберігання повинні виконуватися під керівництвом механіка або старшого бригадира з обов'язковим використанням вантажопідіймальних механізмів, що унеможлиблює ручне переміщення значних за масою вантажів.

Під час монтажних робіт дозволяється ручне підіймання вантажів масою не більше 50 кг із переміщенням на відстань до 60 м відповідно до чинного законодавства з охорони праці та техніки безпеки.

До експлуатації та ремонту зерноочисної машини допускаються лише особи, які детально вивчили інструкцію з експлуатації, пройшли обов'язковий інструктаж з техніки безпеки, пожежної безпеки та оволоділи навичками надання першої допомоги при ураженні електричним струмом, опіках і нещасних випадках.

Перед початком роботи необхідно [21]:

- переконатися у справному технічному стані зерноочисної машини та наявності всіх захисних огорожень;
- перевірити укомплектованість і справність засобів пожежогасіння та аптечки першої допомоги.

Під час роботи зерноочисної машини повинні виконуватися такі вимоги:

- опір повторного захисного заземлення не повинен перевищувати 4 Ом, а опір ізоляції щодо струмоведучих частин має бути не менше 0,5 МОм;
- усі роботи з технічного обслуговування дозволяється проводити виключно після повного знеструмлення машини;
- на рубильнику та щиті керування необхідно розмішувати застережний напис «Не вмикати – працюють люди!»;
- ремонт і обслуговування електрообладнання повинні виконувати працівники з кваліфікацією електрика не нижче III розряду;

- не допускати потрапляння в робочі органи машини металевих чи сторонніх предметів; у разі виникнення сторонніх шумів машину слід негайно зупинити та усунути причину;
- запуск машини після монтажу, ремонту або тривалої перерви дозволяється лише після дозволу головного інженера або механіка за результатами перевірки її технічного стану;
- вмикання, вимикання та усунення несправностей дозволяється здійснювати тільки оператору;
- живильний електрокабель повинен бути без механічних пошкоджень;
- після завершення роботи машину необхідно повністю від'єднати від електромережі;
- запуск машини допускається лише за умови відсутності людей у зоні дії рухомих і обертових механізмів;
- змащування, підтягування кріплень і заміну пасів слід виконувати тільки при повній зупинці машини;
- забороняється заміна решіт під час роботи;
- не допускається перебування сторонніх осіб поблизу працюючої машини;
- експлуатація машини без захисного заземлення або зі знятими (несправними) кожухами заборонена;
- при підвищеній запиленості робочої зони необхідно використовувати захисні окуляри та респіратори;
- дверцята щита керування повинні бути постійно зачинені;
- прокладання електрокабелів безпосередньо по ґрунту не допускається.

Під час завантажувально-розвантажувальних робіт необхідно дотримуватися таких правил [22]:

- машина має бути надійно зафіксована не менше ніж у трьох точках;
- забороняється перебування людей під піднятим вантажем;
- мінімальна довжина строп повинна становити не менше 2 м.

Під час технічного обслуговування, фарбування та консервації машин забороняється залучати до роботи вагітних жінок. У приміщеннях, де

виконуються ці операції, не допускається паління, використання відкритого вогню, а також зберігання та вживання їжі. Працівники повинні бути поінформовані про токсичність застосовуваних речовин і про заходи першої медичної допомоги у разі отруєння. Після завершення робіт та перед прийомом їжі необхідно обов'язково мити руки з милом.

Підготовку поверхонь деталей до фарбування та консервації слід виконувати у приміщеннях, обладнаних припливно-витяжною вентиляцією і засобами пожежогасіння, або на відкритому повітрі на спеціально відведених майданчиках.

4.2. Заходи пожежної профілактики

Робоче місце оператора зерноочисної машини повинно бути оснащено пристроями для надійного кріплення первинних засобів пожежогасіння з забезпеченням вільного доступу до них у разі виникнення пожежі. Час зняття кожного засобу не повинен перевищувати 8 с без застосування допоміжного інструменту. У разі загоряння електродвигуна необхідно негайно відключити машину від електромережі та приступити до гасіння пожежі дозволеними засобами.

Згідно з вимогами ДСТУ 2189-93 зерноочисний майданчик має бути укомплектований первинними засобами пожежогасіння: двома порошковими вогнегасниками ОП-5, двома санітарними лопатами, двома пожежними відрами, ящиком з піском та резервуаром із водою. Майданчики для зберігання і консервації зерноочисної техніки повинні бути забезпечені засобами пожежогасіння відповідно до ГОСТ 12.2.037 [22].

6. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У процесі виконання дипломної роботи здійснено комплексний аналіз технології вирощування гороху та обґрунтовано напрями підвищення її ефективності за рахунок удосконалення процесів післязбиральної обробки зерна.

2. Виконано розрахунок потреби в засобах механізації для реалізації технологічного процесу післязбиральної обробки, а також запропоновано у складі технологічної лінії замінити зерноочисну машину ЗАВ-20 на два повітряно-решітні модулі МЗП-10.

3. У науково-дослідній частині роботи наведено огляд і проведено аналіз сучасних зерноочисних машин та їх пневматичних систем, за результатами якого встановлено, що перспективним напрямом розвитку є вдосконалення конструктивних рішень вузлів введення зернового матеріалу.

4. На підставі проведеного аналізу запропоновано модернізацію повітряної частини зерноочисної машини шляхом установа вертикального розподільника зерна на вході в пневмосистему.

5. За результатами експериментальних досліджень визначено раціональні параметри роботи модернізованого вузла, а саме: оптимальна відстань між рівнями розподільника становить $b=25\dots30$ мм, а ефективне значення питомого зернового навантаження знаходиться в межах $q_i=350\dots400$ кг/дм·год. При цьому, раціональне значення швидкості повітряного потоку має бути в межах $V_{\Pi}=7\dots7,5$ м/с.

6. На основі експериментальних даних виконано інженерний розрахунок основних конструктивних і режимних параметрів повітряної системи вдосконаленої зерноочисної машини.

7. У розділі «Охорона праці» розглянуто шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які можуть виникати під час виконання технологічних операцій з вирощування озимої пшениці та при експлуатації зерноочисного комплексу ЗАВ-20, а також запропоновано заходи щодо зниження їх негативного впливу.

Список використаних джерел

1. Рослинництво: Підручник / О. І. Зінченко, В. Н. Салатенко, М. А. Білоножко; За ред. О. І. Зінченка. - К.: Аграрна освіта, 2001. - 591 с.
2. 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.
3. Милованов Є. Золоті боби / Є. Милованов, В. Тимченко // Агро Перспектива. – 2005. – № 3. – С. 44–46.
4. Бондаренко М.Г. Комплектування і використання машинно-тракторного парку в рослинництві / Бондаренко М.Г., Демещук В.А. – К.: Вища школа, 1995. – 237 с.
5. Механізація технологічних процесів в землеробстві: Навчально-методичний комплекс: навч. посіб. / С.М. Грушецький, І.М. Бендера, Т.Д. Іщенко та ін.. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2011. – 352 с.
6. 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.
7. Лозовіцький П. С. Основи землеробства та рослинництва. Книга 2. Рослинництво: Посібник для вищих учбових закладів / Лозовіцький П. С. – К.: КНУ ім. Т. Шевченка, 2010. – 268 с.
8. Марченко В.В. Механізація технологічних процесів у рослинництві: Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2007. – 334 с.
9. Практикум із машиновикористання в рослинництві: Навч. посібник / За ред. І.І. Мельника. – К.: Кондор, 2009. – 284 с.
10. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування / Під ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2001. – 382 с.
11. Методичні рекомендації до виконання дипломної роботи здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня спеціальності Н7 «Агроінженерія» за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» /

уклад.: Д.І. Петренко, С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, С.М. Мороз, Ю.В. Мачок, О.В. Нестеренко. М-во освіти і науки Укр., Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025.– 46 с.

12. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсів «Технологія механізованих робіт в рослинництві» та «Машиновикористання в рослинництві» : для студ. спец. 208 «Агроінженерія» та 133 «Галузеве машинобудування» / М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. с.-г. машинобуд. ; [уклад. В. М. Сало, С. М. Лещенко, Д. І. Петренко та ін.]. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 170 с. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/8095>.
13. Проспект фірми «Petkus». Машина для попереднього та інтенсивного очищення К-527, К-526, К-560.
14. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навчальний посібник / За ред. Д.Г. Войтюк, С.С. Яцун, Довжик М.Я. // Суми. Університетська книга – 2008. – 450 С.
15. Комаристов В.Ю. Довідник з механізації післязбиральної обробки зерна / В.Ю. Комаристов, М.М. Петренко. – К.: Урожай, 1990. – 184 с.
16. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування, Книга 1. Машина для рільництва / за ред. Черновола М.І. – К. Урожай, 2001. – 384 с.
17. Пат. 85117 С2 Україна, МПК В07В 13/08. Повітряно-решітний сепаратор / Васильковський М.І., Васильковський О.М., Лещенко С.М., Мороз С.М., Нестеренко О.В.; заявник і патентотримач Васильковський М.І. – №а200703659; заявл. 03 04.07; опубл. 25.12.08, Бюл. № 24.
18. Васильковський М.І. Обґрунтування основних параметрів замкненої двохступеневої пневмосепаруючої системи ЗОМ / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. – Харків, 2007. – Вип. 59 – С. 177–186.
19. Нестеренко О.В. Дослідження нерівномірності повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі при багаторівневому введенні зерна / О.В.

- Нестеренко, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. Технічні науки. Харків, 2015. Вип. 156. С. 35–42.
20. Підручник дослідника: навч. посіб. для студ. агротехн. спец. / О. Васильковський, С. Лещенко, К. Васильковська, Д. Петренко. Харків: Мачулін, 2016. 204 с
21. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник. – Львів: Афіша, 2002.– 320 с.
22. Основи охорони праці: Підручник / М.С. Одарченко, А.М. Одарченко, В.І. Степанов, Я.М. Черненко. – Х.: Стиль-Издат, 2017. – 334 с.
23. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування / Під ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2001. – 382 с.

ДОДАТКИ