

**Спеціальність «Цивільна безпека (Охорона праці)»**

**Студентська наукова робота на тему:  
«Небезпеки на підприємствах зберігання зерна»**

**Шифр роботи:  
Вибухобезпека елеваторів**

**2020 р.**

## ЗМІСТ

Вступ .....	3
Розділ 1. Аналіз небезпек на зернозберігальних підприємствах .....	5
Розділ 2. Вибухонебезпека у приміщеннях зернових елеваторів .....	12
Розділ 3. Організаційні та технічні заходи для зниження ризику вибухів і пожеж на елеваторах .....	18
Висновки .....	24
Список літератури .....	25

## ВСТУП

Важливим складником агропромислового комплексу (АПК) України є технологічні процеси зберігання і оброблення зерна на елеваторах. Нині в Україні в експлуатації перебуває понад 1200 елеваторів, зерносклади та хлібоприймальних пунктів (ХПП), щороку в експлуатацію вводять нові [1]. Так, у 2018 році в Україні побудували близько 90 нових елеваторів і щорічно потужності ростуть на 1,5 млн. т. Однак за нинішнього обсягу виробництва у 92 млн. т зернових та олійних культур Україна має потужності для зберігання орієнтовно всього 40 млн. тон. До того ж 70% наявних елеваторів морально і фізично застаріли [1]. У більшості з них зерно зберігається просто насипом на підлозі, то ж за таких умов складно забезпечити якість та безпеку зерна [2].

Технологічні процеси на зернозберігальних підприємствах супроводжуються накопичення шкідливостей у виробничих приміщеннях – надлишкових тепла і вологи, газів і зернового пилу [3]. З цим здебільшого пов'язано, що на зернотоках, у складських приміщеннях, зокрема на елеваторах, трапляються нещасні випадки з травмуванням працівників [4].

Основною загрозою на елеваторах 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 пилоповітряних сумішей [5]. Процеси навантажування, вивантажування і транспортування зерна, його оброблення, складування та зберігання призводять за недостатнього вентилявання до запиленості повітря у виробничих приміщеннях, що суттєво перевищує безпечні (порогові щодо вибуху) концентрації [6]. Розберемо коротко кілька характерних аварій на елеваторах.

Так, 16 жовтня 2018 р. у селі Нижня Сироватка на Сумщині вночі вибухнув зерновий елеватор, прилеглу вулицю засипало тоннами кукурудзи. Внаслідок вибуху бетонні плити рознесло на кілька десятків метрів.

У м. Жмеринка Вінницької області 12 червня 2018 р. сталася пожежа на складі елеватора. Займання виникло в одноповерховій складській будівлі, де було 3 тис. тонн зерна кукурудзи. Площа загоряння становила 120 м<sup>2</sup>.

На елеваторі зернозберігального підприємстві хорватського міста Спліт 18 квітня 2017 р. прогрімів потужний вибух, внаслідок чого постраждало 4 працівники. Вибух, який стався під час зварювальних робіт, був такої сили, що пошкодило будинки неподалік елеватора.

У науковій літературі спеціалісти зазначають, що вибух, спричинений зерновим пилом, характеризується більшою руйнівною здатністю, ніж вибух динаміту [7]. Так у 1992 р. вибух пило-повітряної суміші зруйнував два поверхи комбикормового заводу у м. Балаклія, внаслідок чого загинуло 11 людей.

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

Завдання даної роботи наступні: 1. Проаналізувати небезпеки на зернозберігальних підприємствах. 2. Оцінити вибухонебезпеку в приміщеннях зернових елеваторів. 3. Запропонувати організаційні та технічні заходи для зниження ризику вибухів і пожеж на елеваторах.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕК НА ЗЕРНОЗБЕРІГАЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Структура вмістищ зерна в Україні нині така: 62,2 % – елеватори, 37,8 % - склади підлогового зберігання зерна [8]. Тому далі основну увагу буде приділено питанням охорони праці на елеваторах. На елеваторах зерно проходить технологічні операції приймання, очищення, сушіння, транспортування, багаторазово переміщуючись транспортними механізмами, самопливом чи у пневматичних системах. Внаслідок тертя зернин між собою, а також об стінки устаткування і трубопроводів стираються оболонки зернин та виникає органічний і мінеральний пил [9].

Надходженню пилу у приміщення сприяють недостатня герметизація обладнання і неефективна робота аспіраційних систем. Навіть у разі справної роботи вентиляційної системи у повітрі приміщень елеватора присутній зерновий пил. Гігієнічними нормативами встановлено, що для дихання людини гранично допустима концентрація (ГДК) зернового пилу становить 4 мг/м<sup>3</sup>, а борошняного пилу – 6 мг/м<sup>3</sup>. Однак часто в окремих зонах виробничих приміщень елеватора концентрація пилу в повітрі суттєво перевищує зазначені нормативні значення, підвищуючись до вибухонебезпечних концентрацій [10].

Зерновий пил, який перебуває у повітрі, вважають вибухонебезпечним, а той, що осів на будівельних конструкціях та обладнанні, – пожежонебезпечним. Вибухонебезпечні концентрації утворюються у технологічному та транспортному обладнанні, у силосах і бункерах, у трактах аспіраційних систем і пневмотранспорту, у пиловловлювальному обладнанні [11].

Вибухонебезпечність зернового пилу залежить від вмісту в ньому органічних і мінеральних речовин, від дисперсності та вологості. У разі збільшення вмісту мінеральних домішок підвищується значення нижньої концентраційної межі поширення полум'я (НКМПП), тому що мінеральний пил, уведений до вибухонебезпечної пило-повітряної суміші, діє як флегматизувальна добавка на процеси займання і горіння [12].

Узагальнено небезпеки і шкідливості на технологічних процесах зернозберігальних підприємств представлено на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Небезпеки і шкідливості на технологічних процесах зернозберігальних підприємств

Основні причини вибухів і пожеж сушарок на зернозберігальних підприємствах представлено на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Основні причини вибухів і пожеж зерносушарок

Потенційні пожежонебезпечні джерела у виробничих приміщеннях елеватора вказано на рис. 1.3.

На елеваторі пожежа може поширюватися:

- перероблюваною сировиною, що перебуває на зберіганні чи переміщується;
- неприбраним пилом на будівельних конструкціях і на обладнанні;
- незахищеними від вогню отворами (дверними та віконними прорізами, вентиляційними шахтами тощо);

- технологічними комунікаціями – електросиловими каналами і шахтами;
- технологічним обладнанням та елементами будівельних конструкцій;
- вентиляційними та аспіраційними системами;
- з'єднувальними галереями.



Рис. 1.3. Потенційні пожежонебезпечні джерела у виробничих приміщеннях елеватора

Вибухопожежна та пожежна небезпека зернових елеваторів характеризується наявністю таких чинників:

- великої кількості спалимої зернової сировини (СЗС) та продуктів її перероблення;
- здатності СЗС та продуктів її перероблення створювати



вибухонебезпечні пилоповітряні, газоповітряні та комбіновані суміші, вибухати;

– схильності СЗС до самозаймання або займання від джерела запалення, можливості самостійного горіння після його вилучення;

– високого енергонавантаження промислового обладнання елеваторів;

– самонагрівання СЗС внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів і зерна, що протікає в умовах обмеженого тепловідведення і високої сорбційної здатності продукту. До самонагрівання схильні майже всі види рослинної сировини, особливо недосушені;

– накопичення під час самонагрівання, що передує самозайманню СЗС, вибухонебезпечних газоповітряних сумішей оксиду вуглецю, метану і водню, мінімальна енергія запалювання яких набагато нижча, ніж для пилоповітряних сумішей.

На елеваторах основними потенційно-небезпечними об'єктами (ПНО) або об'єктами підвищеної небезпеки (ПНО) є:

– приймально-відпускні пристрої для приймання та відпускання СЗС;

– силосні корпуси елеваторів, склади силосного типу, металеві бункери й склади підлогові для безтарного зберігання, транспортні галереї;

– зерносушильні установки, приймально-очищувальні і сушильно-очищувальні башти, цехи відходів, пилу, очищення й сортування мішкотари.

Найпоширеніші місця виникнення джерел займання та вибухів у технологічних спорудах та будівлях елеваторів наступні [13]:

- норії – пробуксовування, зворотний хід, перекошування та збігання норійної стрічки, обривання та удари ковшів по викривлених трубах норій, зношення підшипників вала приводного барабана або редуктора, потрапляння сторонніх металевих предметів, розряди статичної електрики на стрічках;

- турбоповітродувки (вентилятори) – потрапляння сторонніх металевих предметів, зношення підшипників, удари та відривання лопаток;

- зерносушарки – підвищення температури агента сушіння та СЗС,

несправність автоматики, засміченість СЗС та обладнання;

- повітропроводи (аспіраційні, гравітаційні) – розряди статичної електрики;
- зернопроводи (самопливи, пневмотранспорт) – розряди статичної електрики;
- силоси і бункери – зберігання СЗС та продуктів перероблення з підвищеною вологістю та засміченістю, перевищення термінів зберігання, невиконання очисних заходів перед завантаженням, відсутність (несправність) приладів температурного та газового контролю, вивантажування СЗС, що може самозагорітися, з порушенням заходів безпеки;
- циклони – потрапляння сторонніх металевих предметів, розряди статичної електрики;
- фільтри – розряди статичної електрики.

Наявність пилу в обладнанні, транспортних комунікаціях та вмістищах, виробничих та допоміжних приміщеннях дозволяє поширюватися пожежі такими шляхами:

- норії, скребкові транспортери, самопливи, пневмотранспорт;
- шахти, що використовуються для проходу норій;
- відкриті люки силосів, порожні силоси у разі вибуху або за відсутності випускних воронок;
- вентиляційні та перепускні вікна між силосами;
- незаглушені патрубки, відкриті люки самопливів, норій та іншого обладнання;
- повітропроводи аспірації, повітряного опалення та вентиляції, вентиляційні шахти та пилові шахти аспірації;
- отвори у перекриттях, перегородках, дверних отворах, монтажні отвори, гвинтові спуски;
- конвеєрні галереї і тунелі, що з'єднують окремі виробничі будівлі, відпускні та приймальні пристрої.

Розміри частинок зернового пилу у приміщеннях елеваторів можуть перебувати у широких межах – від часток мікрометра до 250 мкм. Залежно від розмірів частинок пил умовно поділяють на великий (50-250 мкм), середній (10-50 мкм) і дрібний (менше 10 мкм). На елеваторах і складах для зерна переважає великий пил [14].

Шкідливість пилу залежить від його розмірів і хімічного складу. Великий пил менш небезпечний, ніж дрібний, оскільки він затримується під час дихання на слизових оболонках носа. Дрібний пил з розміром частинок 5-10 мкм – найбільш небезпечний для здоров'я людини [15].

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 ефективною аспірації всього обладнання, в якому утворюється пил. Чистоту повітря, яке надходить до атмосфери, можна забезпечити застосуванням високоефективних пиловловлювачів (фільтрів) [16].

## РОЗДІЛ 2. ВИБУХОНЕБЕЗПЕКА У ПРИМІЩЕННЯХ ЗЕРНОВИХ ЕЛЕВАТОРІВ

Елеватори належать до підприємств з високим ступенем вибухо- і пожежонебезпеки [17]. Недотримання і порушення нормативів безпеки праці призводить до серйозних наслідків: від зруйнування силосів та елеваторного обладнання до загибелі працівників.

Основною причиною таких наслідків є зерновий пил, який накопичується у приміщеннях елеватора. Зерновий пил є легкозаймистою речовиною [18, 19], температура займання якої менше 250 °С, а нижня концентраційна межа займання (НКМЗ) становить 20-63 г/м<sup>3</sup>.

Самозаймання дрібних частинок пилу, спричинене статичною електрикою або перегріванням підшипника двигуна, миттєво створює тиск до 10 кг/см<sup>2</sup>, що супроводжується раптовим зростанням температури до 3000 °С.

Такий вибух називають «первинним пиловим вибухом» і часто він є причиною «вторинного пилового вибуху», коли руйнуються будівлі елеватора, силосів і настають катастрофічні наслідки [20]. Вторинний вибух призводить до набагато більш тяжких наслідків, ніж початковий. Нерухомих пил на поверхах або в кутках становить додаткову небезпеку, оскільки ударна хвиля первинного вибуху переміщує його вгору, забезпечуючи спалимий матеріал для вторинного вибуху, який за силою може значно перевершувати первинний вибух і, у свою чергу, створювати сприятливу для третього вибуху ситуацію. Так утворюється ланцюгова реакція з дедалі більшою інтенсивністю, кульмінаційним моментом якої є повне зруйнування конструкцій і пожежа [21].

Наприклад, однією з причин спалаху є засипання зерна у норії. Пробуксовування стрічки на приводній станції призводить до задимлення і загоряння, що у свою чергу зумовлює спалах зернового пилу. Потік полум'я з температурою близько 2000 °С миттєво поширюється вниз до дна норії. Хвиля величезного надлишкового тиску руйнує металевий корпус норії, спричинюючи вібрацію і піднімаючи у повітря пил, що осів у сусідніх робочих зонах. Далі

відбувається вторинний пиловий вибух – спалахи полум'я у робочій вежі, галереях, самопливах, зруйнування елеватора станеться протягом 1-2 хв.

Отже, для того, щоб стався вибух, необхідна наявність чотирьох чинників: кисню, зернового пилу в завислому в повітрі стані, джерело займання (іскра або температура близько 200 °С), замкнутий простір.

Як основну технологію боротьби з пилом на елеваторах застосовують аспіраційне обладнання [22]. Проектування ефективної системи аспірації на елеваторі передбачає комплексний підхід, а саме: розрахунки обсягів очищення повітря, аналіз усіх параметрів роботи пиловловлювальних систем, вибирання необхідного аспіраційного обладнання і вентиляторів та ряд інших важливих факторів.

Найбільш ефективним рішенням є застосування кількостадійних систем аспірації, що дозволяє збільшити відсоток вловлюваного зернового пилу []. Конструкційно такі системи передбачають наявність пиловловлювального обладнання різних типів, які разом забезпечують якомога більш ефективне очищення. Це одинарні циклони, їх батареїне устанавлення, рукавні фільтри, що багаторівнево очищають повітря в приміщеннях елеваторів від великих, середніх і дрібних пилових фракцій.

Принцип роботи циклонів [11] передбачає, що пилоповітряна маса зі зваженими в ній твердими зерновими частинками через вхідний патрубков надходить у камеру циклону, де набуває обертального руху. Під дією відцентрової сили фракції зернового пилу відокремлюються і стінками циклону переміщуються вниз у збірний конус. Зібраний пил надходить до пилепроводів, а чисте повітря виводиться у повітропровід зверху або збоку циклону.

Аналіз аварій, пов'язаних з пилоповітряними вибухами, показує, що в більшості випадків місцем виникнення первинного вибуху або спалаху, було технологічне, транспортне або аспіраційне устаткування, а також силоси і оперативні бункери. У кількох випадках первинний спалах стався безпосередньо в частині об'єму виробничого приміщення елеватора. Найбільш характерний початок розвитку вибуху, коли пилоповітряна суміш спалахує в

замкненому об'ємі. Цей процес супроводжувався підвищенням тиску, температури і подальшим займанням пилоподібних продуктів зерна. Якщо устаткування забезпечене ефективними вибухорозрядними пристроями, герметичне і має досить міцний корпус, що витримує тиск вибуху, то у разі спрацьовування вибухорозрядних мембран високотемпературні продукти горіння викидаються в атмосферу і локальний вибух, як правило, подальшого розвитку не має [23].

Але й у разі спрацьовування вибухорозряджувачів можливий подальший розвиток вибуху, якщо під час горіння пилоповітряної суміші займеться зерно, а устаткування не буде зупинено. Іскрові частки, переміщаючись вздовж технологічних комунікацій, можуть запалити пилоповітряну суміш в устаткуванні, силосі або в бункері. Наприклад, після загоряння пилоповітряної суміші в голівці норії і спрацьовування мембрани вибухорозряджувача може загорітися зернова маса і осередок горіння переміститься у завантажуваний силос, в якому концентрація пилу у вільному об'ємі практично завжди вище за нижню концентраційну межу займання. У результаті відбувається вибух в силосі.

На рис. 2.1 показано динаміку кількості аварій на елеваторах за останні 10 років [2]. Лінію тренда представлено експоненційною залежністю, рівняння якої показано на рисунку разом з достовірністю  $R^2$ .

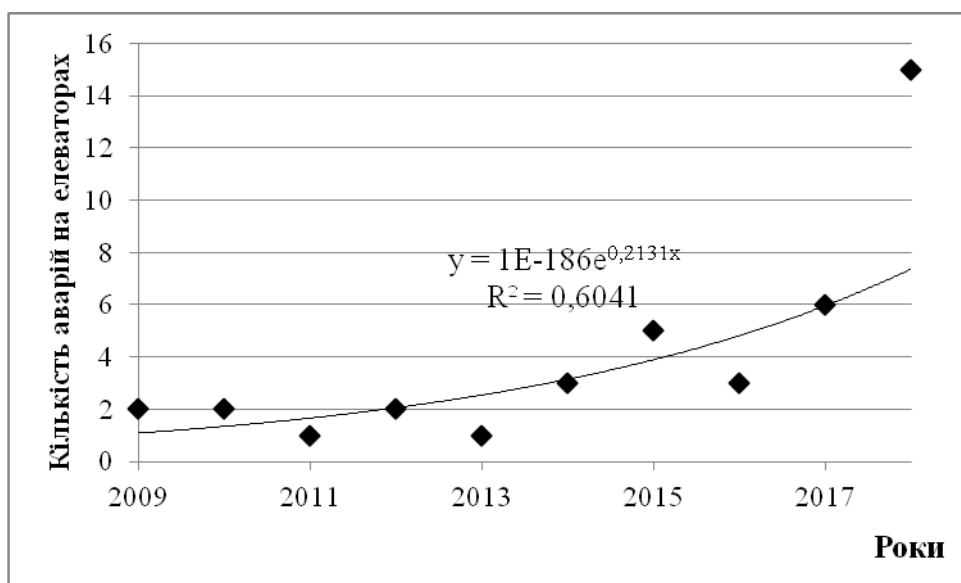


Рис. 2.1. Динаміка кількості аварій на елеваторах за останні 10 років

З представлених даних видно, що кількість аварій на елеваторах має тенденцію до зростання. Багато у чому це можна пояснити збільшенням кількості елеваторів в Україні за останні роки, що пов'язано із збільшенням валових обсягів зернових і олійних культур (рис. 2.2). Про це свідчить коефіцієнт кореляції двох проаналізованих масивів даних (кількості аварій та обсягу зібраного врожаю), який становить 0,7944. Потрібно зазначити, що коефіцієнт кореляції не суттєво зміниться, якщо не враховувати дані 2018 р., коли кількість аварій на елеваторах суттєво зростає.

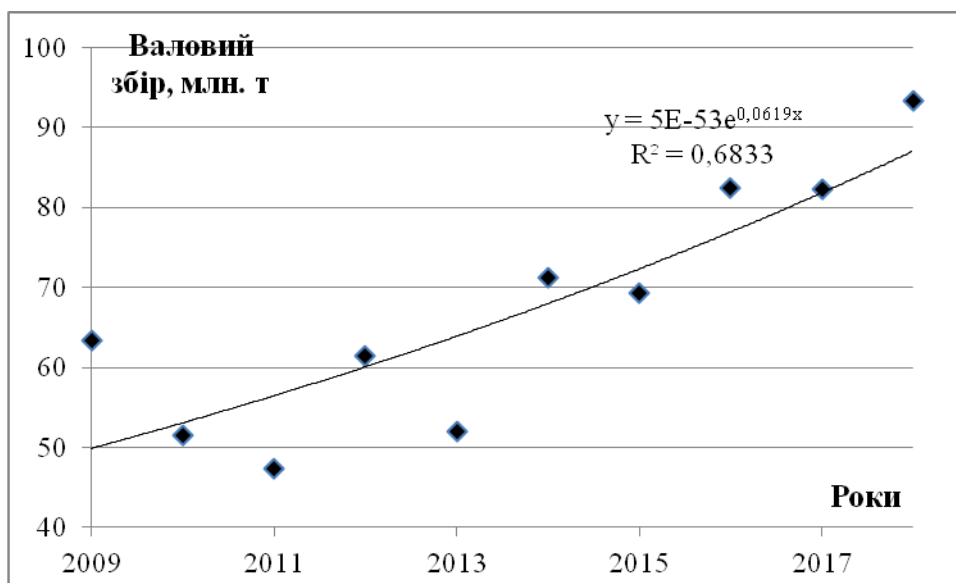


Рис. 2.2. Динаміка валового обсягу збирання зернових і олійних культур за останні 10 років в Україні

У роботі [2] представлено розподіл пожеж за місцями локалізації на зернових елеваторах (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Розподіл пожеж за місцями локалізації на зернових елеваторах

№ з/ч	Місце (причина) виникнення пожежі	Відсоток до загальної кількості
1.	Зерносушарка	56,8
2.	Склад	18,2
3.	Норія	4,5
4.	Транспортна галерея	4,5
5.	Трансформаторна підстанція	4,5
6.	Порушення технологічного регламенту	2,4

7.	Удар блискавки	2,3
8.	Порушення правил проведення вогневих робіт	2,3
9.	Підпал	2,5
10.	Інше	2,0

Представлені дані підтверджують дані статистичні дані (табл. 2.2 і 2.3) щодо причин пожеж і вибухів на елеваторах Радянського Союзу, що трапилися за період з 1978 по 1989 рр.) [3]. Потрібно зазначити, що першопричину, яка призвела до вибуху зернового пилу на елеваторі, та місце початкового вибуху в багатьох випадках неможливо визначити, що показано у табл. 2.2 і 2.3.

Таблиця 2.2. Причини спалаху, що призводять до вибухів зернового пилу в елеваторах (дані за період з 1978 по 1989 рр.) [3]

№ з/ч	Причина вибуху	Відсоток до загальної кількості
1.	Невідома	58,5
2.	Зварювальні роботи	17,2
3.	Несправність електрообладнання та електропроводки	4,0
4.	Іскріння у разі зруйнування металевих конструкцій	4,0
5.	Вогневі роботи (крім зварювальних)	4,0
6.	Невідомі сторонні предмети	3,6
7.	Теплові прояви тертя у разі утрудненого руху сировини	3,2
8.	Перегрівання підшипників	2,8
9.	Випадкові іскри	2,8
10.	Іскри від тертя конструкційних елементів	2,8
11.	Удари блискавки	2,4
12.	Несправність двигуна	1,6
13.	Статична електрика	1,2
14.	Вогонь від тертя пасових передач	1,2
15.	Вихід назовні горючої пари	1,2



16.	Куріння	1,2
-----	---------	-----

Таблиця 2.3. Місцезнаходження початкового вибуху [3]

№ п/п	Місце початкового вибуху	Відсоток до загальної кількості
1.	Невідоме	45,3
2.	Норії	24,5
3.	Силоси	12,7
4.	Робоча вежа	3,8
5.	Прилеглі будівлі	3,2
6.	Підвал	1,6
7.	Пилозбірник	1,2
8.	Тунелі	0,8
9.	Пасажирський ліфт або ліфтова шахта	0,8
11.	Зернові сушарки	0,8
12.	Приймальна яма	0,8

Існують дві основні технології для боротьби з пилом і її поширенням по території зернозберігального підприємства, тож розглянемо коротко деякі з них. Перша з технологій – це система зрошення зерна олією. Принцип роботи такий, що на зерно, яке потрапляє на лінію елеватора розпорошують соняшникову рафіновану дезодоровану олію (200 г на 1 тонну зерна). Далі олія змочує зерно і мінімізує тертя, що зменшує утворення пилу на 75-85%.

Інша технологія – це відведенні запиленого повітря з місця пилоутворення. Реалізується дана технологія за допомогою різних аспіраційних установок. Принцип роботи систем аспірації полягає у відведенні запиленого повітря з місця утворення пилу і подальше його очищення за допомогою сил інерції (до 70%), або за допомогою фільтрувальних елементів (ступінь очищення запиленого повітря до 99%). Роботу даних систем забезпечує вентилятор, що витягує повітря з точки пилоутворення через фільтр і виводить в атмосферу. Витяжні шафи можуть виводити пил з технологічного процесу (елеватори), а також повертати його в потік для збереження маси продукту (застосовують в основному на зернових терміналах).

### РОЗДІЛ 3. ОРГАНІЗАЦІЙНІ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ РИЗИКУ ВИБУХІВ І ПОЖЕЖ НА ЕЛЕВАТОРАХ

Кілька років тому вступили в дію нові «Правила охорони праці для працівників, зайнятих на роботах зі зберігання та переробки зерна», затверджені наказом Міністерства соціальної політики України від 20.09.2017 р. № 1504 та зареєстровані в Міністерстві юстиції України 23 жовтня 2017 р. за № 1288/31156.

У цьому нормативному документі визначено перелік обов'язків роботодавця щодо:

- розроблення та затвердження актів з охорони праці, які діють на підприємстві, та інструкцій з охорони праці;

- розроблення та затвердження переліку робіт підвищеної небезпеки, які потрібно виконувати на підприємстві за нарядами-допусками та фіксувати у відповідному журналі;

- одержання дозволу на виконання робіт підвищеної небезпеки та щодо експлуатації (застосування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки з подаванням декларації відповідності його матеріально-технічної бази;

- забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту,

- проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці працівників підприємств, попереднього (під час прийняття на роботу) і періодичного (протягом трудової діяльності) медичних оглядів;

- забезпечення встановлення знаків безпеки і захисту здоров'я працівників для позначення небезпечних зон;

- проведення атестації робочих місць за умовами праці на робочих місцях, де технологічний процес, використовувані обладнання, сировина чи матеріали є потенційними джерелами шкідливих і небезпечних виробничих факторів,

дотримання допустимих норм небезпечних і шкідливих виробничих чинників у виробничих приміщеннях та на робочих місцях тощо.

То ж працівники елеваторів мають бути проінформовані щодо ризику вибухів і пожеж та навчені, як цих небезпек уникнути. Адже неправильні дії працівників під час ліквідації аварійних ситуацій нерідко призводили до поширення пожежі з важкими наслідками. Тому на елеваторах необхідно запроваджувати проведення навчальних пожежних тривог та тренувань з ліквідації аварій на вибухонебезпечних об'єктах.

Технологічне обладнання елеваторів, що може бути джерелом первинного вибуху зернового пилу, оснащують технічними засобами контролю: реле контролю швидкості та сходження пасової стрічки, датчиками підпирання тощо. Норії, дробарки, зерносушарки і фільтри-циклони оснащують вибухорозрядними пристроями. Потенційно небезпечне обладнання групують в окремі технологічні блоки з використанням систем локалізації вибуху (швидкозадіяваних пристроїв або відповідного технологічного устаткування: шлюзових затворів, гвинтових конвеєрів) [24].

Далі проаналізовано ефективність окремих заходів для зниження ризику вибуху на елеваторах зернового пилу.

1. У деяких країнах для запобігання утворенню зернового пилу зерно, яке переміщують на елеваторі, обприскують олією, витрачаючи не більше 0,2 кг олії на 1 т зерна. Така незначна концентрація олії у зерні не змінює його стану і якості, дозволяє зерно надалі сушити, очищати, зберігати.

2. Застосування двоетапної аспіраційної системи без повернення дрібних і сухих часток пилу до зернового потоку. На першому етапі використовують циклон, в якою виокремлюють більші частки пилу, а на другому етапі – фільтр, що дозволяє вловлювати дрібні частки розміром менше 20 мкм.

3. Усунення джерел займання на елеваторі. Їх зручно розглядати групами, як от електричні, механічні тощо.

Небезпеку можуть становити лампи розжарювання, використовувані для освітлення силосів елеватора, бункерів або складів підлогового зберігання зерна, де є пил у завислому стані. Ці небезпеки наступні:

- колба електричної лампи виділяє так багато тепла (більше 200 °С), що від цього тепла може зайнятися пил;
- лампа може опинитися у масі зерна або пилу;
- удар може призвести до зруйнування колби і короткого замикання;
- гнучкий шнур може бути пошкоджений або погано з'єднаний з патроном;
- можуть використовувати лампи більшого розміру з більш високою потужністю, ніж допускає арматура, що зумовлює виділення зайвого тепла.

Вибухи пилу можуть бути зумовлені іскрами, що з'являються у разі короткого замикання в електричних системах, а саме у плавких вставках, пошкоджених і перевантажених кабелях, слабких і ненадійних з'єднаннях кабелів, відкритих контактах, відкритих сполучних коробках і всіх видах пошкодженого або погано відрегульованого електричного обладнання. Тому всі вузли повинні бути повністю закриті або розміщені в пилонепроникних вогнетривких корпусах. Електродвигуни можуть бути повністю закритими, але забезпечені охолоджувальним вентилятором, оскільки вони за умов повного навантаження нагріваються до температур близько 80 °С. У разі більш високої температури мастило підшипників може зайнятися. Залежно від застосування сучасні електродвигуни обладнують датчиками температури, які вимикають електродвигун у разі перевищення певної температури.

Статична електрика виникає під час переміщення зерна. Основним захистом від пожеж через статичну електрику є правильне електричне заземлення всіх елементів обладнання і збереження нерозривності електричного кола під час експлуатації. Всі конвеєрні стрічки та транспортне обладнання повинні бути з матеріалів, що характеризуються доброю електропровідністю.

Вибух зернового пилу може зумовити тепло, яке виділяється у разі тертя норійних і конвеєрних стрічок, зокрема під час пробуксовування на приводному барабані. Причиною пробуксовування можуть бути недостатній натяг стрічки, зношене або відсутнє футерування барабана, стара конвеєрна стрічка зі зношеною гумовою або поліхлорвініловою обкладкою і оголеним каркасом, блокування стрічки у разі перевантаження або завалення конвеєрної системи зерном. Рекомендують керувати рухом стрічки за допомогою вимикача, що реагує на швидкість (датчик пробуксовування) і поєднаного з приводним барабаном.

Іншим потенційним джерелом займання зернового пилу може бути неспіввісно розташована норійна або конвеєрна стрічка, що зміщується і стирається об різні огорожі і опорні елементи. Це може бути зумовлено: зміщенням конвеєрної стрічки, нерівномірним її натягом, неправильним подаванням зерна, яке зміщує стрічку в бік, пошкодженими ковшами (норія), заклиненними роликоопорами (стрічковий конвеєр), пошкодженим з'єднанням кінців стрічки, пошкодженим підшипником приводного барабана. Тому необхідно встановлювати відповідний зазор для узгодження руху конвеєрної стрічки.

Перегрівання та іскріння внаслідок механічного пошкодження обертового обладнання (пошкоджені ковші, зубчасті передачі, крильчатка вентиляторів, муфти, ланцюгові передачі і заклинені барабани) також можуть бути джерелом займання зернового пилу.

Розглянемо методи захисту від вибухів на елеваторах. Існує чотири найбільш поширених методів запобігання вибухам: стримування сили вибуху; розряджання вибуху; уведення у вибухонебезпечне приміщення інертного газу; автоматичне гасіння вибуху.

Метод І. Стимування вибуху полягає у забезпеченні достатнього опору конструкції силі вибуху, а саме тиску, який стрімко наростає під час вибуху. Зокрема, це стосується повітропроводів. Щоб запобігти поширенню вогню від

одної конструкції до іншої у невеликих приміщеннях встановлюють пневмоклапани, які мають швидко спрацювати.

Метод II. Вибухорозрядні пристрої – це відкритий отвір або вбудована у стінку вмістища слабка секція (розривна запобіжна мембрана), яка у разі вибуху зруйнується за дуже низького надмірного тиску і забезпечить вихід газів, що розширюються. Якщо вибухорозрядники встановлюють збоку вмістища, то під час вибуху має відкидатися ще і верхня кришка. Наприклад, сильний вибух, що почався в нижній частині норії, яка має тільки один вибухорозрядник зверху, буде створювати тиск, достатній для розривання норійної труби, по мірі його переміщення по ній, задовго до того, як вибухова хвиля досягне отвору зверху.

До певних недоліків таких пристроїв, на нашу думку, належить те, що якщо вибухорозрядження з обладнання відбувається у приміщенні, в якому накопичується пил на горизонтальних поверхнях і підлозі, то вибухова хвиля, що створюється внаслідок вибухорозрядження (розривання запобіжної мембрани), в поєднанні з поширенням полум'я із захищеного обладнання може призвести до вторинного вибуху в будівлі з більшими зруйнуваннями, ніж за первинного вибуху. Отже, якщо системи вибухорозрядження встановлено усередині будівлі елеватора, то необхідно, щоб до вибухорозрядного отвору було приєднано трубопровід, що виходить з будівлі, щоб захистити працівників і обладнання від полум'я, продуктів згоряння і ударної хвилі.

Розміри вибухорозрядних отворів для скидання тиску визначають залежно від об'єму вмістища, максимально допустимого надлишкового тиску, максимального ступеню підвищення тиску в повітроводі і розривного тиску запобіжної мембрани. Знаючи ці параметри, розраховують розміри отвору.

Метод III. Цей метод передбачає замінення частини кисню повітря інертним газом, в результаті чого у приміщенні створюється газова суміш із занадто малою часткою кисню для підтримання процесів горіння (поширення полум'я). Пил органічного походження вже нездатний утворювати

вибухонебезпечну суміш, якщо концентрація кисню у пилоповітряної суміші менше 8%.

Інертизації вибухонебезпечної суміші пилу з повітрям можна досягти додаванням одного з таких інертних газів: азот, діоксид вуглецю і похідні галогенів. Найчастіше використовують азот і діоксид вуглецю.

Деякі вогнегасильні порошки (фосфат амонію, карбонат натрію і калію) мають значно вищий інертизувальний вплив на спалимі суміші пилу і повітря, ніж інертні гази, якщо їх рівномірно змішати з пилом у всьому об'ємі приміщення, яке потрібно захистити. Вважаємо, що цей метод захисту для елеваторів малопридатний через їх великі об'єми і необхідність постійно контролювати склад газу в різних точках елеватора. Більш доцільно спроектувати систему, в якій інертна газова суміш буде рециркулювати з мінімальною втратою під час проходження через два найбільш уразливих для вибухів пристрої: норію і фільтри.

Метод IV. Автоматичне гасіння вибуху полягає у швидкому підведенні інертного агента для гасіння фронту полум'я після отримання сигналу про надмірний тиск від датчика тиску. У разі загоряння пилоповітряної суміші полум'я спочатку переміщається досить повільно, то ж перше підвищення тиску можна виявити швидко, а отже може бути увімкнено систему подавання вогнегасильної речовини. Це пригнічує вибух до того, як він досягне своєї повної сили, тиск підвищиться до небезпечного рівня. Виявлення і гасіння відбувається протягом тисячних часток секунди. Такий метод може бути реалізовано для норій елеватора.

У норіях захист складається з пристрою для виявлення підвищення тиску і вибухогасівників з високою швидкістю подавання вогнегасильного порошку, розміщених у різних точках норії. Система такого типу виявилася ефективною для гасіння загоряння у випускних воронках тканинних фільтрів.

## ВИСНОВКИ

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 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 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 пилоповітряних сумішей

3. Досліджено причини створення пилоповітряних 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.

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



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Станкевич Г.Н. Современное состояние рынка зернохранилищ. *Зернові продукти і комбікорми*. 2010. № 3. С. 34-40.
2. Неменуца С.М., Фесенко О.О., Лисюк В.М. Підприємства по зберіганню зерна: ризик виникнення пожеж. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2019. № 1 (7). С. 3-12.
3. Теплов А.Ф., Галкина А.В. Охрана труда на предприятиях по хранению и переработки зерна. М.: Изд-во "Агропромиздат". 1989. 384 с.
4. 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.
5. Зацеркляний М.М. Утворення пилу на підприємствах галузі хлібопродуктів і зменшення пиловиділення. *Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*. 2018. № 3(1). С. 16-20.
6. Штокман Е.А. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности. М.: АСВ. 2001. 564 с.
7. 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.
8. Технічний регламент зернового складу. Затверджено наказом Мінагрополітики України від 15.06.2004 р. № 228, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 05.07.2004 р. за № 835/9434.
9. Шалугін В. С., Шмандій В.М. Процеси та апарати промислових технологій: навч. посібник. К.: Центр учбової літератури. 2008. 392 с.
10. 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.

11. Дмитрук Є.А., Гопанюк О. І. Правила проектування аспіраційних установок підприємств по збереженню та переробці зерна. К., Одеса: Друкарський дім. 1995. 131 с.
12. Козяр Н.М. Особливості вибухів та вибухопригнічення пило повітряних сумішей. *Пожежна безпека*. 2018. № 29. С. 57-65.
13. 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.
14. 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.
15. Клевлеев В.М., Минаев Д.С., Алифериєва М.А. Пожаровзрывоопасность взвешенной ультрадисперсной пыли. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2009. № 12. С. 11-13.
16. Гросул Л.Г., Гапонюк О.І., Мосієнко Г.А., Гончаренко Г.А. Удосконалення агрегатного устаткування та компоновка транспортно-функціональних комплексів. *Зернові продукти і комбікорми*. 2011. № 3. С. 48-50.
17. 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.
18. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні.
19. НАПБ В.01.057-2006/200. Правила пожежної безпеки в агропромисловому комплексі України.
20. 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.

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

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

23. 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.

24. Войналович О.В., Уманський М.О., Перетятко 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.