

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

\_\_\_\_\_Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

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

«Підвищення ефективності роботи пневмо-інерційного сепаратора  
з обґрунтуванням його параметрів»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,

групи ГМ-23М-1.2

ОНП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве

машинобудування»

\_\_\_\_\_Воронін Данило Сергійович

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_Дмитро ПЕТРЕНКО

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент

професор, докт. техн. наук

\_\_\_\_\_Віктор АУЛІН

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

м. Кропивницький

## **Анотація**

**Тема: «Підвищення ефективності роботи пневмо-інерційного сепаратора з обґрунтуванням його параметрів»**

**післязбиральне очищення, пневмо-інерційний сепаратор, параметри**

У кваліфікаційній роботі досліджено шляхи підвищення ефективності очищення зернових сумішей. Запропоновано інноваційну систему інтегрованого пневмо-решітного сепаратора з багатофункціональним лопатевим ротором, що поєднує решітну та повітряну сепарацію в одній зоні та інтенсифікує процес очищення. Експериментально визначено раціональні параметри роботи сепаратора, що забезпечують оптимальні техніко-економічні показники та максимальну ефективність.

## **Abstract**

**Topic: «Increasing efficiency of the pneumatic-inertial separator with rationalization of its parameters»**

**post-harvest cleaning, pneumatic-inertial separator, parameters**

The qualification work investigated ways to increase the efficiency of cleaning grain mixtures. An innovative system of an integrated pneumatic-screen separator with a multifunctional blade rotor was proposed, which combines screen and air separation in one zone and intensifies the cleaning process. Rational parameters of the separator operation have been experimentally determined, ensuring optimal technical and economic indicators and maximum efficiency.



## ЗМІСТ

Номер розділу	Структурна одиниця і розділ	Сторінка
1	ВСТУП	
2	НАУКОВА ЧАСТИНА	
3	ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА	
4	ОХОРОНА ПРАЦІ	
5	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	
6	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	
-	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	
-	ДОДАТКИ	

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1. ВСТУП

Агропромислове виробництво являється одним з провідних серед стратегічних галузей економіки України. вітчизняна аграрна промисловість є досить інвестиційно привабливою, незважаючи навіть на кризові періоди, що пов'язано з наявністю актуальної наукової бази та новаціями в технічних можливостях. Ці фактори в сукупності надають потужного імпульсу для подальшого розвитку і галузі сільськогосподарського машинобудування.

Результатами потенційного технологічного прориву, який може зробити вітчизняне сільськогосподарське машинобудування, є не лише витіснення імпортованої техніки на внутрішньому ринку, а й вихід на міжнародні, що наразі вже спостерігається з деякою номенклатурою с.-г. техніки. Таким чином, зважаючи на фактичну і експортну спрямованість, дана галузь, на рівні з агропродукцією, може стати досить суттєвим бюджетоформуючим чинником. Формулою успіху, як вважають автори [1, 3], в даному випадку є взаємозв'язок трьох складових – науки, виробництва і бізнесу.

Тому актуальним сьогодні є впровадження передових технологічних рішень, які дозволяють забезпечити конкурентоздатність вітчизняних машин і засобів агровиробництва, сприяючи зниженню і собівартості кінцевої продукції. Як відзначають автори [1-3] – в умовах сьогоднішніх реалій саме інновації технологічних рішень впливають на формування ринку.

Цілями даної магістерської роботи є пошук ключових тенденцій наукових і технологічних напрямів розвитку техніки для післязбирального обробітку зернових сумішей, на основі яких буде розроблено та досліджено інноваційне устаткування для післязбирального очищення.

					<b>ІПЗМ 00.000 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Воронін</i>			Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Петренко</i>						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Мачок</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Васильковський</i>						
						ЦНТУ, гр. ГМ-23М-1.2		

## 2. НАУКОВА ЧАСТИНА

### Обґрунтування теми роботи

Після збирання врожаю на первинний обробіток, як правило, надходить зернова суміш, яка є неоднорідною за своїм фракційним складом. Наявність домішок при цьому має негативний вплив на якісні показники основної зернової фракції, призводячи до збільшення його втрат та зниження продуктивності машин і обладнання.

Таким чином, з метою забезпечення оптимальних умов первинного обробітку, метою якого є підготовка до подальшого зберігання зернових матеріалів і подальших обробіток, виконують очищення від домішок, як органічних, так і мінеральних.

Процес очищення базується на відмінностях фізико-механічних властивостей компонентів зерноматеріалу, як то розміри, форма, густина, аеродинамічні властивості тощо. Нагальними потребами є проведення пошукових досліджень найбільш ефективних технологічних рішень зерноочисних машин (ЗОМ), здатних забезпечити найкращі показники якості за результатами післязбирального очищення.

Одними з найбільш застосовуваних способів фракціонування зерноматеріалів є використання розмірних відмінностей з застосуванням решіт та аеродинамічних з використанням повітряних систем, які при правильній інтеграції надають можливість досягнення порівняно високої ефективності. На сьогоднішній момент інтеграційна схема очищення потребує забезпечення відповідності ефективності систем аспірації з решітними, саме тому дана задача потребує виконання подальших пошукових досліджень нових техніко-технологічних рішень.

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Аналіз техніко-технологічних рішень повітряно-решітних сепараторів

Найбільш поширеними в зерноочисних машинах, що відносяться до класу загального призначення, є технологічні схеми сепарації зернових матеріалів, в яких пневматична сепарація передує решітній [13]. Відомими технологічними схемами по очищенню зернових сумішей є й такі, в яких пневмосепараційна система розміщується після решітної. Зазначені схеми знайшли застосування в сепараторах невеликої продуктивності, а також в машинах, призначених для попереднього обробітку зерноsumішей з використанням решіт, що мають великі отвори, до прикладу скальператорні машин фірми «Karter Day» (США).

Останнім часом виробниками зерноочисної техніки також пропонується використання технологічних схем, в яких реалізовано дворазове очищення зернового матеріалу повітряним потоком – перед решетами і після них, до прикладу, модульні зерноочисні машини фірми «Petkus».

Переважає більшість аеросепараторних систем працюють за відкритою схемою циркуляції повітряного потоку. Натомість прогресивним вважається застосування замкнених систем, що реалізують циклічне використання повітряного потоку, що дозволяє покращити експлуатаційні умови сепараторів та сприяє зниженню енергетичних затрат на формування повітряного потоку. Зокрема дослідниками [14] виділяються наступні переваги пневматичних сепараторів, що мають замкнений цикл циркуляції повітря, порівняно із системами розімкненого циклу:

- обмеженість повітрообміну між зерноочисним обладнанням і робочою зоною, що сприяє зниженню її запиленості;
- менший рівень енергоємності формування необхідних обсягу та напору потоку повітря;

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- можливість більш компактного виконання робочих елементів та оптимізація роботи систем пиловідокремлювачів, осадкових пристроїв, що сприяє зменшенню масо-габаритних параметрів обладнання, відмову від додаткового обладнання по знепиленню тощо.

Серед найбільш поширених зерноочисних машин у вітчизняних господарствах, де використовуються аеродинамічні системи, є повітряно-решітні ЗОМ, зокрема ОВС-25, ОВУ-25, ПЕТКУС К-531, ПСО-50 (-100), «ГОРИЗОНТ-К», МЗП-50-1, які призначенні для попередньої та первинної обробки зерноsumішей; насіннеочисні машини СМ-4, СВУ-5А, ПЕТКУС К-545А, МВО-20, здатні виконати вторинне очищення та калібрування.

Більшість зазначених машин реалізують схему очищення за традиційною технологією, яка поєднує обробіток на плоских коливальних решетах та у вертикальних пневмосепаруючих каналах. Проте, досить широкої популярності набувають і окремі аеродинамічні системи очищення зерноматеріалів, як то пневматичний сепаратор ЗАВ-40.02.000 відцентрового типу, аеросепаратори СП-5, А1-БДЗ та ін.

Зважаючи на аналіз ефективності роботи зазначених технологічних систем по очищенню зерноматеріалів, слід відмітити основні напрямки розвитку повітряних сепараційних систем, які позитивно впливають на підвищення ефективності та якості виконання технологічного процесу очищення:

- застосування замкненого циклу циркуляції потоку повітря;
- формування розрихленого зернового шару суміші при її потраплянні до зони пневмосепарації, що можливо реалізувати шляхом застосування ефективних систем введення (активні живильники, пасивні подільники потоку зерноsumіші тощо);
- застосування технологічних схем пневмосепараторів, які реалізують двократний обробіток зерноsumіші повітряним потоком (грубий і

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тонкий) без збільшення енергетичних витрат на створення повітряного потоку.

Незважаючи на вказані перспективні напрямки розвитку пневмосистем, їх ефективність, порівняно з решітними, є низькою. Застосування ж у відомих зерноочисних машинах поєднаної схеми багатократного обробітку повітряним потоком хоча і дозволяє суттєво підвищити загальну ефективність сепарації, проте призводить до збільшення габаритних розмірів та підвищеної енергоємності.

Як демонструють дослідження роботи пневматичних сепарувальних каналів [4, 5, 7, 9, 11], вони, в переважній більшості, не спроможні задовольнити агротехнічні вимоги щодо повноти розділення (якості сепарування) при максимальних значеннях продуктивності. Це пов'язано з прямою залежністю зернової навантаженості повітряних каналів з швидкістю повітряного потоку, що призводить до неможливості досягнення одночасно максимальних значень показниками якості пневмосепарації – ефектом очистки та чіткістю сепарації.

Крім того, багатократний пропуск зерноматеріалів через робочі органи зерноочисного обладнання. в тому числі завантажувально-розвантажувального, призводить до зростання механічного пошкодження зернової фракції.

Таким чином, за результатами наведеного аналізу техніко-технологічного рівня існуючих зерноочисних систем можемо відзначити, що позитивним є інтеграція повітряних і решітних систем, проте наявність суттєвої різниці у співвідношенні ефективність – енерговитрати в існуючих системах зерноочищення засвідчує нераціональність використання можливостей повітряних систем. Серед основних напрямків подальшого розвитку систем очищення зерноsumішей вбачаємо впровадження операцій по попередньому відокремленню крупних домішок перед пневмосепарацією та узгодження питомої продуктивності пневмо з решітною сепарацією.

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Обґрунтування принципової схеми дослідного сепаратора

Для вирішення питання щодо підвищення ефективності процесу сепарації зерноsumішей та нівелювання недоліків, притаманних відомим конструкціям зерноочисних сепараторів дослідниками кафедри сільськогосподарського машинобудування ЦНТУ було розроблено інноваційну технологічну схему пневматичної зерноочисної машини інерційного типу, що відзначається інтеграцією повітряної та решітної схем очищення.

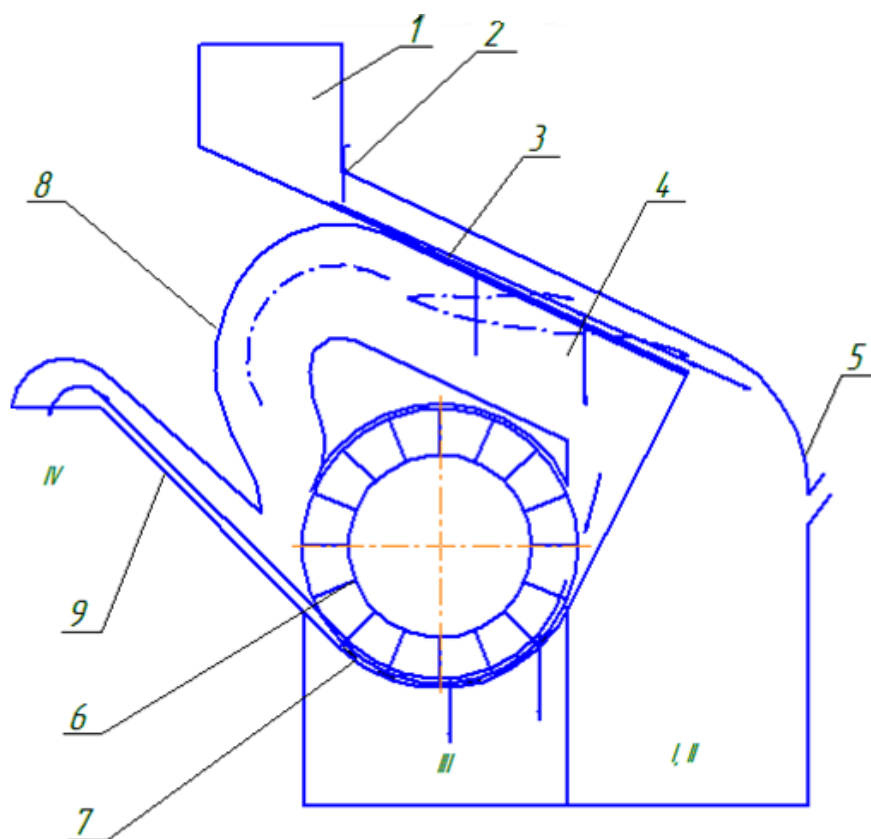
До складу зерноочисної машини (рис.2.1) входять бункер 1, живильник 2, колосове решето 3 пруткового типу, повітряний канал 4 похилого типу, кожухи 5 та 8, лопатевий ротор 6 щіткового типу, підсівне решето 7 дугоподібної форми пруткового типу та відвантажувальний рукав 9.

Відповідно до технологічної схеми процес очищення зерноsumіші від домішок у запропонованій системі відбувається наступним чином. Зернова суміш, попередньо завантажена до бункера 1, при відкритті регуляторної заслінки живильника 2 потрапляє на поверхню верхнього – колосового решета 3, де відбувається поділ за крупністю на дві фракції. Груба фракція домішок рухається сходом і виводиться за межі зони сепарації I, а прохідна фракція, яка містить зернову фракцію та дрібні домішки, рухається до наступної сепараторної системи. Одночасно при переміщенні по колосовому решету зерноsumіш обробляється і повітряним потоком під певним кутом, який забезпечує відніс легких фракцій за межі сепараторної зони II. Повітряний потік формується лопатками ротора 6, який в цьому випадку працює як радіальний вентилятор нагнітального типу.

Прохідні після колосового решета фракції надходять до наступної зони сепарації, яка сформована лопатевим ротором та підсівним дугоподібним решетом 7 з прутковою поверхнею. Тут лопатевий ротор 6 забезпечує формування необхідної товщини зернового шару на підсівному решеті 7 за

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рахунок надання необхідної швидкості переміщення. Крім того, завдяки відцентровій силі, яку створює переміщення по дугоподібній поверхні, а її силу визначає частота обертання ротора, спостерігається ефект інтенсифікації просіювання дрібних часток крізь пруткове решето. Частки, які просіялись крізь отвори підсівного решета потрапляють до відповідного коробу приймачника III. Очищене від домішок зерно за рахунок інерційних сил виводиться з сепаратора через вивантажувальний рукав 9 самопереміщенням.



1 – бункер; 2 – живильник з регулятором подачі; 3 – колосове решето пруткового типу; 4 – повітряний канал похилого типу; 5, 8 – кожухи; 6 – лопатевий ротор щіткового типу; 7 – підсівне дугоподібне решето пруткового типу; 9 – рукав відвантаження; I, II – виводи крупної і легкої домішок; III – вивід дрібної домішки; IV – вивід очищеного зерна.

Рис.2.1 – Технологічна схема пневматичного сепаратора інерційного типу

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запропонована технологічна схема комбінованого сепаратора дозволяє досягти як зменшення габаритів машини, так і енергоємності при одночасному забезпеченні якості відповідно до агровимог. Цей ефект можливий завдяки раціональному суміщенню наступних технологічних підоперацій:

- одночасне видалення крупної та легкої домішки в одній зоні сепарації;
- застосування одного робочого органу – лопатевого ротору, який здатен виконувати декілька функцій, як то формування повітряного потоку, інтенсифікація очищення зерноматеріалу на підсівному решеті, сприяння очищенню робочих отворів решета від можливого забивання, формування вивідного зернового потоку у вивантажувальному рукаві.

Зазначимо, що поелементно складові запропонованого сепаратора, серед яких решета пруткового типу та лопатевий ротор щіткового типу вже достатньо досліджені та отримали підтвердження їх високої ефективності використання в різноманітних конструкціях.

Однак, зважаючи на нову схему поєднання даних елементів постає задача по дослідженню загальної ефективності прийнятих технологічних рішень та обґрунтуванню оптимальних параметрів запропонованої системи сепарації.

### **Програма і методика досліджень.**

У відповідності до поставлених задач було виконано розробку програми експериментального дослідження, яка передбачала визначення характеристики робочого процесу сепаратора для різних питомих зернових навантажень.

Виконання експериментального дослідження передбачало використання загальноприйнятих прийомів і методик статистичного планування експерименту [20, 21], обробку результатів якого здійснювали

					<i>ІПЗМ 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шляхом застосування методів статистичної обробки з використанням критеріїв Фішера, Кохрена і Стьюдента [20-22].

Планування експерименту передбачало проведення повнофакторного експерименту плану  $2^k$ . Для збільшення точності результатів досліди проводились у рандомізованому порядку з трьохкратною повторюваністю, а довірчий інтервал становив 0,95, тобто помилка досліду не перевищувала 5%, а при перевищенні даного значення збільшували чисельність дослідів.

Матеріал для дослідів формувався шляхом відбору проб з однієї партії, контролюючи параметри по чистоті вихідного матеріалу шляхом відбору середнього зразка із їх загальної чисельності, отриманій протягом всього дослідження. При цьому також контролювалась і вологість зерноsumіші перед очищенням. В якості зерноsumіші для досліджень обрано соняшник.

Планування досліджень та обробку отриманих даних, в тому числі з формуванням графічних залежностей, виконували з допомогою пакетів прикладних програм «Mathcad», «Statistika 6.0.».

Програмою експериментів передбачалось використання оригінального і стандартного лабораторного обладнання.

При визначенні аеродинамічних властивостей фракцій зерноsumіші використовували лабораторний аерокласифікатор (рис.2.2) оригінальної конструкції, який складається з наступних елементів.

Основою є рама 1, до якої змонтовані:

циклон 3, який призначений для осаджування досліджуваного матеріалу;

робочий повітропровід 8, який оснащено прозорою частиною 6 та сітчастим дном 7, куди поміщається навіска дослідного матеріалу;

ротаметр 9, призначений для вимірювання тиску в системі і який з'єднано з основною повітряною системою допоміжними повітроводами 5.

Для створення повітряного потоку у системі аерокласифікатора використано вентилятор 2 відцентрового типу, привід якого здійснюється від

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електродвигуна 4, а регулювання частоти обертання забезпечується клинопасовим варіатором.

Для точного регулювання швидкості повітряного потоку в робочому повітропроводі 8 передбачена дросельна заслінка.

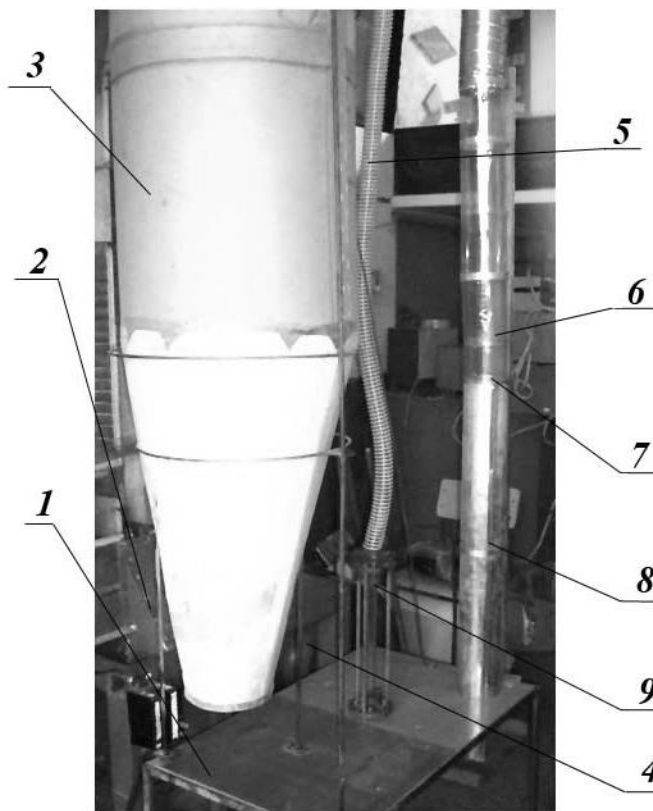


Рис.2.2 – Лабораторний аерокласифікатор

При визначенні та контролі швидкості потоку повітря в зоні сепарації сепаратора використовували мікроманометр ММН-1, оснащений трубкою Піто-Прандля, яку вводили до повітряного каналу.

Даний прилад дозволяє виміряти значення повного і статичного тисків, після чого шляхом розрахунків встановлювали величину динамічного тиску за методикою [18, 21]:

$$P_d = i \cdot \gamma_c \cdot K_m \cdot K_m \cdot (h_1 - h_0) \quad (2.1)$$

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $P_d$  – розрахункова величина динамічного тиску в пневмоканалі, мм. вод. ст.;

$i$  – кут, під яким нахилено таровану вісь трубки мікроманометра;

$\gamma_c$  – значення питомої ваги робочої рідини в системі мікроманометра, кг/м<sup>3</sup>;

$K_m$  – величина поправочного коефіцієнта мікроманометра;

$K_m$  – величина поправочного коефіцієнта пневмометричної трубки;

$h_1$  – робочий рівень показів мікроманометра, мм сп. ст.;

$h_0$  – «нульовий» рівень показів мікроманометра, мм сп. ст.

За знайденим значенням динамічного тиску  $P_d$  розраховували швидкість повітряного потоку відповідно до формули

$$U = 4,04 \cdot \sqrt{P_d} \quad (2.2)$$

Вологість зернової суміші визначали шляхом використання методу прямого висушування, для чого використовували сушильну шафу ШСУ, бюкси та ваги електронні ВЛК-500 з ціною поділки 1 г та точністю вимірів до 20 мг. Визначення об'ємної маси зернової суміші проводили з використанням ємності об'ємом 1 дм<sup>3</sup> та електронних ваг ВЛК-500.

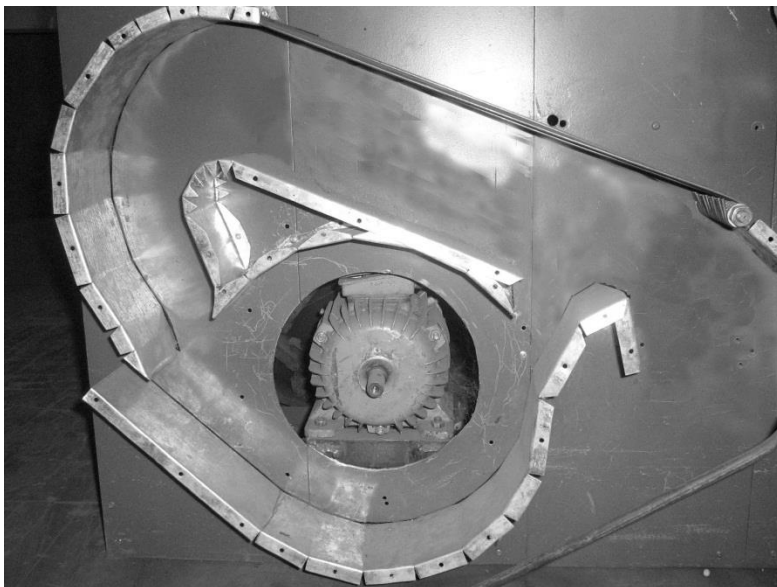
Реалізацію повнофакторного дослідження проводили на спеціально виготовленій експериментальній установці (рис.2.3), конструкція якої передбачала відповідні регулювання, передбачені планом експерименту.

Для регулювання подачі зерноматеріалу передбачено дозуючий живильник, який розміщено у вихідному вікні бункера. Величина швидкості повітряного потоку в пневмоканалі регулюється зміною частоти обертання лопатевого ротора, яка залежить від потужності приводного електродвигуна.

При вимірюванні та контролі частоти обертання валу ротора користувались тахометром годинникового типу ІО-30, що має похибку

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірів  $\pm 1\%$  та діапазон 30...30000 об/хв.



а)



б)

Рис. 2.3 – Загальний вигляд елементів експериментальної установки:  
а – основа з кожухами; б – лопатевий ротор і підсівне решето.

Потужність приводу ротора регулювалась і контролювалась приладом К-50, який дозволяє і вимірювати напругу, силу струму та потужність незалежно від мережі.

### Методика визначення критеріїв подільності компонентів зернової суміші

Критеріями подільності, як зазначалось вище, в нашому випадку є аеродинамічні та розмірні властивості компонентів зернової суміші.

При повітряній сепарації користуються ознакою подільності за швидкістю витання (критичною швидкістю) часток, для визначення якої використовували аерокласифікатор (рис. 2.2), використовуючи наступну методику.

Із зернової суміші, яка підлягала дослідженню, методом середніх проб відбирались навіски загальною вагою 100 г.

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після цього кожен навіску зерноsumіші поміщали до стакану, що має сітчасте дно 7. В початковому стані дросельну заслінку вентилятора 2 закривали повністю та вмикали привод вентилятора. Після цього поступово відкривали дросельну заслінку, збільшуючи величину швидкості потоку повітря у повітропроводі до моменту, коли фракції починали витати у ньому. Проводилась фіксація значень початку витання та виносу відносно фракційного складу зерноsumіші, яку контролювали по шкалі ротаметра. Після цього, за значеннями витрат повітря проводили розрахунки швидкостей повітряного потоку:

$$U = \frac{W}{F} \quad (2.3.)$$

де  $W$  – величина витрат повітря, м<sup>3</sup>/с;

$F$  – значення площі перерізу повітропроводу, м<sup>2</sup>.

Шляхом послідовного підвищення швидкостей потоку повітря у повітропроводі досягається виділення із зерноsumіші усіх часток, що дозволяє побудувати повний варіаційний ряд.

Після виділення кожної фракції варіаційного ряду проводилось їх зважування та співвідношення до загальної маси досліджуваної навіски, за результатами чого проводилась побудова варіаційної кривої відповідно до обраного діапазону класів швидкості витання.

При визначенні розмірних ознак подільності зерноsumіші дотримувались діючих стандартів ГОСТ 30483-97. Визначення характеристик виконували з використанням ручного класифікатора, періодично контролюючи значення за допомогою штангенциркуля, похибка якого не перевищує 0,01 мм. За результатами вимірювань проводили побудову варіаційних кривих відповідно до обраного діапазону розмірних класів.

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Величину класових інтервалів  $\lambda$  обирали відповідно до значень  $U_{\min}(b_{\min})$  і  $U_{\max}(b_{\max})$

$$\lambda = \frac{U_{\max}(b_{\max}) - U_{\min}(b_{\min})}{i} \quad (2.4)$$

де  $i$  – обрана кількість класів ( $i = 5 \dots 11$ ).

При виділенні компонентів кожного класу дотримувались тривалості 3...5 хв. Перевірку адекватності відібраних навісок усій масі зерноsumіші проводили шляхом розрахунку мінімальної чисельності вимірювань згідно [22].

### Дослідження питомої величини продуктивності

При визначенні величини питомої продуктивності  $q_B$  проводили заміри тривалості  $t_{сер}$ , протягом якої встановлена маса зерноsumіші  $m_{зсм}$  здатна вивантажитись крізь живильник відносно одиниці його ширини, яка еквівалентна ширині повітряно-решітного каналу  $B_{прк}$ :

$$q_B = m_{зсм} / B_{прк} \cdot t_{сер} \quad (2.5)$$

Реалізація даного дослідження передбачала формування навіски зерноматеріалу вагою  $m_{зсм} = 10$  кг, яка завантажувалась до бункера установки, після чого заслінка живильника відкривалась на визначену величину. При цьому відбувалась фіксація часу, протягом якого зерноsumіш повністю звільнить бункер. За фіксованої ширини каналу, проводився розрахунок дійсного питомого зернового навантаження на повітряно-решітний канал відносно його ширини  $q_B$  [кг/дм·с]. Після відповідних досліджень і розрахунків виконувалось нанесення шкали, яка відповідала величинам дійсної питомої подачі.

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Методика дослідження раціональних параметрів сепаратора

Максимальної ефективності процесу очищення зернових сумішей можливо досягти за раціонального співвідношення конструктивно-режимних параметрів сепаратора поміж собою, досягти ж цього за окремого вивчення їх впливу на критерії оптимізації неможливо. Для вирішення даної задачі по встановленню взаємного впливу факторів на критерії оптимізації потрібно використати методики статистичного планування дослідів [20-22], кінцевою ціллю якої є отримання статистичної математичної моделі об'єктів, що досліджуються у вигляді рівнянь регресії.

Відповідно до стандартних методик, для побудови і дослідження статистичних моделей необхідно виконати наступні кроки:

- виконати попереднє дослідження об'єктів на предмет встановлення критеріїв оптимізації, а також факторів, які здійснюють суттєвий вплив на ці критерії;
- визначення інтервалів варіювання величин факторів, в межах яких існує суттєвий вплив на показники ефективності;
- формування плану досліджень, визначення послідовності проведення дослідів;
- проведення досліджень згідно сформованого плану;
- обробка результатів досліджень методами статистичного моделювання, отримання математичної моделі у вигляді рівняння регресії відповідного порядку;
- проведення оцінок отриманих результатів і моделі на адекватність і відтворюваність, встановлення рівня впливовості факторів;
- проведення, за можливості, оптимізації одержаної моделі.

До критеріїв оптимізації, які характеризують ефективність виконання об'єктом дослідження технологічного процесу, ставляться наступні вимоги [20-22]:

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- описування ефективності процесу відповідно до кінцевої мети;
- володіти певною універсальністю щодо групи аналогічних процесів;
- задовольняти сукупність і вичерпність при характеризованні об'єкта дослідження;

- мати статичну ефективність, тобто володіти низькою чутливістю до неважливих коливань системи;

- володіти чітким фізичним змістом.

У практиці зерноочищення такими критеріями, які відповідають вищезазначеним умовам, є два антагонічні показники – ефект очистки  $\eta$ , %

$$y_1 = \eta \rightarrow 100\%,$$

який характеризує якість видалення домішок, та чіткість сепарації  $z$ , %

$$y_2 = z \rightarrow 0\%,$$

яка характеризує втрати зернової фракції.

Відповідно до попередньо проведених пошукових досліджень було встановлено впливовість окремих факторів та визначено їх рівні варіювання. Зокрема впливовими чинниками, які здійснюють суттєвий вплив на сепараційні процеси, виявились:

- величина питомого зернового навантаження  $x_1 = q_B$ , рівень варіювання якої знаходиться в межах 600...1800 кг/дм·год., при цьому інтервал варіювання становить 600 кг/дм·год.;

- величина швидкості, з якою зернова суміш вводиться до зони сепарації  $x_2 = V_0$ , рівень варіювання якої знаходиться в межах 0,3...0,9 м/с, при цьому інтервал варіювання становить 0,3 м/с;

- значення частоти обертання лопатевого ротора  $x_3 = n_{лр}$ , рівень варіювання якої знаходиться в межах 800...1200 об/хв, при цьому інтервал варіювання становить 200 об/хв.

Відзначимо, що впливовим фактором також є і швидкість повітряного потоку в зоні пневмосепарації, проте ця величина опосередковано пов'язана з частотою обертання ротора, тому окремо її розглядати немає сенсу.

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При встановленні рівня впливовості факторів на показники оптимізації потрібно шляхом експериментального дослідження виявити залежність між ними, досягти чого можливо за рахунок апроксимації. Серед найбільш точних методів апроксимації виділяється метод поліноміального опису процесів у вигляді рівняння регресії, вигляд якого у загальному випадку наступний:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot x_i + \sum_{i \leq j} b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i \leq j} b_i \cdot x_i^2 + \dots \quad (2.6)$$

де  $b_i$  – коефіцієнти регресії при  $i$ -му факторі, які визначають ступінь його впливовості на критерій оптимізації;

$k$  – кількість досліджуваних факторів.

Значення коефіцієнтів регресії  $b_i$  визначаються за результатами досліджень відповідно до відомих методик [20, 22].

Надалі проводилось встановлення значимості коефіцієнтів регресії за методикою «нуль-гіпотези», за якої коефіцієнти при квадратичних членах регресії прирівнюються до нуля. Для реалізації даної методики було проведено додаткові дослідження центрального композиційного плану, встановлено середні значення  $\bar{Y}_0$  критеріїв оптимізації в центрі плану та розраховано різницю  $b_0 - \bar{Y}_0$ , яка характеризує кривизну поверхонь відгуку. Нуль гіпотезу приймали за умови відсутності перевищення похибки дослідження різниці  $b_0 - \bar{Y}_0$ , значимість якої перевіряли відповідно до критерію Стюдента ( $t$ -критерій) [20, 22]

$$t_{розр} = \frac{(b_0 - \bar{Y}_0)\sqrt{N}}{\sqrt{S_y^2}} \quad (2.7)$$

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно критерію Стьюдента після отримання розрахункового значення  $t_{розр}$  проводили його порівняння з табличною величиною [20, 22] залежно від рівня значимості  $\alpha = 0,05$  та ступенів вільності  $f_t = N$ . Коефіцієнт регресії визнавався таким, що має статистичну значимість в межах величини довірчого інтервалу за умови, що величина його абсолютного значення відповідала або перевищувала його. За умови, коли виникала нерівність  $|b_i| < |\Delta b_i|$ , для відповідного фактору проводився аналіз стосовно обґрунтування іншого інтервалу варіювання, за можливості. За цих умов проводилось повторне дослідження згідно плану і при повторі ситуації з нерівністю  $|b_i| < |\Delta b_i|$  робився висновок про відсутність суттєвого впливу даного фактору на параметр оптимізації  $Y_i$ .

Перевірку щодо відтворюваності досліджень плану проводили відповідно до критерію Кохрена (G-критерій), необхідною умовою відтворюваності за яким є  $G^P < G^T$ . У протилежному випадку, тобто  $G^P > G^T$ , приходимо до висновку про відсутність відтворюваності дослідів, що може бути пов'язано з порушенням ідентичності умов дослідження, або порушення відповідних регулювань системи чи засобів вимірювання.

Перевірку щодо адекватності отриманої матмоделі проводили відповідно до критерія Фішера (F-критерій). При відповідності умовам адекватності приходили до висновку щодо можливості використання моделі для наступних досліджень.

### Результати реалізації плану досліджень

Серед задач проведених дослідів була потреба реалізувати матрицю центрального композиційного плану  $2^3$  з додатковим дослідженням так званих «зіркових точок», з метою обґрунтування ступеня і характеру впливовості визначених параметрів системи ( $q, V_0, n$ ) на критерії

					<b>ІПЗМ 00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективності сепараційного процесу – ефект очищення ( $Y_1$ ) та сепараційну чіткість ( $Y_2$ ).

Матриця досліджень згідно центрального композиційного плану  $N = 2^3 +$  зіркові точки та отримані результати її реалізації наведені в додатку А.

При обробці результатів досліджень використовували можливості пакету прикладних програм STATISTICA 6.0 [20], які дозволили отримати статистичні матмоделі:

ефект очищення

$$Y_1 = \eta = 65,76 - 21,051x_1 - 8,048x_2 + 18,66x_3 - 3,028x_1^2 + 1,39x_2^2 - 7,11x_3^2 + ; \\ + 0,031x_1x_2 - 2,38x_1x_3 - 0,98x_2x_3$$

чіткість сепарації

$$Y_2 = z = 4,781 + 1,82x_1 - 1,782x_2 + 6,481x_3 + 1,229x_1^2 + 0,604x_2^2 + 2,567x_3^2 - 1,001x_1x_2 + \\ + 0,148x_1x_3 - 0,89x_2x_3$$

Проведена статистична оцінка наведених моделей дозволила констатувати, що відповідно до критерію Кохрена дослідження є відтворюваними, про що свідчать результатів розрахунку критеріїв  $G_1^P = 0,224$  та  $G_2^P = 0,065$ , величина яких є меншою за табличне значення  $G^T = 0,282$ .

Табличне значення критерію Стюдента становить  $t = 2,14$  при рівні надійності 95% та степенів вільності  $f = 15$ , при цьому величина дисперсій розрахованих коефіцієнтів становить:

$$(S_b)_1^2 = 2,148; \quad (S_b)_2^2 = 0,005$$

Значення величини довірчого інтервалу складає:

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta b_1 = 3,89; \Delta b_2 = 0,014.$$

Порівнюючи коефіцієнти при факторах в рівняннях регресії з довірчими інтервалами констатуємо, що всі вони відзначаються значимістю.

Виконана перевірка адекватності рівнянь регресії відповідно до критерію Фішера, величина табличного значення якого становить  $F^T = 3,0$  при рівні надійності 95% та числі степенів вільності  $f = 15$ . При цьому розрахункові величини  $F_1^P = F_2^P = 0,083$  мають менші значення  $F^T \geq F^P$ , що свідчить про виконання умови адекватності статистичного дослідження та отриманих результатів.

Впливовість чинників на ефект очистки  $\eta$  також аналізували за допомогою Парето-карти (рис. 2.4), за якою найсуттєвіший вплив мають фактори  $x_1$  та  $x_3$ .

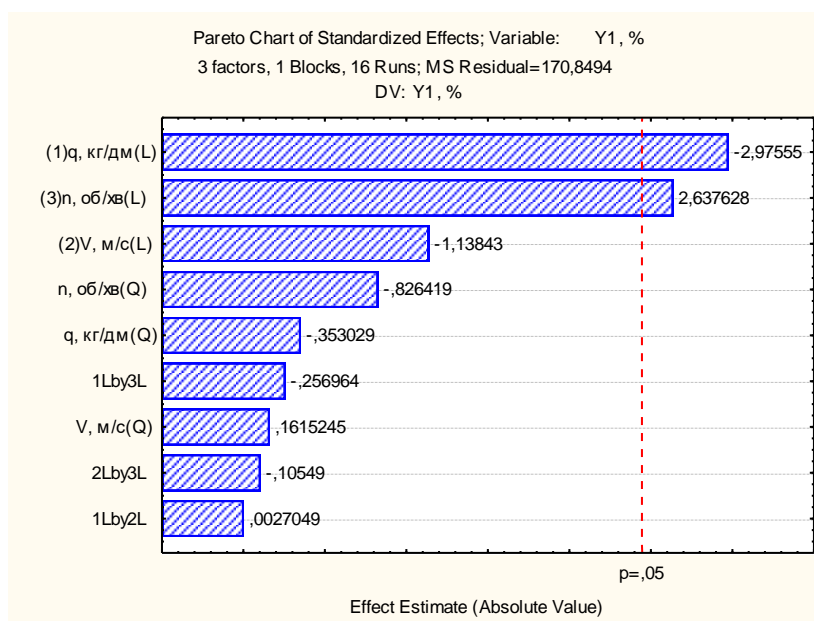
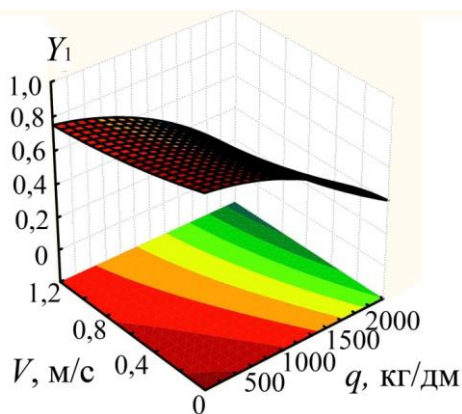


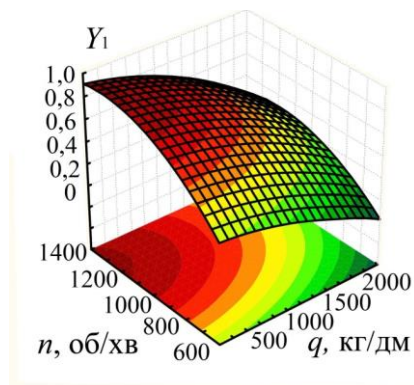
Рис. 2.4 – Вплив факторів на ефекту очистки  $Y_1(\eta)$  відповідно до Парето-карти

Аналізуючи графіки поверхонь та поверхні відгуку (рис. 2.5) можемо констатувати, що найвищого значення ефекту очищення  $\eta$  можливо досягти

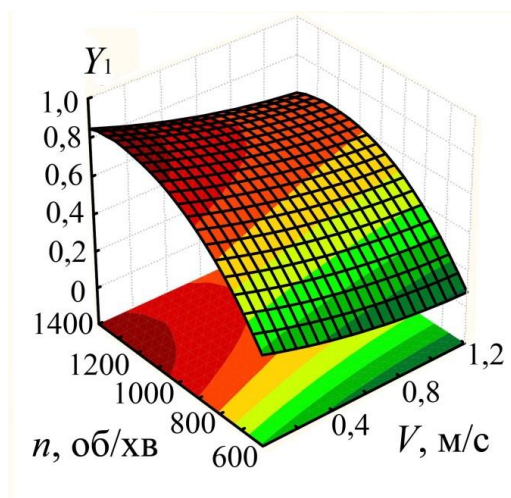
при знаходженні чинників на наступних рівнях:  $q \rightarrow \min = 500 \dots 1000$  кг/дм·год;  $V_0 \rightarrow \min = 0,2 \dots 0,5$  м/с;  $n \rightarrow \max = 1000 \dots 1300$  об/хв.



а)



б)



в)

Рис. 2.5 – Поверхні відгуку  $Y_1(\eta)$ :  
а) –  $Y_1 = f(x_2, x_1)$ ; б) –  $Y_1 = f(x_3, x_1)$ ; в) –  $Y_1 = f(x_3, x_2)$

Аналіз впливу факторів на чіткість сепарації  $z$  згідно Парето-карти (рис 2.6), дозволяє відмітити найбільш суттєвий вплив параметру  $x_3$ , що пов'язано на пряму зі зростанням швидкості повітряного потоку, яка призводить до підвищення втрат зернової фракції.

Аналізуючи графіки поверхонь відгуку (рис. 2.7) можемо констатувати, що найменшого значення втрат зернової фракції можливо досягти при знаходженні значень чинників на рівні:  $q \rightarrow \min = 500 \dots 1000$  кг/дм·год;  $V_0 \rightarrow \max = 0,5 \dots 0,8$  м/с;  $n \rightarrow \min = 600 \dots 800$  об/хв.

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

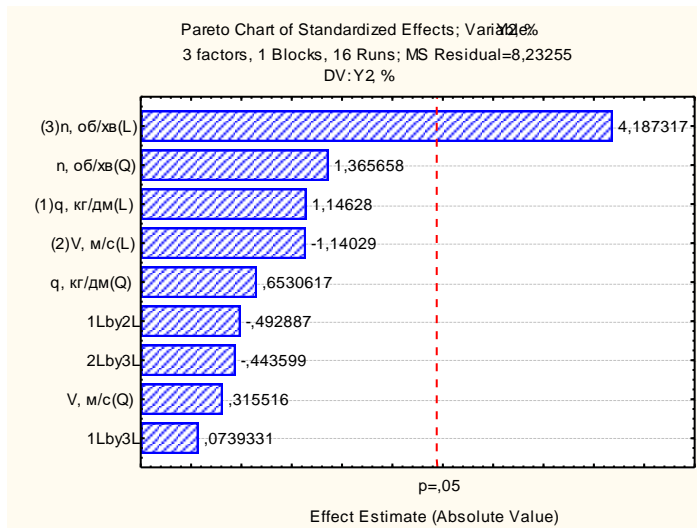


Рис. 2.6 – Вплив факторів на чіткість сепарації  $Y_2(z)$  відповідно до Парето-карти

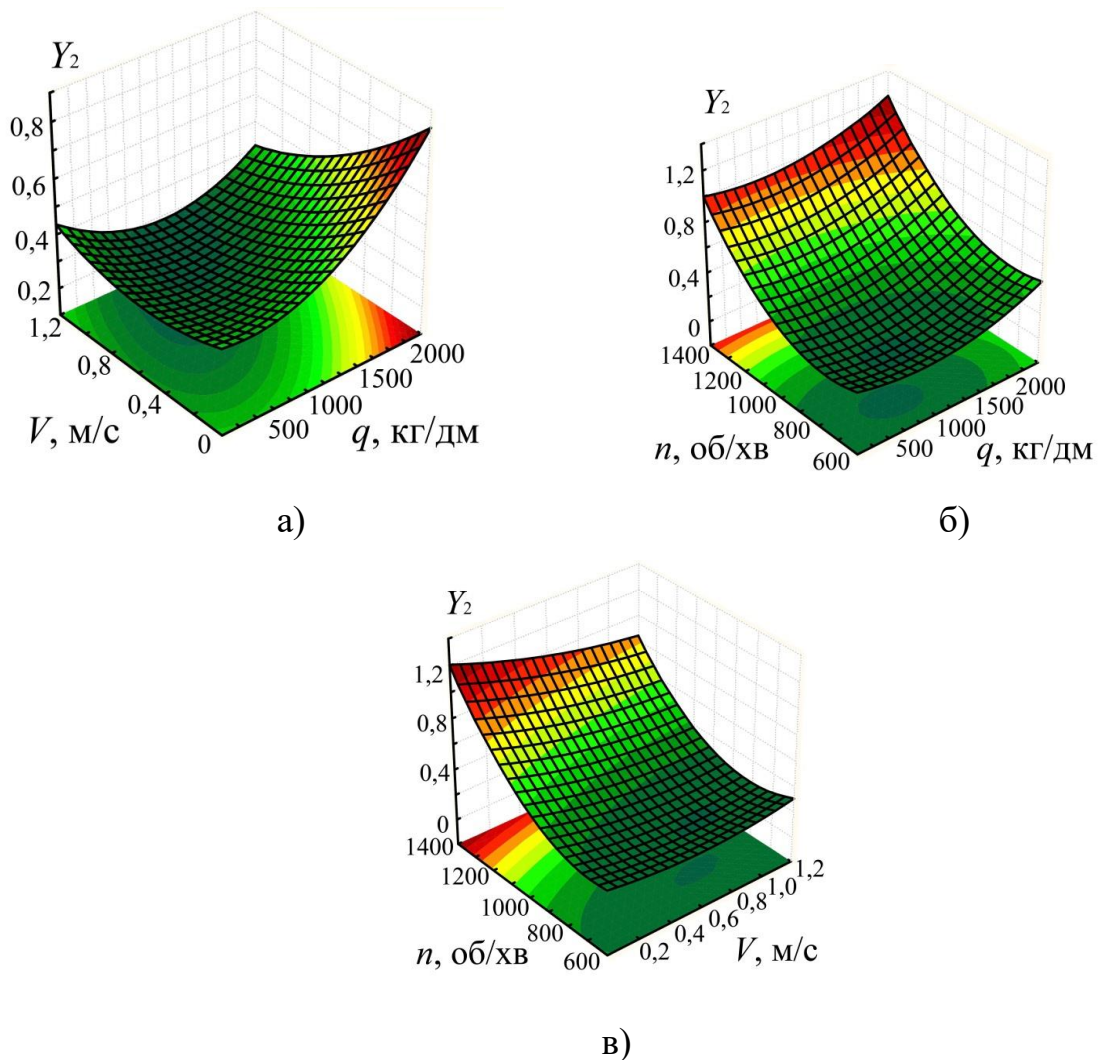


Рис. 2.7 – Поверхні відгуку  $Y_2(z)$ :  
а) –  $Y_2 = f(x_2, x_1)$ ; б) –  $Y_2 = f(x_3, x_1)$ ; в) –  $Y_2 = f(x_3, x_2)$

Як бачимо, підтвердилась гіпотеза про наявність обернено-пропорційного зв'язку між обраними критеріями оптимізації  $Y_1(\eta)$  та  $Y_2(z)$ , що унеможливило одночасне досягнення ними їх оптимальних значень, про що особливо вказує різниця в напрямку оптимізації параметру  $x_3(n)$ . В такому випадку необхідно приймати раціональний рівень факторів, за якого буде задоволено потрібний кінцевий результат процесу очищення – обмежуючим фактором в цьому випадку буде максимально можлива величина втрат зернової фракції при максимальній продуктивності процесу, а ефект очистки визначається мінімальним значенням згідно з агро вимогами до відповідного виду післязбирального обробітку.

### Висновки

За результатами дослідження стану післязбирального обробітку зернових сумішей було визначено перспективний напрям подальшого розвитку сепараційних систем, на основі якого запропоновано технологічну схему пневмо-решітного сепаратора інерційного типу. Для забезпечення максимальної ефективності роботи запропонованої сепараційної системи було заплановано та реалізовано серію досліджень, метою яких було встановлення впливу параметрів сепаратора на якісні показники очищення зерноsumіші від домішок.

За результатами досліджень можемо констатувати наступне.

При зменшенні питомої подачі спостерігається наближення критеріїв якості до їх оптимальних значень, проте це призводить до втрати продуктивності процесу, тому раціональними значеннями параметру є  $x_1(q) = 800 \dots 1200$  кг/дм·год. Швидкість подачі чинить найменший вплив на показники якості, проте це параметр також пов'язаний з продуктивністю системи, а його раціональні значення знаходяться на рівні  $V_0 = 0,3 \dots 0,5$  м/с. Найбільший вплив на якість сепарації здійснює частота обертання лопатевого ротора, а її раціональна величина знаходиться в межах  $n = 900 \dots 1200$  об/хв.

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

Вихідними даними до розрахунку є:

- Сепаратор призначений для очищення зернових сумішей від домішок, вміст яких не перевищує 15%, а їх вологість знаходиться в межах до 20%;
- Нормативна продуктивність при виконанні попереднього первинного очищення – 2500 кг/год, первинного очищення – 2000 кг/год;
- Якість роботи: ефект очищення на попередній обробці – не менше 0,6; втрати зерна в межах до 2%; травмування зерна основної культури в процесі обробітку не допустима;
- Кількість операторів – 1 особа.

#### 3.1. Технологічні розрахунки

##### Розрахунок колосового решета

Колосове решето призначено для сепарації за розмірами крупної фракційної домішки. Дане решето розміщується під кутом відносно горизонту, є нерухомим та має пруткову поверхню з каналами, поперечні перетинки в яких відсутні (рис. 3.1).

З врахуванням заданої продуктивності сепарації попереднього обробітку, розраховуємо ширину колосового решета, зважаючи на його пропускну здатність:

$$B_{к.р.} = Q_{ноп.} / q_{в.к.р.} = 2500 / 2500 = 1 \text{ дм}, \quad (3.1)$$

де  $Q_{ноп.}$  – планова продуктивність сепарації при попередньому очищенні відповідно до завдання, кг/год;

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$q_{в.к.р.}$  – пропускна здатність колосового решета відносно одиниці його ширини, яка, згідно з дослідними даними, для діаметра прутків 4 мм та повноти поділу зерноsumіші 0,5...0,8 становить  $q_{в.к.р.} = 2500$  кг/дм·год.

Встановимо чисельність робочих каналів, які необхідно мати на колосовому решеті:

$$z_{к.р.} = \frac{B_{к.р.} + d_{к.р.}}{\Delta_{к.р.} + d_{к.р.}} \quad (3.2)$$

де  $d_{к.р.} = 4$  мм – величина діаметра прутків колосового решета;

$\Delta_{к.р.} = 4$  мм – величина робочого зазору між прутками колосового решета, значення якого залежить від розмірних характеристик зерноsumіші.

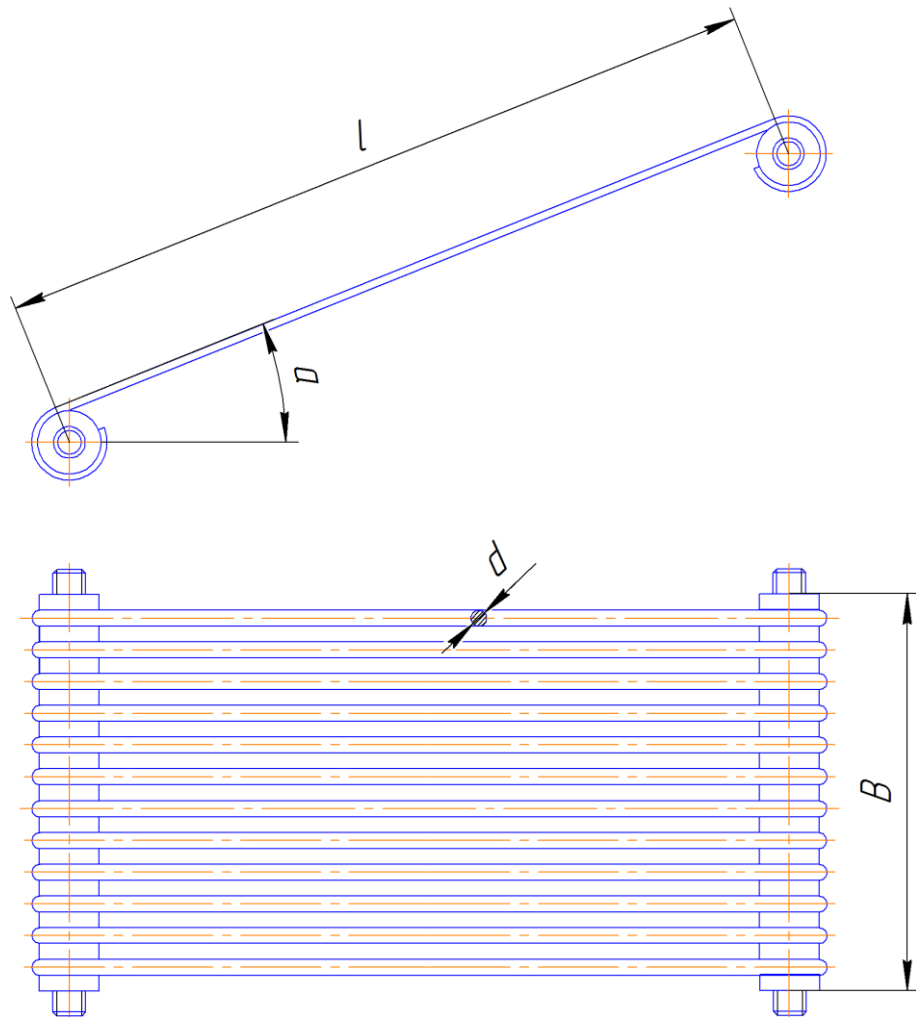


Рис. 3.1 – Схема до розрахунку колосового решета

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, чисельність робочих каналів становитиме

$$z_{к.р.} = \frac{100 + 4,0}{4,0 + 4,0} = 13,0 \text{ шт.}$$

Далі встановимо робочу довжину колосового решета відповідно до заданої продуктивності, враховуючи пропускну здатність площі решета за умов дотримання агротехнічних вимог щодо якісних показників сепарації:

$$l = \frac{q_{в.к.р.}}{q_{ф.к.р.}} \quad (3.3)$$

де  $q_{ф.к.р.}$  – величина пропускну здатності одиниці площі колосового решета, що має пруткову поверхню, згідно попередніх досліджень ця величина становить 670...720 кг/дм<sup>2</sup>·год.

$$l_{к.р.} = \frac{2500}{670} = 3,73 \text{ дм.}$$

Приймаємо зі стандартного ряду величину довжини колосового решета  $l_{к.р.} = 4 \text{ дм} = 400 \text{ мм.}$

### Розрахунок підсівного решета

Зважаючи на ширину колосового решета, величина якої складає 1 дм, конструктивно узгоджуємо з нею і ширину підсівного решета (рис. 3.2).

Проводимо перевірку допустимого питомого навантаження на одиницю ширини підсівного решета:

$$q_{в.п.р.} = Q_{нон.} / B_{п.р.} = 2500 / 1 = 2500 \text{ кг/дм} \cdot \text{год.} \quad (3.4)$$

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

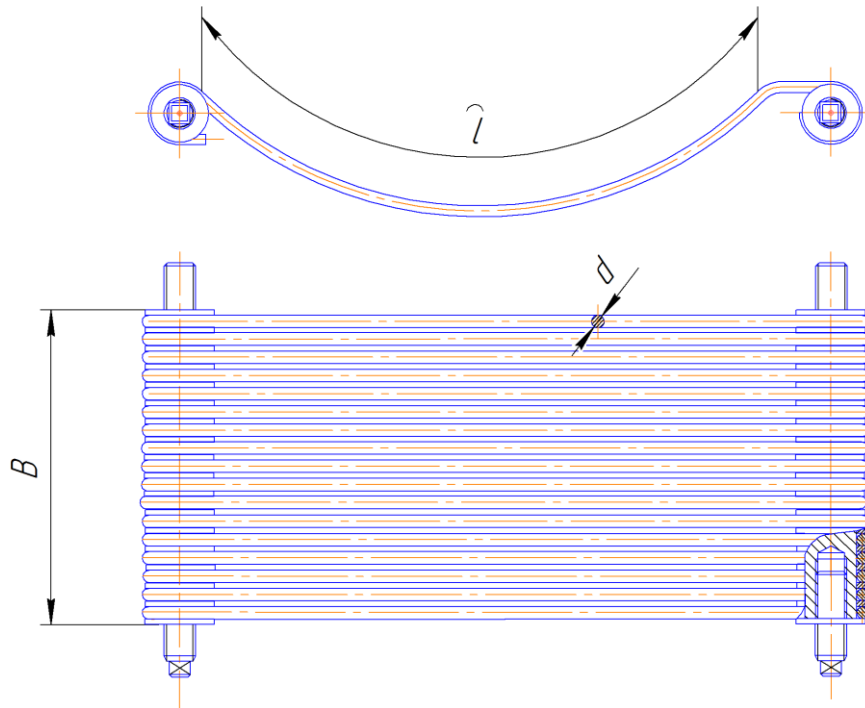


Рис. 3.2 – Схема до розрахунку підсівного решета.

Зважаючи на те, що отримана величина питомого завантаження, яке припадає на одиницю ширини підсівного решета, перебуває в межах дослідного діапазону значень, який встановлено в ході попередніх досліджень, то можемо прийняти таку ширину підсівного решета.

Довжину підсівного решета визначимо аналогічно, враховуючи пропускну здатність його дугоподібної пруткової поверхні:

$$l_{n.p.} = \frac{q_{B.n.p.}}{q_{F.n.p.}} = \frac{2500}{1250} = 2,0 \text{ дм}, \quad (3.5)$$

$q_{F.n.p.}$  – величина пропускну здатності одиниці площі підсівного решета, що має пруткову дугоподібну поверхню, згідно попередніх досліджень ця величина становить  $q_{F.n.p.} = 1250 \dots 1500 \text{ кг/дм}^2 \cdot \text{год}$ .

Чисельність робочих каналів даного решета матиме значення:

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$z_{n.p.} = \frac{B_{n.p.} + d_{n.p.}}{\Delta_{n.p.} + d_{n.p.}} = \frac{100 + 4}{2 + 4} = 17,3 \quad (3.6)$$

де  $d_{n.p.} = 4$  мм – величина діаметра прутків пруткового решета;

$\Delta_{n.p.} = 2$  мм – величина робочого зазору між прутками колосового решета, значення якого залежить від розмірних характеристик зерноsumіші.

Таким чином, чисельність робочих каналів:

$$z_{n.p.} = \frac{100 + 4,0}{2,0 + 4,0} = 17,3$$

Прийmemo  $z = 17$ .

Отже, величина фактичної ширини підсівного решета становитиме

$$B_{n.p.} = \Delta_{n.p.} \cdot z_{n.p.} + d_{n.p.} \cdot (z_{n.p.} - 1), \quad (3.7)$$

$$B_{n.p.} = 2,0 \cdot 17 + 4,0 \cdot (17 - 1) = 98 \text{ мм.}$$

Величина радіуса дуги підсівного решета буде мати значення:

$$R_{n.p.} = \frac{2 \cdot l_{n.p.}}{\pi} = \frac{2 \cdot 2,0}{3,14} = 1,25 \text{ дм.} \quad (3.8)$$

### Розрахунок аспіраційного модуля

Зважаючи на прямокутної форми переріз решітної системи сепарації, доцільним є виконання повітряного каналу тієї ж форми перерізу, для якого необхідно виконати розрахунки глибини і ширини зони сепарації.

Ширина  $B_{асп.}$  аспіраційної зони визначається відповідно до умов:

					<b>ІПЗМ 00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B_{асп.} = \frac{Q_{ноп}}{q_{B.асп.} \cdot k_{инт.} \cdot i} \quad (3.9)$$

де  $q_{B.асп.}$  – величина пропускної здатності відносно одиниці ширини пневмоканалів прямокутної форми перерізу, яка відповідно до дослідних даних має значення 2500 кг/дм·год;

$i$  – чисельність аспіраційних каналів,  $i=1$ ;

$k_{инт.}$  – коефіцієнт інтенсифікації, який характеризує підвищення пропускної здатності пневмоканалу в умовах, коли застосовуються додаткові інтенсифікуючі фактори,

$$k_{инт.} = \frac{q'_{B.асп.}}{q_{B.асп.}} \quad (3.10)$$

де  $q'_{B.асп.}$  – величина пропускної здатності відносно одиниці ширини аспіраційного каналу при застосуванні інтенсифікованих факторів згідно дослідних даних, кг/дм·год;

$$k_{инт.} = \frac{2650}{2500} = 1,06.$$

Таким чином, величина ширини аспіраційної зони становитиме:

$$B_{асп.} = \frac{2500}{2500 \cdot 1,06 \cdot 1} = 0,94 \text{ дм.}$$

Зважаючи на можливі зміни у фізико-механічних властивостях зерносумішей, прийmemo ширину зони аспірації рівну  $B_{асп.} = 1$  дм, величина якої відповідає ширині колосового і підсівного решіт.

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення глибини зони аспірації, відповідно до рекомендацій [14], визначається наступною залежністю:

$$\frac{c_{асп.}}{B_{асп.}} \geq 1 \dots 1,2, \quad (3.11)$$

звідки

$$c_{асп.} = 1,0 \cdot 1,2 = 1,2 \text{ дм.}$$

За знайденим значенням глибини пневмоканалу визначимо величину пропускної здатності, яка приходить на одиницю площі зони аспірації:

$$q'_{F.асп} = \frac{q'_{B.асп}}{c_{асп.}} = \frac{2650}{1,2} = 2208 \text{ кг/ дм}^2 \cdot \text{год.} \quad (3.12)$$

Значення обсягу повітря, який необхідно забезпечити в пневмосистемі знаходимо за загальноприйнятими методиками [18]:

$$W_{асп.} = 36 \cdot v_{вст.} \cdot B_{асп.} \cdot c_{асп.} \cdot i \quad (3.13)$$

де  $v_{вст.} = (0,7 \dots 0,8) \cdot v_{кр}$  – значення встановленої швидкості повітряного потоку в зоні сепарації, м/с;

$v_{кр}$  – величина критичної швидкості, притаманна фракції основної культури, яка підлягає очищенню повітряним потоком,  $v_{кр} \approx 9$  м/с – для заданої культури [12, 13, 18]

$$v_{вст.} = 0,75 \cdot 9,0 = 6,75 \text{ м/с;}$$

Тоді

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{асн.} = 36 \cdot 6,75 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1 = 291,6 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Напір повітря, який необхідно забезпечити в аспіраційній системі, зважаючи на його пропускну здатність, встановлюємо з емпіричної залежності [18]:

$$P_{k.асн.} = (0,1 + 0,00013 \cdot q_{F.асн.}) \cdot v_{вст.}^2, \quad (3.14)$$

$$P_{k.асн.} = (0,1 + 0,0013 \cdot 2208) \cdot 6,75^2 = 135,3 \text{ кг/м}^2.$$

### Розрахунок лопатевого ротора

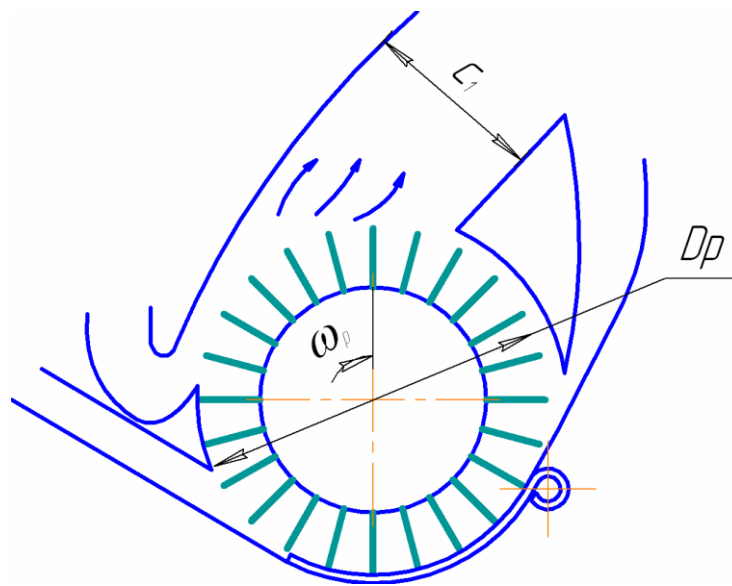


Рис. 3.3 – Схема до розрахунку параметрів лопатевого ротора

Частота обертання ротора, виходячи з оптимального режиму роботи становитиме:

$$n_{л.р.} = \frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot K_{л.р.}}{R_{л.р.}}} \quad (3.15)$$

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $\kappa_{л.р.} = 308$  – величина раціонального значення показника кінематичного режиму, за яким працює лопатевий ротор щіткового типу інерційного прямоточного сепаратора [8].

$$n_{л.р.} = \frac{30}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{9,81 \cdot 308}{0,125}} = 1485,4 \text{ об/хв.}$$

Встановимо чисельність роторних лопаток за залежністю:

$$k_{л.р.} = \frac{Q_{ноп.} \cdot (\Delta_{н.р.} + d_{н.р.})}{600 \cdot l_3 \cdot h_{з.н.р.} \cdot (B_{н.р.} + d_{н.р.}) \cdot b_3 \cdot (1 + \psi_{д.д.}) \cdot n_{л.р.} \cdot \gamma_{зсм}} \quad (3.16)$$

де  $l_3$  – величина усередненого значення довжини одиниці основної культури, м;

$b_3$  – величина усередненого значення ширини одиниці основної культури, м;

$h_{з.н.р.}$  – величина товщини зерноsumіші, яку формується після взаємодії з лопатками ротора, м;

$\psi_{д.д.}$  – вміст дрібних домішок у зерноsumіші, яка надходить до підсівного решета, у.о.;

$\Delta_{н.р.}$  – величина зазору на підсівному решеті, м.

$d_{н.р.}$  – величина діаметра прутків, з яких сформоване підсівне решето, м;

$\gamma_{зсм}$  – питома вага зерноsumіші, яка надходить до підсівного решета, кг/м<sup>2</sup>.

Таким чином, кількість лопаток ротора становитме:

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_{л.р.} = \frac{2500 \cdot (0,002 + 0,004)}{600 \cdot 0,008 \cdot 0,0025 \cdot (0,01 + 0,004) \cdot 0,003 \cdot (1 + 0,15) \cdot 1500 \cdot 778} = 22,1 \text{ шт.}$$

Встановимо чисельну кількість лопаток ротора на рівні  $k_{л.р.} = 22$  шт.

Як відзначалось, лопатевий ротор не лише виконує функцію інтенсифікатора при сепарації зерноsumіші на підсівному решеті, а й формує повітряний потік для аспіраційної системи. Тож встановимо параметри ротора з позиції аеродинаміки.

У відповідності до теорії барабана розрахуємо масу повітря, яка витискається під дією планок ротора впродовж секунди:

$$m_{нов.} = \frac{\gamma_{нов.} \cdot S_{лоп.} \cdot k_{лоп.} \cdot V_{лоп.}}{g} \quad (3.17)$$

де  $\gamma_{нов.}$  – характеристика щільності повітря,  $\gamma_{нов.} = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ;

$S_{лоп.}$  – величина лобової площини однієї планки;

$k_{л.р.}$  – чисельність планок на роторі;

$V_{лоп.}$  – значення лінійної швидкості, яка виникає в центрі лобової площини лопаток;

$g$  – прискорення вільного падіння.

Площа планки визначається як

$$S_{лоп.} = a_{пл} \cdot b_{пл} \quad (3.18)$$

де  $a_{пл}$ ,  $b_{пл}$  – параметри планки ротора, відповідно значення її довжини та ширини (рис. 3.4).

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

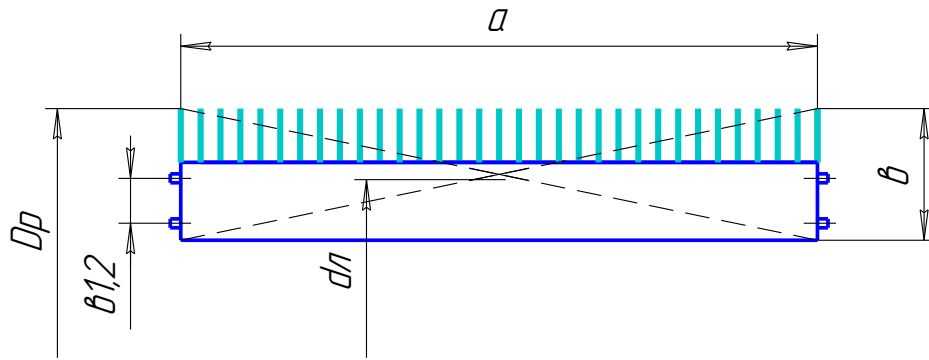


Рис. 3.4 – Схема до розрахунку параметрів планок ротора

Довжина щіткової планки ротора з конструктивної доцільності має аналогічну до довжини ротора величину:

$$a_{пл} = L_{л.р.} = 1 \text{ дм} = 0,1 \text{ м.}$$

При виборі ширини планки скористаємось стандартним рядом виконання щіток та конструктивним співвідношенням довжини до ширини:

$$b_{пл} = a_{пл} \cdot 0,8 = 0,1 \cdot 0,8 = 0,08 \text{ м.}$$

Таким чином, величина площі однієї лопатки становитиме:

$$S_{лон} = 0,10 \cdot 0,08 = 0,008 \text{ м}^2.$$

Величина лінійної швидкості, яка виникає в центрі лобової площини лопаток, становитиме:

$$V_{лон.} = \omega_{л.р.} \cdot r_{лон.} \quad (3.19)$$

де  $\omega_{л.р.}$  – значення кутової швидкості лопаток ротора, рад/с;

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega_{л.р.} = \frac{\pi \cdot n_{л.р.}}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ рад/с} \quad (3.20)$$

$r_{л.оп.}$  – величина радіуса центра лобової площини лопатки, м (рис. 3.4.);

$$r_{л.оп.} = \frac{d_{л.оп.}}{2}, \quad (3.21)$$

де  $d_{л.оп.}$  – величина діаметра лобової поверхні, м;

$$d_{л.оп.} = D_{л.р.} - \frac{b_{пл.}}{2},$$

$D_{л.р.}$  – загальний діаметр щіткового ротора, м.

Отже

$$r_{л.оп.} = \frac{1}{2} \cdot (0,250 - \frac{0,08}{2}) = 0,105 \text{ м},$$

при цьому величина лінійної швидкості

$$V_{л.оп.} = 157 \cdot 0,105 = 16,5 \text{ м/с},$$

а маса повітря, яку здатен продукувати ротор протягом 1 секунди:

$$m_{нов.} = \frac{1,2 \cdot 0,008 \cdot 22 \cdot 16,5}{9,81} = 0,355 \text{ кг.}$$

Повітря, витіснене лопатками ротора, набуває швидкості  $\mathcal{G}_{нов.}$ , між якою і швидкістю центра лобової площини  $V_{л.оп.}$  існує наступна пропорційність:

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{нов} = \nu \cdot V_{лоп.} \quad (3.22)$$

де  $\nu$  – коефіцієнт, який встановлює характер пропорційності і залежить від показника кінематрежиму ротора та чисельності його лопаток. Дослідженнями встановлено значення цього коефіцієнта на рівні  $\nu=0,51$  при числі лопаток  $k_{л.р.} = 22$  та величині показника кінематрежиму  $\kappa = 314$  [5, 14].

Таким чином, повітря при виході до повітряного каналу набуде швидкості:

$$G_{нов} = 0,51 \cdot 16,5 = 8,4 \text{ м/с.}$$

Величина витрат повітря, яку отримуємо в місці виходу із ротора (рис. 3.3) становитиме:

$$W_{л.р.} = S_{асп} \cdot G_{нов}$$

де  $S_{асп1}$  – значення площі перерізу пневматичного каналу в місці виходу із ротора, м<sup>2</sup>;

$$S_{асп1} = B_{асп1} \cdot c_{асп1} = 0,1 \cdot 0,12 = 0,012 \text{ м}^2$$

Отже, значення витрат повітря, яку отримуємо в місці виходу із ротора:

$$W_1 = 0,012 \cdot 8,4 = 0,1 \text{ м}^3/\text{с} = 362,8 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Проводячи порівняння необхідних витрат повітря в зоні пневмосепарації з витратами, які здатен забезпечити щітковий лопатевий ротор, приходимо до висновку про достатню продуктивність розрахованої системи в якості джерела формування повітряного потоку.

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$N_{л.р.} = 0,18^2 \frac{1,2 \cdot 0,008 \cdot 0,105 \cdot 22}{2 \cdot 9,8} \cdot 157^3 + \frac{2500 \cdot 770 \cdot 0,125 \cdot 9,8 \cdot (2 - 0,15 \cdot 0,8)}{3600 \cdot 2} + [\sin 28 - \sin 45 + \frac{314}{2} - \frac{16,5^2}{2 \cdot 9,8 \cdot 0,125} + 0,35 \cdot 770 \cdot (314 + \sin 45)] = 856,2 \text{ Вт.}$$

Підбираємо трифазний електродвигун моделі АІР80А4, що забезпечує частоту обертання 1500 об/хв. та має номінальну потужність 1,1 кВт.

### Висновки до розділу

В інженерній частині було проведено технологічні розрахунки параметрів і режимів роботи робочих органів запропонованого інерційного пневматичного сепаратора для очищення зернових сумішей.

З використанням методів технічної механіки, опору матеріалів, математичного моделювання процесів та на основі проведених попередніх досліджень виконано розрахунки решітної системи, зокрема колосового і підсівного решіт, обґрунтовано параметри лопатевого ротору, лопатки якого виконані з щіткового матеріалу, крім того встановлено і параметричні характеристики системи аспірації. Зважаючи на багатофункціональність лопатевого ротора, проведено додаткові його розрахунки, які забезпечили виконання ним усіх покладених операцій. Так було обґрунтовано його параметри, зважаючи на функції щодо інтенсифікації процесу сепарації на підсівному решеті та формування необхідного для пневмосепарації повітряного потоку.

Запропонована сепараційна система має один активний робочий орган – лопатевий ротор, для якого виконано енергетичні розрахунки щодо вибору потужності приводу.

					<i>ІПЗМ 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Експлуатація зерноочисного сепаратора пов'язана з можливістю виникнення ряду небезпечних і шкідливих факторів, які необхідно мінімізувати або усунути.

В першу чергу, до роботи з сепаратором та його обслуговування можливо допускати лише осіб, ознайомлених з інструкцією по його експлуатації і обслуговуванню, після проходження такими працівниками відповідних інструктажів на робочому місці з охорони праці та пожежної безпеки.

Вимогами правильної експлуатації передбачена наявність відповідного робочого одягу та засобів захисту органів дихання у вигляді респіраторів не нижче рівня захисту FFP2, та зору у вигляді пилозахисних окулярів. Для зменшення рівня вібрацій і шумів, викликаних ними, при монтажі обладнання застосовувати відповідні гасники вібрацій. При перевищенні шумових параметрів середовища вище встановленого рівня, забезпечити працівників шумопоглинаючими навушниками або берушами. При обслуговуванні сепаратора, його очищенні тощо потрібно користуватись спеціалізованим інструментом, призначеним для виконання відповідних робіт.

Перед ввімкненням сепаратора потрібно впевнитись:

- у справності і цілісності електрообладнання і електропроводки, включно з заземленням та щитом керування;
- наявності та фіксації захисних огорожень як сепараторних систем, так і робочої зони, де працює машина і суміжне обладнання;
- наявності і комплектності протипожежного інвентарю та засобів першої домедичної допомоги.

При першому «холостому» ввімкненні пересвідчитись у відповідності роботи сепараторного обладнання паспортним показникам.

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Регулювання, обслуговування і очищення систем і обладнання зерноочисної машини проводити лише при вимкнені напруги, контроль забезпечити відповідними сигналами та табличками в електрощитовій.

Робота з сепараторним обладнанням суворо заборонена при відсутності або пошкодженні заземлення, несправності чи пошкодженні пристроїв захисного вимкнення.

В зв'язку з можливим запиленням робочої зони необхідно забезпечити витяжну вентиляцію робочого приміщення, не допустима наявність джерел відкритого вогню в робочій зоні. Приміщення, де проводиться експлуатація зерноочисного сепаратора, повинно бути обладнане засобами автоматичної протипожежної сигналізації та засобами пожежогасіння.

При експлуатації зерноочисного обладнання проводити постійний контроль та очищення робочих органів від сторонніх предметів і сміття.

Експлуатація сепаратора заборонена без огорожень робочих органів, які обертаються або переміщуються.

Під час експлуатації заборонено:

- допуск до зони роботи обладнання сторонніх осіб;
- ігнорування регламентованих оглядів, очищень, змащувань, регулювань механізмів робочої зони та обладнання;
- зняття захисних огорожень;
- виконання робіт при наявності пошкоджень робочих органів, систем захисту, електрообладнання чи невідповідності їх параметрів паспортним характеристикам.

Роботи по змащенню підшипникових вузлів виконувати рекомендованим типом мастил або їх аналогами з відповідними характеристиками.

					<i>ІПЗМ 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В попередніх розділах було проведено розробку конструктивної схеми пневмо-решітного сепаратора інерційного типу, в якому застосовано ефективний багатофункціональний робочий орган, що забезпечує інтенсифікацію процесу решітного розділення зерноsumіші та формування повітряний потік для системи аспірації. Проведені дослідження та інженерні розрахунки підтвердили підвищення ефективності післязбирального очищення зерноsumішей з використанням запропонованого сепаратора. Крім того, порівняно з аналогами, які відповідають тому ж класу зерноочисного обладнання, запропонований сепаратор має більш ефективні питомі масогабаритні характеристики, що пов'язано з суміщенням відповідних технологічних операцій решітної і пневматичної систем сепарації.

Основні техніко-економічні порівняльні характеристики наведені у табл. 5.1, а згідно стандартних методик розрахунку економічної ефективності впровадження у виробництво нових технічних рішень [26, 27], виробництво запропонованого технологічного обладнання дозволить отримати потенційний економічний ефект як для виробника в розмірі 1630,5 грн., так і споживача в межах 9061 грн. з однієї машини в рік.

Табл. 5.1 – Техніко-економічні показники впровадження запропонованого технологічного обладнання

№ п/п	Показники	Один. вимір.	Умовні позн.	Машина	
				аналог	запропонов.
1	Тип машини			стаціонарна	
2	Оптова ціна машини	грн.	$C_{on}$	50410	54389,7
3	Собівартість виготовлення машини	грн.	$C$	36300	34269,6
4	Маса машини	кг	$M$	74	65
5	Продуктивність машини за 1 годину чистого часу	т/год	$P_{ч}$	2,0	2,5
6	Потужність електродвигуна	кВт	$P_{\delta}$	1,55	1,1
7	Коефіцієнти використання часу зміни: - робочого експлуатаційного		$K_{вр}$	0,82	0,96
			$K_{ек}$	0,76	0,95

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Відповідно до цілей кваліфікаційної роботи були визначені задачі, які полягали в пошуку можливостей підвищення ефективності процесу очищення зернових сумішей. В зв'язку з цим було виконано пошукові дослідження серед існуючих технологічних рішень сепараторних систем, результатом яких стало встановлення перспективного напрямку розвитку систем зерноочищення, на основі яких запропоновано інноваційну систему інтегрованого пневмо-решітного сепаратора, оснащеного багатофункціональним робочим органом. Головною особливістю запропонованого техніко-технологічного рішення є багатофункціональність, яка полягає в наступному:

- інтеграція решітної та повітряної сепарації, що передбачає одночасне видалення крупних та легких домішок в одній сепараційній зоні, що передбачає при переміщенні зерноsumіші по колосовому решету обробіток повітряним потоком;

- інтеграція декількох функцій в одному робочому органі – лопатовому роторі, який забезпечує інтенсифікацію процесу сепарації на підсівному решеті та формує необхідні параметри повітряного потоку для аспіраційної системи, крім того, додатково створює передумови для самопливного вивантаження очищеного зерна із сепаратора.

Було відзначено, що для окремих елементів запропонованого технічного рішення вже проведені відповідні дослідження, які підтвердили їх ефективність роботи з відповідними параметрами, особливо це стосується лопатого ротора щіткового типу, а для решіт пруткового профілю також проведено експериментальну перевірку щодо їх ефективності і доцільності застосування.

Таким чином, основною задачею даної роботи виділено дослідження ефективності комбінованого застосування зазначених сепараційних систем в

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

одній технологічній схемі з дослідженням узгодженості їх показників ефективності, що дозволить отримати максимальний рівень техніко-економічного ефекту.

Реалізація визначеної задачі полягала в розробці та виготовленні експериментальної установки, плануванні та реалізації повного факторного експерименту, за результатами якого можемо констатувати наступне:

– зменшення величини питомого навантаження позитивно впливає на обидва критерії оптимізації, проте, зважаючи на наявність прямого зв'язку з продуктивністю сепарації, раціональний діапазон його значень знаходиться в межах  $q = 800...1200$  кг/дм·год;

– швидкість, з якою зерноматеріал вводиться до першої зони сепарації має прямий вплив на товщину зерноматеріалу в зоні сепарації з одного боку, а також з іншого відзначається зв'язком з продуктивністю сепараційного процесу, тому, з огляду на сумісний аналіз критеріїв оптимізації, раціональними її значеннями є  $V_0 = 0,3...0,5$  м/с;

– протилежним характером впливу на критерії оптимізації відзначається частота, з якою обертається лопатевий ротор – при її збільшенні покращується ефект очистки, і навпаки, при зменшенні спостерігаються менші втрати зернової фракції у відходах, тому раціональними значеннями даного параметра є  $n = 900...1200$  об/хв.

Зважаючи на проведені дослідження, в інженерній частині було реалізовано задачі по розрахунку відповідних параметрів і режимів роботи запропонованого сепаратора, що дозволяє досягти оптимальних його техніко-економічних показників з точки зору енергоємності та металоємності, крім того досягається максимальна ефективність його функціонування.

Також було проведено аналіз небезпечних виробничих факторів, які можуть виникати в період експлуатації запропонованого сепаратора, та запропоновано заходи, що унеможливають або мінімізують дані небезпеки.

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Захарчук О. В., Навроцький Я. Ф., Вишневецька О. В. Сучасний стан та перспективи матеріально-технічного забезпечення сільського господарства. Економіка АПК. 2021. № 6. С. 79-88. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202106079>
2. Олійник, О. В. Інноваційність розвитку окремих галузей аграрного сектору і його фінансове забезпечення / О. В. Олійник, Г. С. Морозова, В. М. Шевченко // Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуал. питання науки і практики. 2020. № 4. С. 53–66.
3. Основні тенденції розвитку світового продовольчого ринку та виробництво продовольства в Україні. / Кириленко І.Г., Івченко В.Є., Дем'янчук В.В. Економіка АПК. 2018. № 9. С. 34.
4. Обґрунтування параметрів відцентрово-пневматичного сепаратора зерна [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Петренко Дмитро Іванович ; Кіровоград. нац. техн. ун-т. Кіровоград, 2011. 20 с.
5. Обґрунтування параметрів пневмосепаруючої системи інерційного прямоочного сепаратора зерна [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Лещенко Сергій Миколайович ; Кіровоград. нац. техн. ун-т. Кіровоград, 2010. 20 с.
6. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва: навч. посібник / П.С. Берник [та ін.]. Львів: Вид-во Національного ун-ту "Львівська політехніка", 2004. 336 с.
7. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / Мирончук В. Г., Гулий І. С., Пушанко М. М. [та ін.] ; за ред. В. Г. Мирончука. Вінниця: Нова книга, 2007. 648 с.
8. Рослинництво: Підручник. О. І. Зінченко, В. Н. Салатенко, М. А. Білоножко. К.: Аграрна освіта, 2001. 591 с.
9. Машини та обладнання переробних виробництв: навч. посібник для студ. вузів / О.В. Дацишин [та ін.]; за ред. О.В. Дацишина. К.: Вища освіта, 2005. 159 с.

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Шмат К.І., Диневич Г.Ю., Карманов В.В. Технологія і обладнання для зберігання і переробки сільськогосподарської продукції. Навчальний посібник. Херсон, ХНТУ, 2004. 400 с.
11. Обґрунтування параметрів пневмосепаруючого каналу з багаторівневим введенням зернового матеріалу [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Нестеренко Олександр Вікторович ; Центральноукр. нац. техн. ун-т. Кропивницький, 2017. 21 с.
12. Михайлов Є.В. Післязбиральна обробка зерна у господарствах півдня України. Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», Мелітополь: 2012. 260 с.
13. Технічні засоби післязбиральної обробки насіння соняшнику: монографія. Є.В. Михайлов, С.В. Кюрчев, О.С. Колодій, Н.О. Задосна, В.О. Верхоланцева, Л.М. Чернишова, Н.О. Паляничка. Видавничо-поліграфічний центр FORWARD PRESS, м. Мелітополь, 2019. 203 с.
14. Передумови багатоструменевого способу введення зернових матеріалів в пневмосепаруючі канали зернових сепараторів / В.І. Носуленко, В.М. Сало, С.М. Лещенко, [та ін.]. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Кіровоград, 2008. Вип.20. С. 251-255.
15. Теорія і розрахунки параметрів процесів і робочих органів сільськогосподарських машин: Практикум. Морозов І.В., Бакум М.В., Пастухов В.І., Горбатовський О.М., Кириченко Р.В., Козій О.Б., Леонов В.П., Нікітін С.П.; за редакцією проф. І.В. Морозова. Харків: ХНТУСГ, 2011.
16. Деталі машин. Розрахунок та конструювання [Текст] : підручник / Г. В. Архангельський, М. С. Воробйов, В. С. Гапонов [та ін.]. Київ : Талком, 2014. 684 с.
17. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунку деталей машин: Підручник. К.: Вища школа, 1993. 450 с.
18. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості.

					<i>ІПЗМ 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Навчальний посібник. В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов, А. І. Українець [та ін.].  
Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.

19. Математичне моделювання процесів і машин : навч. посіб. : [для студентів агротехнічних спеціальностей]. В. В. Амосов, В. М. Сало, М. О. Свірень. Кропивницький : Лисенко В.Ф., 2022. 218 с.
20. Підручник дослідника : навч. посіб. для студ. агротехн. спец. О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, К. В. Васильковська, Д. І. Петренко. Кіровоград: Мачулін, 2016. 204 с.
21. Основи наукових досліджень. Перші наукові кроки : навч. посіб. для студ. агротехн. спец. О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, К. В. Васильковська, Д. І. Петренко. Харків: [Мачулін], 2019. 164 с.
22. Статистична обробка експериментальних даних. Методичні вказівки для виконання статистичних розрахунків для практичних занять, курсових та дипломних проектів для студентів технічних спеціальностей. Уклад.: Ю. В. Кулешков, М. І. Черновол, В. В. Аулін [та ін.]. Кіровоград : КДТУ, 2001. 108 с.
23. Гігієнічна класифікація праці. Гігієнічні нормативи ГН 3.3.5-8-6.6.1. Київ. 2002 р.
24. Охорона праці : рекомендації до виконання розділу в дипломному проекті бакалавра для студентів технічних спеціальностей. / уклад. : Л. В. Дементій, Г. Л. Юсіна. Краматорськ : ДДМА, 2013. 164 с.
25. Охорона праці у сільському господарстві. ТОВ «ТЕХ МЕДІА ГРУП», 2019 р. URL: [https://techmedia.com.ua/sites/default/files/online\\_version/ECO\\_SX/files/assets/basic-html/toc.html](https://techmedia.com.ua/sites/default/files/online_version/ECO_SX/files/assets/basic-html/toc.html).
26. Єрмаков О.Ю., Організація сільськогосподарського виробництва. Навч. метод. посібник. 2-ге вид., доп. і перер. К.: НАУ, 2007. 266 с.
27. Ільчук М.М., Зрібняк Л.Я., Мельник С.І. Організація і планування сільськогосподарського виробництва: Підручник. К.: Вища освіта, 2013. 535 с.
28. Економічні та організаційно-планові розрахунки при обґрунтуванні доцільності розробки нових виробів. [уклад.: І. В. Журило, М. М. Полтавець] ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2017. 40 с.

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# ДОДАТКИ

					ІПЗМ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		































