

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

УДК 631.34:632.934

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко-технологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Охорони праці та біотехнічних систем у  
тваринництві

(назва кафедри)

д.т.н. професор

Братішко В.В.

(підпис)

(ПІБ)

Хмельовський В.С.

(підпис)

(ПІБ)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 00 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Дослідження небезпек та професійних ризиків на підприємствах  
зберігання зерна з розробленням заходів з охорони праці

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма: «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук

(науковий ступінь та вчене звання)

Братішко В.В.

(підпис)

(ПІБ)

Керівники магістерської кваліфікаційної роботи

кандидат технічних наук, доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Войналович О.В.

(ПІБ)

Виконав

Нещадим Олександр Романович

(підпис)

(ПІБ)

КИЇВ 2023

Механіко – технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві

д.т.н., професор \_\_\_\_\_ Хмельовський В.С.

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис)

(ПІБ)

\_\_\_\_\_ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Нешадиму Олександр Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Дослідження небезпек та професійних ризиків на підприємствах зберігання зерна з розробленням заходів з охорони праці»

затверджена наказом ректора НУВіП України від 30.12.2022 р. № 1943 «О»

Термін подання завершеної роботи (проєкту) на кафедру: 2023.10.26

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: *Звіт про виробничу діяльність Катеринопільського елеватора за 2022 рр.*

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Аналіз можливих небезпек та причин пожеж і вибухів на зернозберігальних підприємствах.
2. Вибухонебезпека у приміщеннях зернових елеваторів.
3. Розрахунки параметрів аспіраційних систем для уловлювання зернового тилу на елеваторах.
4. Організаційні та технічні заходи для зниження ризику вибухів і пожеж на елеваторах.

Перелік графічних документів (за потреби)

Дата видачі завдання 7 лютого 2023 р.

Керівник магістерської роботи

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Войналович О.В.

(прізвище та ініціали)

Нешадим О.Р.

# НУБІП України

Магістерська робота на тему: «Дослідження небезпек та професійних ризиків на підприємствах зберігання зерна з розробленням заходів з охорони праці».

# НУБІП України

Магістерську роботу виконано на 77 сторінках машинописного тексту пояснювальної записки формату А-4, що містить 7 таблиць і 21 рисунок, та подано у вигляді презентації з 15 слайдів.

Магістерську роботу присвячено дослідженню небезпек та професійних ризиків на підприємствах зберігання зерна.

# НУБІП України

У першому розділі пояснювальної записки проаналізовано можливі небезпеки та причин пожеж і вибухів на зернозберігальних підприємствах.

У другому розділі розглянуто питання вибухонебезпеки у приміщеннях та апаратах зернових елеваторів.

# НУБІП України

У третьому розділі виконано розрахунки параметрів аспіраційних систем для уловлювання зернового пилу на елеваторах.

У четвертому розділі описано організаційні та технічні заходи для

з

# НУБІП України

Ключові слова: ОХОРОНА ПРАЦІ, ПІДПРИЄМСТВА ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА, ЗЕРНОСУШАРКИ, ВИБУХОНЕБЕЗПЕКА, ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА, ПРАЦЕОХОРОННІ ЗАХОДИ.

е

# НУБІП України

р

# НУБІП України

к

Завдання до виконання магістерської роботи	3
Реферат	4
Вступ	6
Розділ 1. Аналіз можливих небезпек та причин пожеж і вибухів на підприємствах зберігання і оброблення зерна	10
Розділ 2. Вибухонебезпека у приміщеннях зернових елеваторів	20
2.1. Коротка характеристика виробничої діяльності Катеринопільського елеватора	20
2.2. Дослідження причин настання аварійних ситуацій на підприємствах зберігання зерна	29
Розділ 3. Розрахунки параметрів аспіраційних систем для уловлювання зернового пилу на елеваторах	37
3.1. Визначення категорії вибухо- і пожежонебезпеки приміщень зернових елеваторів	
3.2. Розрахунок ефективності уловлювання пилу в пилоосаджувальних камерах	
3.3. Розрахунок параметрів циклона аспіраційної системи для уловлювання пилу, що виділяється під час роботи апаратів і механізмів на елеваторі	
Розділ 4. Організаційні та технічні заходи для зниження ризику вибухів і пожеж на елеваторах	49
Висновки	71
Список використаних джерел	73

НУБІП України

# НУБІП України

Розвиток ринку зернових в Україні нині характеризується такими обставинами:

- скороченням зернового виробництва (внаслідок зниження обсягу посівних площ через війну);
- окупацією частини зернових регіонів України;
- недотриманням агротехнологічних вимог щодо вирощування і збирання;
- зміненням товарних потоків, переорієнтацією на інших споживачів зерна та суттєвим подорожчанням логістики.

Щоб частково обробляти та зберігати тривалий період зерно, в Україні працюють елеватори. Їх місткість здебільшого 25-100 тис. т, у них виробництво механізовано, улаштовано диспетчерське автоматизоване керування технологічним процесом [1].

Загальний обсяг зерна, яке можна зберігати в елеваторах України, становив на початок війни близько 45 млн. т. Більшість із підприємств, де зберігають зерно, – це зерносховища силосного типу (на них припадає 81 %). Практично на всіх елеваторах зберігають зернові культури – пшеницю і ячмінь.

Разом з тим протягом війни Україна втратила частину елеваторів (за деякими оцінками до 15% обсягом близько 10 млн. т. Елеватори було знищено (пошкоджено) у Миколаївській (18 % від загальної кількості в області), Запорізькій (19 %), Донецькій (48 %), Харківській (10 %), Херсонській (10 %), Полтавській (2 %) та інших областях. Але пошкодження підприємствам зберігання зерна завдає не лише війна, а й вибухи й пожежі на зерноскладах, елеваторному обладнанні та зернових сушарках. За останні роки в Україні ще до початку війни (на Черкащині та Сумщині, в Івано-Франківській області) сталися пожежі на підприємствах, де зберігали та підсушували зерно.

В Україні у довоєнний період із збільшення виробництва зерна інфраструктура зернових елеваторів ефективно розвивалася. Але велику кількість споруд елеваторів було збудовано ще понад 30 років тому, а тому системи протипожежної безпеки на цих підприємствах мають багато недоліків, їх розроблено за застарілими підходами. Сучасні елеватори та зерносушарки характеризуються більш технологічно досконалим протипожежним обладнанням, у них улаштовано сучасні протипожежні пристрої. Зокрема встановлюють комп'ютеризовані системи пожежної (противибухової) безпеки, використовують у конструкціях безпечні щодо вогнетривкості матеріали. Але

навіть у сучасно обладнаних зерноскладах трапляються ситуації, що призводять до вибухів та пожеж із важкими наслідками [2]. Найчастіше вибухи і пожежі на зернових елеваторах виникають восени та у зимовий період року, коли вмістища під зерно практично повністю заповнені. Зерносушарки та механізми елеваторів перебувають в активному робочому процесі, але це може призводити до створення у повітрі пилоповітряних сумішей, що можуть вибухати (горіти) від іскріння.

У 2017 р. набрав чинності новий працюючий документ «Правила охорони праці для працівників, зайнятих на роботах зі зберігання та перероблення зерна», затверджений наказом Міністерства Соціальної політики України від 20.09.2017 р. № 1504. Але викладені у цих Правилах вимоги охорони праці не пояснюють великої аварійності на зернозберігальних підприємствах. Тому ж, аби уникнути пожеж і вибухів на підприємствах зберігання зерна необхідно проаналізувати причини пожеж (вибухів) та розробити протипожежні заходи, зокрема запропонувати конструкції запобіжних пристроїв.

Тому актуальним є дослідження причин створення пилоповітряних сумішей у виробничих приміщеннях зернових елеваторів та розроблення заходів для зниження ризиків виникнення вибухів і пожеж у приміщеннях елеваторів, що може призвести до аварій та нещасних випадків.

Метою магістерської роботи було виявити причин виникнення вибухів і пожеж під час експлуатації виробничого обладнання на підприємствах зберігання зерна та розробити комплексні заходи для запобігання травматизму і аварійності на цьому підприємстві.

Об'єкт дослідження – умови накопичування зернового спалимого пилу та інші супутні виробничі чинники, що можуть призвести до вибухів та пожеж на підприємствах зберігання зерна.

Предметом дослідження є: виробничі небезпеки під час експлуатації об'єктів виробничого призначення зернових складів, причини вибухів і пожеж на елеваторах і у зернових складах; рекомендації щодо запобігання виробничому травматизму і аваріям.

Для досягнення поставленої мети у роботі використовували наступні методи дослідження: аналітичні – аналіз науково-технічної літератури; формалізації – розроблення структурних схем і алгоритмів.

Завдання даної магістерської роботи наступні:

1. Проаналізувати можливі небезпеки на зернозберігальних підприємствах.
2. Оцінити вибухо- і пожежну безпеку в приміщеннях зернових елеваторів.
3. Запропонувати організаційні та технічні заходи (конструкцію захисних пристроїв) для зниження ризику вибухів і пожеж на зернових елеваторах.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ НЕБЕЗПЕК ТА ПРИЧИН ПОЖЕЖ І ВИБУХІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЗБЕРІГАННЯ І ОБРОБЛЕННЯ ЗЕРНА

Протягом останніх років, та й раніше, в Україні стався ряд масштабних аварій з вибухами і пожежами на підприємствах, де підсушують та зберігають зерно. Так, 16.10.2018 р. на Сумщині (с. Нижня Сироватка) вибухнув уночі зерновий елеватор. Внаслідок потужного вибуху прилеглу вулицю села засипало кукурудзою (розкидано було близько 1 т зерна). Вибух спричинив значне зруйнування – бетонні плити розлетілися на кілька десятків метрів.

У Вінницькій області (м. Жмеринка) 12.06.2018 р. на складі елеватора сталася пожежа. Вона почалася в одноповерховій складській будівлі, де зберігали 3000 т зерна кукурудзи. Площа, яку довелося гасити від поширення пожежі, становила понад 120 м<sup>2</sup>.

На початку вересня 2019 р. сталася пожежа на елеваторі у м. Старокостянтинів Хмельницької області. Вогонь охопив близько 1100 м<sup>2</sup> у двох складських приміщеннях. У гасінні пожежі було задіяно 7 підрозділів ДСНС.

Не припинилися пожежі на елеваторах і після 24 лютого 2022 р. Пожежа сталася 24.09.2022 р. на елеваторі (зерносховищі), розташованому в с. Залізничне Чугуївського району Харківської області. У листопаді 2022 р. загорілося приміщення для сушіння зернових культур елеватора у с. Дем'янів Івано-Франківського району. У цей час у зерносушарці перебувала кукурудза.

Пожежі на зернозберігальних підприємствах відбуваються й за кордоном. Так, на елеваторі підприємства для зберігання зерна у хорватському місті Спліт 18.04.2017 р. під час виконання зварювальних робіт прогрімів вибух, внаслідок якого постраждало 4 працівники і було пошкоджено будинки неподалік елеватора.

Небезпеки і шкідливості, які можуть призвести до пожеж і вибухів на технологічних процесах підприємств зберігання зерна, узагальнено представлено

на рис. 1.1



Рис. 1.1. Небезпеки і шкідливості на технологічних процесах підприємств

зберігання зерна

Для зернових сушарок причини вибухів і пожеж сушарок виокремлено на бок-схемі рис. 1.2.



Рис. 1.2. Виокремлення причин вибухів і пожеж у зернових сушарках

Проаналізуємо більш детально вказані причини пожеж і вибухів.

Насамперед це використання під час спорудження зернових елеваторів неякісних будівельних матеріалів. Траплялося пошкодження паливних пристроїв,

улаштованих на сушарках. Ці пристрої деформувалися від високої температури через низькоякісний метал, який виробники використовують замість вогнетривкої неіржавкої сталі [3].

Потенційними джерелами загоряння у межах виробничих приміщень зернових елеваторів потрібно розглядати (рис. 1.3):

теплові прояви (нагрівання) від механічного тертя (у незмазаних підшипниках без оливи, внаслідок пробуксовування транспортних стрічок шорій, пасових передач тощо);

іскри (електричні розряди) накопиченої на матеріалах статичної електрики, які зумовлюють вибухи пилоповітряної суміші за відповідної концентрації;

іскріння від ударів металу (наприклад, внаслідок пошкодження лопатей вентиляторів чи потрапляння на них металевих предметів, що спричиняє утворення іскор);

несвоєчасне очищення магнітних сепараторів від пилу, легких фракцій зерна та бруду, що може призвести до утворення гранично допустимих концентрацій (ГДК) пилоповітряної суміші;

іскри у комутаційних пристроях, коли замикається та розмикається електричне коло живлення (наприклад, світильників, електродвигунів тощо);

неуважне чи свідоме порушення працівниками елеваторів правил пожежної безпеки (куріння на робочих місцях, виконання у неналежних облаштованих місцях зварювальних робіт, нагрівання шківів, щоб зняти їх з валів та ін.);

теплохімічні реакції (зумовлені самозайманням зерна у разі порушення умов його зберігання) та теплофізичні процеси.

НУБІП України



Рис. 1.3. Потенційні пожежонебезпечні джерела у виробничих приміщеннях елеватора

Узагальнено на елеваторі поширення пожежі на елеваторах сприяє [4]:

- перероблювана сировина (зерно), яке зберігають на елеваторах чи переміщують;
- неприбраний пил на обладнанні елеватора та його будівельних конструкціях;
- незакищені отвори у приміщеннях елеватора (двері та вікна, вентиляційні шахти тощо);
- технологічні комунікації, прокладені у приміщеннях елеватора – електросилові канали і шахти;

технологічне обладнання та елементи будівельних конструкцій на території елеватора (зерносклади), вентиляційні та аспіраційні системи (механічні та природні); галереї, що з'єднують виробничі приміщення елеватора.

Зображення осередків пожеж на зернових елеваторах України показано на рис. 1.3 (фото в'ято з Інтернету). З фото видно, що пожежі можуть бути масштабними і які можуть призвести до нещасних випадків.



Рис. 1.3. Фото пожеж на зернових елеваторах України

На елеваторах зерно, яке туди потрапило, має пройти ряд технологічних операцій, а саме: приймання, очищення, сушіння, багаторазово переміщення за допомогою транспортних механізмів, у пневматичних системах чи самопливом..

Внаслідок того, що зернини зазнають тертя між собою, а також об стінки трубопроводів та устаткування, їх оболонки зернин стираються, тобто утворюється органічний (здебільшого) і мінеральний (менше) пил [5].

Щоб пил від тертя зерна потрапив у приміщення, сприяє неефективна робота вентиляційних (аспіраційних) систем, а також недостатня герметизація

обладнання. Навіть якщо вентиляційна система у приміщеннях елеватора справна, все ж у їх повітрі присутній зерновий пил. Для дихання людини згідно з гігієнічними нормативами гранично допустима концентрація (ГДК) зернового пилу становить  $4 \text{ мг/м}^3$ , а борошняного пилу дещо більше –  $6 \text{ мг/м}^3$ . Але часто

НУБІП України

концентрація пилу в повітрі окремих зон елеватора може суттєво перевищувати нормативні значення, зростаючи інколи до вибухонебезпечних концентрацій [3].

Зерновий пил у повітрі може бути вибухонебезпечним, а той, що перебуває (осів) на будівельних конструкціях та елементах обладнання, – пожежонебезпечним. Місця утворення вибухонебезпечних концентрацій зернового пилу – це технологічне та транспортне обладнання, силоси і бункери, тракти аспіраційних систем і пневмотранспорту, обладнання для уловлювання пилу [4].

Вибухонебезпечність зернового пилу залежить від його вологості та дисперсності, а також від вмісту в ньому мінеральних та органічних речовин. Якщо у складі пилу на елеваторі вміст мінеральних домішок зростає, то підвищується значення нижньої концентраційної межі поширення полум'я (НКМПП). Це можна пояснити тим, що мінеральний пил у вибухонебезпечній пилоповітряній суміші можна розглядати, як флегматизувальну добавку щодо початку займання і горіння [6].

Небезпеку (ймовірність) вибухів та пожеж зернових елеваторів характеризують наступні різноманітні чинники:

- велика кількість спалимої зернової сировини (СЗС) та продуктів перероблення зерна;

- здатність СЗС та продуктів перероблення зерна утворювати вибухонебезпечні суміші (пилоповітряні, газоповітряні та комбіновані), які, наприклад, вибухають від іскор;

- схильність СЗС самозайматися або займатися від джерела загорання, можливість продовжувати горіти після вилучення джерела вогню;

- високе енергетичне навантаження промислового обладнання, яке забезпечує роботу елеваторів;

- самонагрівання СЗС, спричинене життєдіяльністю мікроорганізмів і самого зерна, що відбувається за умов обмеженого тепловідведення і у разі

високої сорбційної здатності зерна і продуктів його перероблення. Самонагріватися можуть майже всі види рослинної сировини, зокрема якщо їх недосушили,

– вибухонебезпечні газоповітряні суміші оксиду вуглецю, метану і водню характеризуються енергією спалаху значно нижчою, ніж для пилоповітряних сумішей (саме такі газоповітряні суміші можуть накопичуватися під час самонагрівання, перед тим, станеться самозаймання СЗС).

До основних потенційно-небезпечних об'єктів (ПНО) або об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН) на зернових елеваторах належать:

– приймально-відпускні пристрої, які використовують, щоб приймати та відпускати СЗС;

– склади силосного типу, силосні корпуси елеваторів, металеві бункери та підлогові склади для безпечного зберігання зерна, транспортні галереї;

– зерносушильні установки, приймально-очищальні та сушильно-очищувальні вежі, приміщення (місця), де перебувають відходи, пил, де очищають та сортують мішкотару.

Характерні місця виникнення джерел займання та вибухів у будівлях елеваторів та технологічних спорудах показано на рис. 1.4.

Наявність пилу в обладнанні, вмістниках та транспортних комунікаціях, виробничих та допоміжних приміщеннях сприяє поширенню пожежі такими шляхами:

– скребкові транспортери, норії, пневмотранспорт, самопливи; шахти, які улаштовані, щоб проходили норії;

– відкриті люки силосів, порожні силоси, якщо станеться вибух або у разі відсутності випускних воронок;

– незаглушені патрубки, відкриті люки норій, самопливів та іншого обладнання;



Рис. 1.4. Характерні місця виникнення джерел займання та вибухів у елеваторах

- вентиляційні та перепускні вікна між силосами;
- повітропроводи аспірації, повітряного опалення та вентиляції, вентиляційні шахти та пилові шахти аспірації;

отвори у перегородках, перекриттях, дверних отворах, гвинтові спуски, монтажні отвори; конвеєри тунелі та галереї, які з'єднують окремі виробничі будівлі, приймальні та відпускні пристрої.

Місця скупчення зернового пилу у приміщенні елеватора показано на рис.

1.5.



Рис. 1.5. Місця скупчення зернового пилу в приміщенні елеватора

Наслідки вибуху зернового пилу в елеваторі у США (штат Айова), що стався у 2020 р., можна побачити на рис. 1.6. Займання сталося під час засипання зерном норії. Внаслідок пробуксування стрічки на привідній станції піднялася температура, почалося задимлення і надалі займання, що призвело до першого спалаху пилу. Потім вогонь дуже швидко охопив обладнання.

З літератури [7] відомо, що температура у зоні пилового вибуху може досягати 3000 С. Якщо вибух відбувався всередині замкнутого приміщення (вмістища), то тиск більше ніж у 10 разів перевищує тиск, який руйнує залізобетонну плиту. Щоб зруйнувати середню за товщиною залізобетонну

НУБІП України

плиту, потрібно здійснити на неї тиск близько  $0,5-0,6 \text{ кг/м}^2$ , а у разі вибуху пилу тиск зростає до  $10 \text{ кг/см}^2$ .



Рис. 1.6. Наслідки вибуху зернового пилу в елеваторі у США (штат Айова), що стався у 2020 р.

Далі систематизовано основні чинники вибухо- і пожежонебезпеки обладнання (апаратів), де накопичується спалимий зерновий пил. Зазначену систематизацію показано на рис. 1.7-1.10.



Рис. 1.7. Основні чинники вибухо- і пожежонебезпеки у силосах (складах)

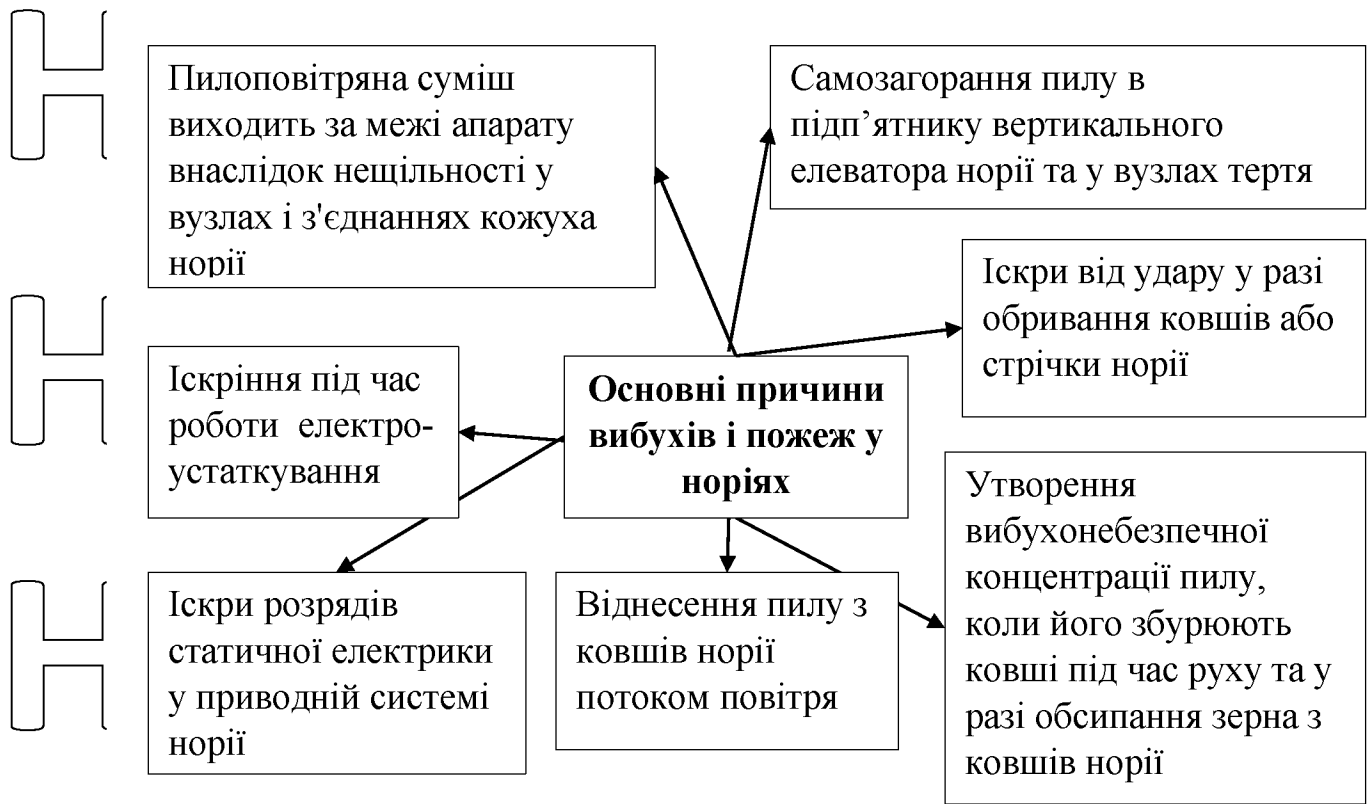


Рис. 1.8. Основні чинники вибухо- і пожежонебезпеки у норіях елеватора

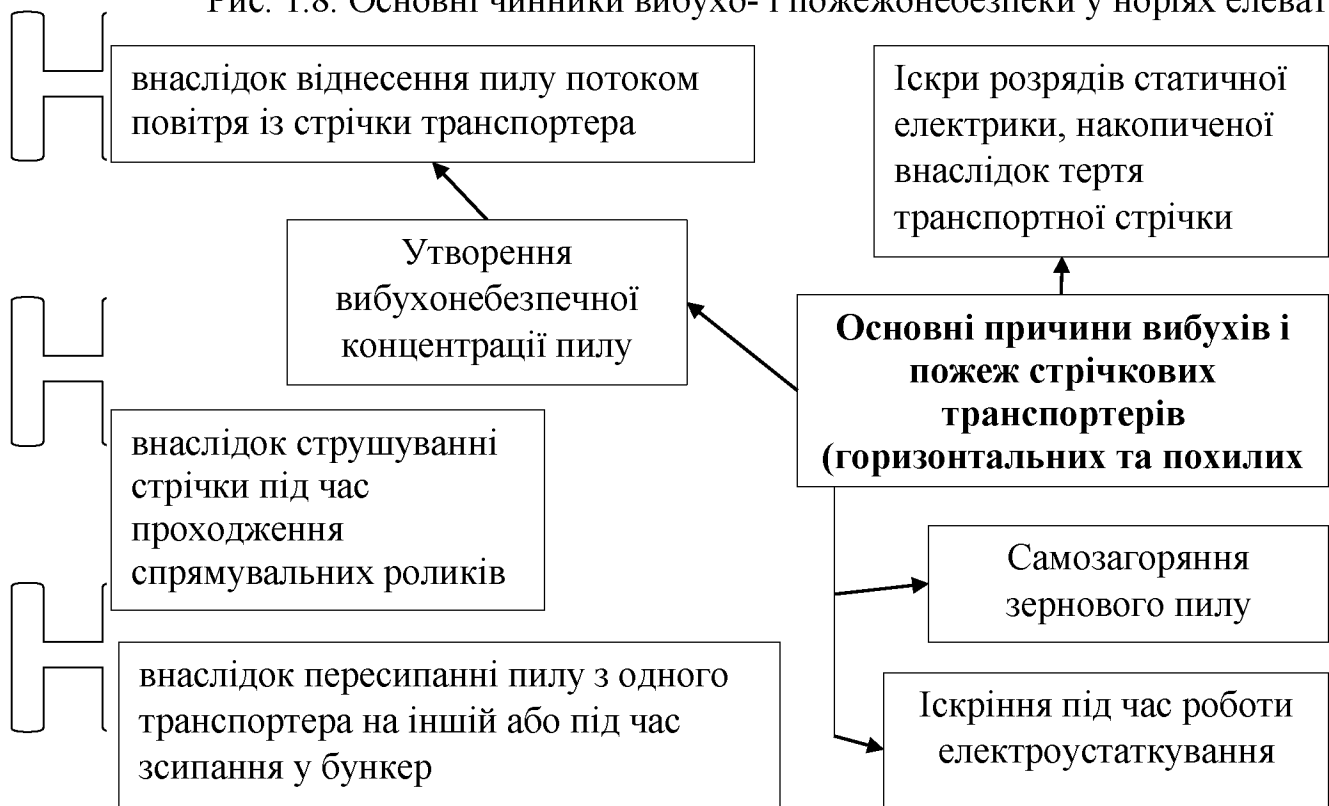


Рис. 1.9. Основні чинники вибухо- і пожежонебезпеки горизонтальних та

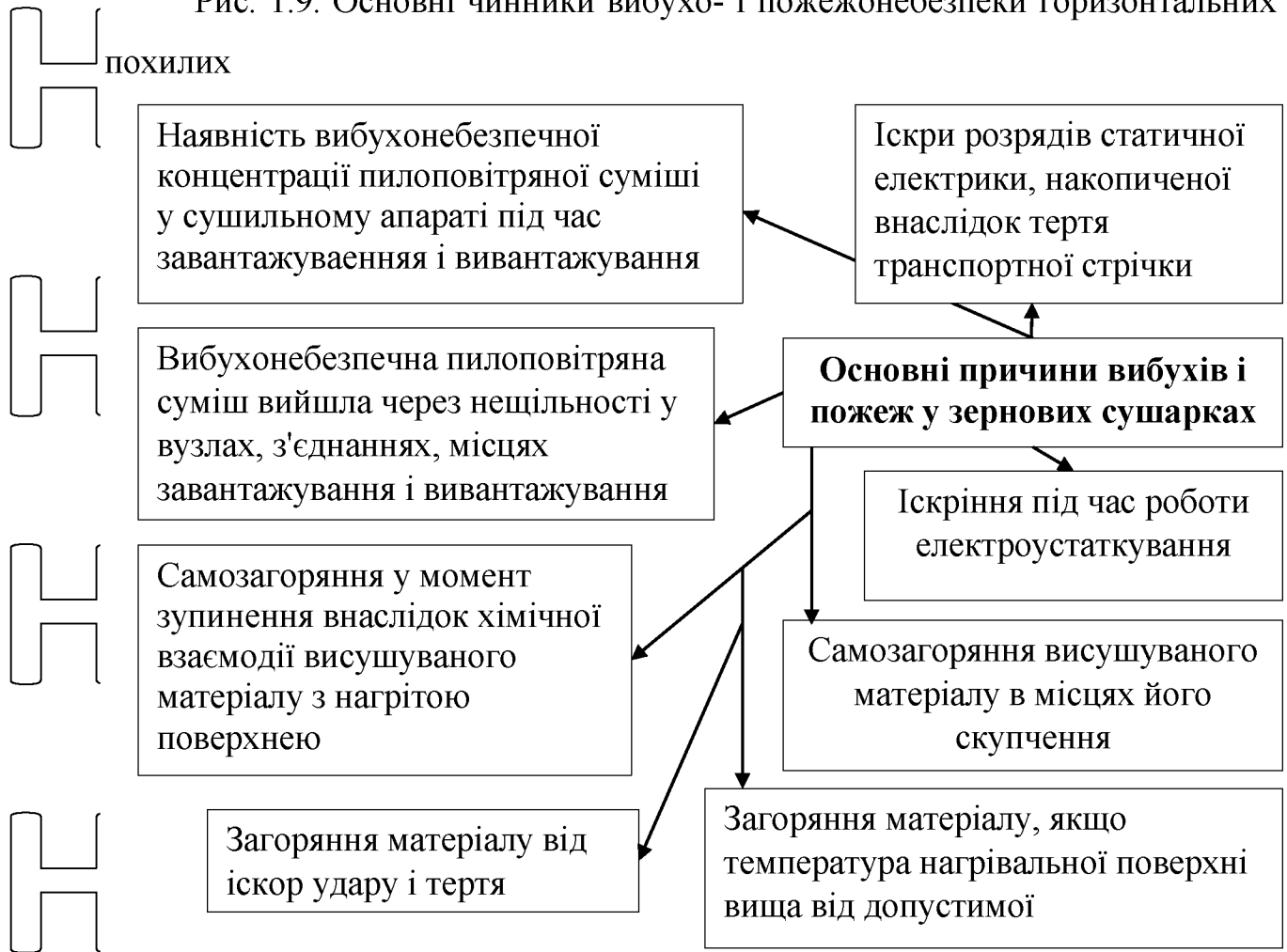


Рис. 1.10. Основні чинники вибухо- і пожежонебезпеки у зерносушарках

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

# НУБІП України

## 2.1. Коротка характеристика виробничої діяльності Катеринопільського елеватора

Магістерську роботу було виконано на базі Катеринопільського елеватора, який входить до складу агрохолдингу «Миронівський хлібопродукт» (МХП).

Елеватор розташований у Звенигородському районі Черкаської області, у селищі міського типу Єрки. Елеватор було побудовано у 2004 р. а у 2006 р. підприємство стало функціонувати як структурний підрозділ МХП.

Нині потужність Катеринопільського елеватора становить 220,3 тис. тон одноразового зберігання зернових. На елеваторі працює сертифікована лабораторія, вагова, відведено залізничну гілку на станцію Звенигородка. Загальна площа елеватора становить 861.0 тис м<sup>2</sup> (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Зовнішній вигляд Катеринопільського елеватора

Зернозберігальні капітальні споруди цього елеватора – це металеві силоси та підлогові склади (рис. 2.2).



а)



Рис. 2.2. Зовнішній вигляд одного із силосів Катеринопільського елеватора (а) та схематичні розрізи силосів з різним ступенем заповнення зерном

Для оброблення зерна на елеваторі встановлено 7 зерносушарок Cimberia AG (виготовлені у Данії). Продуктивність зерносушарки у разі повного видалення вологості із зерна становить 230 т/год. Як очищальне обладнання використовують сепаратор Delta Mega, його потужність становить 279 т/год.

НУБІП України

Транспортне обладнання Катеринопільського елеватора складається зі стрічкових та ланцюгових транспортерів, які здатні транспортувати (переміщати) зерно з продуктивністю 100 т/год.

Окрім того до структури Катеринопільського елеватора входять: комбікормовий завод (дві виробничі лінії потужністю 1100 т/добу); олієпресовий завод (лінія перероблення соняшнику потужністю 500 т/добу); олієекстракційний завод (лінія перероблення сої потужністю 900 т/добу). На елеваторі розташовано резервуари для зберігання олії об'ємом 6000 м<sup>3</sup>.

Автомобільний парк Катеринопільського елеватора великий: 79 автомобілів. Важливим підрозділом елеватора є виробничо-технологічна лабораторія для контролю вхідної сировини та готової продукції.

## 2.2. Дослідження причин настання аварійних ситуацій на підприємствах

### зберігання зерна

Елеватори, як підприємства зберігання і оброблення зерна характеризується високим ступенем вибухо- і пожежонебезпеки [8]. У разі недотримання (порушення) нормативів безпеки праці на таких підприємствах існує досить висока ймовірність серйозних наслідків: від зруйнування елеваторного обладнання і силосів до загибелі працівників.

Вважають, що основна причина вибухів та пожеж на елеваторах – це наявність зернового пилу, який виділяється та накопичується у приміщеннях елеватора. Зерновий пил належить до легкозаймистих речовин [9, 10] (температура займання менше 250 °С), а також до пожежонебезпечних речовин (нижня концентраційна межа займання (НКМЗ) становить 20–63 г/м<sup>3</sup>). А також до вибухонебезпечних речовин, адже дрібні частинки пилу можуть самозайнятися від іскри, спричиненої статичною електрикою, або від тепла, зумовленого перегріванням підшипників двигуна. Таке самозаймання створює

миттєво тиск до  $10 \text{ кг/см}^2$ , що призводить до раптового зростання температури (до  $3000 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Цей вибух класифікують як «первинний пиловий вибух». Він часто спричиняє «вторинний пиловий вибух», що призводить до зруйнування будівлі елеватора, силосів і зумовлює катастрофічні наслідки [10]. Наслідки від вторинного вибуху, як правило, характеризуються набагато більшіми тяжкими наслідками, ніж від початкового.

Пил, який нерухомо перебуває на поверхнях елеватора або в кутках приміщення, становить додаткову небезпеку: ударна хвиля від первинного вибуху зрушує пил і переміщує спалимий матеріал вгору, забезпечуючи вторинний вибух, сила якого здебільшого суттєво перевершує первинний вибух. То ж надалі створюється сприятлива ситуація для третього вибуху пилоповітряної суміші. Тобто поширюється ланцюгова реакція із дедалі більшою інтенсивністю, що зрештою призведе до масштабного зруйнування конструкцій елеватора і пожежі [11].

Розглянемо спалах причини вибуху пилоповітряної суміші у разі засипання зерна у норії. Якщо стрічка на приводній станції пробуксовує, то це може призвести до задимлення і загоряння стрічки, а надалі до спалах зернового пилу.

Спалах спричиняє потік полум'я з температурою близько  $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ , який одразу поширюється вниз до дна норії. Утворена хвиля високого надлишкового тиску зруйнує металевий корпус норії, спричинивши вібрацію і піднявши у повітря пил, що перебував (осів) у сусідніх робочих зонах. Далі станеться вторинний пиловий вибух – відбудуться спалахи полум'я у робочій вежі, самопливах, галереях, а сам елеватор зруйнується протягом кількох хвилин.

Розглянутий приклад показує, що для вибуху необхідно поєднання чотирьох чинників: зернового пилу в завислому в повітрі стані, кисню, джерело займання (іскра або температура близько  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ ), замкнутий простір.

Аналіз обставин аварій, що пов'язані з пилоповітряними вибухами, показує, що здебільшого первинні вибухи або спалахи виникали у місцях розташування технологічного, транспортного або аспіраційного устаткування, а також у силосах і оперативних бункерах. Також у кількох випадках первинний спалах пилоповітряної суміші стався безпосередньо у певній частині виробничого приміщення елеватора.

Найчастіше вибух розпочинався внаслідок спалаху пилоповітряної суміші в замкнутому об'ємі. Початковий момент вибуху супроводжується підвищенням температури, тиску і надалі займанням пилоподібних часточок зерна. Якщо на герметичному устаткуванні улаштовано ефективні вибухорозрядні пристрої, і таке устаткування має досить міцний корпус, щоб не зруйнуватися (витримати) від тиску вибуху, то спрацюють вибухорозрядні мембрани, забезпечуючи викидання в атмосферу високотемпературних продуктів горіння. А отже, як правило, локальний вибух не буде мати подальшого розвитку [12].

Але навіть і у тому разі, коли спрацює вибухорозряджувач, вибух може надалі розвинутися, якщо станеться займання зерна внаслідок спалаху пилоповітряної суміші, а устаткування не буде зупинено. Тоді іскрові частки будуть переміщатися вздовж технологічних комунікацій обладнання і зможуть запалити пилоповітряну суміш в інших частинах устаткування, у силосі або бункері. Наприклад, внаслідок загоряння пилоповітряної суміші у голівці норії і після спрацювання мембрани вибухорозряджувача зернова маса може загорітися, а осередок горіння переміститься у завантажуваний силос, в якому концентрація пилу у вільному об'ємі практично завжди вища за НКМЗ. Тобто станеться вибух у силосі.

На рис. 2.1 показано, як збільшилася кількість аварій на зернових елеваторах за період з 2009 по 2017 рр. [10] Як дію тренда проведено експоненційну криву (рівняння лінії тренда показано на рис. 2.1 за достовірності

прогнозування  $R^2$ ). Об'єктивні повні дані про кількість аварій на зернових елеваторах за пізніший період знайти не вдалося.

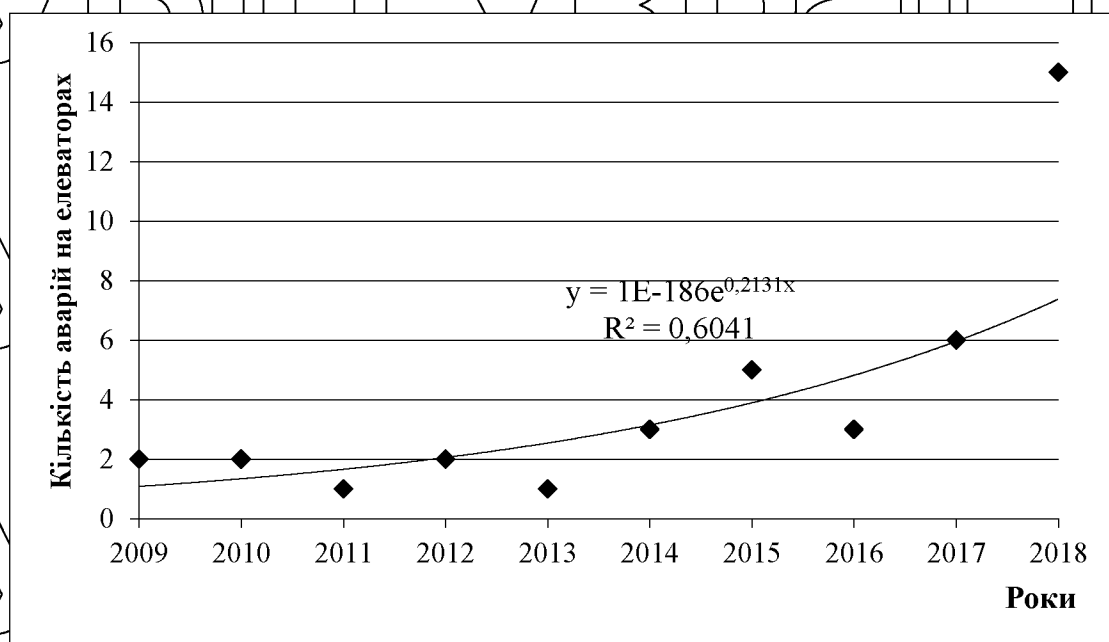


Рис. 2.1. Динаміка кількості аварій на елеваторах за період з 2009 по 2017

рр.

З представлених даних можна припустити, що тенденція до зростання кількості аварій на зернових елеваторах України збереглася принаймні до 2022 р..

Це пояснюють збільшенням за останні роки кількості елеваторів в Україні, що

зумовлено збільшенням валових обсягів збирання зернових і олійних культур (рис. 2.2). Про такий зв'язок свідчить розрахований у даній роботі коефіцієнт

кореляції проаналізованих масивів даних (представлених на рис. 2.1 і 2.2 –

відповідно кількості аварій та обсягу зібраного врожаю), який становить  $K_{кор} =$

0,7944. Також потрібно зазначити, що коефіцієнт кореляції  $K_{кор}$  не зміниться

суттєво, якщо не буде враховано дані 2018 р., коли за літературними даними раптово зросла кількість аварій на елеваторах.

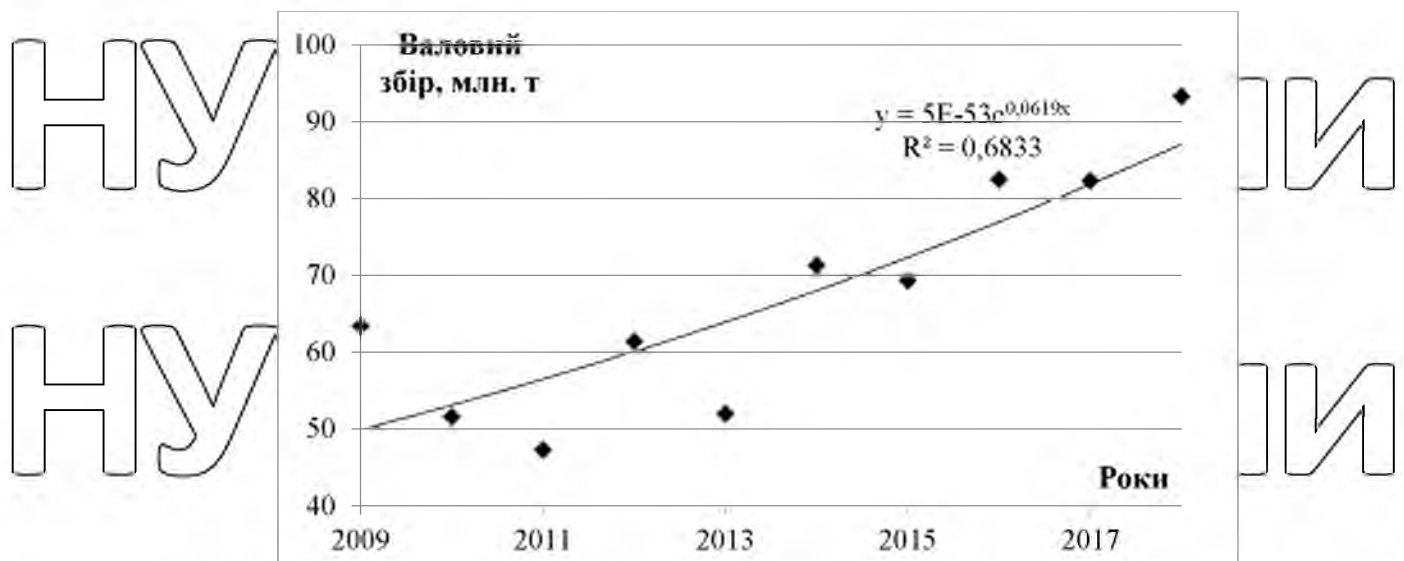


Рис. 2.2. Збільшення валового обсягу збирання зернових і олійних культур в Україні за період з 2009 по 2017 рр.

У роботі [3] було систематизовано дані щодо того, в яких місцях виникали пожежі у приміщеннях зернових елеваторів (рис. 2.3). Основним осередком пожежі є зернові сушарки, також пожежі виникали у норіях, на зернових та інших складах. Звернуто увагу на такі причини виникнення пожежі: порушення технологічного регламенту (2,4%); порушення правил проведення вогневих робіт (2,3%), влучання блискавки (2,3%) та ін. Але у багатьох випадках часто місце початкового вибуху на елеваторах неможливо визначити.

У деяких роботах як осередок початкових вибухів на зернових елеваторах вказано місця виконання зварювальних робіт, несправність електрообладнання та електропроводки, теплові прояви тертя через утруднений рух зернової сировини, перегрівання підшипників, іскри від тертя конструкційних елементів, вогонь від тертя пасових передач, статичну електрику, несправність двигуна.

Якщо з розгляду вилучити зернові сушарки, то розподіл найбільш ймовірного місцезнаходження початкового вибуху буде таким: норії (24,5%), силоси (12,7%), робоча вежа (3,8%),

НУ

НУ

ИИ

ИИ

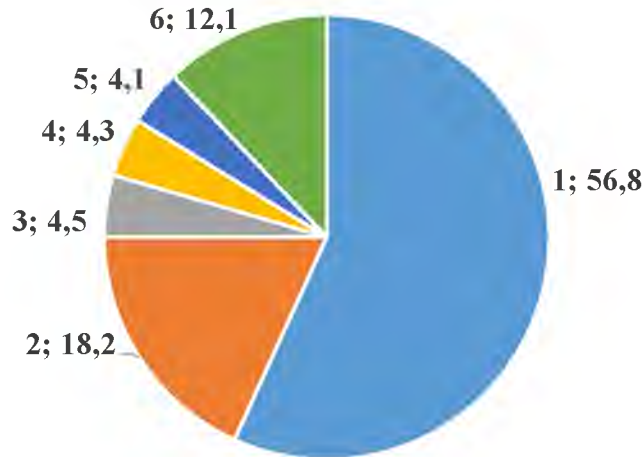


Рис. 2.3 Розподіл пожеж на зернових елеваторах за місцями локалізації: 1 – зерносушарки (56,8%); 2 – склади (18,2%); 3 – норії (4,5%); 4 – транспортні галереї (4,3%), 5 – трансформаторні підстанції (4,1%)

Застосовують дві основні технології, щоб боротися з пилом і його поширенням по території зернозберігального підприємства. Перша з цих технологій – це система зрошення олією зерна. Суть такої технології полягає у тому, що на зерно, яке потрапило на лінію елеватора, розбризкують (розпорошують) соняшникову рафіновану дезодоровану олію у кількості 200 г на 1 тону зерна. Це роблять для того, щоб олія змочила зерно і мінімізувала тертя, що дозволяє зменшити утворення пилу на 75-85%.

Інша технологія полягає у відведенні запиленого повітря з місця, де пил утворюється. Для цього улаштовують різні аспіраційні установки, які відводять запилене повітря з місця утворення пилу (рис. 2.4). Надачі повітря з пилом очищають за допомогою сил інерції (ступінь очищення запиленого повітря до 70%) або фільтрувальними елементами (ступінь очищення запиленого повітря до 99%). Роботу аспіраційних систем забезпечує вентилятор, який має витягувати повітря з місця пилотворення через фільтр і викидати його в атмосферу.

НУБІП України

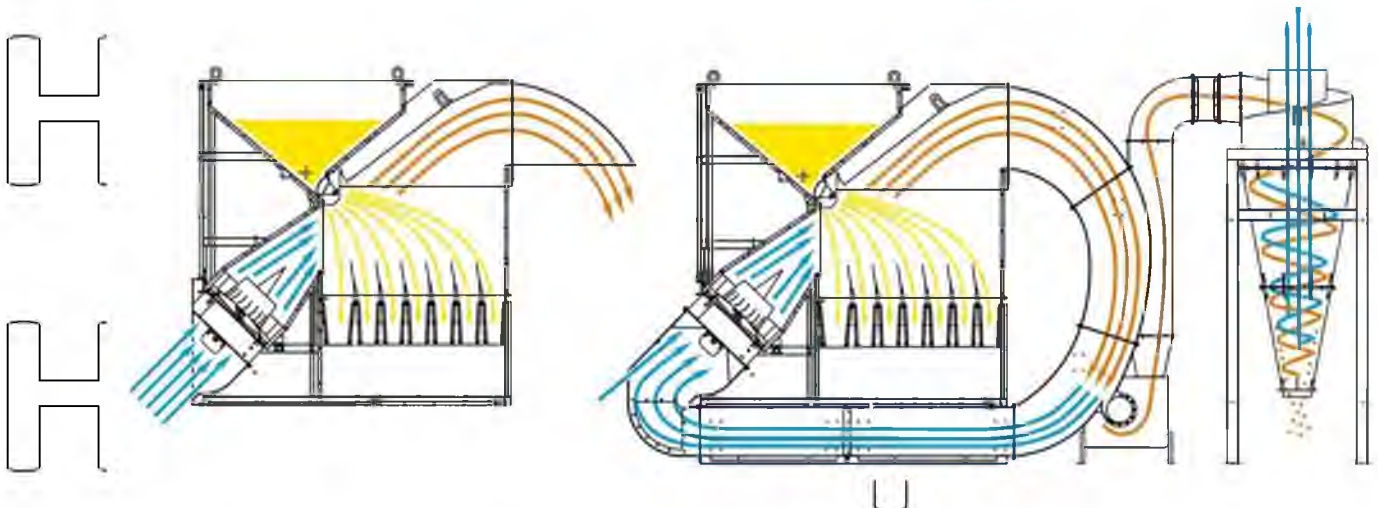


Рис. 2.4. Технологічна схема роботи повітроочищального комплексу на

підприємстві зберігання та очищення зерна

Повітроочищальні комплекси призначено, щоб: а) відділяти пил, легкого сміття, зерно дрібних фракцій з повітряного потоку, яке виходить з аеродинамічного сепаратора; б) розділяти запилене повітря на два потоки та осаджувати внаслідок дії відцентрових сил домішки у циклонних установках; в) повертати очищений повітряний потік назад до очисної установки для наступних циклів сепарації зерна.

Розглянемо докладніше принципу роботи повітроочищального комплексу, схему якого представлено на рис. 2.4. Після розділення зернового потоку в сепараторі запилене повітря потрапляє до приймального переходу, а далі системою переходів внаслідок дії відцентрової сили та гравітації суміш з пилу, сміття та повітря зосереджується на задній стінці переходів щільним шаром.

Надалі суміш потрапляє до пиловивідного переходу та через повітропровід до циклону. У циклоні сміття і пил осідають у бункер чи контейнер, а повітря виходить через повітропровід циклону.

Повітряний потік після видалення пилу потрапляє до повітропровідного переходу з повітрозабірником, через який додатково надходить нове повітря, щоб поповнити втрати повітря, спричинені вентилятором. Далі під дією генератора

Н повітря знову потрапляє до камери сепарації на наступні цикли роботи. Завдяки такому принципу роботи повітроочищальний комплекс можна експлуатувати у закритих приміщеннях зернових елеваторів.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Розділ 3. Розрахунки параметрів аспіраційних систем для уловлювання зернового пилу на елеваторах

# НУБІП УКРАЇНИ

3.1. Визначення категорії вибухо- і пожежонебезпеки приміщень зернових елеваторів

У приміщеннях елеваторів розміри частинок зернового пилу можуть змінюватися від часток мікрметра до 250 мкм. Зерновий пил умовно поділяють

залежно від розмірів частинок пилу на: великий (у межах 50-250 мкм), середній (у межах 10-50 мкм) і дрібний (менше 10 мкм). На складах для зерна та елеваторах переважно накопичується великий пил [13].

Від розмірів і хімічного складу пилу залежить шкідливість пилу для людини. Великий пил вважають менш небезпечним, ніж дрібний, оскільки слизові оболонки носа затримують такий пил під час дихання. Дрібний пил, якого розміром частинок перебувають у межах 5-10 мкм, – для здоров'я людини найбільш небезпечний [14].

Допустиму концентрацію пилу під час викидання повітря в атмосферу після очищення в аспіраційних та пневмотранспортних установках визначають

розрахунком розсіювання повітря. Одне з основних завдань використання вентиляційних і аспіраційних установок – забезпечення чистоти повітря, запиленості, що не перевищує допустимі межі. Чистоту повітря у робочих приміщеннях (за запиленості) можна забезпечити аспіраційними установками

допомогою ефективної аспірації всього обладнання, в якому утворюється пил. Чистоту повітря, яке надходить до атмосфери, можна забезпечити застосуванням високоефективних пиловловлювачів (фільтрів) [15].

Оцінимо вибухо- і пожежну небезпеку одного з приміщень Катеринопільського елеватора. Розміри виробничого приміщення: довжина  $l = 15,8$  м; ширина  $b = 12,7$  м; висота  $h = 6$  м.

# НУБІП УКРАЇНИ

Приймаємо, що коефіцієнт вільного об'єму приміщення  $K_v = 80\%$ ;  
температура повітря у приміщенні  $t_p = 20$  оС. Вважаємо, що теплоємність повітря  
дорівнює  $C_p = 1,01$  кДж/(кг · К).

Характеристики борошняного пилу, який накопичується у приміщенні,  
визначаємо з довідкової літератури:

Характеристика речовини: дисперсність – менше 100 мкм; теплота  
згоряння  $Q = 16807$  кДж/кг.

Вважаємо, що маса спалимого пилу в апараті  $m_a = 20$  кг; тривалість  
спрацювання засувок  $t_z = 15$  с.

Інтенсивність надходження пилу до виробничого приміщення  
характеризують:

інтенсивність відкладання пилу на доступних поверхнях

$$j_{п.д.} = 1,98 \cdot 10^{-6} \text{ кг/(с} \cdot \text{м)};$$

інтенсивність відкладання пилу на важкодоступних поверхнях

$$j_{п.в.} = 0,7 \cdot 10^{-6} \text{ кг/(с} \cdot \text{м)}.$$

площа доступної поверхні для прибирання пилу  $F_d = 140$  м<sup>2</sup>;

площа важкодоступної поверхні для прибирання пилу  $F_v = 15$  м<sup>2</sup>;

тривалість одного циклу пиловиділення (тривалість зміни)  $t_p = 8$  год;

кількість циклів роботи обладнання між поточними прибираннями на  
доступних поверхнях  $n = 8$  (прибирають раз на тиждень);

кількість циклів роботи обладнання між генеральними прибираннями на  
важкодоступних поверхнях  $n = 21$ ;

коефіцієнти ефективності прибирання пилу:  $K_G = 0,9$ ;  $K_U = 0,7$ .

Розраховуємо максимально можливу кількість пилу, яка осіла на поверхні  
до моменту можливої аварії (вибуху).

$$m_{п.о.} = 3600 \cdot (j_{п.д.} \cdot F_d \cdot n_d + j_{п.в.} \cdot F_v \cdot n_v) \cdot t_p \cdot (K_G / K_U) =$$

$$= 3600 \cdot (1,98 \cdot 10^{-6} \cdot 140 \cdot 8 + 0,7 \cdot 10^{-6} \cdot 15 \cdot 21) \cdot 8 \cdot (0,9 / 0,7) = 91 \text{ кг.}$$

Розраховуємо масу пилу, що потрапив до приміщення внаслідок розгерметизації технологічного блока:

$$m_{\text{пл.}} = (m_{\text{а}} + q \cdot t_{\text{з}}) \cdot K_{\text{п}} = (20 + 0,1 \cdot 15) \cdot 1 = 21,5 \text{ кг.}$$

Розраховуємо масу аерозолу пилу в приміщення, що утворився внаслідок аварійної ситуації:

$$m_1 = m_{\text{пл.}} + m_{\text{п.ог.}} \cdot K_{\text{вб}} = 21,5 + 91 \cdot 0,9 = 103,4 \text{ кг}$$

Розраховуємо масу пилу, який опиняється у зонах вибухонебезпечних концентрацій:

$$m = m_1 \cdot Z = 103,4 \cdot 0,5 = 51,7 \text{ кг,}$$

де  $Z$  – коефіцієнт, який враховує участь спалимої речовини у вибуху (для спалимого пилу  $Z = 0,5$ ).

Розраховуємо вільний об'єм приміщення:

$$V_{\text{в}} = (K_{\text{в}}/100) \cdot l \cdot h \cdot b = (80/100) \cdot 15,8 \cdot 6 \cdot 12,7 = 963 \text{ м}^3.$$

Розраховуємо густину повітря до вибуху:

$$\rho_{\text{в}} = 352/(t_{\text{п}} + 273) = 352/(20 + 273) = 1,201 \text{ кг/м}^3.$$

Розраховуємо надлишковий тиск вибуху:

$$\Delta P = (m \cdot Q \cdot P_0) / [V_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot C_{\text{р}} \cdot (t_{\text{п}} + 273)] \cdot 1/K_1 = \\ = (51,7 \cdot 16807 \cdot 101) / [963,4 \cdot 1,201 \cdot 1,01 \cdot (20 + 273)] \cdot 1/3 = 85,8 \text{ кПа.}$$

Отже, у технологічному процесі приміщення перебуває певна маса вибухо- і пожежонебезпечного пилу, який у разі виникнення аварії може вибухнути, створивши надлишковий тиск набагато більше 5 кПа. Тому дане приміщення за

вибухо- і пожежною безпекою належить до категорії "Б". Враховуючи, що площа приміщення більше 200 м<sup>2</sup>, то і всю споруду потрібно віднести до категорії

"Б"

### 3.2. Розрахунок ефективності уловлювання пилу в пилоосаджувальних

камерах

Принцип роботи пилових камер полягає у тому, що частинки пилу осідають на поверхні камери, коли запылений потік повітря повільно рухається через робочу камеру. Основними розмірами пилоосаджувальної камери є її довжина та висота (рис. 3.1).

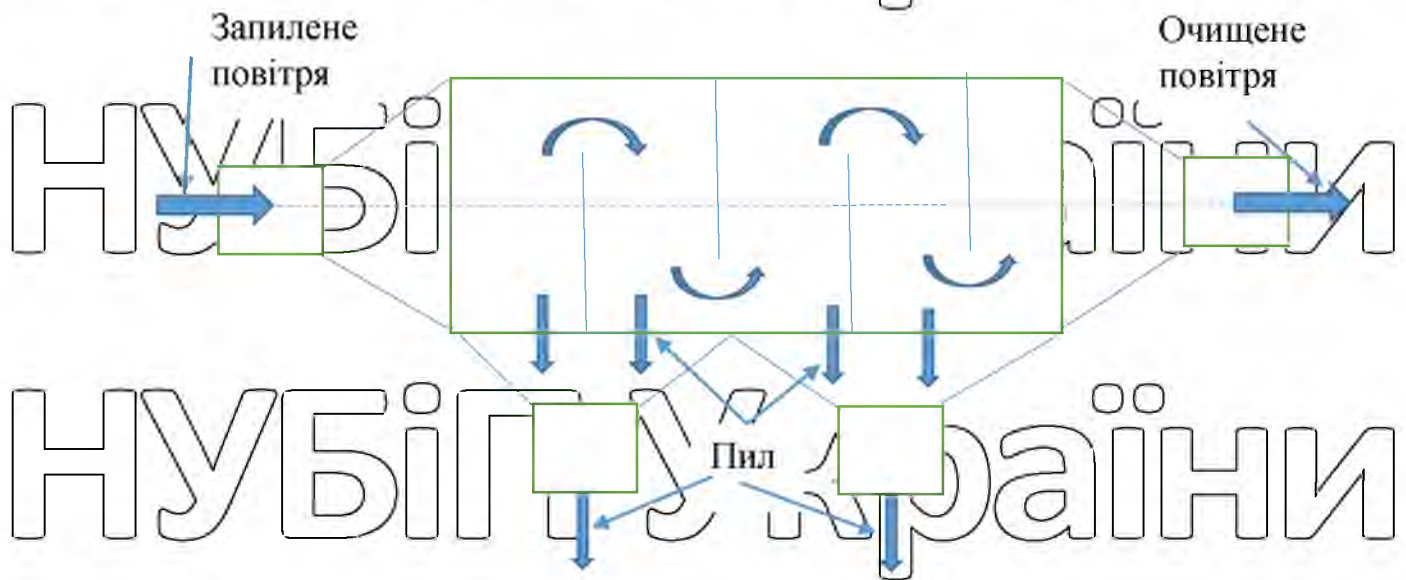


Рис. 3.1. Схема руху повітря та осідання пилу в пилоосаджувальній камері

Ефективність пилоуловлювання (очищення запыленого повітря) залежить від геометричних розмірів камери, адже чим вони більші, тим більш тривалим є перебування у камері запыленого потоку повітря, а отже й ймовірність, що пил осіде у камері. Через це конструкції пилоосаджувальних камер – це громіздкі споруди, в яких можна уловити великі частинки пилу. Щоб сконструювати такі камери, здебільшого використовують сталевий профіль, а також цеглу чи збірний залізобетон.

У даній магістерській роботі було розраховано необхідну висоту шару запиленого повітря між полицями пилоосаджувальної камери, щоб частинки пилу мали час осісти.

Було використано наступні початкові умови розрахунку. Приймаємо:

- усереднений діаметр частки зернового пилу  $d_p = 8$  мкм;
- усереднена (за нормальних умов роботи) витрата повітря в аспіраційній системі  $Q = 1,2$  м<sup>3</sup>/с;
- довжина пилоосаджувальної камери  $L = 4,5$  м;
- ширина пилоосаджувальної камери  $B = 3,0$  м;
- загальна висота пилоосаджувальної камери  $H = 4,2$  м;
- середня температура пилу в пилоосаджувальній камері  $t = 20$  °С;
- в'язкість повітря за цієї температури  $\mu = 34 \cdot 10^{-6}$  Па·с;
- щільність пилу у повітряному потоці, що потрапляє до камери  $\rho_c = 4000$  кг/м<sup>3</sup>;
- густина запиленого повітря у камері  $\rho_g = 500$  г/м<sup>3</sup>.

Щоб оцінити габаритні розміри пилоосаджувальної камери для осаджування з потоку повітря твердих часток, скористаємося формулою:

$$L = H \cdot v_r / w_b,$$

де  $L$  – довжина пилоосаджувальної камери, м;  $H$  – висота пилоосаджувальної камери, м;  $v_r$  – швидкість руху запиленого повітря у пилоосаджувальній камері (має бути здебільшого у межах 0,2-1,0 м/с);  $w_b$  – швидкість обертового руху частинок пилу певного розміру, м/с.

Величину лінійної швидкості руху запиленого повітря ( $v_r$ ) розраховували за формулою:

$$v_r = Q / (H \cdot B) = 1,2 / (4,2 \cdot 3,0) = 0,095 \text{ м/с}$$

де  $Q$  – інтенсивність проходження запиленого повітря через пилоосаджувальну камеру, м<sup>3</sup>/с;  $H$  – висота камери, м;  $B$  – ширина камери, м.

Знаходимо тривалість перебування окремих частинок пилу в пилоосаджувальній камері

$$\tau = L / v_f = 4,5 / 0,095 = 47,36 \text{ с}$$

Найменший розмір частинок пилу  $d_u$ , м, які будуть осідати на поверхнях камери, визначають з формули:

$$d_u = \sqrt{[(18 \mu_c \cdot Q) / (L \cdot B \cdot g \cdot \rho_c)]}$$

де  $Q$  – інтенсивність проходження через пилоосаджувальну камеру запиленого повітря, м<sup>3</sup>/с;  $\rho_c$  – щільність частинок пилу, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $B$  – ширина камери, м;  $L$  – довжина камери, м;  $\mu_c$  – динамічна в'язкість повітря, Па·с.

Швидкість осідання частинок пилу кулястої форми у пилоосаджувальній камері можна розрахувати за формулою Стокса:

$$v_c^m = g \cdot d_c^2 \cdot (\rho_c - \rho_n) / (18 \mu_c) = 9,81 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \cdot (4000 - 0,5) / (18 \cdot 34 \cdot 10^{-6}) = 0,0041 \text{ м/с}$$

Вважаємо що, реальна швидкість осідання частинок пилу в камері буде становити:

$$v_c^{\partial} = 0,5 \cdot v_c^m = 0,5 \cdot 0,0041 = 0,0021 \text{ м/с}$$

Остаточо, відстань між полицями у пилоосаджувальній камері буде становити

$$h = v_c^{\partial} \cdot \tau = 0,0021 \cdot 47,36 = 0,099 \text{ м}$$

Тобто 9,9 см, що є конструкційно придатним.

Потрібно зазначити, що ефективність (ступінь) очищення зернового пилу в пилоосаджувальних камерах не перевищує 40-50 %. Як правило, осідають у таких камерах лише частинки пилу з розмірами понад 40-50 мкм. Тому пилоосаджувальні камери потрібно розглядати як перший ступінь очищення.

3.3. Розрахунок параметрів циклона аспіраційної системи для уловлювання пилу, що виділяється під час роботи апаратів і механізмів на елеваторі

Щоб видаляти (уловлювати), який утворюється на кожному зернозберігальному підприємстві, необхідно улаштувати системи протипилової аспірації (вентиляції), до якого входять елементи аспіраційного та вентиляційного обладнання різного типу.

Циклони-пиловловлювачі використовують на елеваторах, щоб очищати від зважених пилових частинок потік повітря, який надходить із аспіраційних та пневмотранспортних систем під час транспортування і оброблення зернового матеріалу. Ці пристрої механічного пиловловлювання сухого типу характеризуються досить простою конструкцією, легкістю обслуговування, невисокою вартістю та високою ефективністю роботи. Як основну технологію, що дозволяє ефективно боротися з пилом на елеваторах, використовують аспіраційне (вентиляційне) обладнання [16].

Щоб спроектувати ефективну систему аспірації на елеваторі, необхідно застосувати комплексний підхід: розрахувати обсяги очищуваного повітря; проаналізувати усі параметри роботи пилоуловлювальних систем; вибрати аспіраційне обладнання і вентилятори та ін.

Перевагу надають застосуванню стаціонарних аспіраційних систем, що дозволяє збільшити частку уловленого (затриманого в уловлювачах) зернового пилу [17]. У таких системах улаштовують пиловловлювальне обладнання різних типів, які разом забезпечують ефективне очищення. Конструкційно це обладнання об'єднує батареї установлених одинарних циклонів, рукавні фільтри, які багаторівнево очищають повітря від пилових фракцій різного розміру (великих, середніх і дрібних) у приміщеннях елеваторів.

Коротко опишемо принцип роботи циклонів. Пилоповітряна маса, в якій зважено як аерозоль перебувають тверді зернові частинки, надходить через

вхідний патрубок до камери циклону, який надає зерновим частинкам обертального руху [14]. Відцентрова сила у циклоні відокремлює фракції зернового пилу, які потрапляють на стінки циклону і переміщуються вниз у збіральний конус. Зібраний пил потрапляє до нилезбірників, а чисте повітря виходить у повітропровід згори або збоку циклону.

Аналогічну схему утилізації пилу на зернозберігальних підприємствах реалізовано в аспіраційній мережі, конструкційну схему якої показано на рис. 3.2. Ця мережа є стадійною, адже зерновий пил різної фракційності (більшої та меншої уловлюють аспіраційній камері та у батареї циклонів.

В аспіраційній камері БСХ-100.20 для рівномірного подання зерна з пилом до пневмосепарувального каналу улаштовано приймальну коробку з підпружиненим лотком, щоб розподіляти зерно по довжині каналу. Корпус аспіраційної камери – це збірно-зварену конструкцію з листової сталі, в якій внутрішні стінки та перегородки утворюють вертикальні пневмосепарувальні і рециркуляційні канали. До осадової камери по довжині вбудовано діаметральний вентилятор (ротор) з приєднаним шнеком, що дозволяє виводити осажденний пил та сміття із зерна. У нижній частині пневмосепарувального каналу закріплено до камери болтами вивідну коробку із заслінкою, щоб виводити очищене з камери з камери.

Пневмосепарувальний канал камери (рис. 3.3) складається з бічних корпусних стінок і рухомої стінки, яку виготовлено з двох шарнірно з'єднаних частин. Верхню і нижню частину пневмоканалу переміщують рукояткою, змінюючи профіль перерізу пневмосепарувального каналу, що призводить до змінення швидкості повітря у вертикальному перерізі. Через оглядові вікна камери візуально контролюють, як відділяється і накопичується зерновий пил. У пневмоканалі витрати повітря можна регулювати дросельною заслінкою через рукоятку.

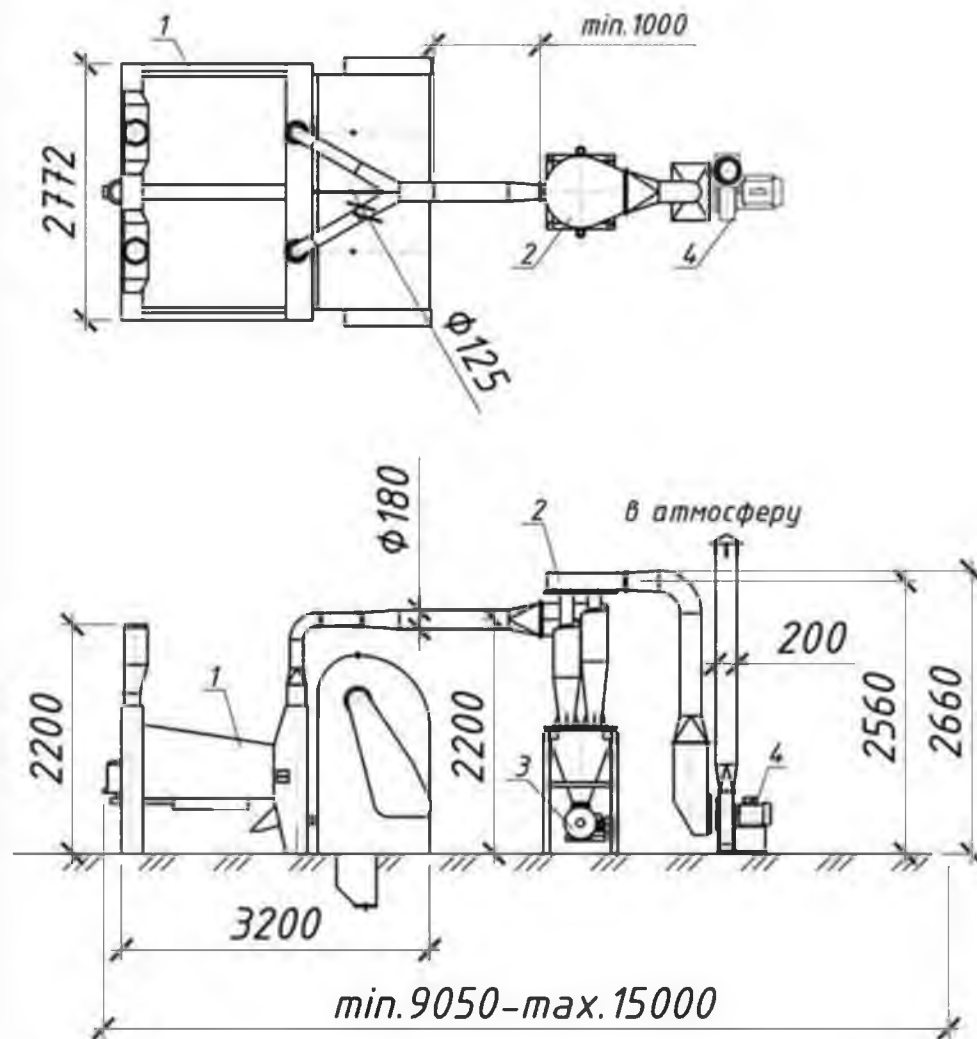


Рис. 3.2. Схе́ма частини аспіраційної мережі на зерновому елеваторі: 1 – камера аспіраційна БСХ-100; 2 – установка багаторейна циклонів ББЦп-250; 3 – шлюзовий затвор ШЗХ-2; 4 – вентилятор ВРК-3.15 (потужністю 2,2 кВт)

Ротор діаметрального вентилятора для виведення пилу обертається у підшипниковому вузлі. Вал шнека встановлено на двох сферичних підшипниках. З іншого боку привіду на шнеку встановлено патрубок з протипідсосний клапан для забезпечення герметичності каналу. У боковинах корпусу для очищення внутрішніх поверхонь камери встановлено накривки з гумовими ущільнювачами

НУБІП України

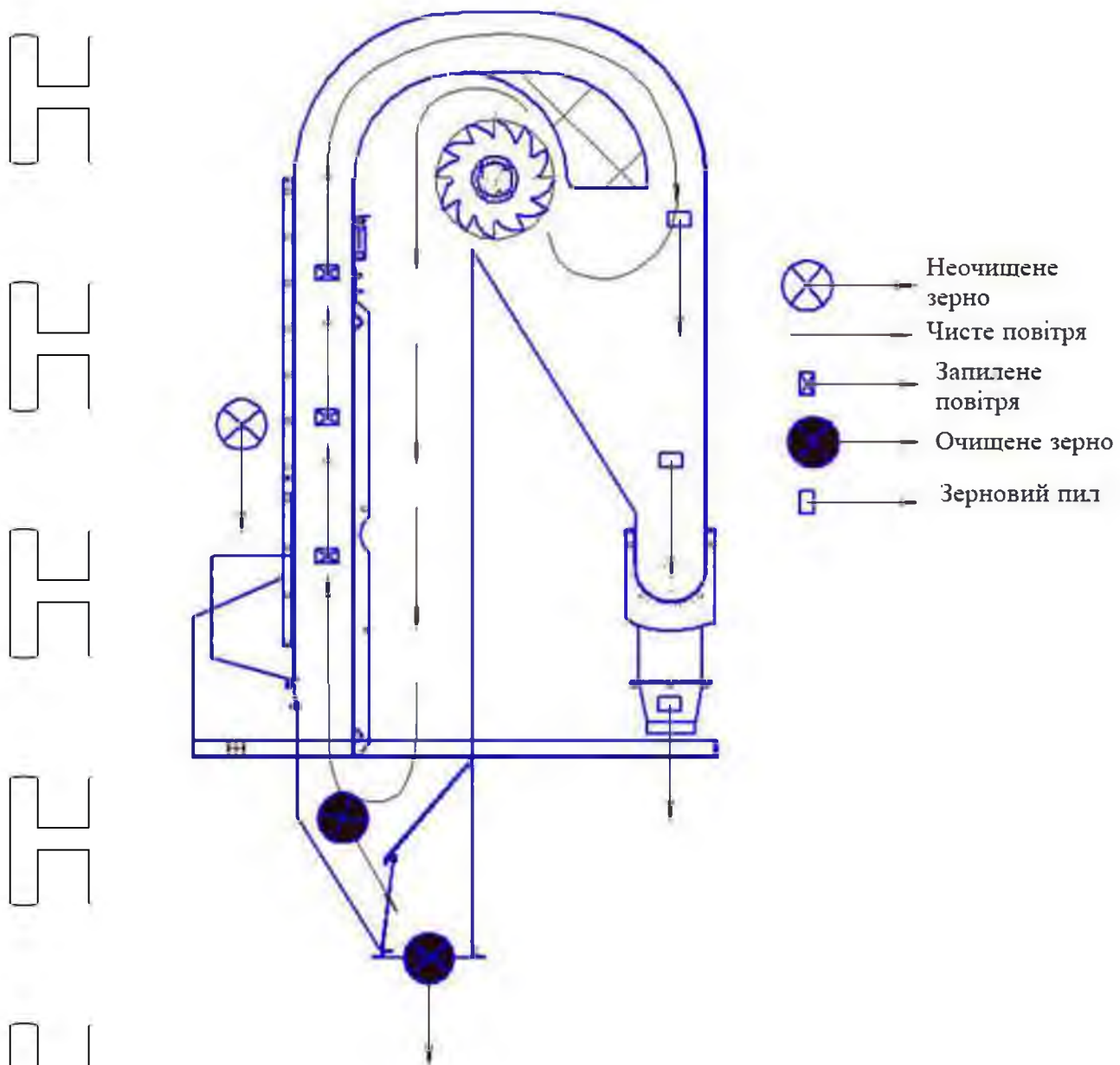


Рис. 3.3. Схема утилізації пилу в аспіраційній камері BCX-100

Циліндричні циклони на зернозберігальному підприємстві використовують, щоб очистити повітря від зернового пилу та сучутнього сміття та рослинних решток. Здебільшого циклони встановлюють в аспіраційній системі перед фільтрами (чи електрофільтрами). Інтенсивність проходження запиленого повітря через циклон, тобто його продуктивність залежить суттєво від діаметра корпусу циклону для більших діаметрів буде більша продуктивність. Однак

НУБІП України

ефективність уловлювання пилу в циклоні буде меншою для більших кутів, під якими вхідний повітряний потік надходить у циклон (рис. 3.4)

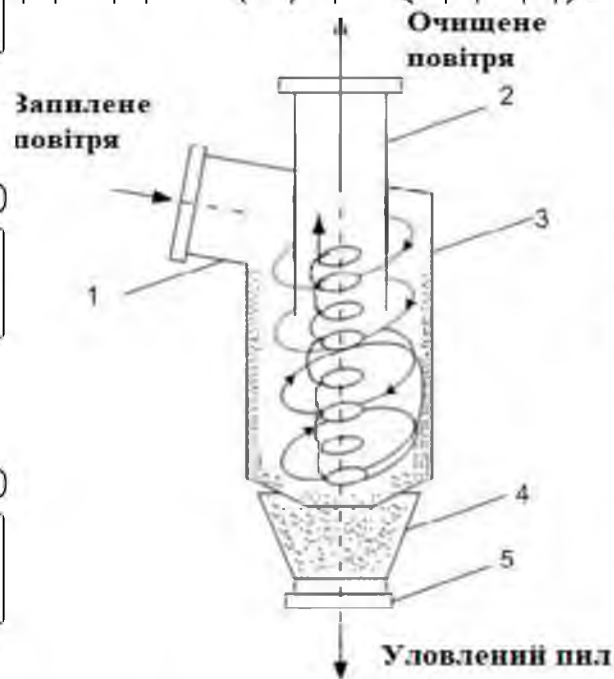


Рис. 3.4. Схема роботи циклону на підприємствах зберігання зерна: 1 – вхідний патрубковий отвір для надходження запиленого повітря; 2 – вихідна труба, якою очищене повітря виходить з циклону; 3 – корпус циклону; 4 – бункер, в якому осідає пил; 5 – пиловий затвор для вивантаження уловленої пилу

Запилене повітря надходить у циклон тангенційно з великою швидкістю. Сфертовий потік повітря опускається вниз камери циклону до конічної частини бункера, та, продовжуючи обертатися, виходить через вихідну трубу циклону.

Частинки більшої маси відділяються вбік від основного напрямку руху повітряного потоку, стикаються зі стінками циклона і опускаються в бункер циклона внаслідок гравітаційних сил. Ефективність очищення повітря буде більшою у разі інтенсивнішого обертального руху запиленого повітря у циклоні та більшого діаметру записаних у повітряному потоці частинок пилу.

У даній магістерській роботі було розраховано параметри циклона для підприємства зберігання і оброблення зерна.

У методиці розрахування параметрів циклонів використовують такі початкові дані:

– кількість запиленого повітря  $Q_p$ , яке потрапляє у циклону,  $Q_p = 6500$  м<sup>3</sup>/год (або 1,806 м<sup>3</sup>/с);

– з довідника вибираємо густину повітря за робочих умов у приміщенні,  $\rho_2 = 0,89$  кг/м<sup>3</sup>;

– з довідника вибираємо динамічну в'язкість повітря за робочої температури,  $\mu = 22,2 \cdot 10^{-6}$  Н·с/м<sup>2</sup> (в інших одиницях 0,08 кг/м·год);

– дисперсний склад пилу  $lg\sigma_u = 0,6$ ;

– запиленість повітря на вході до циклону  $C_{вх} = 30$  г/м<sup>3</sup>;

– щільність частинок пилу  $\rho_n = 1750$  кг/м<sup>3</sup>.

Щоб розрахувати параметри циклона, використаємо метод послідовних наближень.

1. Діаметр корпусу (його циліндричної частини) циклону ЦН-11 становить  $D = 0,5$  м. З відповідних таблиць довідника знаходимо оптимальну швидкість повітря у циклоні Ц-11  $W_{opt} = 3,5$  м/с.

2. Для визначення потрібної площі перерізу циклона скористаємося формулою:

$$S = Q_p / W_{opt} = 1,806 / 3,5 = 0,507$$

3. Визначаємо розрахунковий діаметр корпусу циклона за формулою:

$$D = \sqrt{(4 \cdot S / \pi)} = \sqrt{(0,507 / 0,785)} = 0,805 \text{ м.}$$

Округлюємо визначене значення діаметра  $D$  до найближчого стандартного значення  $D = 800$  мм.

4. Для вибраного стандартного діаметру циклона визначаємо очікувану швидкість руху повітряної маси  $W_d$ , м/с

$$W_d = 4 \cdot Q / (\pi \cdot N \cdot D^2) = 4 \cdot 1,806 / (\pi \cdot 1 \cdot 0,805^2) = 3,595 \text{ м/с.}$$

Визначена швидкість переміщення повітря у циклоні не повинна відхилятися від оптимальної швидкості більше ніж на 15 %, як це виявилось у нашому розрахунку.

5. Визначаємо коефіцієнт гідравлічного опору в циклоні

$$\xi = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{500}^{c(n)} + K_3 = 1 \cdot 0,94 \cdot 245 + 1 = 231,3,$$

де  $\xi_{500}^{c(n)}$  – коефіцієнт гідравлічного опору в циклоні діаметром 500 мм (знаходимо у довіднику). У формулі індекс  $c$  означає, що циклон працює в гідравлічній мережі, а  $n$  – без мережі, тобто повітря безпосередньо після циклону надходить в атмосферу;  $K_1$  – поправковий коефіцієнт на визначення діаметра циклона;  $K_2$  – поправковий коефіцієнт на ступінь заповненості газу;  $K_3$  – коефіцієнт, який враховує додаткові втрати тиску у разі задіяння ґрунти циклонів, а коли циклон один, то  $K_3 = 0$ . Величини коефіцієнтів визначили у довіднику.

6. Для визначення втрат тиску в циклоні на вході та виході скористаємося

формулою

$$\Delta P = P_{вх} - P_{вих} = \xi \cdot \rho_z \cdot W^2 / 2 = 231,3 \cdot 0,89 \cdot (3,595)^2 / 2 = 1590,2 \text{ Па},$$

де  $P_{вх}$  та  $P_{вих}$  – значення тиску на вході до циклона та на виході з нього відповідно;  $\xi$  – коефіцієнт гідравлічного опору циклона;  $\rho_z$  – густина повітря.

Оскільки визначена величина  $\Delta P$  не перевищує допустимого значення ( $\Delta P_{доп} \leq 2500 \text{ Па}$ ), то далі будемо розраховувати повний опір під час очищення повітря у циклоні.

7. З відповідних таблиць довідника вибираємо значення параметрів  $d_{50}^T = 3,65 \text{ мкм}$  та  $\lg \sigma_{\eta}^T = 0,352$  для циклона марки ЦН-11. Далі визначаємо середній

розмір частинок пилу (медіанну товщність очищення)  $d_{50}$  за робочих умов, скориставшись формулою

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{[(D/D^T) \cdot (W^T/W) \cdot (\rho_{п}^T/\rho_{п}) \cdot (\mu/\mu^T)]} = \\ = 3,65 \cdot \sqrt{[(0,805/0,6) \cdot (1930/1750) \cdot 1 \cdot (3,5/3,595)]} = 4,38 \text{ мкм},$$

де  $d_{50}^T$  – розмір частинок пилу, які може уловлювати умовний (типовий) циклон на 50 %. Вважаємо, що у такому циклоні  $D^T = 0,6 \text{ м}$ , швидкість потоку

повітря  $W^T = 3,5$  м/с, щільність частинок пилу  $\rho_{п}^T = 1930$  кг/м<sup>3</sup>, динамічна в'язкість повітря  $\mu^T = 22,2 \cdot 10^{-6}$  Н · с/м<sup>2</sup>

8. Ефективність очищення від пилу повітря (пилоуловлювання) у циклонах визначають за формулою:

$$\eta = 50 \cdot [1 + \Phi(X)], \%$$

де  $\Phi(X)$  – таблична функція залежності ефективності очищення  $\eta$  від параметра  $X$ , значення якого можна знайти за формулою:

$$X = \lg(d_{pj}/d_{50}) / \sqrt{(\lg^2 \sigma_{\eta}^1 + \lg^2 \sigma_{\eta})} = \lg(25/4,38) / \sqrt{(0,352^2 + 0,6^2)} = 1,088,$$

де  $d_{pj}$  – розмір часток пилу  $j$ -ї фракції у пилоповітряній суміші, мкм;  $\lg \sigma_{\eta}$  – ступінь полідисперсності пилу.

9. З довідника визначаємо значення нормальної функції розподілу  $\Phi(X) = 0,8643$  для параметра  $X = 1,088$ .

Тоді:

$$\eta = 50 \cdot [1 + \Phi(X)] = 50 \cdot (1 + 0,8643) = 93,22 \%$$

Проектна ефективність уловлювання пилу в циклоні має бути понад  $\eta_{пр} = 87$  %.

10. Розраховуємо концентрацію пилу на виході з циклона за формулою

$$C_{вих} = C_{вх} - C_{вх} \cdot \eta/100 = 30 - 30 \cdot 93,22/100 = 2,03 \text{ г/м}^3$$

Тож для очищення запиленого повітря у приміщеннях зернового елеватора доцільно встановити кілька (батарею) циклонних пиловловлювачів.

## РОЗДІЛ 4. ОРГАНІЗАЦІЙНІ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ РИЗИКУ ВИБУХІВ І ПОЖЕЖ НА ЕЛЕВАТОРАХ

Нині є чинними «Правила охорони праці для працівників, зайнятих на роботах зі зберігання та переробки зерна», затверджені наказом Мінсоцполітики України від 20.09.2017 р. № 1504 (zareestrovani u Ministerstvi yustitsii Ukrainy 23.10.2017 r. za № 1288/31156. U цьому документі вказано працезохоронні обов'язки керівників підприємств зберігання зерна (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Працезохоронні обов'язки керівників підприємств зберігання

Працівників зернових елеваторів необхідно інформувати про ризики вибухів і пожеж та навчити, як ці ризики знизити чи уникнути небезпек. А вже під час ліквідації аварійних ситуацій на елеваторі працівники неправильними (помилковими) діями сприяли поширенню пожежі, що призводило до важких наслідків. Через це на елеваторах як навчальні заходи необхідно оголошувати пожежні тривоги та проводити тренування працівників з ліквідації аварій на вибухонебезпечних об'єктах.

Технологічне обладнання зернових елеваторів, яке може стати джерелами первинного вибуху зернового пилу, потрібно оснастити технічними засобами контролю, наприклад це можуть бути реле контролю швидкості та сходження пасової стрічки, датчики підпирання тощо. Вибухорозрядні пристрої улаштовують на норіях, дробарках, зерносушарках і фільтрах-циклонах.

Обладнання, яке розглядають як потенційно небезпечне, групують в окремі технологічні блоки, де встановлюють системи локалізації вибуху. До таких систем належать швидкозаклюзовані пристрої та відповідне технологічне устаткування: шлюзових затворів, гвинтових конвеєрів) [18].

Далі систематизовано групи заходів, що дозволяють знизити ризик вибуху зернового пилу на елеваторах [19].

1. Улаштовують двоетапну аспіраційну систему, в якій дрібні та сухі частки пилу не повертають до зернового потоку. На першому етапі встановлюють циклон, де виокремлюють великі пилові частки, а на другому етапі улаштовують фільтр для уловлювання дрібних часток розміром до 20 мкм.

2. У деяких країнах, щоб запобігти утворенню зернового пилу, перемішувачі механізмами елеватора зерно, обприскують олією (витрата олії не більше 0,2 кг/т зерна). Встановлено, що незначний вміст олії у зерні не змінює його якості та стану, тобто зерно надалі можна сушити, очищати, зберігати.

3. Усунення джерел займання, які можуть призвести до пожеж на елеваторі. Їх розглядають, як електричні, механічні та ін.

Зокрема, певну небезпеку становлять лампи розжарювання, які використовують, щоб освітлювати силоси елеватора, бункери або склади підлогового зберігання зерна, в яких пил перебуває у завислому стані. До цих небезпек належать:

від колби електричної лампи йде потужний потік тепла (за температури більше  $200^{\circ}\text{C}$ ), що може спричинити займання пилу;  
на лампа може посипатися маса зерна або пилу;  
колба лампи може зазнати удару, що зруйнує колбу і спричинить коротке замкнення;

гіукий шнур до лампи може бути пошкоджений або його погано з'єднано з патроном світильника;  
можуть вкручувати у світильники лампи більшого розміру, а отже з більш високою потужністю, ніж допускає арматура, що спричиняє виділення зайвого тепла.

Також пил може вибухнути від іскор у разі короткого замкнення в електричному колі, зокрема у: а) плавких вставках; б) перевантажених і пошкоджених кабелях; в) ненадійних (слабких) з'єднаннях кабелів; г) відкритих контактах та сполучних коробках; д) всіх видах пошкодженого або погано відрегульованого електричного обладнання.

Тому всі електричні з'єднання (вузли) необхідно повністю закрити або їх розмістити у вогнетривких щільнопроникних корпусках. Якщо електродвигуни у приміщеннях елеваторів повністю закриті, то потрібно забезпечити їх охолодження від вентилятора, адже електродвигуни у разі повного навантаження можуть нагріватися до температур близько  $80^{\circ}\text{C}$ . За більш високої температури мастило у підшипниках починає інтенсивно випаровуватися і може зайнятися. Сучасні електродвигуни, які рекомендують використовувати на елеваторах, обладнують датчиками температури, що у разі перевищення певної температури вимикають електродвигун [20].

Під час переміщення зерна механізмами елеватора, виникає статична електрика. Основним захистом від пожеж, які можуть статися через розрядження статичної електрики, є електричне заземлення всіх елементів обладнання і дотримання під час експлуатації обладнання нерозривності електричного кола.

Конвеєрні стрічки та транспортне обладнання елеваторів виготовляють з електропровідних матеріалів, щоб відводити статичну електрику в землю.

До вибуху зернового пилу може призвести тепло, яке виділяється внаслідок тертя конвеєрних і норійних стрічок, зокрема у разі пробуксовування на приводному барабані. Пробуксовування може статися, коли недостатньо

натягнуто стрічку, зношено або відсутнє футерування барабана, використовують стару конвеєрну стрічку зі зношеною гумовою або поліхлорвініловою обкладкою і оголеним каркасом, коли відбулося блокування стрічки через перевантаження або завалення конвеєрної системи зерном. Рекомендують для керування рухом

стрічки задіювати вимикач, який поєднаний з приводним барабаном та реагує на швидкість (датчик пробуксовування) і.

Ще одним можливим джерелом займання зернового пилу розглядають неспіввісно розташовану норійну або конвеєрну стрічку, яка зміщується і стирається через тертя об опорні елементи та різні огорожі. Така ситуація може

статися через: а) зміщення конвеєрної стрічки; б) нерівномірний втяг стрічки; в) неправильне надходження зерна, яке зміщує стрічку в бік; г) пошкодження ковша (норії), д) заклинення роликкоопор (на стрічковому конвеєрі); е) пошкодження з'єднання кінців стрічки; є) пошкодження підшипника приводного барабана.

Тому потрібно встановлювати відповідний (рекомендований) зазор, що дозволяє узгоджувати рух конвеєрної стрічки.

Підприємство «Лубнимаш» покращило конструкцію стрічкових ковшових норіях У13-УН, щоб запобігти вибухам. Так, футерування характеризується збільшеним коефіцієнтом зчеплення зі стрічкою, а змінні пластини (рис. 4.1, а)

дозволяють полегшити та пришвидшити ремонт. Посилений ґратчастий

натяжний барабан більш надійно утримує стрічку, щоб під час роботи вона не сходила з барабану (рис. 4.1, б). Оновлена конструкція вибухорозрядного пристрою, який повністю герметизує корпус норі, а за аварійної ситуації легко відкидається на завісах внаслідок розривання спеціальних полімерних фіксаторів (рис. 4.1, в).

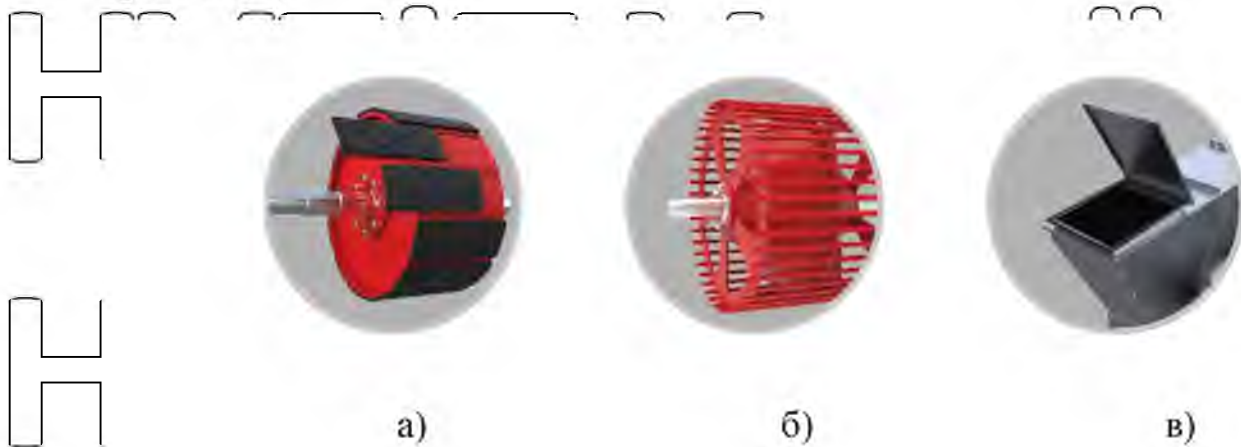


Рис. 4.1. Удосконалення пристроїв для запобігання вибухам у стрічкових ковшових норіях У13-УН: а – змінні пластини футерування барабану; б – ґратчастий натяжний барабан з більш надійним утриманням стрічки; в – відкривна накривка норії з розривними полімерними фіксаторами

Джерелами займання зернового пилу на елеваторах також можуть бути іскріння та перегрівання обертового обладнання внаслідок механічного пошкодження (пошкоджені зубчасті передані, ковпці, муфти, крильчатка вентиляторів, заклинені барабани і ланцюгові передачі).

Розглянемо чотири найбільш поширених методів для запобігання вибухам на елеваторах: 1. Стимування сили вибуху. 2. Розряджання вибуху. 3. Уведення інертного газу до вибухонебезпечного приміщення. 4. Автоматичне гасіння вибуху

Метод І. Щоб стримати вибух зернового пилу, намагаються забезпечити достатній опір елементів конструкції силі вибуху, тобто конструкція має втримати без руйнування тиску, який раптово наростає під час вибуху. Зокрема,

має бути забезпечено міцність повітропроводів. Щоб вогонь не поширювався від одної конструкції до іншої у невеликих приміщеннях, у конструкції встановлюють пневмоклапани, які повинні швидко спрацювати.

Метод II. Вибухорозрядні пристрої – це отвір або вбудована у стінку вмістища розривна запобіжна мембрана як слабка секція. Під час вибуху мембрана має зруйнуватися за низького надмірного тиску і забезпечити вихід газів, що у момент вибуху розширюються. Якщо вибухорозрядники улаштовано збоку вмістища, то необхідно, щоб під час вибуху відкидалася ще і верхня накривка вмістища. Наприклад, сильний вибух у нижній частині норії з одним вибухорозрядником згори, створить тиск, який буде достатнім, щоб розірвати норійну трубу, адже вибух буде переміщуватися по ній, задовго до того, як вибухова хвиля досягне отвору згори норії.

Як певні недоліки таких пристроїв, на нашу думку можна вказати, що якщо розрядження вибуху з обладнання відбувається у приміщенні, де накопичився пил на підлозі та інших горизонтальних поверхнях, то вибухова хвиля після розривання запобіжної мембрани у поєднанні з поширенням полум'я із захищеного обладнання може призвести до вторинного вибуху в споруді з більшими руйнуваннями, ніж за первинного вибуху. Отже, якщо систему вибухорозрядження улаштовано усередині споруди елеватора, то необхідно, щоб до вибухорозрядного отвору було приєднано трубопровід, який має виходити з будівлі. Це дозволить захистити працівників елеватора і обладнання від ударної хвилі, полум'я та продуктів згоряння.

Основна задача такого методу вибухозахисту полягає у тому, щоб спрямувати вибухову хвилю у довкілля через спеціальні отвори, улаштовані у корпусі елеватора. Тоді тиск усередині конструкції елеватора не зможе досягти небезпечних величин, що зумовлюють руйнування.

На рис. 4.2 показано, як такий спосіб вибухозахисту улаштовано у пасивних системах ELEVEX. Система вибухозахисту складається з

вибухорозрядних дверей і панелей VMP. У разі нормального технологічного процесу ці пристрої закривають спеціально улаштовані отвори у корпусі елеватора, а у момент вибуху вони відкриваються від наростання тиску і випускають ударну хвилю і полум'я назовні. На вхідному і вихідному трубопроводах встановлено HRD-бар'ери, які потрібно розглядати як пристрої активного захисту від вибуху.

Пристрій керування



Вибуховідвідний пристрій



Детектори



Безполум'яний вибуховідвідний пристрій



HRD балони

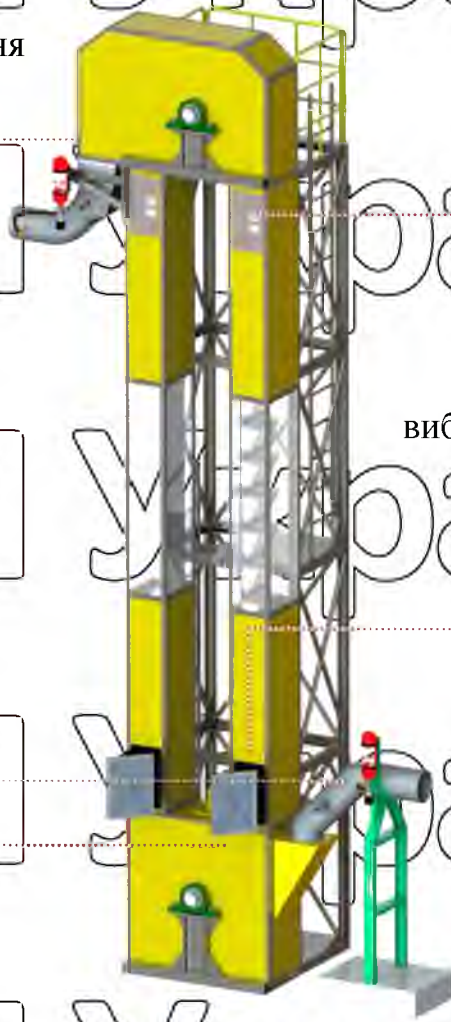


Рис. 4.2. Улаштування вибухозахисту в пасивних системах ELEVEX

Система вибухозахисту ELEVEX складається з трьох основних елементів:

а) датчики виявлення вибуху; б) пристрої для локалізації вибуху на вхідному та

вихідному трубопроводі; в) вибухорозрядні панелі на корпусі елеватора. Розривні сталеві мембрани виготовляють стійкими щодо механічного пошкодження. Їх випускають круглої чи прямокутної форми, додатково оснащують фланцевими ущільнювачами, щоб забезпечити пиленепроникність пристрою; а також магнітними або кабельними індикаторами відкриття (закривання), теплоізолюють, щоб запобігти утворенню конденсату.

Систему вибухозахисту ELEVEX застосовують лише на відкритих майданчиках або облаштовують вибуховідвідні канали. Адже ударна хвиля та полум'я можуть пошкодити обладнання, яке розташовано поблизу мембран, та загрозувати життю людей. Через це вибухорозрядні двері та мембрани не улаштовують поряд із тими місцями, де перебувають працівники.

Щоб розрахувати конструкційні параметри вибухорозрядних отворів для скидання тиску вибуху, потрібно визначити: а) об'єм вмістища; б) максимально допустимий надлишковий тиск; в) максимальний ступінь підвищення тиску в повітроводі; г) розривний тиск запобіжної мембрани. Якщо знати ці параметри, то можна розрахувати розміри вибухорозрядного отвору.

Метод III. Згідно з цим методом пропонують замінити частину кисню повітря інертним газом, що дозволить у приміщенні створити газову суміш, де буде надто мала частка кисню, щоб підтримувати горіння (поширення полум'я). Якщо вміст кисню у пилоповітряній суміші менша ніж 8%, то органічний пил вже не може утворити вибухонебезпечну суміш.

Щоб інертизувати вибухонебезпечну суміш зернового пилу з повітрям, додають інертні гази, найчастіше азот та діоксид вуглецю.

Деякі вогнегасильні порошки, а саме фосфат амонію, карбонат натрію і кальцію, характеризуються значно вищим інертизувальним впливом на спалені суміші пилу і повітря, ніж інертні гази. Але для цього такі порошки потрібно рівномірно змішати з пилом у всьому об'ємі приміщення, яке необхідно захистити від вибуху. Вважаємо, що для зернових елеваторів цей метод захисту

малопритатний, враховуючи великі об'єми приміщень елеваторів і необхідність постійно контролювати у різних місцях елеватора склад газу. Більш доцільно спроектувати систему, в якій інертна газова суміш буде рециркулювати (з мінімальними втратами під час проходження) через два пристрої, які найбільш уразливі для вибухів: норію і фільтри.

Метод IV. Метод автоматичного гасіння вибуху полягає у швидкому підведенні інертного агента, щоб погасити фронт полум'я після отримання сигналу від датчика тиску про надмірний тиск у вмістищі (чи приміщенні).

Оскільки осередок загоряння пилоповітряної суміші полум'я спочатку переміщається досить повільно, то перше підвищення тиску можна швидко виявити, а отже увімкнути (автоматично) систему подавання вогнегасильної речовини. Ця речовина дозволить пригнітити вибух до того моменту, як тиск підвищиться до небезпечного рівня, а отже вибух досягне своєї повної сили. У системі автоматичного гасіння вибуху на виявлення і гасіння відведено частки секунди.

Такий метод доцільно використати для норій елеватора. У норіях автоматичний захист складається з двох основних частин: а) пристрою для виявлення підвищення тиску; б) вибухогасівників з високою швидкістю подавання вогнегасильного порошку, які розміщено у різних місцях норії. Також система такого типу виявилася ефективною, щоб гасити осередки загоряння у випускних воронках тканинних фільтрів.

Перелік заходів для запобігання вибухам і пожежам у вмістищах і апаратах елеватора, в яких перебуває спалимий пил представлено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Перелік заходів для запобігання вибухам і пожежам у вмістищах і апаратах елеватора

Заходи для запобігання вибухам і пожежам	Вмістища і апарати зернових елеваторів
--	--

Герметизувати обладнання (апарати)	Циклони, зерносушарки, електрофільтри, норії, бункери.
Улаштування камер з неспалимого матеріалу	Циклони, зерносушарки, силоси
Розташування обладнання (апаратів) в ізольованих приміщеннях	Електрофільтри, рукавні фільтри
Усунення пилу в певних місцях приміщень	Зерносушарки, норії, горизонтальні та похилі транспортерні стрічки, бункери
Усунення з обладнання (апаратів) зарядів статичної електрики	Зерносушарки, рукавні фільтри, пилоосаджувальні камери, норії, горизонтальні та похилі транспортерні стрічки, бункери, силоси
Запобігання іскріння від удару і запобігання тертя	Зерносушарки, силоси
Запобігання потраплянню від попередніх апаратів іскор тління	Зерносушарки, рукавні фільтри
Усунення утворених небезпечних зон, де відкладається пил	Зерносушарки, електрофільтри
Запобігання нагрівання тертьових поверхонь деталей до температури, що перевищує допустиму	Пилоосаджувальні камери
Запобігання утворенню в апаратах вибухонебезпечних концентрацій пилоповітряної суміші	Зерносушарки, рукавні фільтри, пилоосаджувальні камери, норії, горизонтальні, похилі транспортні стрічки, силоси, бункери
Застосування флегматизувальних добавок	Зерносушарки

Н Теплоізолювання апаратів, щоб Циклони, електрофільтри, рукавні  
запобігати конденсації пари та фільтри, силоси, бункери  
прилипанню до стінок пилу (для  
пилу, який схильний до  
самозагоряння

України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## ВИСНОВКИ

НУБІП України

1. Побудовано графіки динаміки кількості аварій на елеваторах за останні 10 років. Тенденцію щодо збільшення кількості аварій можна пояснити збільшенням кількості елеваторів в Україні за останні роки, що пов'язано із

НУБІП України

збільшенням валових обсягів зернових і олійних культур. Це підтверджують результати виконаного кореляційного аналізу (коефіцієнт кореляції близький до 0,8).

2. Проаналізовано небезпеки і шкідливості на технологічних процесах зернозберігальних підприємств. Показано, що основною загрозою на елеваторах

НУБІП України

є висока вибухо- і пожежонебезпека приміщень, в яких зберігається, сохне і переміщується зерно, причинами чого є неорганізоване надходження пилу

органічних спалимих речовин і виникнення пожежо- і вибухонебезпечних пилеповітрянних сумішей

НУБІП України

3. Досліджено причини створення пилеповітрянних сумішей у виробничих приміщеннях елеваторів. Встановлено потенційні пожежонебезпечні джерела у виробничих приміщеннях елеватора.

4. Проаналізовано основні технології для боротьби з пилом і її поширенням по території зернозберігального підприємства і запропоновано для

НУБІП України

застосування на зернозберігальних підприємствах України найбільш оптимальні з них.

5. Систематизовано організаційні та технічні заходи для зниження ризику вибухів і пожеж на елеваторах та проаналізовано їх ефективність.

НУБІП України

Розроблено перелік заходів для запобігання вибухам і пожежам у вмістищах і апаратах елеватора, в яких перебуває спалимий пил.

НУБІП України

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кобець А.С., Чурсінов Ю.О., Черних С.А., Сабалаш М.П., Грекова

Н.В., Канунніков В.П. Машини і обладнання для зберігання та комплексної обробки зерна. Дніпропетровськ: ДДАУ, 2013. 766 с.

2. Неменуца С.М., Фесенко О.О., Листок В.М. Підприємства по зберіганню зерна: ризик виникнення пожеж. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2019. № 1 (7). С. 3-12.

3. Корнійчук В.В., Грицюк Ю.І. Причини виникнення та особливості ліквідації надзвичайних ситуацій на елеваторах. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Вип. 21.8. С. 120-129.

4. Пелешко М.З., Бабаджанова О.Ф., Башинський О.І. Пожежна безпека об'єктів агропромислового комплексу. Навчальний посібник. Львів: ЛДУБЖД, 2017. 176 с.

5. Зацеркляний М.М. Утворення пилу на підприємствах галузі хлібопродуктів і зменшення пиловиділення. *Наково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*. 2018. № 3(1). С. 16-20.

6. Д'яконов В.І., Кусов О.В., Фесенко Г.В., Білим П.А. та ін. Оцінка пожежного ризику для споруд виробничого призначення. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. 2014. Вип. 148. С. 514-519.

7. Козяр Н.М. Особливості вибухів та вибухопригнічення пилоповітряних сумішей. *Пожежна безпека*. 2018. № 29. С. 57-65.

8. Войналович О.В., Виговський С.М. Вибухо- і пожежонебезпека на елеваторах. *Тези доповідей XIX Міжнародної конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування» (25–29 березня 2019 року)*. К.: НУБІП України. 2019. С. 27-28.

9. Фесенко О.О., Лисюк В.М. Проблеми пожежної безпеки зерносушарок. *Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист»*. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України. 2017. С. 73-74.

10. Статистика пожеж та їх наслідків в Україні за 2013-2016 роки: Статистичний збірник аналітичних матеріалів. За загальною редакцією В.С. Кропивницького. К.: УкрНДЦЗ. 2018. 100 с.

11. Гуліда Е.М. Вплив пожежного ризику на величину збитків від пожежі в приміщеннях різних об'єктів. *Пожежна безпека: збірник наукових праць ЛДУ/БЖД*, 2016. № 28. С. 36-42.

12. Роянов О.М. Пожежна безпека виробництв: курс лекцій. Для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 263 «Цивільна безпека» спеціалізації "Охорона праці" денної та заочної форми навчання. Х.: НУЦЗУ, 2016. 420 с.

13. Технічний регламент зернового складу. Затверджено наказом Міннагрополітики України від 15.06.2004 р. № 228, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 05.07.2004 р. за № 835/9434.

14. Дмитрук Є.А., Гопанюк О. І. Правила проектування аспіраційних установок підприємств по збереженню та переробці зерна. К., Одеса: Друкарський дім 1995. 131 с.

15. Шалугін В. С., Шмандій В.М. Процеси та апарати промислових технологій: навч. посібник. К.: Центр учбової літератури. 2008. 392 с.

16. Гросул Л.Г., Гапонюк О.І., Мосієнко Г.А., Гончаренко Г.А. Удосконалення агрегатного устаткування та компоновка транспортно-функціональних комплексів. *Зернові продукти комбікорми*. 2011. № 3. С. 48-50.

17. Войналович О.В., Уманський М.О., Перетяцько В.Р. Заходи для запобігання вибухам і пожежам на зернозберігальних підприємствах. *Сучасні технології аграрного виробництва: V Міжнародна науково-практична*

конференція, м. Київ, Україна, 6–7 листопада 2019 року: тези конференції. Київ. 2019. С. 77-78.

18. ДСТУ EN ISO 19353 (EN ISO 19353:2016, IDT, ISO 19353:2015, IDT) Безпечність машин. Запобігання пожежі та протипожежний захист.

19. НАПБ В.01.057-2006/200. Правила пожежної безпеки в агропромисловому комплексі України. Наказ Міністерства аграрної політики України, Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 04.12.2006 р. №730/770.

20. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні.

21. Стретович О.А. Тенденції роботи зернопереробних підприємств України. *Економіка харчової промисловості*. 2016. Т. 8. Вип. 4. С. 46-50

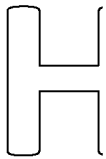
22. Balanyuk V.M., Kozyar N.M., Garasymuyk O.I. Study of fire-extinguishing efficiency of environmentally friendly binary aerosol-nitrogen mixtures. *Eastern-european journal of enterprise*. 2016. № 3/10 (71). С. 4-12.

23. Методика ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів. Затверджена наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 23.02.2006 р. № 98

24. Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій на об'єктах зберігання й перероблення зерна та зернопродуктів. Затверджено Наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, Міністерства аграрної політики України від 21 грудня 2009 року № 864/912, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 23 квітня 2010 р. за № 303/17598.

25. Подпратов Г.І., Скалецька Л.Ф., Сеньков А.М. Зберігання і переробка продукції рослинництва. Київ: Центр інформаційних технологій, 2010. 495 с.

26. ДСТУ EN ISO 19353 (EN ISO 19353:2016, IDT, ISO 19353:2015, IDT)

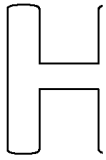


Безпечність машин. Запобігання пожежі та протипожежний захист.

27. Техніка безпеки на АП елеваторі під час роботи з конвеєрами,

норіями, обладнанням зі шнеками.

<https://www.youtube.com/watch?v=YA7f4pMaxQo&t=222s>



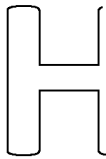
28. Помилки експлуатації та обслуговування елеваторного обладнання |

KMZ Industries. [https://www.youtube.com/watch?v=TyPSOJIS9\\_A](https://www.youtube.com/watch?v=TyPSOJIS9_A)

29. Вибухи на елеваторах. Як пилова хмара руйнує елеватор.

<https://elevatorist.com/spetsproekt/161-kak-pyilevoe-oblako-razrushaet-elevator>

30. Як улаштовані елеватори в Україні?



<https://www.youtube.com/watch?v=o3-g9wDz5cQ>

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України