

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до кваліфікаційної роботи
ступеня вищої освіти «Бакалавр»
на тему:

**Обґрунтування технології зменшення
пилових викидів на підприємстві зі
зберігання і переробки зерна**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу (ХТ-21),
освітньо-професійної програми «Харчові технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ Нікіта ТІТОВСЬКИЙ

Керівник: _____ Олег ТЕРТИШНИЙ

Рецензент: _____

Дніпро 2025

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 Харчові технології

Затверджую:

Завідувач кафедри харчових технологій

к.т.н., доцент _____ Віталій КОШУЛЬКО

« _____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Тітовському Нікіті Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Обґрунтування технології зменшення пилових викидів на підприємстві зі зберігання і переробки зерна», керівник роботи Тертишний Олег Олександрович, к.т.н., доцент – затверджені наказом ректора від «07» травня 2025 р. №963.

2. Термін здачі закінченої роботи: «06» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: загальні відомості про об'єкт досліджень; нормативна, довідникова, наукова документація і література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: 1. Огляд літературних джерел за темою досліджень; 2. Матеріали та методи досліджень; 3. Результати дослідження, їх аналіз та обґрунтування; 4. Охорона праці та техніка безпеки при роботі підприємств зі зберігання і переробки зерна; Загальні висновки; Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу: презентація результатів кваліфікаційної роботи у програмному середовищі Microsoft PowerPoint.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з. п.	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літературних джерел за темою досліджень	16 травня 2025 р.	
2	Матеріали та методи досліджень	23 травня 2025 р.	
3	Результати дослідження, їх аналіз та обґрунтування	30 травня 2025 р.	
4	Охорона праці та техніка безпеки при роботі підприємств зі зберігання і переробки зерна	4 червня 2025 р.	
5	Вступ, висновки, бібліографія, підготовка презентації	6 червня 2025 р.	

Дата видачі завдання: 07 травня 2025 р.

Здобувач вищої освіти _____ (Нікіта Тітовський)
(підпис)

Керівник роботи _____ (Олег Тертишний)
(підпис)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	6
ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	8
1.1. Забруднення атмосферного повітря внаслідок роботи підприємств переробки та зберігання зерна	8
1.2. Загальні відомості про властивості пилового забруднення	11
1.3. Аналіз технологічних циклів переробки та зберігання зерна	14
1.4. Обґрунтування заходів для запобігання шкідливим викидам пилу в атмосферу	16
2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	23
2.1. Перспективні напрями та технології зниження пилового забруднення підприємств переробки та зберігання зерна	23
2.2. Фізичні основи технологічних процесів пиловловлювання у харчовій промисловості	24
2.3. Очисне обладнання та засоби для зниження рівня пилових викидів технологічних процесів переробки та зберігання зерна	29
2.4. Методика технологічних розрахунків пилоочисного обладнання для галузі харчових виробництв	37
3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ, ЇХ АНАЛІЗ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ...	43
3.1. Загальні характеристика технологічного процесу підприємства з переробки та зберігання зерна	43
3.2. Результати технологічних розрахунків параметрів роботи циклону ...	51

3.3. Результати технологічних розрахунків параметрів роботи камери для осаджування пилу	56
3.4. Розрахунок та підбір оптимальних технологічних параметрів пиловловлювача і вентилятора	61
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ ПІДПРИЄМСТВ ЗІ ЗБЕРІГАННЯ І ПЕРЕРОБКИ ЗЕРНА	64
4.1. Основні джерела небезпеки технологічних процесів, пов'язаних зі зберіганням і переробкою зернових культур	64
4.2. Шляхи запобігання виробничому травматизму та організація системи охорони праці на підприємстві	65
ВИСНОВКИ.....	68
БІБЛІОГРАФІЯ.....	70

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи містить 71 сторінку тексту, 27 рисунків та 11 таблиць. Загальна структура роботи складається з 4 основних розділів.

Метою досліджень є аналіз та обґрунтування технологічних параметрів роботи пилоочисного обладнання для підприємства по зберіганню та переробки зерна.

Для досягнення мети було поставлено та вирішено наступні основні завдання:

- аналізу технологічних циклів, сучасного рівня забруднення та впливу пилових викидів від підприємств з переробки та зберігання зерна на компоненти навколишнього середовища
- обґрунтування раціональних технологічних рішень та перспективних засобів зниження рівня пилового забруднення підприємств переробки та зберігання зерна;
- забезпечення належного рівня техніки безпеки та охорони праці на підприємствах зернопереробної галузі.

Об'єктом дослідження є процес утворення та запобігання пилових викидів на різних технологічних стадіях роботи обладнання у сфері переробки та зберігання зерна.

Предметом дослідження є обґрунтування технологічних прийомів, засобів та параметрів роботи пилоочисного обладнання для підприємства переробки і зберігання зерна.

Ключові слова: ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПЕРЕРОБКА ЗЕРНА, ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА, ПИЛ, ОЧИСНЕ ОБЛАДНАННЯ.

ВСТУП

Забруднення пилом різного технологічного походження є значною проблемою для довкілля та здоров'я в сільській місцевості України. У той час як міські райони з важкою промисловістю часто отримують більшу уваги, сільські території стикаються з проблемами пилового забруднення внаслідок змін клімату та застосування застарілого технологічного обладнання у процесах переробки і зберігання зернових і технічних сільськогосподарських культур.

Джерелами пилового забруднення в сільській місцевості часто виступають: спалювання с.-г. відходів, пожнивних решток та сухої рослинності, що призводить до викидів в атмосферу значної кількості твердих частинок та чадного газу; обробіток ґрунту призводить до деградації та ерозії, особливо в посушливих або вітряних умовах, утворюючи пил з порушеного верхнього шару ґрунту; лісові та трав'яні пожежі, які часто спричинені бойовими діями, виділяють значну кількість диму і частинок попелу, сприяючи забрудненню повітря. Забруднення пилом, особливо дрібнодисперсними частинками, становить серйозну загрозу для здоров'я населення та працівникам підприємств у галузі переробки і зберігання зерна. Зростає кількість випадків респіраторних захворювань, та серцево-судинних проблем.

Осадження пилу може забруднювати ґрунт, що впливає на продуктивність сільського господарства. Забруднюючі речовини з пилу можуть осідати у водоймах, впливаючи на якість води та водні екосистеми. Пил, що накопичується на рослинах, може перешкоджати їх фотосинтезу та росту. Пилове забруднення може завдати шкоди природі та екосистемам.

Таким чином, забруднення пилом у на підприємствах переробки та зберігання зерна є актуальною проблемою.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Забруднення атмосферного повітря внаслідок роботи підприємств переробки та зберігання зерна

Забруднення атмосферного повітря є однією з ключових проблем у захисті навколишнього природного середовища [1, 3-5, 10]. У галузі сільського господарства забруднення атмосферного повітря може бути природним або виникати внаслідок виробничої діяльності підприємств. Природне забруднення перш за все обумовлено ерозійними процесами ґрунтового покриву внаслідок змін клімату та збільшенням частоти несприятливих умов – швидкості та руйнівної енергії вітру. Додатковим чинником цього є застосування недосконалих систем землеробства та обробітку ґрунту.

Наслідки забруднення атмосферного повітря промисловими (технологічними) процесами підприємств переробки та зберігання зерна здебільшого проявлені через роботу систем очищення сільськогосподарської продукції, її сушіння і зберігання на елеваторах, складських приміщеннях тощо.

Тверді частинки мають різні назви: зола – розміром частинок більше 75 мкм; пил – частинки розміром менше 75 мкм і більше 1 мкм; дим – тверді частинки, звичайно менші 1 мкм. Основним об'єктом досліджень у даній роботі є саме пилове забруднення атмосфери внаслідок роботи зерносушарки на агропромисловому підприємстві.

Найпоширенішими небезпечними частинками є ті, що мають розмір менше 10 мкм. Вони можуть проникати і потрапляти глибоко в легені людини і тваринам. Такий пил впливає на здоров'я навіть при дуже низьких його концентраціях у повітрі. Забруднене повітря може спричиняти алергічні реакції, астму, серцево-судинні захворювання та інші проблеми зі здоров'ям. Забруднення повітря сприяє зміні клімату, ерозії ґрунту, забрудненню водних ресурсів і знищенню біорізноманіття. Забруднення повітря призводить до додаткових витрат на медичні послуги, очищення повітря та водних ресурсів, а також до зниження врожайності сільськогосподарських культур.

Елеватор продукує велику кількість пилу. Цей пил складається з багатьох як нейтральних і небезпечних складових. Також зазначимо, що на сьогодні за забруднення навколишнього середовища можна сплатити значний штраф, що має додатково симулює підприємства встановлювати очисне обладнання. Разом з тим, найважливішою причиною для застосування систем очищення від пилу на сільськогосподарських підприємствах є запобігання вибухів і пожеж. Зменшення висоти вільного падіння зерна суттєво зменшує виділення пилу. Пил також знижує ресурсний термін використання техніки, оскільки є абразивним. Усі рухомі частини транспортного і виробничого обладнання зношуються швидше саме в умовах значного запилення. У зернових сушарках та конструктивних елементах з очистки зерна пил може стати додатковою причиною налипання, оскільки надлишкова волога може конденсуватися на стінках та злипатися із пилом.

З однієї тони зерна може виділятися від 1 до 5 кілограмів пилу. Пил складається з органічних та мінеральних домішок, і він утворюється під час тертя зерна та металічних частин обладнання.

Відмітимо, що згідно затверджених нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел [11] регламентується, що викиди твердих зважених часток не повинні перевищувати 50 мг/м^3 . Отже, для прикладу, зерносушарка, що працює у вищевказаному діапазоні роботи з викидом пилу не більше 50 мг/м^3 та продуктивністю 50 тон на годину викидає в атмосферу 200 тис м^3 повітря. За добу до атмосферного повітря може надійти 240 кг пилу (понад 7 тон на місяць). Весь цей пил осідає навколо сільськогосподарського підприємства та може розсіюватися на територію населених пунктів.

Процес обробки зерна різних технологічних етапах пов'язані з утворенням значного обсягу пилових забруднень. Інтенсивність пилоутворення безпосередньо корелює з вологістю зернового матеріалу, досягаючи максимальних значень при обробці сухого зерна.

На початковому етапі при вивантаженні зерна в завальну яму спостерігається інтенсивне пилоутворення. Для ефективного контролю та мінімізації викидів потрібне застосування потужних фільтраційних систем. Особливість даного етапу полягає в необхідності обробки значних обсягів повітря за короткий проміжок часу в умовах відкритого простору, що висуває високі вимоги до продуктивності та ефективності систем видалення пилу.

Етап сепарації спрямований на очищення зерна від пилу та легких домішок. На даному етапі відбувається активне видалення забруднюючих частинок, що фактично є процес очищення, а не тільки забруднення. Однак не всі сільськогосподарські підприємства здійснюють очищення зерна до необхідного базового рівня.

Робота норій та іншого транспортного обладнання також супроводжується утворенням значної кількості пилу. Відсутність додаткових аспіраційних систем на сушарках може суттєво підвищувати концентрацію забруднюючих речовин у відпрацьованому повітрі.

Сушарки є основним джерелом пилових викидів. Більшість існуючих моделей сушарок не передбачає можливості інтеграції ефективних пиловловлюючих систем через конструкцію, що передбачає викид відпрацьованого повітря через перфоровані зовнішні стінки. У контексті мінімізації пилових викидів, сушарки шахтного типу, особливо двозонні, демонструють найкращі показники. У таких системах нагріте та максимально запилене повітря із зони охолодження рециркулюється для попереднього нагріву вологої зернової маси. Це сприяє осадженню пилу у верхній частині сушарки, забезпечуючи вихід практично чистого повітря у навколишнє середовище.

Таким чином, на етапі проектування підприємств з переробки та зберігання зерна, а також зерносушильних комплексів є вкрай актуальним завданням облік екологічних аспектів та впровадження рішень, спрямованих на зниження пилових викидів. Це має критичне значення для дотримання екологічних стандартів та забезпечення безпечних умов праці.

1.2. Загальні відомості про властивості пилового забруднення

Основні властивості пилу згідно даних [1-6, 15-19] можна розподілити на 9 показників рис. 1.1.

Коефіцієнт корисної дії очисного обладнання (ступінь очищення) формується відношенням кількості пилу, що уловлюється, до загального обсягу пило-газової суміші, яка надійшла в пило- та/або газоочисний апарат з газовим потоком за визначений період часу.

Густина пилу

- Розрізняють дійсну, насипну та уявну густини. Насипна густина враховує повітряний прошарок між частинками пилу. Уявна (об'ємна) густина – відношення маси частинок до об'єму, який вона займає, включаючи пори, пустоти і нерівності. Пили, схильні до коагулювання і спікання, знижують уявну густину відносно дійсної.

Дисперсність

- Характеризує розмір частинок пилу - є основним фактором при виборі пиловловлювача. Частинки промислового пилу мають різну форму (кульки, палички, пластинки, голки, волокна тощо). Частинки пилу можуть коагулювати і об'єднуватися в агломерати, тому поняття розміру частинок умовне. В пиловловлюванні прийнято характеризувати частинки величиною, яка визначає швидкість їх осаджування. Такою величиною служить седиментаційний діаметр – діаметр кулі, швидкість осаджування і густина якого рівні швидкості осаджування і густині частинки.

Адгезія

- Схильність до злипання. Підвищена злипливість частинок може привести до часткового чи повного забивання апаратів. Чим менший розмір частинок пилу, тим легше вони прилипають до поверхні апарата. Пил, у якого 60-70% частинок мають діаметр менше 10 мкм веде себе як злипливий. За злипанням пил, що вміщує великі домішки (після відсіювання і сушіння зерна тощо) відноситься до IV групи «Сильнозлипливий».

Змочуваність

- Змочуваність частинок впливає на ефективність мокрих пиловловлювачів, особливо при роботі з рециркуляцією. При дотику погано змоченої частинки з поверхнею рідини частинка захоплюється цією поверхнею, але на протилежність легко змочуваної не занурюється в рідину чи не обволікається краплиною рідини, а залишається на її поверхні. Після того, як поверхня рідини виявляється значно покритою захопленими нею частинками, очищення газів погіршується.

Абразивність

- Характеризує інтенсивність зношування металу при однакових швидкостях газів і концентраціях пилу. Вона залежить від твердості, форми, розміру і густини частинок. Абразивність пилу враховують при виборі швидкостей запиленних потоків, товщини металу для виготовлення газоходів і газоочисних установок чи виборі для них облицювальних матеріалів. Максимальне зношування металів спричиняють частинки золи з розмірами 90 ± 2 мкм.

Електрична зарядженість

- Впливає на їх поведінку в газоходах і пиловловлювальних апаратах, на вибухонебезпечність і адгезійні властивості, в тому числі на сипучість пилу. Знак заряду частинок залежить від способу їх утворення, хімічного складу а також від властивостей речовин, з якими вони стикаються.

Гігроскопічність

- Полягає у здатності пилу всмоктувати вологу. Залежить від хімічного складу, розміру, форми і ступеню шорсткості поверхні частинок. Гігроскопічність сприяє їх вловлюванню в апаратах мокрого типу.

Електрична провідність

- Оцінюється за питомим електричним опором шару пилу $\rho_{ш}$ (Ом·см), який залежить від властивостей окремих частинок (від поверхневої та внутрішньої електропровідності, форми і розмірів частинок) а також від структури шару і параметрів газового потоку. Електрична провідність істотно впливає на роботу електрофільтрів.

Здатність до самозаймання

- Здатність до самозаймання і утворення вибухонебезпечних сумішей з повітрям залежить від хімічних і термічних властивостей пилу, від розмірів і форми частинок, їх концентрації в повітрі, від вологовмісту і складу газів, розмірів температури джерела запалення і відносного вмісту інертного пилу. Здатність до самозапалення мають деякі пили органічних речовин. Мінімальні вибухонебезпечні концентрації завислого в повітрі пилу – приблизно 20...500 г/м³, максимальні – 700...800 г/м³. Чим більший вміст кисню в газовій суміші, тим можливіший вибух і більша його сила. При вмісті кисню менше 16% пилова хмара не вибухає.

Рисунок 1.1 – Основні властивості пилу (за даними [15, 18])

Ефективність очищення η визначають за формулою:

$$\eta = \frac{\sigma'_q - \sigma''_q}{\sigma'_q} = \frac{Q'c' - Q''c''}{Q'c'} = 1 - \frac{Q''c''}{Q'c'} = \frac{\sigma'''_q}{Q'c'}, \quad (1.1)$$

де σ'_q, σ''_q – масові витрати пилових частинок, що містяться в газах, які надходять до апарата та виходять з нього, кг/С; Q', Q'' – об'ємна витрата запиленних газів (при 0°C і $101,3$ кПа), які відповідно надходять і виходять з очисного обладнання, $\text{м}^3/\text{с}$; c', c'' – концентрації пилових частинок, які відповідно надходять в очисне обладнання і виходять з нього, $\text{кг}/\text{м}^3$; σ'''_q – кількість пилу, що уловлюється $\text{кг}/\text{с}$.

Якщо об'єм газів змінюється під час очищення, наприклад, через підсмоктування, це впливає на ефективність:

$$\eta = 1 - K_n \cdot \frac{c''}{c'}, \quad (1.2)$$

де K_n — коефіцієнт підсмоктування.

Оскільки ефективність очищення неоднакова для пилових частинок різного діаметра, коефіцієнт очищення газів зазвичай розраховують на основі фракційної ефективності – показника, що відображає ступінь видалення частинок певного розміру:

$$\eta_\Phi = [\Phi' - \Phi''(1 - \eta)] \quad , \quad (1.3)$$

де Φ', Φ'' – фракційний вміст пилу у газах на вході та виході з очисного обладнання, %.

Загальна ефективність пило-очисного обладнання визначається з урахуванням фракційного ступеня очищення газів за наступною формулою:

$$\eta = \frac{\eta_{\Phi_1}\Phi_1}{100} + \frac{\eta_{\Phi_2}\Phi_2}{100} + \dots + \frac{\eta_{\Phi_n}\Phi_n}{100}, \quad (1.4)$$

Ефективність вловлювання пилу можна виміряти за допомогою коефіцієнта проскоку частинок. Цей коефіцієнт (який також називають ступенем неповного вловлювання) є співвідношенням концентрації пилу після апарата до його концентрації перед ним. Його використовують, коли потрібно оцінити кінцеву запиленість газів або порівняти вихідну запиленість різних апаратів [1, 2, 15, 18].

Коефіцієнт проскоку P розраховують за формулою:

$$P = 1 - \eta, \quad (1.5)$$

Загальний ступінь очищення пило-газової суміші при декількох послідовно встановлених апаратах, розраховується за виразом:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n), \quad (1.6)$$

де $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ – ступінь очищення газів від пилу відповідно в першому, другому і n -му апараті.

1.3. Аналіз технологічних циклів переробки та зберігання зерна

Технологічний цикл переробки та зберігання зерна представляє собою низку технологічних етапів, що включають приймання, доробку, зберігання, контроль якості та вивіз зерна [9, 16, 17, 20]. Початковий етап

технологічного циклу полягає у прийманні зерна на склад (елеватор), де воно очищується, сушиться (за потреби) до потрібної вологості, щоб запобігти псуванню під час зберігання та сортується. Зберігання відбувається в спеціальних сховищах, де зерно підтримується в належному стані. Наступним етапом є відвантаження зерна для подальшої його переробки, реалізації або використання за призначенням. Детальний огляд технологічного циклу наведено на рисунках 1.2. і 1.3.

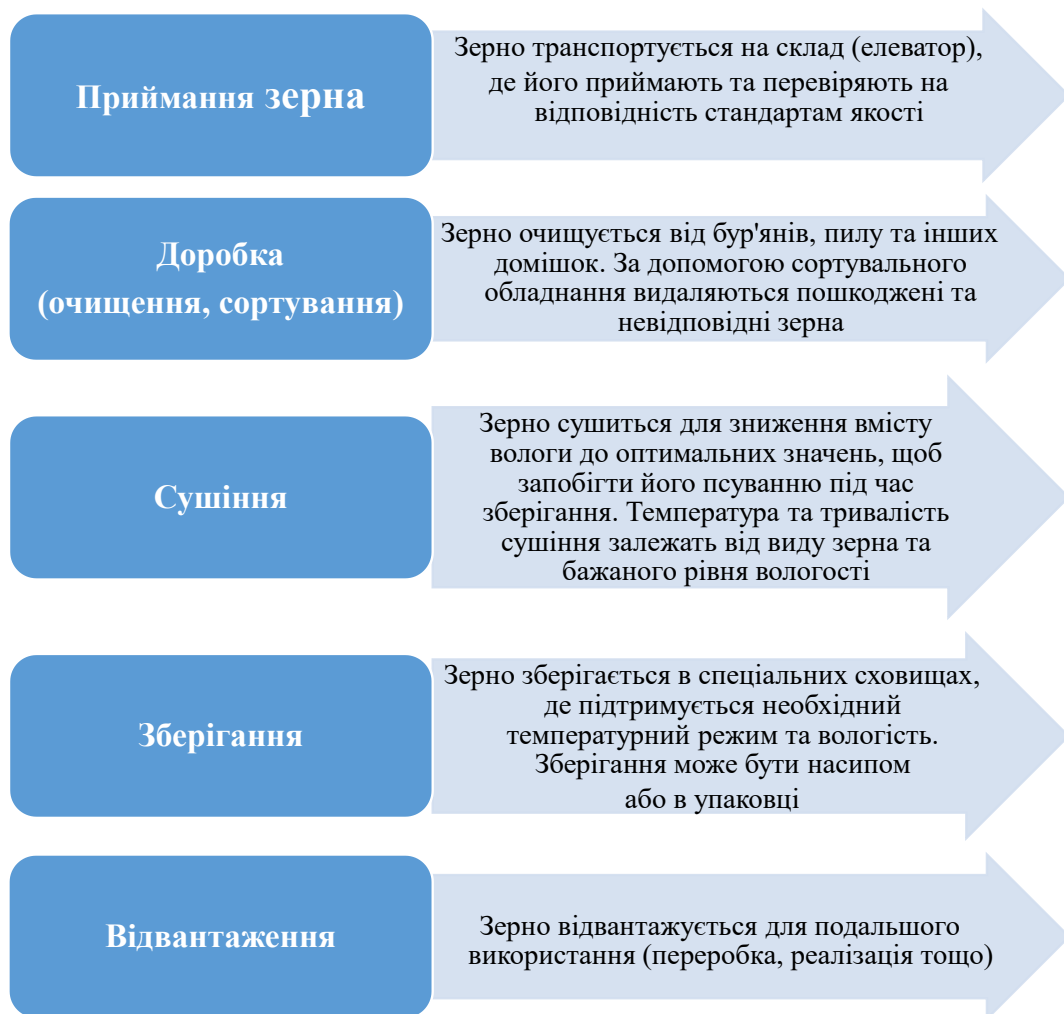


Рисунок 1.2. – Технологічні цикли переробки та зберігання зерна



Рисунок 1.3. – Важливі характеристики та заходи при переробці та зберіганні зерна

1.4. Обґрунтування заходів для запобігання шкідливим викидам пилу в атмосферу

Для підприємств зернопереробної галузі вкрай важливо вжити необхідних заходів для запобігання шкідливим викидам в атмосферу.

Викиди пилоподібних продуктів не лише погіршують санітарно-гігієнічні умови у виробничих приміщеннях та збільшують ризик вибухів та пожеж, але й призводять до прямих втрат готової продукції. Тому зменшення пилових викидів з відпрацьованим повітрям має для таких підприємств значне економічне значення, адже це сприяє збільшенню обсягів товарної продукції та додаткового прибутку. Разом з тим, необхідно відмітити деякі рівні вирішення вказаної проблеми [9, 16, 17, 20]:

➤ *Удосконалення технологій знепилювання*

У вирішенні проблеми знепилювання технологічних викидів ключову роль відіграє удосконалення вже існуючих та розробка нових, високоефективних пиловловлювальних апаратів. На жаль, сучасна практика експлуатації систем очищення повітря на деяких підприємствах зернопереробної галузі показує, що фактична ефективність уловлювання пилу часто не відповідає проектним показникам. Це пов'язано з тим, що при розробці очисних установок недостатньо враховуються специфічні умови роботи відповідного технологічного обладнання.

➤ *Державна політика та наукова підтримка*

Важливо також створити умови для зменшення утворення та виділення пилу на виробництві. В Україні цій проблемі приділяється значна увага. Низка урядових постанов останніх років передбачає здійснення заходів для запобігання шкідливим викидам, своєчасне будівництво та підвищення якості роботи очисних споруд, а також розробку та впровадження нових видів пиловловлюючого обладнання.

➤ *Законодавчі вимоги та практичні виклики*

Відповідно до законів України «Про охорону навколишнього природного середовища» [5] та «Про охорону атмосферного повітря» [4] заборонено вводити в експлуатацію об'єкти, що не забезпечені сучасними

технологіями та установками для очищення викидів до нормативних рівнів, а також засобами контролю за забрудненням навколишнього середовища. У розв'язанні цих практичних питань значну допомогу надають науковці та спеціалісти наукових установ, які долучаються до розробки та втілення комплексних екологічних програм.

Однак, ефективне уловлювання забруднюючих речовин ускладнюється недостатністю інформації щодо фізико-хімічних та структурно-механічних властивостей пилу, режимних параметрів запиленних повітряних викидів, а також даних про оптимальні типи пиловловлювачів для конкретних виробничих умов. Досвід показує, що механічне перенесення очисного обладнання, яке добре зарекомендувало себе в одних умовах, в абсолютно нові умови може дати навіть негативний результат. Згідно досліджень [6] авторами були наведені загальні характеристики пилу та значення його концентрації у повітрі (табл. 1.1 і 1.2).

Таблиця 1.1. Узагальнена характеристика пилу на різних підприємствах (за даними [6])

№ об'єкту досліджень та найменування пилу	Зольність, Z, %	Вологість, W, %	Об'ємна маса, γ , кг/м ³	Медіанний розмір, δ_{50} , мкм	Ступінь дисперсності, $\delta = \delta_{50}/\delta_{16}$
1-зерновий	28,6	8,5	1660	8	2,0
2-зерновий	28,5	8,5	1660	8	2,5
3-зерновий	29,2	8,0	1670	10	2,5
4-зерновий	28,4	8,5	1680	8	2,0
5-зерновий	29,1	8,0	1660	8	2,5
Середнє	28,8	8,3	1666	8,4	2,3

Таблиця 1.2. Середні значення запиленості повітря, що виходить з різноманітного елеваторного обладнання (за даними [6])

Найменування обладнання, що знепилюється	Концентрація пилу у повітрі, що відходить від устаткування, мг/дм ³
Приймання зерна з транспорту	1,3
Башмаки норій	2,0
Насипні лотки підсилованих транспортерів	0,6
Насипні лотки надсилованих транспортерів	1,5
Скидні коробки підсилованих транспортерів	2,0
Автоматичні ваги, підваговий і надваговий бункер	1,2
Поворотні круги, надсепараторні бункери	0,6
Скидні візки	0,7
Ланцюгові транспортери	0,8
Пневмотранспортер відходів	3,0
Повітряно-ситові сепаратори	3,0

У виробничих приміщеннях, де працюють з зерном, концентрація зернового пилу в повітрі робочої зони не повинна перевищувати 4 мг/дм³, а борошняного – 6 мг/дм³. Це критично важливо, адже надмірна кількість такого пилу негативно впливає на здоров'я персоналу, а також є основною причиною пожеж та вибухів на хлібоприймальних і зернопереробних підприємствах. Крім того, пил, потрапляючи в навколишнє середовище, забруднює його.

Частина зернового пилу знаходиться у «зв'язаному» стані, тобто за звичайних умов він не відділяється від поверхні зерна, наприклад, осідаючи у борозенках або оболонках. Проте під час переміщення та очищення зерна відбувається відшарування мінеральних та органічних частинок від його поверхні.

Особливо великі обсяги пилу утворюються при продуванні повітрям

шару зерна (активне вентилявання) та при використанні пневматичного транспорту і аерозолобів для його переміщення. Сформована при цьому пилова хмара, що складається з великих частинок (як-от полова, оболонки зерна), осідає досить швидко. Натомість, пилова хмара з дрібних частинок є значно стійкішою і осідає повільніше.

Загальні викиди пилу до атмосфери (повітряного басейну) від зернопереробних підприємств та елеваторів складаються із сумарної кількості пилу, що відходить від усього технологічного та транспортного обладнання.

Кількість пилу, що виділяється транспортним і технологічним обладнанням, дорівнює загальній кількості пилу, який надходить до пиловловлювачів аспіраційних та пневмотранспортних систем, що обслуговують це обладнання. Повітря, яке виводиться вентиляційними системами, перед викидом в атмосферу має бути очищене від пилу з максимально можливою повнотою, враховуючи техніко-економічні обґрунтування.

Якість очищення повітря від пилу залежить від дозволеного вмісту (граничної концентрації) пилу після фільтрації та від економічної доцільності застосування певних технологій очищення. Якщо пил є цінною сировиною, витрати на очищення повітря можуть бути повністю або частково компенсовані.

Зменшення викидів забруднюючих речовин від підприємств переробки та зберігання зернових культур та оцінка їхнього впливу на довкілля є надзвичайно актуальною проблемою сьогодення. Вона має велике екологічне і соціальне значення на рівні населених пунктів, громад, регіонів та держави. Розробка інноваційних технологій обробки зерна з покращеними методами пилоочищення дозволить створювати обладнання з прогнозованими характеристиками. Це важливе науково-практичне завдання, яке сприятиме зниженню техногенних забруднень та підвищенню екологічної безпеки на всіх рівнях – від окремих об'єктів до країни в цілому.

Існуючі аспіраційні системи наразі морально застаріли та технічно зношені, і вже не здатні забезпечити належний ступінь очищення повітря від пилу. Це створює нагальну потребу в їхньому удосконаленні. Виникла суперечність: з одного боку, потенційні можливості систем очищення мають бути суттєво підвищені, а з іншого – зросли труднощі в реалізації цих можливостей через експлуатаційні обмеження апаратури. Ускладнення систем пилоочищення за одночасного підвищення вимог до ефективності їхньої роботи вимагає розробки високоефективних апаратів пиловловлення.

Аналіз літературних джерел та практична оцінка екологічних загроз, що виникають під час технологічних процесів на зернових елеваторах, чітко показали: вкрай необхідно очищати повітря робочих зон від зернового пилу. Досягти цього можна шляхом створення нового пиловловлюючого обладнання.

Відповідно до цієї потреби, було розроблено новий, вдосконалений пристрій для відокремлення домішок з повітря. Цей пристрій включає циклонний пристрій на вході повітряного потоку в завантажувальний кишеню циліндричного корпусу. Він додатково оснащений насипною фільтрувальною зернистою засипкою зі шнеком та приводним механізмом для її переміщення. Завдяки цьому забезпечується практично повне відокремлення домішок від газів, підвищується надійність в експлуатації та ефективність очищення газових викидів від забруднюючих речовин.

Встановлено, що доцільно використовувати циклони як перший ступінь очищення, а фільтри — як другий. Також можливе застосування циклон-фільтрів. З метою зменшення антропогенного впливу підприємств зернопереробної галузі на атмосферу, потрібно створити систему, яка дозволить усунути причини утворення пилу. Для цього необхідно створити умови для зменшення пилоутворення та пиловиділення шляхом:



Така комплексна аспіраційно очисна система дозволить значно скоротити обсяги викидів забруднюючих речовин у навколишнє природне середовище, стабілізує різноманітні технологічні параметри мікроклімату та санітарно-гігієнічних умов виробничих приміщень підприємств галузі переробки і зберігання зернових культур, а також забезпечить раціональне використання ресурсного потенціалу.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Перспективні напрями та технології зниження пилового забруднення підприємств переробки та зберігання зерна

У відповідності до [[1, 2, 15, 18]] природоохоронні методи із захисту навколишнього середовища можна розподілити наступним чином (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Класифікація методів захисту довкілля

Одними з перспективних заходів щодо зменшення забруднення довкілля у галузі сільського господарства є наступні [[1, 2, 15, 18]:

- ✓ впровадження екологічно чистих технологій, використання електричної техніки, альтернативних видів палива, біогазу та інших технологій, що зменшують викиди;
- ✓ покращення системи утримання тварин, застосування більш сучасних систем вентиляції, зберігання та обробки гною, що мінімізує викиди шкідливих газів;
- ✓ раціональне використання хімічних засобів, обмеження використання пестицидів та гербіцидів, а також використання більш ефективних та екологічно чистих засобів захисту рослин;
- ✓ впровадження та дотримання сучасних екологічних стандартів у сільському господарстві, що забезпечує контроль викидів та захист навколишнього середовища.

Загалом, боротьба з забрудненням атмосферного повітря в сільському господарстві вимагає комплексного підходу, що включає в себе впровадження нових технологій, зміни в сільськогосподарських практиках та посилення державного регулювання і контролю.

2.1 Фізичні основи технологічних процесів пиловловлювання у харчовій промисловості

Принцип роботи будь-якого пиловловлюючого апарату базується на використанні одного або кількох механізмів осадження частинок, що перебувають у завислому стані в газах [1, 2, 7, 8, 15, 18].

Зокрема, гравітаційне осадження (седиментація) відбувається, коли частинки осідають вертикально під дією сили тяжіння, проходячи через

газоочисний пристрій. Осадження під дією відцентрової сили спостерігається під час криволінійного руху потоку повітря (аеродинамічного), коли виникають відцентрові сили, що відкидають частинки на поверхню осідання.

Вплив кожного механізму на ефективність осадження частинок залежить від багатьох факторів, головним чином від розміру самих частинок.

Гравітаційне осадження частинок. Принцип уловлювання пилу в цих апаратах базується на гравітаційному осадженні завислих частинок. Під час падіння частинка пилу зустрічає опір середовища. Сила опору, яка впливає на частинку в русі, описується рівнянням:

$$F = \xi_{\text{ч}} \cdot S_{\text{ч}} \cdot \frac{V_{\text{ч}}^2 \rho}{2}, \quad (2.1)$$

де ξ – коефіцієнт опору у досліджуваному середовищі, $S_{\text{ч}}$ – розрахункова площа частинки, що направлена перпендикулярно її руху, м^2 ; $V_{\text{ч}}$ – розрахункова швидкість руху частинки, м/с ; ρ – густина запиленого газу, кг/м^3 .

У випадку кульової частинки $S_{\text{ч}} = \pi d_{\text{ч}}^2 / 4$, де $d_{\text{ч}}$ — діаметр частинки, м .

$$F = \xi_{\text{ч}} \frac{\pi d_{\text{ч}}^2}{8} V_{\text{ч}}^2 \rho, \quad (2.2)$$

Коефіцієнт ξ залежить від критерію Рейнольдса для частинки:

$$Re_{\text{ч}} = \frac{V_{\text{ч}} d_{\text{ч}} \rho_{\text{ч}}}{\mu_{\text{ч}}}, \quad (2.3)$$

де $\mu_{\text{ч}}$ — динамічна в'язкість газів, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Рух кулеподібної частинки відбувається в трьох різних режимах, кожен з яких має свою залежність від числа Рейнольдса. Параметри для ламінарного, турбулентного та перехідного режимів такі: ($R_e \leq 2$; $R_e > 500$ і $R_e < 500$) відповідно $\xi = 24/R_e$; $\xi = 0,44$; $\xi = 18,5/R_e$. На ділянці з ламінарним режимом руху для частинок сферичної форми опір середовища описується законом Стокса:

$$F = \frac{24\mu_{\text{ч}}}{V_{\text{ч}}d_{\text{ч}}\rho_{\text{ч}}} \cdot \frac{\pi d_{\text{ч}}^2}{4} \cdot \frac{V_{\text{ч}}^2 \rho_{\text{ч}}}{2} = 3\pi d_{\text{ч}}\mu_{\text{ч}}V_{\text{ч}}, \quad (2.4)$$

Для частинок розміром 0,2...2,0 мкм в рівняння (2.4) необхідно застосувати поправку Кенінгема-Мілікена, що повинна врахувати підвищену рухомість частинок пилу в апараті:

$$F = \frac{3\pi d_{\text{ч}}\mu_{\text{ч}}V}{C_k}, \quad (2.5)$$

Поправка C_k розраховується за формулою:

$$C_k = 1 + \frac{2l_i}{d_{\text{ч}}1,257} + 0,4e^{-1,1d_{\text{ч}}/2l_i}, \quad (2.6)$$

В свою чергу, l_i можна розрахувати за формулою:

$$l_i = \mu_{\text{ч}}/\rho_{\text{ч}} \left[\frac{\pi\mu_r}{2R_r \cdot T_r} \right]^{0,5}, \quad (2.7)$$

де M_r – маса 1 кмоль газів, кг/кмоль; R_r – універсальна газова постійна, рівна $R_r = 8314$ Дж/моль·К; T_r – абсолютна температура газів, К. Для повітря при $t_r = 20^\circ\text{C}$ і нормальному атмосферному тиску $l_i = 6,5 \cdot 10^{-8}$ м.

Якщо опір середовища відсутній, швидкість частинки зростає пропорційно часу за формулою $V=g \cdot \tau$. Однак, зі збільшенням швидкості зростає і опір середовища, що призводить до зменшення прискорення частинки.

Відцентрове осадження частинок є поширеним методом у промисловості, що використовується в циклонах, мультициклонах, ротаційних апаратах і мокрих пиловловлювачах (під час барботування).

У межах дії закону Стокса швидкість відцентрового осадження сферичної частинки можна визначити, прирівнявши відцентрову силу, що виникає при обертанні газового потоку, до сили Стокса (сили опору середовища):

$$F = m_{\text{ч}} \frac{\omega^2 R}{R}, \quad (2.8)$$

де $m_{\text{ч}}$ – маса частинки, кг; ω – швидкість обертання газового потоку кругом нерухомої вісі, м/с; R – радіус обертання газового потоку, м,

Величина швидкості осадження при відцентровому осадженні більша, ніж при гравітаційному ω/g раз. Значення швидкості осадження для частинок густиною $\rho_{\text{ч}} = 2000 \text{ кг/м}^3$ при відношенні ω/g , рівному 10, 100 і 1000, наведені на рис. 2.2.

Якщо за аналогією з вище розглянутим гравітаційним осадженням виразити параметр відцентрового осадження як відношення відцентрової сили, яка діє на кулькову частинку, до сили опору середовища, то одержимо:

$$\omega_b = \frac{F_b}{F_c} = \frac{\frac{\pi d_{\text{ч}}^3}{6} \rho_{\text{ч}} \omega^2}{3\pi d_{\text{ч}} \mu_r \omega} = \frac{d_{\text{ч}}^2 \rho_{\text{ч}} \omega}{18 \mu_r R}, \quad (2.9)$$

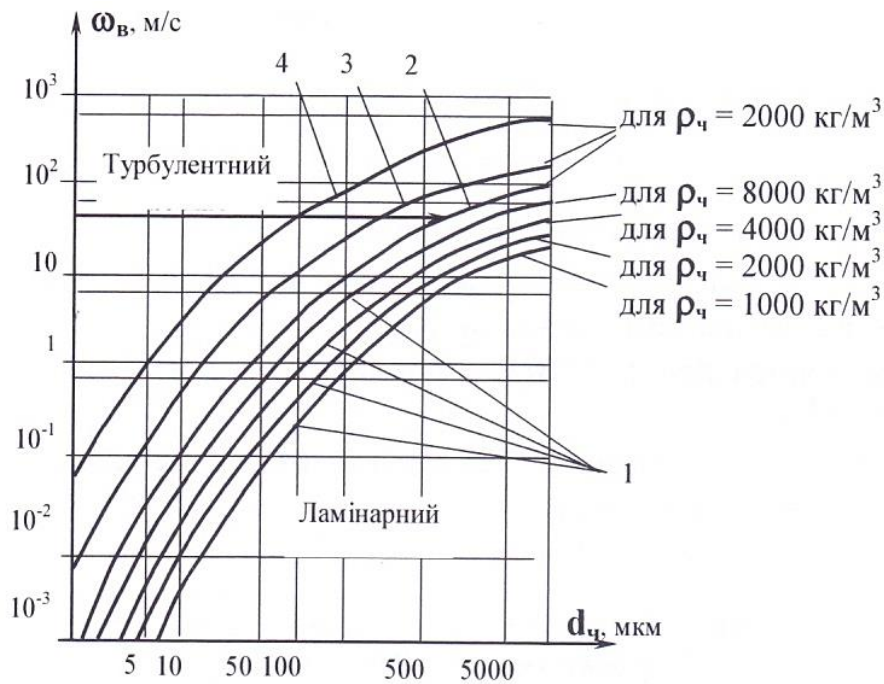


Рисунок 2.2 – Діаграма для визначення швидкості осідання частинок у повітрі [15, 18]: 1 – під дією сил ваги; 2-4 – під дією сили, що перевищує силу ваги у 10, 100 і 1000 разів відповідно

Права частина рівняння містить критерій Стокса (S_{tkw}), у якому лінійний параметр відповідає радіусу обертання газового потоку. Величина R (у метрах) може дорівнювати:

$$R = \frac{r_1 + r_2}{2}, \quad (2.10)$$

де: r_1 – радіус вихідної труби циклона, м; r_2 – радіус корпусу циклона, м.

Підвищення швидкості потоку покращує ефективність уловлювання пилу в відцентрових апаратах. Оптимальна швидкість газо-повітряної суміші на вході в апарат становить 20-25 м/с. Перевищення цього показника може призвести до зривання частинок пилу, які вже осіли всередині апарату.

Якщо різниця між радіусами r_2 і r_1 залишається незмінною, але їх абсолютні значення зростають, збільшується і час, необхідний для осадження пилінки, що негативно впливає на коефіцієнт очищення. Отже, для досягнення високої ефективності пиловловлювання рекомендується використовувати апарати меншого діаметра.

2.3. Очисне обладнання та засоби для зниження рівня пилових викидів технологічних процесів переробки та зберігання зерна

Механічний спосіб осадження пилу — це видалення пилових частинок із газових потоків за допомогою сили тяжіння, інерційних та, особливо, відцентрових сил. Для грубого очищення запилених газів від великих частинок (понад 30–100 мкм) застосовують осадження в полі гравітації. Інерційне осадження ефективне для видалення частинок розміром 25–30 мкм, а відцентрове — для ще менших, до 5 мкм.

Сухі інерційні пиловловлювачі. Основний принцип роботи сухих інерційних пиловловлювачів полягає у виведенні пилових частинок із газопилового потоку шляхом їхнього осадження під дією сили тяжіння. За цим принципом функціонує багато пристроїв для сухого інерційного знепилення газів, зокрема: пилоосаджувальні камери, жалюзійні апарати, циклони (одиначні, групові, батарейні, прямоточні), інерційні, вихрові пиловловлювачі та димососи-пиловловлювачі. У таблиці 2.1 згідно з джерелами [7, 8, 15, 20], подано характерні параметри сухих механічних пиловловлювачів, що дає змогу провести їх порівняльний аналіз для використання в промисловості.

Пилоосаджувальні камери. Пиліві камери працюють на принципі осадження частинок при повільному русі пилогазового потоку через робочу камеру. Тому ключовими параметрами камери є її висота і довжина (рис. 2.3). Саме геометричні розміри визначають час перебування пилогазового потоку в камері, а отже, і ефективність очищення.

Таблиця 2.1. Основні параметри технологічного обладнання для осадження пилу [15, 18]

Тип	Виконання		Продуктивність 10 ³ м ³ /год, не більше	Швидкість газу, м/с*	Температура (розрахункова),	Запиленість газу, г/м ³ , не більше		Гідравлічний опір ΔР, Па	Ефективність очищення **%, не менше
	за характером газового потoku	за кількістю робочих елементів				для незлип- ливого пилу	для середньо злиплого пилу		
1	з поперечним потоком	-	100	від 1	Від мінус 43 до плюс 527°С***	100	100	до 100	25
	з протитоком	-	10	до 2			50		
2	з розподіленням потоку	-	50	від 12 до 15		200	150	до 1000	65
	без розподілення потoku	-	50	від 10 до 15			100	до 500	40
	з тангенціальним входом	одиначні групові	100	-			1000	250	від 600 до 2500
3	з осьовим входом	батарейні	60	від 12 до 22		600	250	від 600 до 3000	85
	вихровий з додатковим підводом газу	-	30	від 12 до 22	500	100	від 1000 до 2000	-	

*Для типів 1 і 2 - у робочому перерізі, для типу 3 - на вході у пиловловлювач;

**Ефективність очищення наведена для середньо дисперсного пилу густиною 2400 кг/м³;

*** Розрахункові температури пиловловлювачів повинні вибиратися з ряду: -43, -23, 37, 77, 117, 247, 398, 527°С.

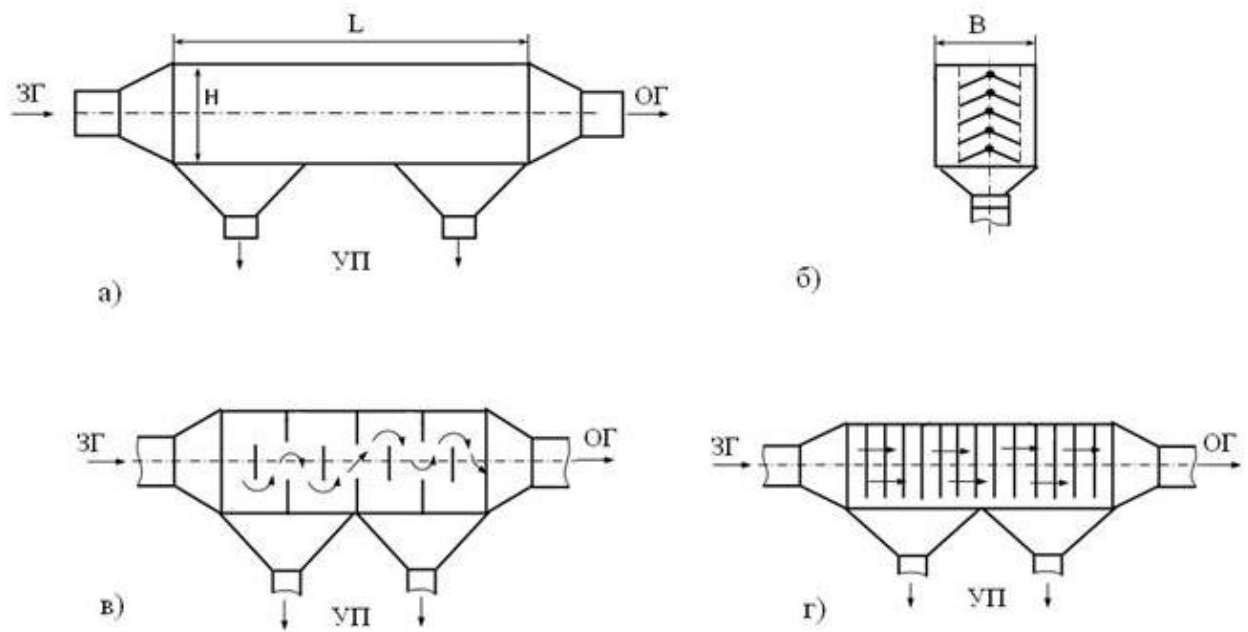


Рисунок 2.3 – Конструктивна схема роботи пилоосаджувальної камери

Пилові камери громіздкі й малоефективні, тому їх здебільшого використовують для вловлювання великих частинок. Габаритні розміри камери, необхідні для осадження твердих частинок з газового потоку, визначають за виразом:

$$L = H v_r / \omega_b, \quad (2.11)$$

де L – довжина камери для уловлювання, м; H – висота пилоосаджувальної камери, м, v_r – швидкість руху запиленних газів (як парвило 0,2... 1,0 м/с); ω_b – швидкість руху частинок певного розміру, м/с.

Визначити швидкість v_r можливо через витрати газу Q . Для цього витрату необхідно поділити на площу перерізу каналу ($H \cdot B$). Підставивши з формули 2.9 значення ω_b , можна знайти мінімальний розмір частинок $d_{ч}$, м, які будуть повністю осаджені в камері:

$$d_{ч} = \sqrt{\frac{18 \mu_{г} Q}{L B g \rho_{ч}}}, \quad (2.12)$$

де Q – витрати пилогазової суміші, $\text{м}^3/\text{с}$; L, B – відповідно довжина і ширина пилоосаджувальної камери, м ; $\mu_{\text{ч}}$ – динамічна в'язкість, $\text{Па}\cdot\text{с}$; g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$; $\rho_{\text{ч}}$ – густина пилових частинок, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Щоб забезпечити рівномірний розподіл газу по всьому перерізу, пилоосаджувальні камери можуть оснащуватися дифузорами та газорозподільними решітками. Для зниження висоти осадження частинок доцільно використовувати горизонтальні або похилі полиці. Зазвичай, ступінь очищення газів у таких камерах не перевищує 40-50%, причому ефективно осаджуються лише частинки пилу розміром понад 40-50 $\mu\text{м}$.

Інерційні пиловловлювачі. Ефективність знепилення у звичайній пилоосаджувальній камері можна значно підвищити, а її габарити зменшити, якщо до ефекту гравітаційного осадження частинок додати додатковий момент руху вниз. Цей принцип лежить в основі багатьох конструкцій пиловловлювачів.

Типовим прикладом є так звані «пилові мішки» (рис. 2.4а). У такому апараті вхідна циліндрична труба надає частинкам додатковий імпульс (додатково до сили тяжіння). Наприклад, такий пиловловлювач здатний забезпечити ступінь уловлювання 65-80% для частинок розміром понад 30 $\mu\text{м}$.

На рисунку 2.4 б показано інерційний пиловловлювач, призначений для газоходів діаметром понад 2 метри. Великі частинки випадають у бункер, оскільки потік відхиляється від прямолінійного руху.

Камера з перегородкою (рис. 2.4 в) за ефективністю майже ідентична звичайній пилоосаджувальній камері, але створює вищий гідравлічний опір.

Зменшити його можна, забезпечивши плавніші повороти потоку. У сучасних конструкціях інерційних пиловловлювачів механізм осадження частинок базується на зміні напрямку руху. Пилогазовий потік спочатку проходить вертикально вниз циліндричним газоходом, потім змінює напрямок руху на 180° і проходить через кільцевий зазор. Уловлений пил

зсипається в бункер. Ефективність пиловловлювання значною мірою залежить від правильного вибору розміру кільцевого зазору.

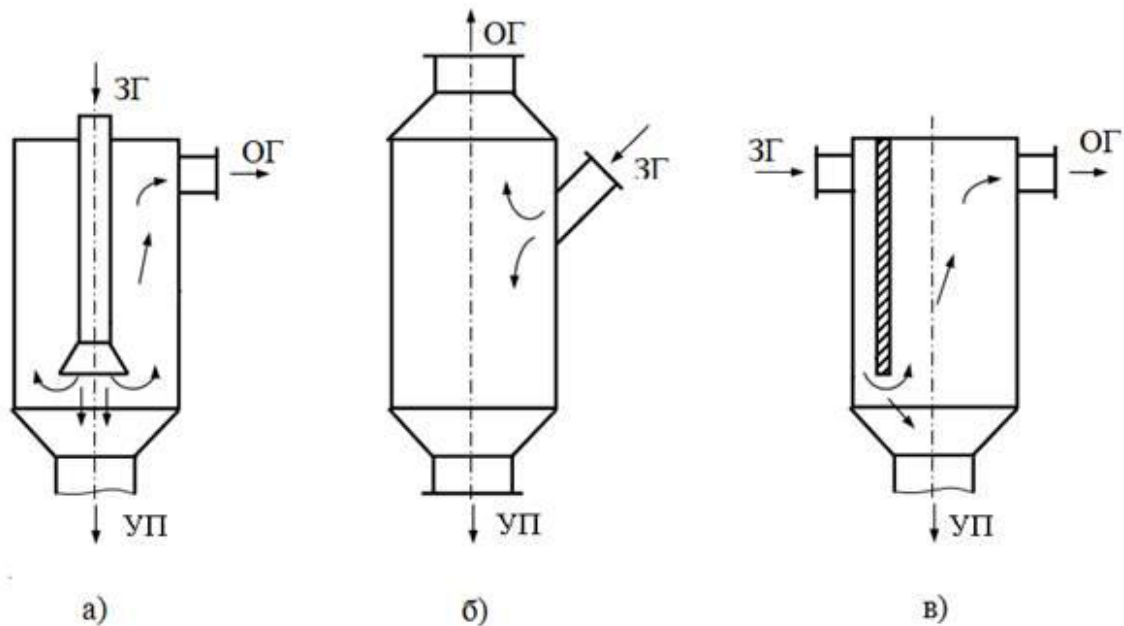


Рисунок 2.4 – Конструктивна схема роботи інерційних пиловловлювачів

Жалюзійний пиловіддільник. Для розділення газового потоку на очищений та забруднений газ, збагачений пилом, застосовують жалюзійний пиловіддільник (рис. 2.5). На жалюзійній решітці 1 газовий потік із витратою Q розподіляється на два потоки: Q_1 і Q_2 . Як правило, це відповідає формулі:

$$Q_1 = (0,8 \dots 0,9)Q, \text{ а } Q_2 = (0,1 \dots 0,2)Q, \quad (2.13)$$

У жалюзійних пиловіддільниках частинки пилу відокремлюються від основного газового потоку завдяки двом основним механізмам: інерційні сили (виникають, коли газовий потік різко змінює напрямок руху на вході до жалюзійної решітки) та ефект відбиття (частинки відбиваються від поверхні решітки під час зіткнення).

Газовий потік, насичений пилом після проходження крізь жалюзійну решітку, далі спрямовується до циклону, де він очищується. Потім очищений газ повертається назад у трубопровід, за жалюзійною решіткою.

Жалюзійні пиловіддільники вирізняються простотою конструкції та легко інтегруються в газоходи. Вони забезпечують ефективність очищення від 60% і вище для частинок розміром понад 20 мкм.

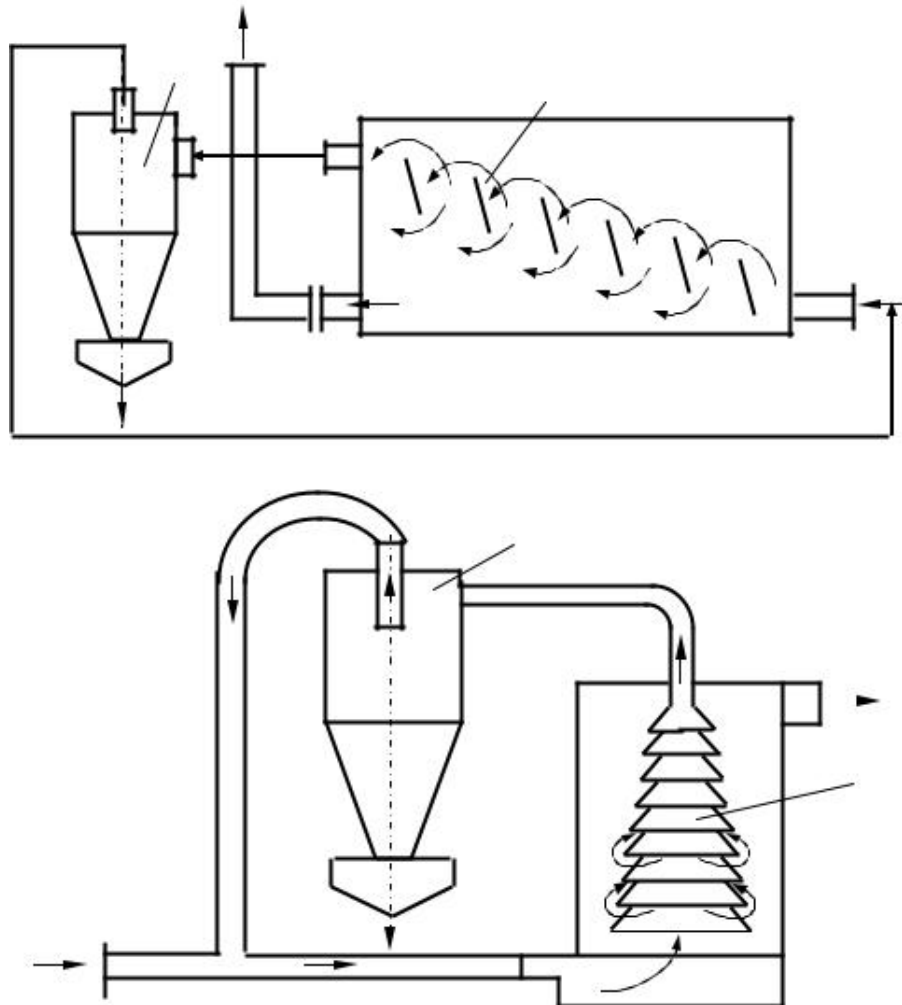


Рисунок 2.5 – Конструктивна схема роботи жалюзійного пиловловлювача

Циклони. Завдяки доступності, простоті будови та експлуатації, помірному опору та високій продуктивності, циклонні апарати (рис. 2.6) вважаються найпоширенішими сухими механічними пиловловлювачами. Вони мають ряд переваг (рис. 2.7). Належно zaprojektovanі циклони здатні надійно функціонувати роками. Проте, через високий гідравлічний опір, що може досягати 1250-1500 Па, циклони погано вловлюють частинки розміром менше 5 мкм.

Циклони мають значне конструктивне розмаїття. Вони відрізняються за способом підведення запиленого газу, який може бути: тангенціальним

(дотичним); тангенціальним похилим; спіральним; осьовим з напрямним апаратом. Також існує велика різниця у виконанні корпусу циклону. Він може бути: циліндричним; перехідним у конус; з переважно розвиненою конічною частиною; конічним; з розширеною конічною частиною; з подвійною стінкою.

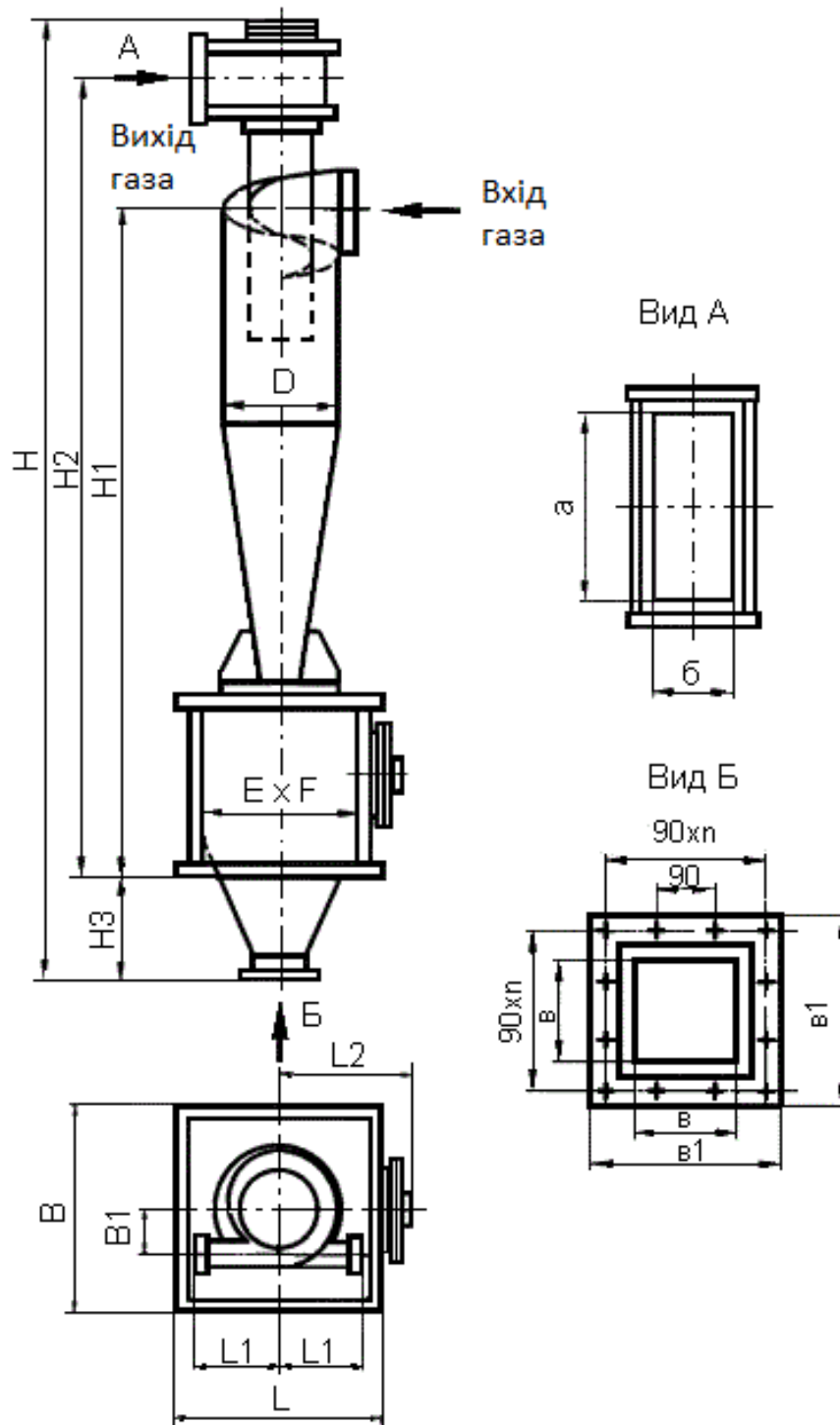


Рисунок 2.6 – Конструктивна схема роботи циклонів



Рисунок 2.7 – Переваги циклонних апаратів у порівнянні з іншим технологічним обладнанням для очистки від пилу

Усі завдання з очищення газів від пилу успішно вирішуються за допомогою циліндричних (ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24) і конічних (СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М та СДК-ЦН-33) циклонів, створених НДІОГАЗом (Державним науково-дослідним інститутом з промислового та санітарного очищення газів).

2.4. Методика технологічних розрахунків пилоочисного обладнання для галузі харчових виробництв

Розрахунки циклонів базуються на наступних вихідних даних (рис. 2.8).

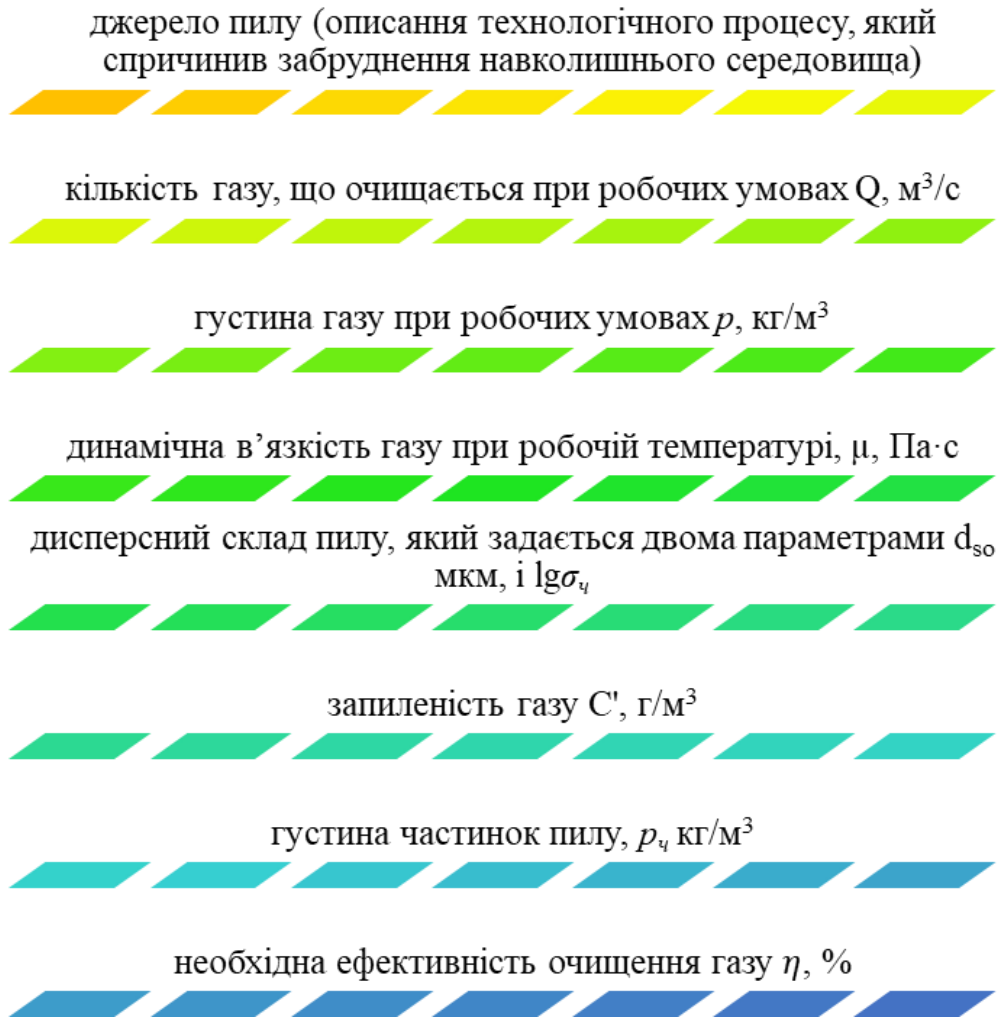


Рисунок 2.8. – Параметри вихідних даних для розрахунку циклонів

Розрахунок такого обладнання проводиться методом послідовних наближень у такому порядку:

- 1) Необхідно задатися типом циклона і за табл. 2.2 та/або 2.3 і визначити оптимальну швидкість газу в апараті $v_{\text{опт}}$, м/с.

Таблиця 2.2. Технологічні параметри ефективності циклонів

Параметри	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СКД- ЦН-33	СК-ЦН- 34	СК-ЦН- 34 М
d_{50}^t , мкм	8,50	6,00	4,50	3,65	2,31	1,95	1,13
$lg\sigma_{\text{ч}}^t$	0,308	0,238	0,352	0,352	0,364	0,308	0,340
$v_{\text{опт}}$, м/с	4,5	3,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0

Таблиця 2.3. Технологічні параметри ефективності роботи циклонів конструкції ВЦНДІОП і Гіпродеревопром

Параметри	Марка циклона			
	СІОП	ВЦНДІОП	Ц	«Клайпеда»
d_{50}^t , мкм	2,6	8,6	4,12	3,1
$lg\sigma_{\text{ч}}^t$	0,28	0,32	0,34	0,25
$v_{\text{опт}}$, м/с	1,00	4,00	3,3	1,1
ξ	1400	75	210	1300

2) Визначаємо необхідну площу перерізу циклону S , м²:

$$S = \frac{Q}{V_{\text{опт}}}, \quad (2.14)$$

3) Знаходимо діаметр циклону D , м:

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}, \quad (2.15)$$

Округлюємо отримане значення D до числа, що є кратним 100 мм. Якщо ж розрахунковий діаметр перевищує максимальну допустиму межу, тоді потрібно встановити кілька циклонів (N) паралельно.

4) За вибраним діаметром циклону знаходимо дійсну швидкість v , м/с, в циклоні:

$$v = \frac{4Q}{\pi ND^2}, \quad (2.16)$$

Дійсна швидкість газу в циклоні не повинна відхилитися від оптимальної більше ніж на 15%.

5) Згідно довідникових даних [18] приймаємо коефіцієнт гідравлічного опору, відповідний заданому типу циклона.

6) Знаходимо втрати тиску в циклоні:

$$\Delta P = P_{\text{ВХ}} - P_{\text{ВИХ}} = \xi \rho v^2 / 2, \quad (2.17)$$

Якщо втрати тиску ΔP виявилися допустимими ($\Delta P_{\text{доп}} \leq 2500$ Па), переходимо до розрахунку повного опору очищення газу в циклоні.

7) На основі табличних характеристик [15, 18] приймаємо параметри d_{50}^t і $\lg \sigma_{\text{ч}}^t$, які визначають ефективність обраного типу циклону. Далі за допомогою формули знаходимо значення параметра медіанної тонкості очищення (у мкм) з урахуванням робочих умов (діаметр циклону D , швидкість потоку, густина пилу, динамічна в'язкість газу):

$$d_{50} = d_{50}^t \sqrt{\left(\frac{D}{D_t}\right) (\rho_{\text{ч}}^t / \rho_{\text{ч}}) (\mu / \mu_t) (v_t / v)}, \quad (2.18)$$

де $D_t = 0,6$ м; $\rho_{\text{ч}}^t = 1930$ кг/м³; $\mu_t = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $v_t = 3,5$ м/с.

8) Ефективність очищення газу в циклоні η , %, знаходимо за формулою:

$$\eta = 50[1 + \Phi(x)], \quad (2.19)$$

де $\Phi(x)$ – таблична функція від параметру x , рівного:

$$x = \lg \left(\frac{d_{50}}{d_{50}^t} \right) / \sqrt{\lg^2 \sigma_{\text{ч}}^t} + \lg^2 \sigma_{\text{ч}}, \quad (2.20)$$

де d_{50} – середній розмір частинок пилу, мкм; $\lg \sigma_{\text{ч}}$ – ступінь полідисперсності пилу.

Методичний розрахунок пилоосаджувальних камер проводиться згідно наступних параметрів їх роботи:

1) Витрата газу при заданих робочих умовах:

$$Q_p = \frac{Q \cdot T_p}{T_0}, \quad (2.21)$$

де T_p – температура газів в робочих умовах, °К; $T_0 = 273^\circ\text{К}$ – абсолютна температура.

2) Площа пилоочисної камери:

$$S = \frac{18\mu Q_p}{d^2 g \rho_n}, \quad (2.22)$$

3) За умови швидкості газу в горизонтальному напрямленні 1 м/с, площа вертикального перерізу камери становитиме:

$$S_b = \frac{Q_p}{v}, \quad (2.23)$$

Методичний розрахунок розрахунок та підбір оптимальних технологічних параметрів пиловловлювача і вентилятора здійснюється за наступним принципом.

- 1) Витрати повітря на пиловловлювача $Q_{п/в}$, м³/ГОД визначають за формулою:

$$Q_{n/ε} = 1,05 \cdot \sum Q, \quad (2.24)$$

де $\sum Q$ – сумарні витрати повітря від устаткування, яке аспірується, м³/год; 1,05 – коефіцієнт, який враховує підсмоктування повітря в аспіраційному повітропроводі.

- 2) Розрахункову площу фільтруючої поверхні рукавів визначають за формулою:

$$F_p = \frac{Q_{n/ε}}{Q_{num}}, \quad (2.25)$$

де $Q_{n/ε}$ – продуктивність фільтра, м³/год; Q_{num} – питоме навантаження на фільтруючу тканину, м³/год·м²; $Q_{num} = 420 - 480$ м³/год·м².

- 3) Фактичне питоме навантаження розраховують за формулою:

$$q_{num} = \frac{Q_{n/ε}}{F_{\phi} \cdot 60}, \quad (2.26)$$

де $Q_{n/ε}$ – продуктивність пиловловлювача, м³/год; F_{ϕ} – площа фільтруючої поверхні вибраного фільтра, м².

- 4) Опір фільтра-циклона визначають за формулою:

$$H_{\phi} = 100 \cdot q_{num}^{1/3}, \quad (2.27)$$

де q_{num} – фактичне питоме навантаження, м³/хв·м².

5) Продуктивність вентилятора визначають за формулою:

$$Q_{\epsilon} = Q_{n/\epsilon} + \Delta Q_{n/\epsilon}, \quad (2.28)$$

де $Q_{n/\epsilon}$ – продуктивність пиловловлювача, м³/год; $\Delta Q_{n/\epsilon}$ – підсос повітря в пиловловлювачі через шлюзовий затвір.

6) Тиск вентилятора визначають за формулою:

$$H_{\epsilon} = 1,1 \cdot \sum H_c, \quad (2.29)$$

де 1,1 – коефіцієнт, який враховує невраховані втрати тиску; $\sum H_c$ – сумарні втрати тиску в мережі по магістральному напрямку, Па.

7) Потужність на валу вентилятора визначають за формулою:

$$N_{\epsilon} = \frac{Q_{\epsilon} \cdot H_{\epsilon}}{36 \cdot 10^5 \cdot \eta_{\epsilon} \cdot \eta_{пер} \cdot \eta_{підш}}, \quad (2.30)$$

де Q_{ϵ} – продуктивність вентилятор, м³год; H_{ϵ} – тиск, який розвиває вентилятор, Па; η_{ϵ} – ККД вентилятора; $\eta_{пер}$ – ККД передачі: (для клинопасової передачі – $\eta_{пер} = 0,95$; $\eta_{підш}$ – ККД підшипника, $\eta_{підш} = 0,97 \dots 0,98$).

8) Установчу потужність розраховують за формулою:

$$N_y = K \cdot N_{\epsilon}, \quad (2.31)$$

де K – коефіцієнт запасу на пусковий момент; N_{ϵ} – потужність на валу вентилятора, кВт.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ, ЇХ АНАЛІЗ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ

3.1. Загальні характеристика технологічного процесу підприємства з переробки та зберігання зерна

Технологічний процес на підприємстві з переробки та зберігання зерна продуктивністю 50 тон/добу, включає декілька ключових етапів, кожен з яких має свої технологічні особливості та нормативні вимоги і стандарти.

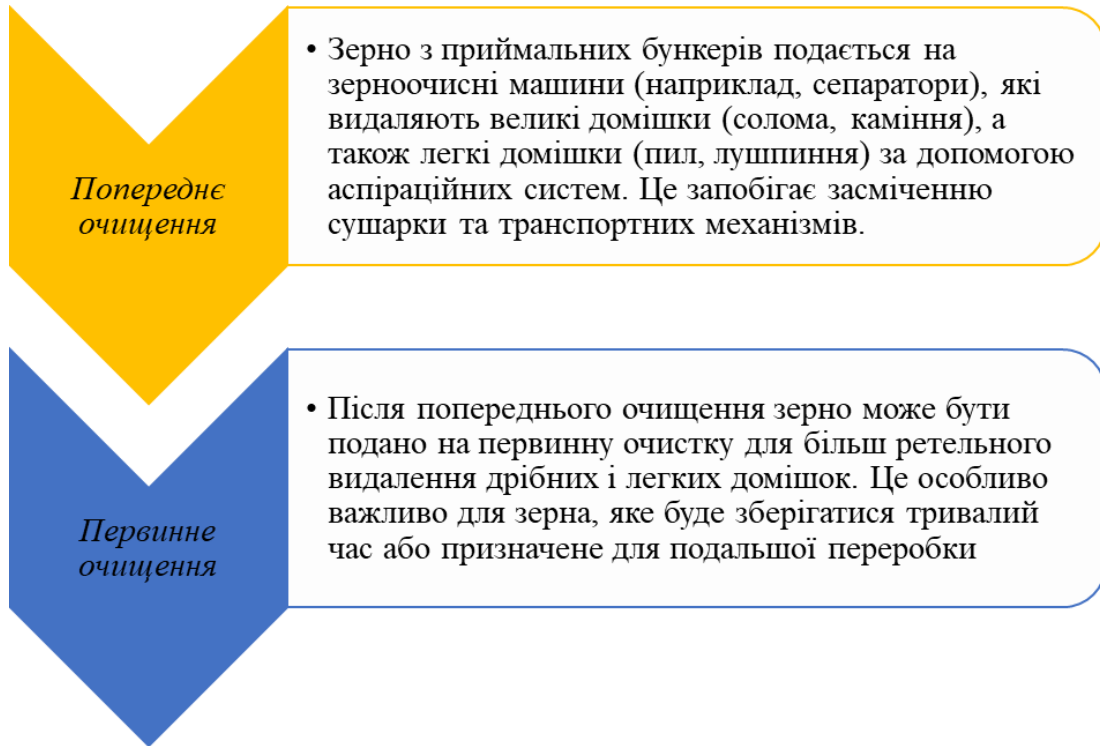
Етап 1. Приймання зерна.

Цей етап є першим і критично важливим для подальшого процесу і складається з наступних технологічних стадій:



Етап 2. Провіювання (попереднє та первинне очищення)

Метою провіювання є видалення легких, дрібних та великих домішок, що значно покращує якість зерна та полегшує подальші технологічні процеси, зокрема сушіння.



- Зерно з приймальних бункерів подається на зерноочисні машини (наприклад, сепаратори), які видаляють великі домішки (солома, каміння), а також легкі домішки (пил, лушпиння) за допомогою аспіраційних систем. Це запобігає засміченню сушарки та транспортних механізмів.

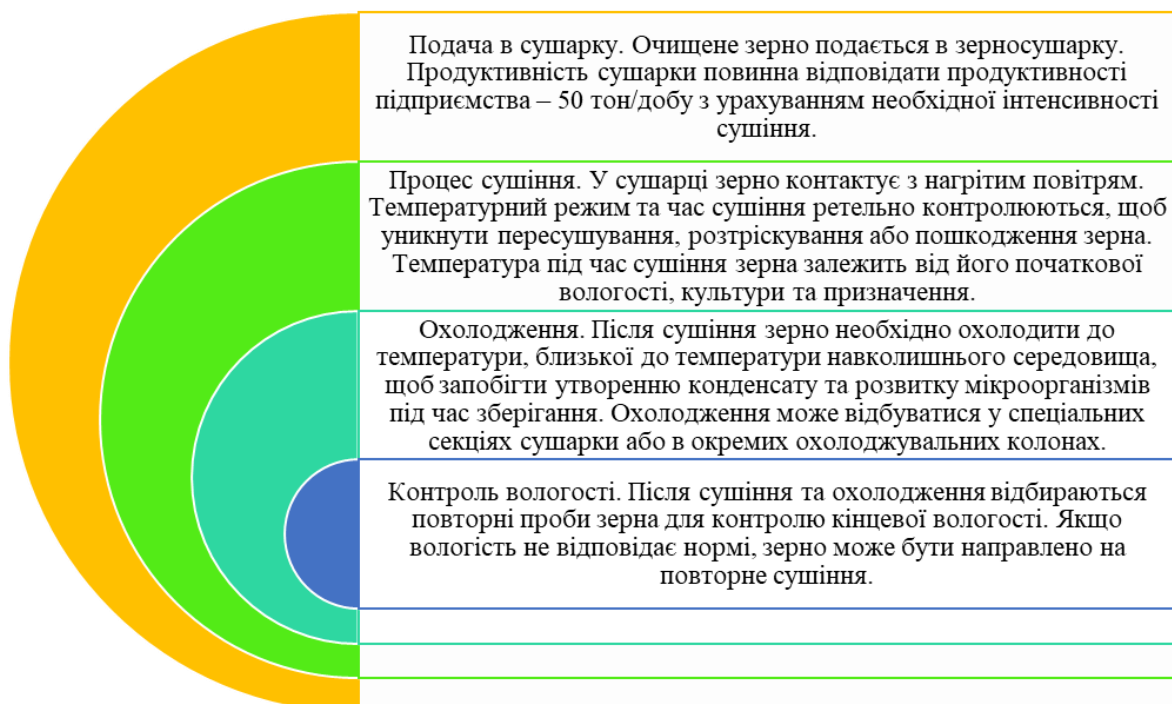
Попереднє
очищення

- Після попереднього очищення зерно може бути подано на первинну очистку для більш ретельного видалення дрібних і легких домішок. Це особливо важливо для зерна, яке буде зберігатися тривалий час або призначене для подальшої переробки

Первинне
очищення

Етап 3. Сушіння зерна

Сушіння – це процес зниження вологості зерна до безпечних для зберігання показників (зазвичай 13-15% залежно від культури).



Подача в сушарку. Очищене зерно подається в зерносушарку. Продуктивність сушарки повинна відповідати продуктивності підприємства – 50 тон/добу з урахуванням необхідної інтенсивності сушіння.

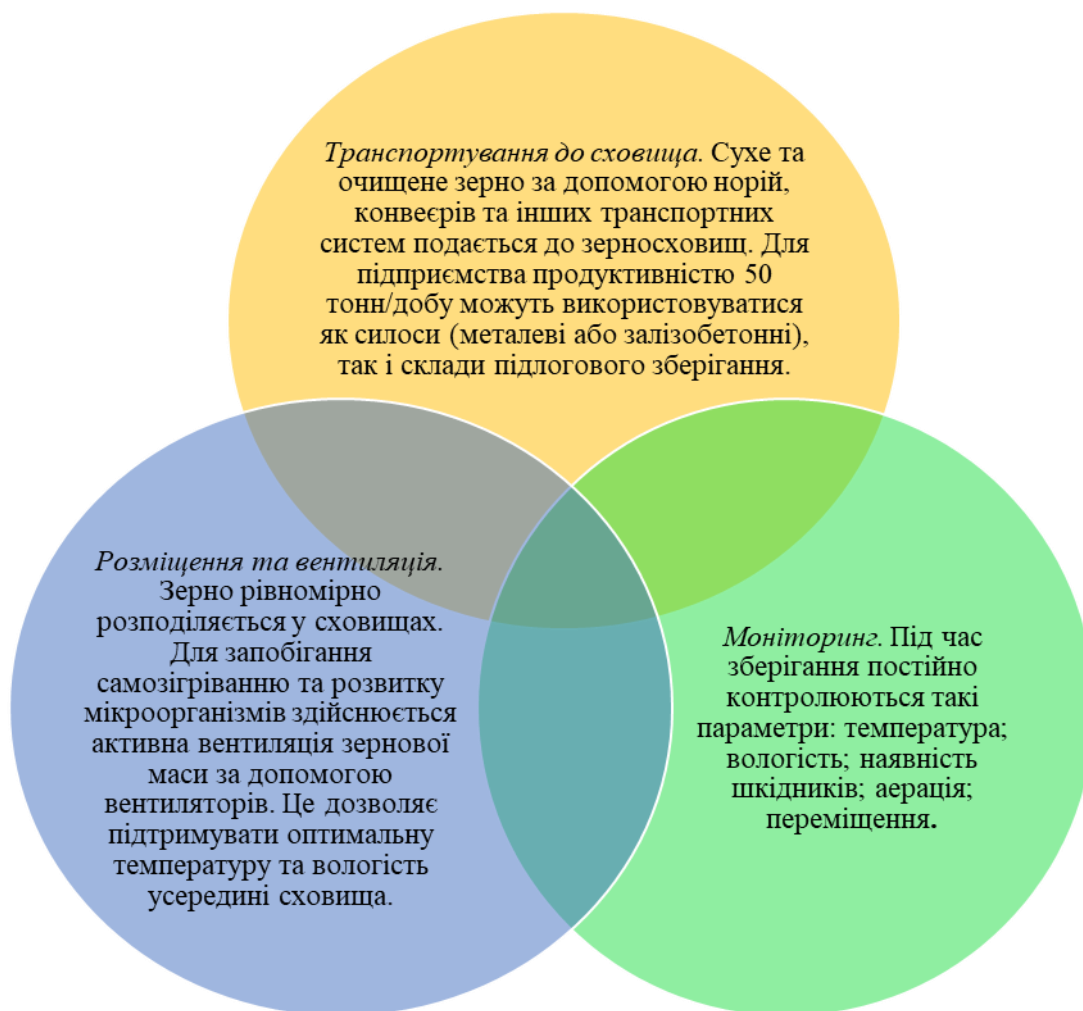
Процес сушіння. У сушарці зерно контактує з нагрітим повітрям. Температурний режим та час сушіння ретельно контролюються, щоб уникнути пересушування, розтріскування або пошкодження зерна. Температура під час сушіння зерна залежить від його початкової вологості, культури та призначення.

Охолодження. Після сушіння зерно необхідно охолодити до температури, близької до температури навколишнього середовища, щоб запобігти утворенню конденсату та розвитку мікроорганізмів під час зберігання. Охолодження може відбуватися у спеціальних секціях сушарки або в окремих охолоджувальних колонах.

Контроль вологості. Після сушіння та охолодження відбираються повторні проби зерна для контролю кінцевої вологості. Якщо вологість не відповідає нормі, зерно може бути направлено на повторне сушіння.

Етап 4. Зберігання зерна

Правильне зберігання є запорукою збереження якості зерна протягом тривалого часу.



Обладнання, необхідне для підприємства продуктивністю 50 тон/добу:

- *Приймальний вузол.* Автомобілерозвантажувачі, приймальні бункери.
- *Транспортне обладнання.* Норії (ківшеві елеватори), стрічкові та ланцюгові конвеєри.
- *Зерноочисні машини.* Сепаратори (для попереднього та первинного очищення).
- *Зерносушарка.* Шахтна, модульна або барабанна, з відповідною продуктивністю.

- *Системи вентиляції та аспірації.* Вентилятори, циклони, фільтри для видалення пилю.
- *Вагове обладнання.* Автомобільні ваги, бункерні ваги.
- *Лабораторне обладнання.* Вологоміри, сита, візирки, прилади для визначення клейковини тощо.
- *Зерносклади.* Силоси, склади підлогового зберігання.
- *Системи моніторингу.* Термометрія, системи контролю рівня зерна.

Загальна технологічна схема роботи підприємства та очисного обладнання наведена на рисунках 3.1 і 3.2.

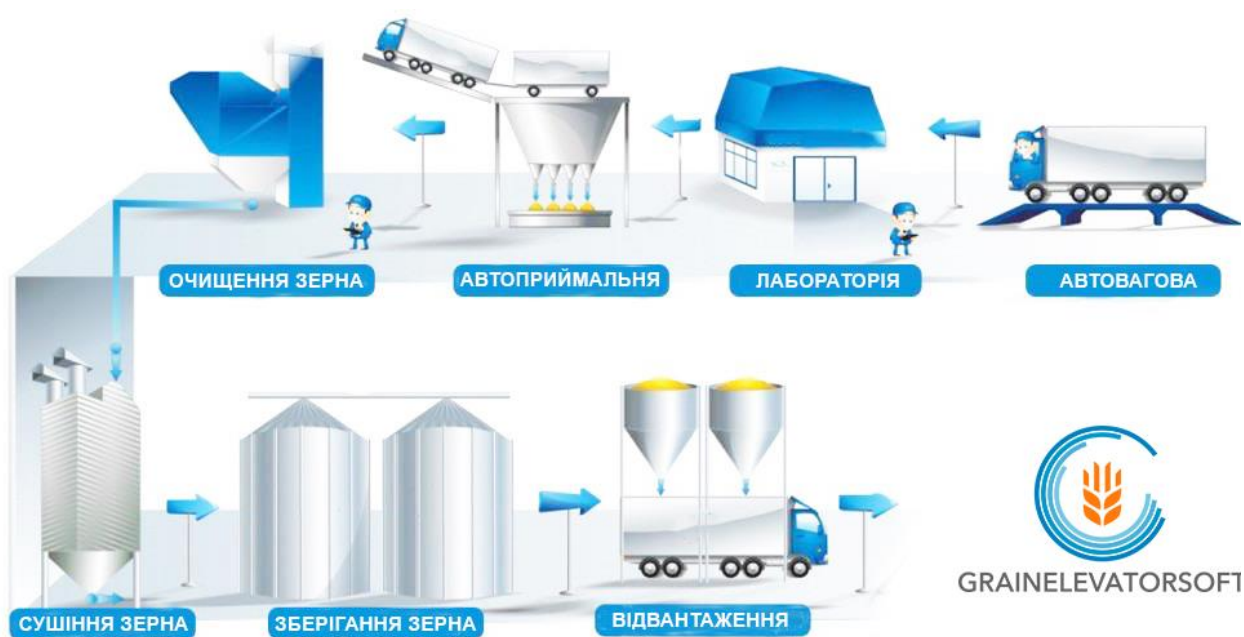


Рисунок 3.1. – Технологічна схема роботи підприємства з переробки та зберігання зернових культур (фото з мережі *Internet*)



Рисунок 3.2. – Загальний вигляд пилоочисного обладнання (батарейні циклони та аспіраційні камери) при роботі на підприємствах зернопереробної сфери (фото з мережі *Internet*)

Вентиляція на підприємстві виконує три основні функції [6-8]:

- 1) санітарно-гігієнічну;
- 2) технологічну;
- 3) забезпечення пожежної та вибухової безпеки.

Санітарно-гігієнічна функція полягає в забезпеченні метеорологічних умов (температура, вологість, швидкість повітря) та мінімуму вмісту шкідливих речовин в повітрі робочої зони виробничих приміщень. Значення метеорологічних умов залежить від пори року (холодний чи теплий період), від витрат енергії при виконанні робіт, а також залежить від того, чи допустимі, чи оптимальні умови, які необхідно створити на робочому місці. Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі встановлюють за ДСТУ (табл.3.2).

Таблиця 3.1. Техніко-технологічні характеристики нової зерносушарки

Модель	ZS-15
Продуктивність, зернові 20% – 15%, т/год	14
Продуктивність, кукурудза 20% – 15%, т/год	15
Продуктивність, кукурудза 25% – 15%, т/год	7,5
Продуктивність, рапс 13% – 8%, т/год	9
Довжина, мм	9767
Ширина, мм	3220
Висота, мм	4914
Висота вивантаження, мм	342
Вага установки при підйомі, кг	7500
Вага продукту просушки, кг	7500
Потужність вентилятора гарячого потоку, кВт	1×22
Потужність вентилятора охолоджуючого потоку, кВт	1×11
Потужність двигуна пальника, кВт	1×1.1
Потужність двигуна транспортера, кВт	0,75
Потужність вивантажувального шнека, кВт	1,5

Таблиця 3.2. Норми гранично допустимих концентрацій пилу

Найменування пилу	ГДК, мг/м ³
Рослинного (зерновий) і тваринного походження	2
З вмістом оксиду кремнію від 2% до 10% зернового та комбікормового виду	4
З вмістом оксиду кремнію (борошністий пил)	6

На підприємстві галузі переробки зерна повітря приймає участь у багатьох операціях: сепарування зерна, сушіння і охолодження зерна,

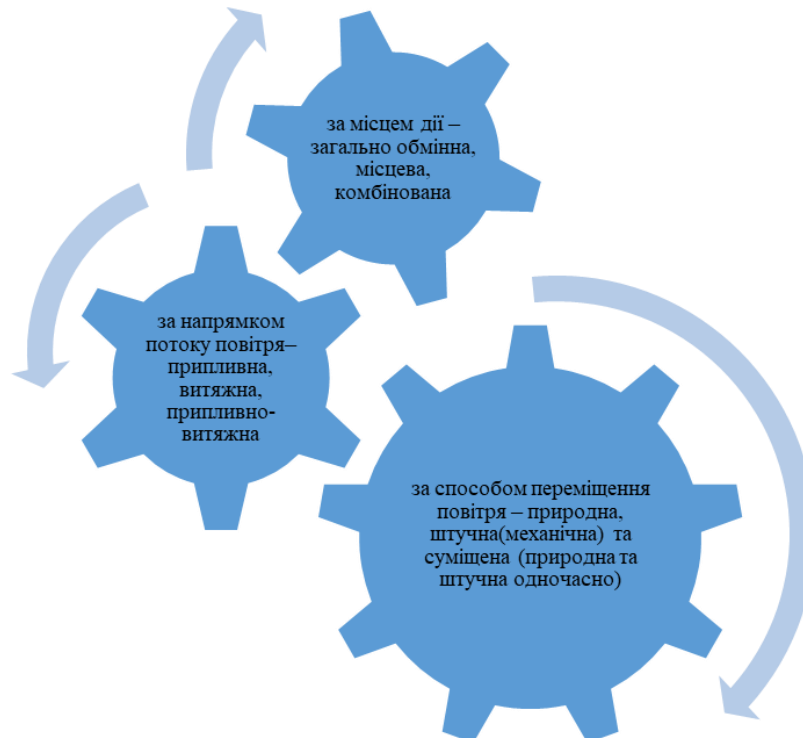
активне вентилявання, транспортування зерна і продуктів його розмелу (пневмотранспорт).

Промисловий пил підприємств переробки і зберігання зерна пожежо- та вибухонебезпечний. Вибух можливий при наявності двох факторів: певної концентрації пилу в повітрі і наявності джерела спалаху. Найменшу концентрацію при якій можливий вибух називають нижньою межею вибуху (табл. 3.3).

Таблиця 3.3. Вибухонебезпечна концентрація пилу

Найменування пилу	Концентрація в повітрі, г/м ³
Елеваторний пил	40-90
Борошнистий пил	10-50
Комбікормовий пил	7,6-25

Вентиляція являє собою комплекс заходів і засобів, які забезпечують на робочих місцях та в зонах обслуговування виробничих приміщень належні метеорологічні умови та чистоту повітря. Ці умови мають відповідати як гігієнічним, так і технічним вимогам. Головна мета вентиляції полягає у видаленні забрудненого або нагрітого повітря з приміщення та подачі свіжого. Вентиляція класифікується за такими ознаками:



Вентиляція може бути припливною (рис. 3.3) і витяжною (рис. 3.4).

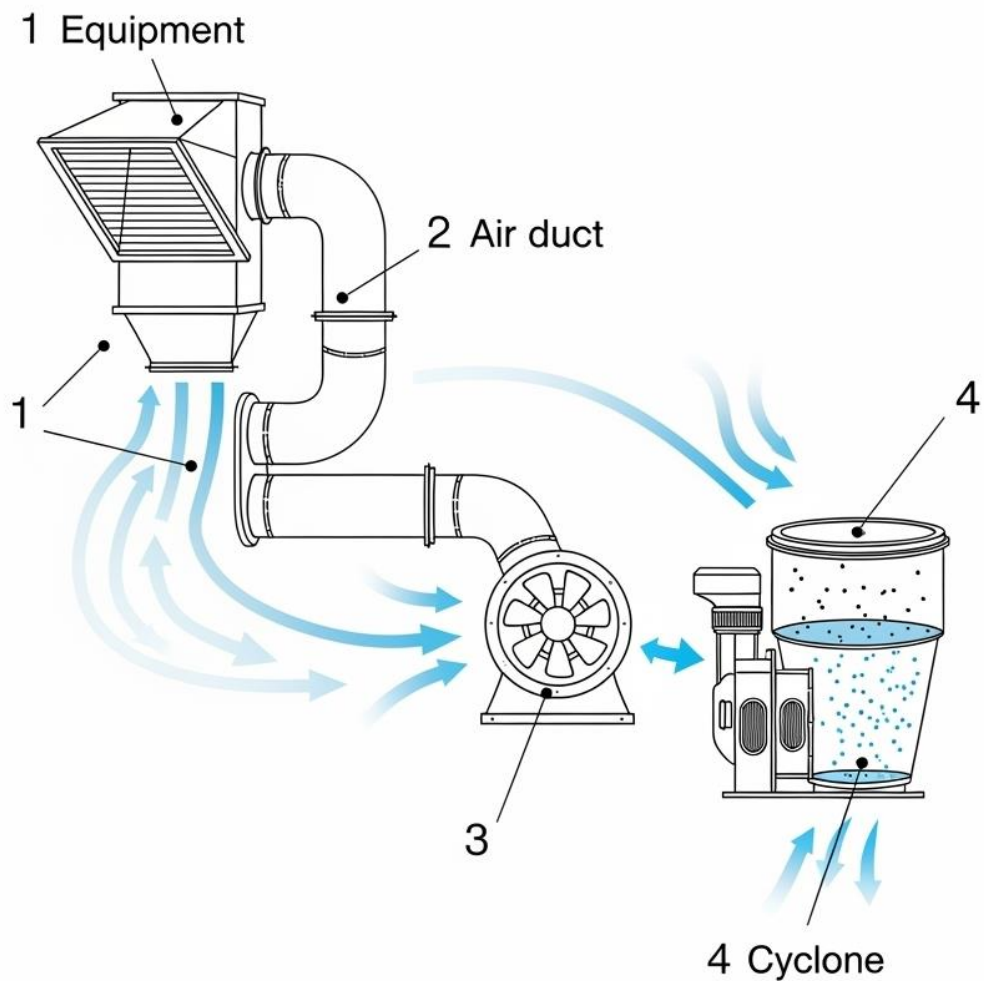


Рисунок 3.3. – Схема припливної мережі: 1 – обладнання;
2 – повітропровід; 3 – вентилятор; 4 – циклон

Основний технологічний принцип повітряного балансу виробничого приміщення (цеху або будівлі) полягає в тому, що об'єм повітря, яке надходить ззовні, має дорівнювати об'єму повітря, що виходить з неї.

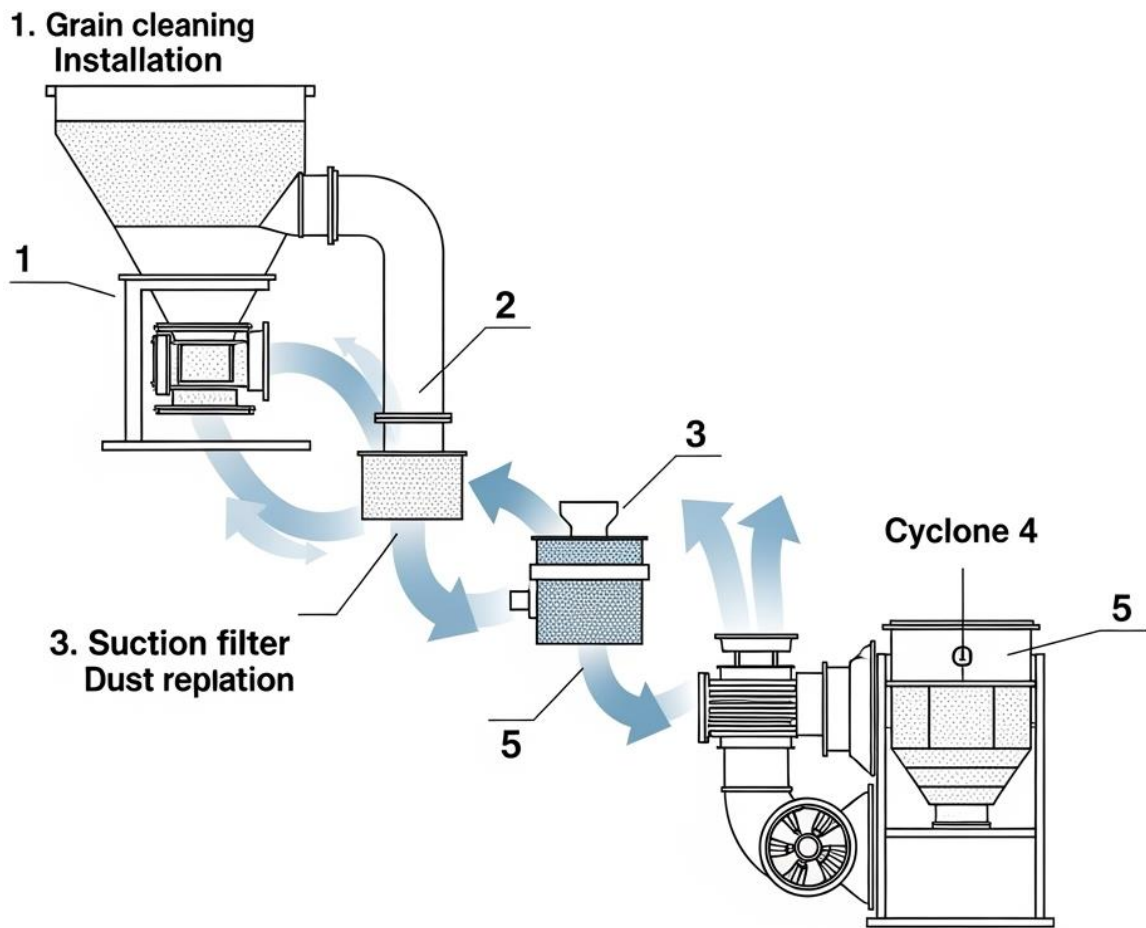


Рисунок 3.4. – Схема витяжної вентиляційної мережі: а, б – місцевої; в – центральної; 1 – установка з очищення зерна; 2 – повітропровід; 3 – всмоктуючий фільтр; 4 – циклон; 5 - вентилятор

3.2. Результати технологічних розрахунків параметрів роботи циклону

Розрахунок та підбір пилоочисного обладнання (циклонний фільтр) проводимо у відповідності до методики наведеної у розділі 3. Вихідними параметрами для розрахунку є дані наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4. Вихідні дані для розрахунку пилоочисного обладнання під час роботи зерносушарки сільськогосподарського підприємства

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
Джерело пилу (описання технологічного процесу, який спричинив забруднення навколишнього середовища)	-	сушарка / очистка зерна
Кількість газу, що очищається при робочих умовах, Q	м ³ /с	2,5
Густина газу при робочих умовах, ρ	кг/м ³	2380
Динамічна в'язкість газу при робочій температурі, μ	Па·с	$35 \cdot 10^{-6}$
Дисперсний склад пилу, який задається двома параметрами, $d'_{50} / \lg \sigma'_c$	мкм	6,0 / 0,238
Запиленість газу, C'	г/м ³	2,2
Густина частинок пилу, ρ_c	кг/м ³	2650
Необхідна ефективність очищення газу, η	%	90

На першому етапі розрахунків задаємося типом циклона та визначаємо оптимальну швидкість газу в апараті $v_{\text{опт}}$, м/с. При роботі циклона ЦН-15 $v_{\text{опт}}=3,5$ м/с.

Визначаємо необхідну площу перерізу циклону S, м²:

$$S = \frac{Q}{v_{\text{опт}}} = 2,5 / 3,5 = 0,72 \text{ м}^2$$

Знаходимо діаметр циклону D, м:

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,72}{3,14}} = 0,96 \text{ м}$$

Для отриманих значень розрахунку приймаємо циклон діаметром 1,0 м.

За вибраним діаметром циклону знаходимо дійсну швидкість v , м/с, в циклоні:

$$v = \frac{4Q}{\pi ND^2} = \frac{4 \cdot 2,5}{3,14 \cdot 2 \cdot 1,0^2} = 1,6 \text{ м/с}$$

Згідно довідникових даних [15, 18] приймаємо коефіцієнт гідравлічного опору, відповідний заданому типу циклона.

Знаходимо втрати тиску в циклоні:

$$\Delta P = P_{\text{ВХ}} - P_{\text{ВИХ}} = \frac{\xi \rho v^2}{2} = (170 \cdot 2,380 \cdot 1,6^2) / 2 = 520 \text{ Па}$$

За даними табличних характеристик згідно [15, 18] приймаємо параметри d_{50}^t і $\lg \sigma_{\text{ч}}^t$. Знаходимо значення медіанної тонкості очищення d_{50}^t (мкм), при робочих параметрах циклона за формулою:

$$d_{50} = d_{50}^t \sqrt{\left(\frac{D}{D_t}\right) \cdot (\rho_{\text{ч}}^t / \rho_{\text{ч}}) \cdot (\mu / \mu_t) \cdot (v_t / v)} =$$

$$6,0 \sqrt{(1,0 / 0,6) \cdot (2200 / 2650) \cdot (35 \cdot 10^{-6} / 22,2 \cdot 10^{-6}) \cdot (3,5 / 1,6)} = 13,1 \text{ мкм}$$

де $D_t = 0,6$ м; $\rho_{\text{ч}}^t = 2200$ кг/м³; $\mu_t = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $v_t = 3,5$ м/с – значення відповідно діаметра, густини пилу, в'язкості газу і швидкості потоку типового циклона.

Ефективність очищення газу в циклоні η , %, знаходимо за формулою:

$$\eta = 50[1 + \Phi(x)]$$

де $\Phi(x)$ – таблична функція від параметру x , рівного:

$$x = \lg\left(\frac{d_{50}}{d_{50}^t}\right) / \sqrt{\lg^2 \sigma_{\text{ч}}^t + \lg^2 \sigma_{\text{ч}}} = \lg\left(\frac{13,1}{6,0}\right) / \sqrt{0,238^2 + 0,214^2} = 1,07$$

Відповідно до розрахунку таблична функція $\Phi(x) = 0,9$.

$$\eta = 50[1 + \Phi(x)] = 50 [1+0,9] = 95\%$$

Отже отримане значення 95% дорівнює вихідним параметрам 95%, що обґрунтовує доцільність обраного фільтру та повністю задовольняє умовам очищення пилу при роботі зерносушарки.

Для умов роботи нашого об'єкту досліджень обираємо очисне обладнання: батарейний циклон марки ЦН-15-300-Пр+Л-2С-СП-ст3-s2-У1. Технологічні параметри розрахункового та обраного обладнання наведені у табл. 3.6 і рисунку 3.5. Орієнтовна вартість установки складає 16 тис. грн.

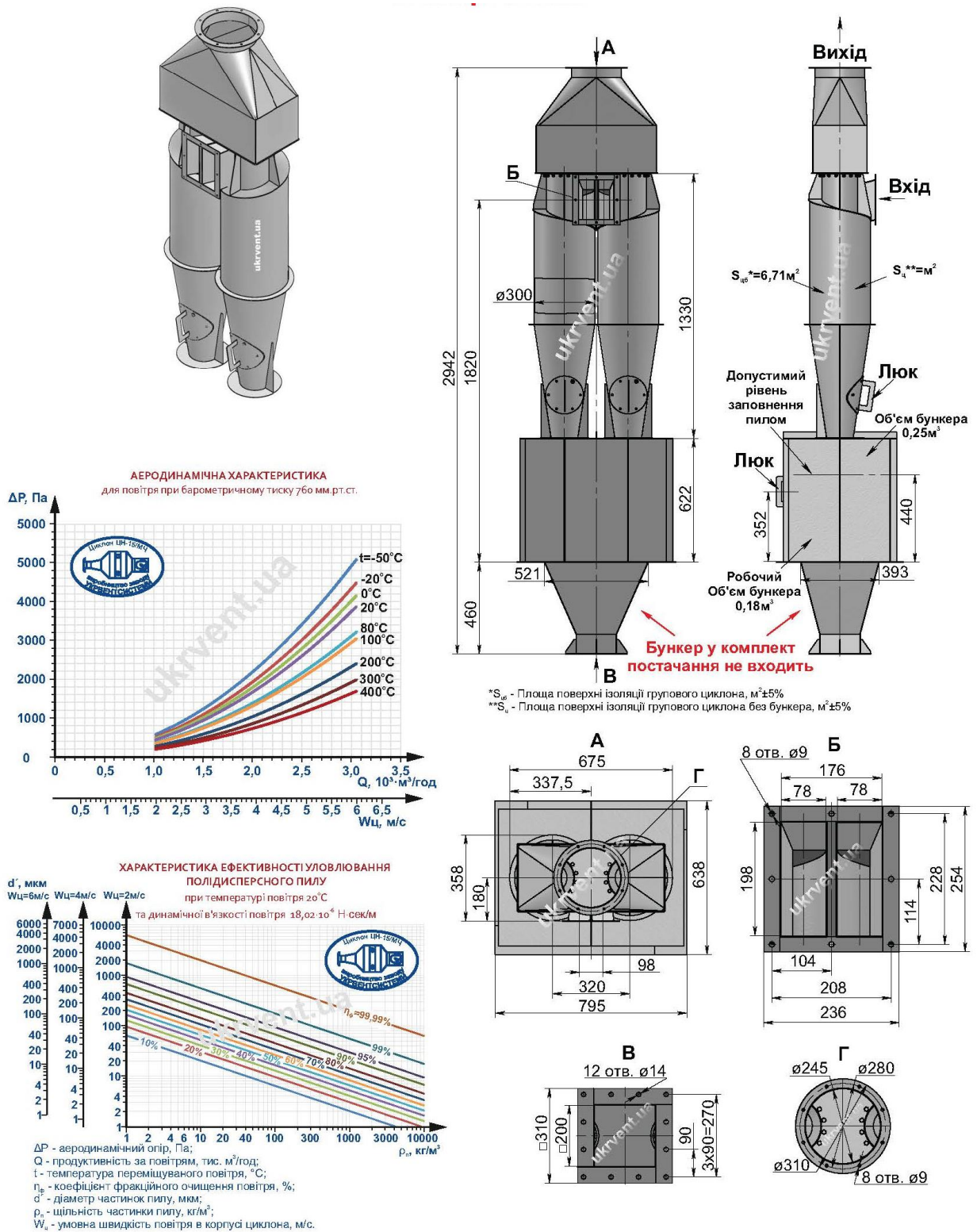


Рисунок 3.5. – Конструктивні та технологічні параметри роботи батарейного циклону ЦН-15-300-Пр+Л-2С-СП-ст3-s2-У1 (схема з сайту в мережі Internet)

Таблиця 3.6. Основні технічні характеристики Циклону ЦН-15-300-Пр+Л-2С-СП-ст3-s2-У1

Технічні характеристики	Значення
Продуктивність, тис м ³ /год	2,035
Внутрішній діаметр циліндричної частини циклону, мм	300
Кількість циклонних елементів, шт.	2
Оптимальна швидкість роботи циклону	4 м/с
Товщина матеріалу (S)	2s
Аеродинамічний опір, Па	430-3872
Площа поверхні, м ²	3,75
Маса циклону, кг	70
Основне призначення	для сухого очищення газів від вибухонебезпечного пилю; для уловлювання пилю, що викидається вентиляційними установками.
Орієнтовна вартість	16 тис. грн.

3.3. Результати технологічних розрахунків параметрів роботи камери для осаджування пилю

Виходячи із заданих параметрів роботи зерносушарки (прівіювання та очистки) зерна та з метою техніко-економічного порівняння роботи різного очисного обладнання окрім підбору циклону виконується розрахунок параметрів роботи пилоосаджувальної камери [1, 15, 18].

Визначаємо витрату газу при заданих робочих умовах:

$$Q_p = \frac{Q \cdot T_p}{T_o} = \frac{2500 \cdot (150 + 120)}{3600 \cdot 150} = 1,25 \text{ м}^3/\text{с}$$

Знаходимо площу пилоочисної камери:

$$S = \frac{18\mu Q_p}{d^2 g \rho_n} = \frac{18 \cdot 35 \cdot 10^{-6} \cdot 1,25}{(10 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 9,81 \cdot 2650} = 300 \text{ м}^2$$

Припустивши, що швидкість газу в горизонтальному напрямку становить 1 м/с, ми визначаємо площу вертикального перерізу камери:

$$S_b = \frac{Q_p}{v} = 1,25 / 1 = 1,25 \text{ м}^2$$

У відповідності до отриманих розрахунків приймаємо робочу висоту пилоосаджувальної камери $H=1,5$ м. В цьому випадку ширина і довжина такого обладнання становитимуть відповідно:

$$B = \frac{S_b}{H} = \frac{1,25}{1,5} = 0,8 \text{ м}$$

$$L = \frac{S}{B} = \frac{300}{0,8} = 375 \text{ м}$$

З метою зменшення довжини камери в ній встановлюють полицки, що еквівалентно збільшенню площі дна. Отже при наявності 25 полиць площа однієї буде дорівнювати:

$$S_n = \frac{S}{n} = \frac{300}{30} = 10 \text{ м}^2$$

Приймаємо відстань між полицками рівною 0,25 м і знаходимо висоту камери:

$$H = n \cdot h = 30 \cdot 0,25 = 7,5 \text{ м}$$

За умови швидкості газу 1 м/с ширина камери залишається рівною 0,8 м, а довжина становитиме:

$$L = \frac{S_n}{B} = \frac{10}{0,8} = 12,5 \text{ м}$$

Технологічні і конструктивні параметри роботи пилоосаджувальної камери наведені на рис. 3.7.

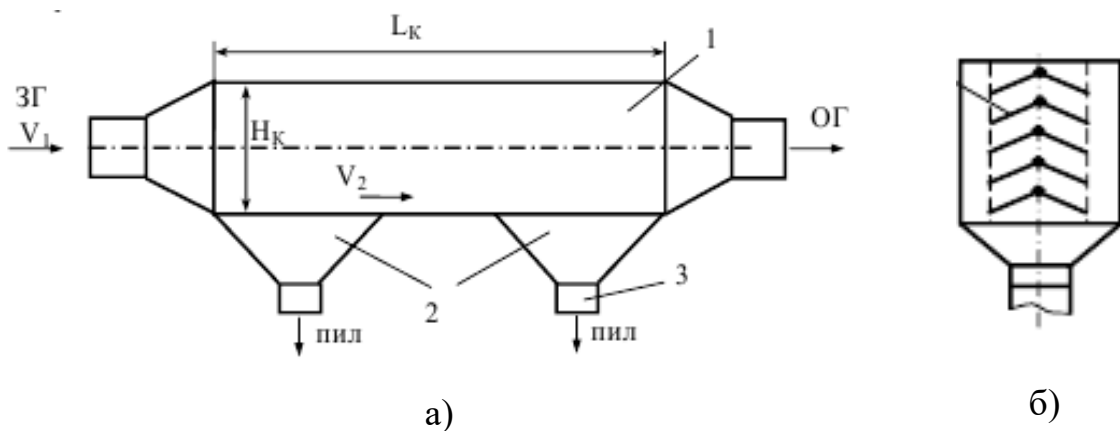


Рисунок 3.7. – Принципова конструктивна схема пилоосаджувальної камери (а): 1 – корпус; 2 – бункер; 3 – штуцер для видалення пилу;
б – приклад розташування полиць.

Для прикладу та з метою порівняння деяких типів аспіраційного обладнання з циклонами можна обрати установку (рис. 3.8) Unalsan AM. Відмітимо, що вартість такого обладнання сягає близько 150 тис. грн.

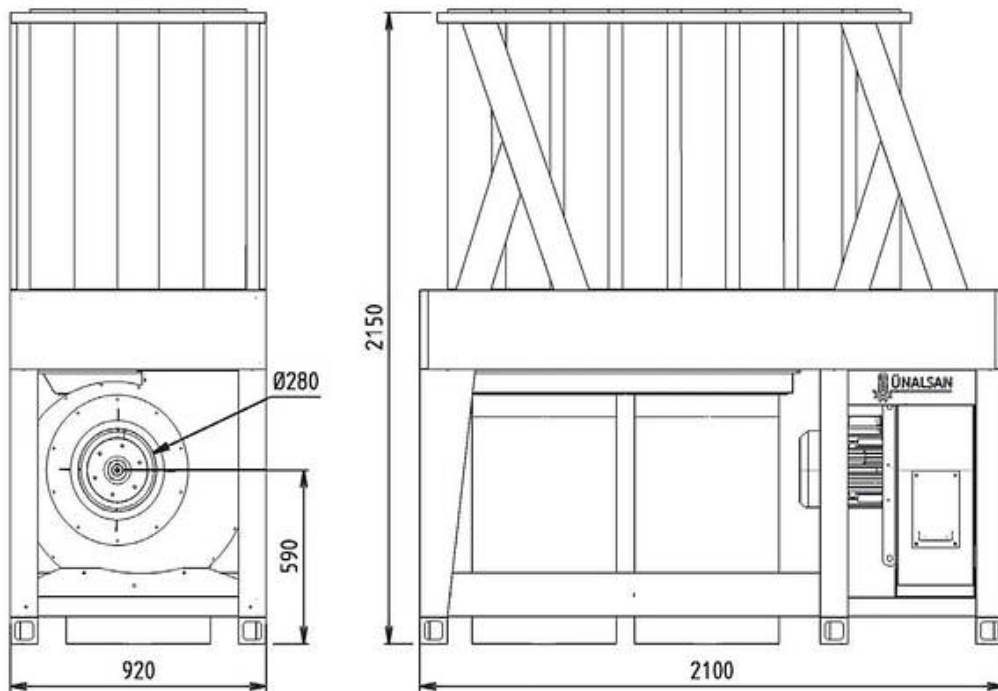


Рисунок 3.8. – Загальний вигляд промислової аспіраційної установки Unalsan AMS 50 ET (схема з мережі *Internet*)

Таблиця 3.6. Технічні характеристики роботи аспіраційної установки Unalsan AMS

Параметр	Значення
Продуктивність, м ³ /год	5000
Напруга, В	380
Потужність двигуна, кВт	5,5
Швидкість руху повітря, м/с	28
Діаметр вхідного патрубку, мм	280
Тип фільтрів	поліестер
Ступінь фільтрації, мкм	3
Кількість фільтрів, шт	35
Розміри одного фільтру, мм	Ø160×935
Ємність для відходів, мішки	2
Габаритні розміри, мм	920×2100×2150
Вага, кг	270

Разом з тим, наведені технічні характеристики засвідчують нижчу потужність у порівнянні з циклонами, що обумовлює необхідність збільшення кількості обладнання або його резервування.

Отже виконані розрахунки та порівняння техніко-економічних та технологічних параметрів роботи різного пилоочисного обладнання засвідчує про доцільність застосування циклонів для очистки від пилових викидів при роботі сушарки (очистки) зерна. Циклони мають більшу продуктивність, простоту і надійність роботи під час експлуатації.

3.4. Розрахунок та підбір оптимальних технологічних параметрів пиловловлювача і вентилятора

Витрати повітря на пиловловлювача:

$$Q_{n/в} = 1,05 \cdot 2500 = 2625 \text{ м}^3/\text{год}$$

Розрахункова площа фільтруючої поверхні рукавів:

$$F_p = \frac{2625}{650} = 4 \text{ м}^2$$

Фактичне питоме навантаження:

$$q_{num} = \frac{2625}{6 \cdot 60} = 7,2 \frac{\text{м}^3}{\text{хв} \cdot \text{м}^2}$$

Опір фільтра-циклона:

$$H_\phi = 100 \cdot 7,2^{1/3} = 192 \text{ Па}$$

Продуктивність вентилятора:

$$Q_в = 2625 + 100 = 2725 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Тиск вентилятора:

$$H_в = 1,1 \cdot 350 = 385 \text{ Па}.$$

З розрахованих показників за технічною характеристикою обираємо вентилятор з найбільшим ККД. Ухвалюємо до встановлення вентилятор марки В.Ц5-35-4В1.0.1У2 з ККД $\eta_e = 0,75$.

Потужність на валу вентилятора:

$$N_g = \frac{2725 \cdot 385}{36 \cdot 10^5 \cdot 0,75 \cdot 0,95 \cdot 0,97} = 0,4 \text{ кВт.}$$

Установча потужність:

$$N_y = 1,5 \cdot 0,4 = 0,6 \text{ кВт}$$

Обраний вентилятор марки В.Ц5-35-4В1.0.1У2 комплектується електродвигуном АИМ80В2 з $N_e = 2,2$ кВт.

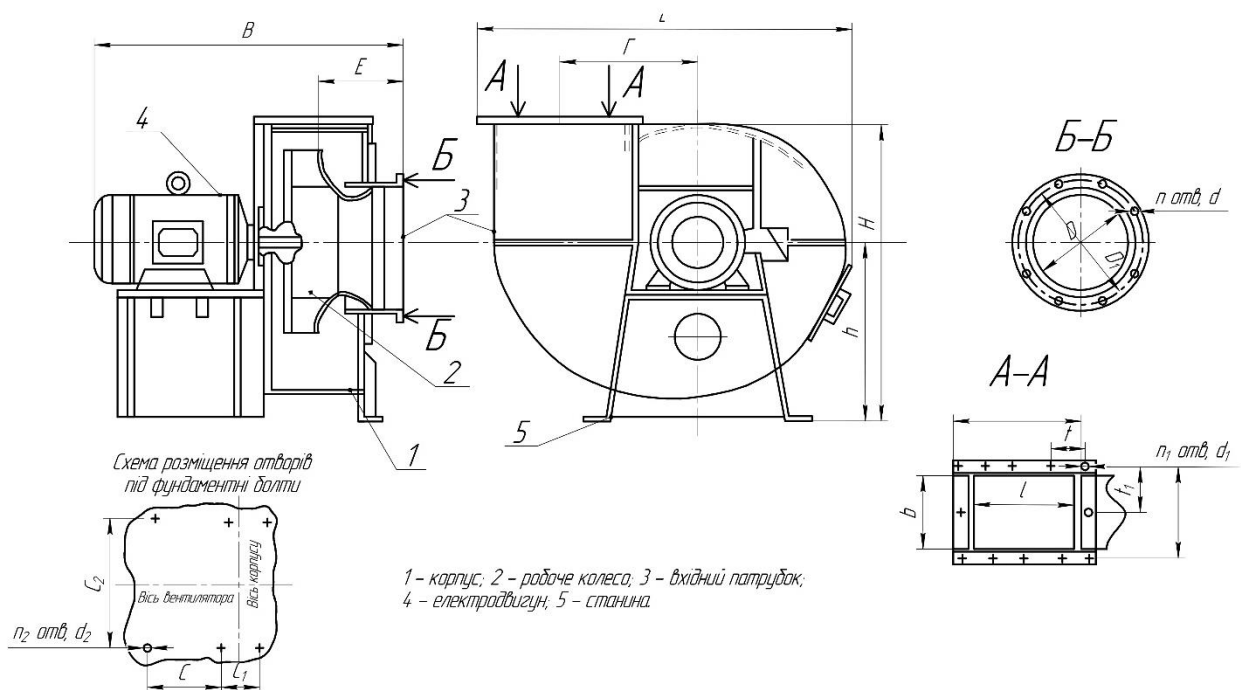


Рисунок 3.9. – Технологічна схема вентилятор марки В.Ц5-35-4В1.0.1У2 комплектується електродвигуном АИМ80В2

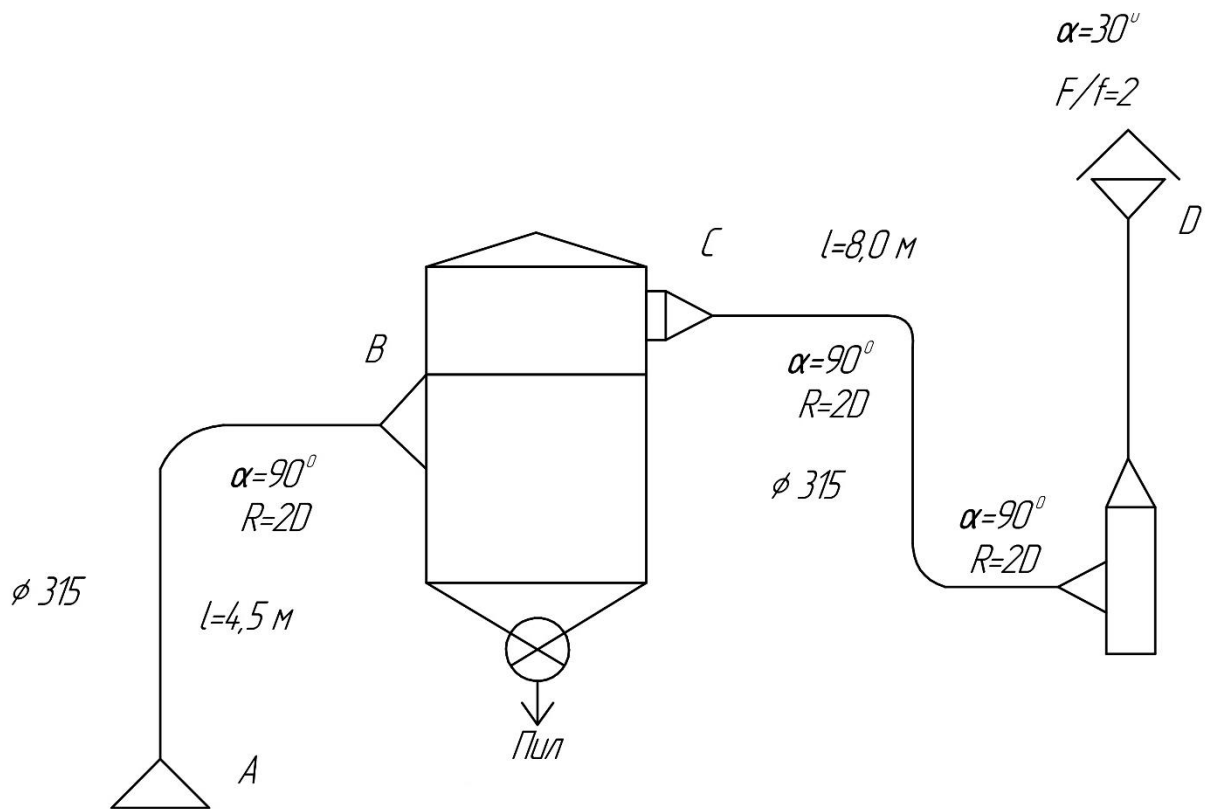


Рисунок 3.10. – Технологічна схема роботи аспіраційної мережі на лінії переробки та зберігання зерна

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ ПІДПРИЄМСТВ ЗІ ЗБЕРІГАННЯ І ПЕРЕРОБКИ ЗЕРНА

4.1. Основні джерела небезпеки технологічних процесів, пов'язаних зі зберіганням і переробкою зернових культур

Зберігання та переробка зерна є однією з критичних ланок аграрного сектору економіки, що має стратегічне значення для продовольчої безпеки. Однак, паралельно зі зростанням обсягів виробництва, актуалізується проблема забезпечення безпеки праці та мінімізації виробничого травматизму серед персоналу, задіяного у цих процесах. Технологічні операції, пов'язані зі зберіганням і переробкою зернових культур, об'єктивно характеризуються підвищеним рівнем ризику [12-14]. Основними джерелами небезпеки є (рис. 4.1):

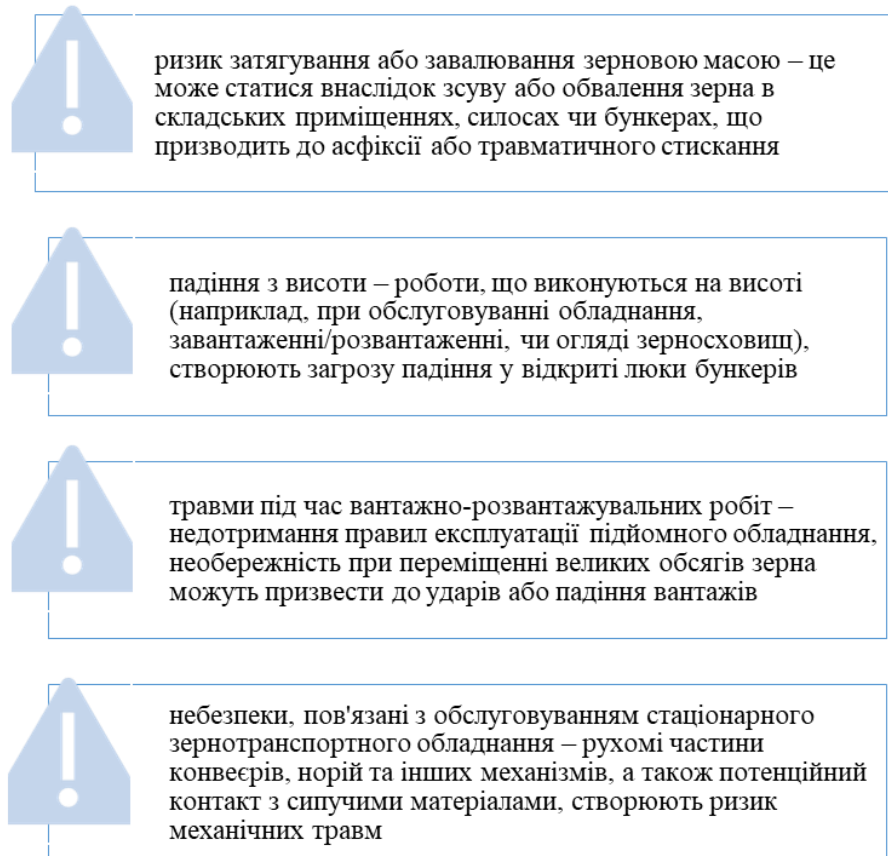


Рисунок 4.1. – Основні джерела небезпеки технологічних процесів, пов'язаних зі зберіганням і переробкою зернових культур

4.2. Шляхи запобігання виробничому травматизму та організація системи охорони праці на підприємстві

Основними шляхами запобігання виробничому травматизму та забезпечення належних умов праці є впровадження комплексних заходів, що включають (рис. 4.2) [12-14].

Систематичний нагляд

забезпечення постійного контролю за дотриманням працівниками правил безпеки та технологічних регламентів

Дотримання технологічних карт

суворе виконання інструкцій, викладених у технологічних картах, які деталізують послідовність та безпечні методи виконання робіт із зерном

Навчання та інструктаж

регулярне проведення навчання з питань охорони праці, інструктажів та тренувань для формування у працівників необхідних навичок та знань щодо безпечної поведінки в умовах виробництва

Впровадження сучасних систем безпеки

використання автоматизованих систем контролю, датчиків рівня зерна, систем аварійного відключення обладнання та інших технічних засобів, що підвищують рівень безпеки

Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)

забезпечення працівників якісними та відповідними ЗІЗ (страхувальні пояси, захисні каски, спеціальне взуття тощо) та контроль за їх правильним використанням

Рисунок 4.2. – Шляхи запобігання виробничому травматизму та організація системи охорони праці на підприємстві

Реалізація цих заходів дозволить значно підвищити рівень безпеки праці в зерновому секторі, мінімізувати ризики травматизму та забезпечити стале функціонування аграрної галузі. Для підтримки високого рівня охорони праці та техніки безпеки й попередження травматизму на виробництві, керівникам зернозаготівельних та зернопереробних підприємств необхідно здійснити такі кроки (рис. 4.3) [13, 14].

<p>отримати дозвіл на виконання робіт підвищеної небезпеки та на експлуатацію (застосування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки та зареєструвати декларацію відповідності його матеріально-технічної бази</p>	<p>затвердити схему переробки та обробки зерна із забезпеченням встановлення знаків безпеки і захисту здоров'я працівників для позначення небезпечних зон відповідно до вимог Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників</p>
<p>провести атестацію робочих місць за умовами праці на робочих місцях, де технологічний процес, використовувані обладнання, сировина чи матеріали є потенційними джерелами шкідливих і небезпечних виробничих факторів, що можуть несприятливо впливати на стан здоров'я працюючих</p>	<p>розробити та впроваджувати на підприємстві ризик-орієнтовний підхід у сфері охорони праці, розробити плани локалізації і ліквідації аварійних ситуацій та аварій, розробити графіки прибирання пилу у виробничих приміщеннях</p>
<p>у процесі роботи, щоквартально проводити відповідні тренувальні навчання з персоналом та відпрацювати можливі дії працівників у разі виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру</p>	<p>організувати проведення навчання та перевірки знань з питань охорони праці посадовим особам та працівникам, які виконують роботи підвищеної небезпеки</p>
<p>призначити посадових осіб, які пройшли навчання та перевірку знань з питань охорони праці відповідальними за виконання конкретного виду робіт підвищеної небезпеки</p>	<p>забезпечити працівників необхідними інструкціями з охорони праці, організувати проведення попередніх (під час прийняття на роботу) та періодичних медичних оглядів працівників</p>
<p>забезпечити працівників спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до галузевих нор, перевірити наявність та справність на зернових складах засобів аварійної зупинки транспортерів нижніх і верхніх галерей</p>	<p>перевірити справність і ефективність роботи аспіраційних систем; провести випробування аспіраційних систем та оформити на них паспорти, перевірити наявність та справність засобів дистанційного контролю температури зерна</p>
<p>перевірити наявність та справність на конвеєрах в головній та хвостовій частинах, аварійних кнопок для зупинки, проходи над конвеєрами мають бути обладнані перилами та бортиками</p>	<p>сушильні агрегати, які працюють на рідкому паливі, повинні бути обладнані приладами контролю теплоносія та автоматики безпеки, під час роботи сушарки слід здійснювати контроль за температурою зерна шляхом відбирання проб що дві години</p>

Рисунок 4.3. – Перелік основних заходів задля підтримання належного рівня охорони праці і техніки безпеки на підприємстві зберігання і переробки зерна (галузі харчових виробництв)

Роботодавці та посадові особи виробничих підприємств з переробки та зберігання зерна, таких як елеватори та сільськогосподарські компанії, агрофірми тощо, повинні вжити всіх необхідних заходів, аби привести робочі місця, обладнання, машини та механізми у відповідність до вимог діючих норм і правил, технічних регламентів та інших нормативно-правових документів щодо питань охорони праці та належних безпечних умов роботи [12-14].

Під час зберігання та переробки зерна керівникам сільськогосподарських підприємств і фермерських господарств необхідно особливу увагу приділяти дотриманню вимог безпеки. Щоб забезпечити належний рівень охорони праці та запобігти травматизму працівників, необхідно перевірити [12-14]:



наявність захисних огорожень на рухомих частинах виробничого обладнання, устаткування, натяжних пристроїв, конвеєрів



наявність і справність засобів дистанційного контролю температури зерна в силосах і бункерах



наявність і справність на конвеєрах в головній та хвостовій частинах, аварійних кнопок для зупинки



наявність і справність на ланцюгових конвеєрах датчиків підпору, які мають відключати конвеєр при переповненні короба зерном



наявність графіків прибирання пилу відповідно до яких мають проводитися прибирання виробничих приміщень

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлено обґрунтування технології зменшення пилових викидів на підприємстві переробки та зберігання зерна у галузі харчових виробництв.

Досягнення поставленої мети було успішно вирішено внаслідок дослідження наступних питань:

- 1) Проаналізовано літературні джерела щодо проблеми забруднення атмосферного повітря внаслідок роботи підприємств переробки та зберігання зерна; наведені загальні відомості про властивості пилового забруднення; досліджені основні параметри технологічних циклів переробки та зберігання зерна задля обґрунтування заходів для запобігання шкідливим викидам пилу в атмосферу.
- 2) В роботі наведений перелік та аналіз перспективних напрямів та технології зниження пилового забруднення підприємств переробки та зберігання зерна; представлені фізичні основи технологічних процесів пиловловлювання у харчовій промисловості; досліджене та обґрунтоване застосування найбільш ефективного очисного обладнання та засоби для зниження рівня пилових викидів технологічних процесів переробки та зберігання зерна; наведена методика технологічних розрахунків пилоочисних апаратів для галузі харчових виробництв.
- 3) Проведені розрахунки для технологічного процесу підприємства з переробки та зберігання зерна продуктивністю 50 тон/добу. Основними виробничими етапами процесу є: приймання зерна; провіювання (попереднє та первинне очищення); сушіння зерна; зберігання зерна.
- 4) Обґрунтований перелік обладнання, необхідного для зернопереробного підприємства продуктивністю 50 тон/добу, який складається з наступних компонент: приймальний вузол; транспортне обладнання; зерноочисні машини; зерносушарка; системи вентиляції та аспірації; вагове обладнання; лабораторне обладнання; зерносховища; системи моніторингу.

5) Для мінімізації пилового забруднення атмосферного повітря у галузі харчових виробництв (переробка та зберігання зернових культур) проведено розрахунок та порівняння основних технологічних параметрів роботи аспіраційних установок і визначено наступні показники:

- ✓ Батарейний циклон ЦН-15-300-Пр+Л-2С-СП-ст3-s2-У1 – продуктивність 2,035 тис м³/год.; внутрішній діаметр циліндричної частини циклону 300 мм; кількість циклонних елементів 2 шт.; оптимальна швидкість роботи циклону 4 м/с; аеродинамічний опір 430-3872 Па; площа поверхні 3,75 м²; маса циклону 70 кг; ступінь очистки від пилу 95%; орієнтовна вартість 16 тис. грн.
- ✓ Аспіраційна установка Unalsan AMS – продуктивність 5 тис. м³/год.; робоча напруга 380 В; потужність двигуна 5,5 кВт; швидкість руху повітря 28 м/с; діаметр вхідного патрубку 280 мм; ступінь фільтрації 3 мкм; кількість фільтрів 35 шт.; габаритні розміри 920×2100×2150 мм; вага 270 кг.
- ✓ Технологічні параметри пиловловлювача і вентилятора – витрати повітря 2625 м³/год.; розрахункова площа фільтруючої поверхні рукавів 4 м²; опір фільтра-циклона 192 Па; продуктивність вентилятора 2725 м³/год.; тиск вентилятора 385 Па; марка В.Ц5-35-4В1.0.1У2 з ККД $\eta_e = 0,75$; потужність на валу вентилятора 0,4 кВт; установча потужність 0,6 кВт; комплектується електродвигуном АИМ80В2 з потужністю 2,2 кВт.

6) У роботі також приділена значна увага питанням забезпечення належного рівня системи охорони праці та техніки безпеки під час роботи технологічного обладнання підприємств із підготовки та зберігання зерна та галузі харчових виробництв.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Герасимов О.І. Теоретичні основи технологій захисту навколишнього середовища: навчальний посібник. Одеса: ОДЕУ, 2018, 228 с.
2. Гопанюк О. І. Правила проектування аспіраційних установок підприємств по збереженню та переробці зерна [Текст] / Є. А. Дмитрук, О. І. Гапонюк та ін. – К., Одеса: Друкарський дім, 1995. – 131 с.
3. ДСП 173-96 Державні санітарні правила планування і забудови населених пунктів. Документ №z0379-96, редакція від 07.03.2019.
4. Закон України «Про охорону атмосферного повітря». Документ №2707-ХІІ, редакція від 15.11.2024.
5. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». Документ №1264-ХІІ, поточна редакція від 15.11.2024.
6. Зацерклянний М. М. Утворення пилу на підприємствах галузі хлібопродуктів і зменшення пиловиділення. Науково-технічний журнал «ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА», № 3(1/2018). С. 16-20.
7. Конструктивні та технологічні параметри роботи Циклону. <https://surl.li/txocfv>
8. Мандрус В.І. Гідравлічні та аеродинамічні машини (насоси, вентилятори, газодуви, компресори): Підручник. – Львів: «Магнолія 2006», 2007. – 340 с.
9. Мерко І.Т., Моргун В.О. Наукові основи і технологія переробки зерна: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. – Одеса: Друк, 2001. – 348 с.
10. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні. 2021 р.
11. Нормативи граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел. Наказ №309 від 27.06.2006. Міністерство охорони навколишнього природного середовища України.

12. Охорона праці та техніка безпеки під час роботи пилоочисного обладнання. <https://ohoronapraci.com.ua/examples/462877-instrukciya-z-ekspluatacii-ta-obslugovuvannya-ustanovki-ochistki-gazu-ciklon>
13. Охорона природи: атмосфера. Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України. Державна гідрометеорологічна служба. Київ, 2010.
14. Правила охорони праці для працівників, зайнятих на роботах зі зберігання та переробки зерна. Наказ Міністерства соціальної політики України від 20.09.2017 № 1504.
15. Природоохоронні технології. Частина 1. Захист атмосфери: навчальний посібник / Северин Л.І., Петрук В.Г., Безвозюк І.І., Васильківський І. В. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 388 с.
16. Сухенко Ю.Г., Серьогін О.О., Сухенко В.Ю., Рябоконт Н.В. Ресурсозберігаючі технології в харчових і переробних виробництвах: [Підручник] / За ред. проф. О.О.Серьогіна. – К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2016. – 338 с.
17. Техніко-технологічне забезпечення безвідходної переробки зернової сировини у харчові продукти і корми: колективна монографія / за заг. ред. Е. Б. Алієва. Дніпро: ЛПРА, 2022. 192 с.
18. Технології захисту навколишнього середовища. Ч. 1. Захист атмосфери: підручник / Петрук В.Г., Васильківський І.В., Петрук Р.В., Крусір Г.В., Клименко М.О., Сакалова Г.В. – Херсон : Олді-плюс, 2019.– 432 с.
19. Фурдичко О.І., Славов В.П., Войцицький А.П. Нормування антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище. Навчальний посібник. К. Основа, 2008. – 360 с.
20. Чурсінов, Ю. О. До питання про екологічність зернопереробних підприємств / Ю. О. Чурсінов, С. А. Черних, І. В. Токар. – Днепропетровск: АПК-Зерно, 2009. – №6. – С.73-75.