

*В.В. Корнійчук, Ю.І. Грицюк, д-р техн. наук, професор
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ВИБУХОНЕБЕЗПЕКА ЕЛЕВАТОРНОГО ПИЛУ ТА ВИБУХОЗАХИСТ ЕЛЕВАТОРІВ

Розглянуто статистику аварій на елеваторах і визначено основні причини вибухів на них. Встановлено, що елеваторний пил створює з повітрям вибухонебезпечні суміші, які за певних умов здатні вибухати, спричиняючи аварії на виробництві та призводячи до людських жертв. Застосування засобів вибухозахисту дає змогу значно знизити ступінь ризику на даних об'єктах.

Ключові слова: елеватор, вибух, зерно, елеваторний пил, силос, концентраційна межа розповсюдження полум'я, легкоскидні конструкції, пило-повітряна суміш.

Вступ. Вибухи горючого пилу на виробництві та пожежі, які зазвичай стають їх наслідком, тривалий час визнаються як одна з найбільших індустріальних небезпек. У 2006 році "Організація досліджень ступенів ризику на виробництві в США" (CSB), зафіксувала приблизно 280 випадків вибухів горючого пилу на своїх підприємствах за останні 25 років, що призвело до 119 летальних випадків та понад 700 людей отримали ураження різної важкості. З усіх видів вибухів пилу, вибухи зернового пилу вважаються найбільш небезпечними. Відомо, що 48 % усіх вибухів пов'язані з зерном та іншою сільськогосподарською продукцією. В будь-який час при кожному переміщенні, обробленні чи зберіганні зерна утворюється горючий пил. Повітря та джерела спалахування, як наприклад нагріті поверхні чи статична електрика, неодмінно наявні в транспортному обладнанні, сушарках тощо. Пожежна та вибухонебезпека існує там, де є зерновий пил. Тому необхідні добре сплановані протипожежні заходи, щоб попередити можливу небезпеку.

Мета роботи: дослідити процес утворення вибухонебезпечної суміші в приміщеннях елеваторів та визначити основні заходи захисту від вибухів пилу на елеваторах.

Основні завдання: визначення умов, за яких виникає небезпека вибухів на елеваторах; з'ясування способів захисту або зменшення збитків від них.

1. Небезпека вибуху зернового пилу при його обробленні чи переміщенні

Вибух пилу відбувається, коли дрібні частинки, які знаходяться у повітрі, швидко спалахують, спричиняючи швидке розширення нагрітої газоповітряної суміші і, як наслідок, збільшення тиску. Зерно, враховуючи характер його оброблення та зберігання, з точки зору вибухо-пожежонебезпеки є одним з найбільш небезпечних продуктів сільського господарства.

Зерно, зазвичай, зберігається у великих вертикально розташованих силосах. За допомогою норій зерно підіймається нагору, спочатку потрапляє в надсилосне приміщення, а звідти подається у силоси, де їх поступово заповнює. Під час засипання зерна в силоси, зерновий пил підіймається у повітря, створюючи вибухонебезпечну концентрацію.

Вибухові зернового пилу сприяє багато факторів. Перший і найочевидніший – це наявність самого пилу як горючого матеріалу. Деякі негорючі матеріали, які в твердому стані є абсолютно безпечними, наприклад, алюміній, здатні спричинити вибухи значної сили, коли вони знаходяться у вигляді пилу.

Розмір часток пилу також має важливе значення при визначенні ступеня сили вибуху. Пил, утворений з крупнозернистих часток, спалахує лише на поверхні хмари, де відбувається контакт з окисником (повітрям). Дрібнозернистий пил утворює хмару, значно більшу за розміром. Окрім цього, дрібні частинки важать менше і, зазвичай, залишаються у повітрі довший час. Загалом, частинки пилу менші, ніж 840 мікрон (0,033 дюйма), призводять до небезпеки вибуху [9].

Частинки пилу повинні знаходитись в повітрі в певних концентраціях для того щоб підтримати процес горіння. Ця величина має назву нижньої (верхньої) концентраційної межі розповсюдження полум'я (Н(В)КМРП). Н(В)КМРП – це мінімальна (максимальна) концентрація горючого матеріалу в однорідній суміші з окисником (повітрям, киснем тощо), при якому можливе поширення полум'я в суміші на будь-яку відстань від джерела запалювання (відкрите полум'я, іскровий розряд). Нижня/верхня концентраційна межа залежить від властивостей реагентів, тиску та температури, при яких відбувається реакція, та наявності негорючих домішок (флегматизаторів) у суміші пилу.

При хмарі пилу, концентрацією $0,7 \text{ г/м}^3$, видимість людини не буде перевищувати 1 м, а саме при такій концентрації буде виникати небезпека вибуху. Очевидно, що в місцях перебування людей майже відсутня можливість утворення вибухонебезпечних концентрацій. Проте, такі концентрації існують в норіях, зернових конвеєрах, бункерах, силосах та інших подібних спорудах, де зберігається чи переміщується зерно.

Пил, утворений різною сільськогосподарською продукцією, має власні фізичні властивості та вибухонебезпечні характеристики. Приблизні параметри наведено в табл. 1 [4].

Таблиця 1

Характеристики пилу різного рослинного походження

Тип пилу	Температура спалахування хмари пилу, °С	Мінімальна енергія спалахування, Дж	Мінімальна концентрація спалахування, г/м^3	Максимальний тиск вибуху, кПа	Відносна небезпека вибуху
1	2	3	4	5	6
Люцерна	460	0,32	100	66	Слабка
Какао	420	0,1	45	65	Помірна
Кукурудза	400	0,04	45	95	Висока
Кукурудзяні початки	400	0,04	30	110	Дуже висока
Крохмаль	380	0,02	40	115	Дуже висока
Бавовняне волокно	520	1920	500	48	Слабка
Бавовняна сировина	470	0,06	50	104	Висока
Зерно мішане	430	0,03	55	115	Висока
Рис	440	0,04	45	93	Висока
Цукор	350	0,03	35	91	Дуже висока
Тютюн	420	---	---	7	---
Пшениця	480	0,06	55	103	Висока
Борошно	380	0,05	50	95	Висока

Проте необхідно зазначити, що максимальний тиск вибуху пилу досягається рідко. Для цього необхідна кількість пилу, яка змогла б у завислому стані перевищити мінімальну концентрацію спалахування і кількість окисника в більших пропорціях, ніж при нижній концентраційній межі. Багато залежить від резервуара чи приміщення, в якому відбувається вибух. При наявності технологічних отворів, нещільностей з'єднань чи запірної арматури максимальний тиск при вибуху не буде досягнутий.

Першопричину, яка призвела до вибуху зернового пилу на елеваторі, та місцезнаходження початкового вибуху в багатьох випадках неможливо визначити, що показано у табл. 2 і 3 [4].

Таблиця 2

Джерела спалахування, які призводять до вибухів зернового пилу в елеваторах з 1978 по 1995 рр.

Причина вибуху	Кількість
Невідома	117
Зварювальні роботи	43
Несправність електрообладнання та електропроводки	10
Іскріння при поломці металевих конструкцій	10
Вогневі роботи (крім зварювальних)	10
Невідомі сторонні предмети	9
Теплові прояви тертя при утрудненні руху сировини	8
Перегрів підшипників	7
Випадкові іскри	7
Іскри від тертя конструктивних елементів	7
Блискавки	6
Несправність двигуна	4
Статична електрика	3
Вогонь від тертя пасових передач	3
Вихід назовні горючої пари	3
Куріння	2
Гасіння пожежі	1
Всього	250

Таблиця 3

Місцезнаходження початкового вибуху

Місцезнаходження	Кількість
Невідоме	107
Норії	58
Силоси	30
Робоча вежа	9
Прилеглі будівлі	8
Підвал	4
Пилозбірник	3
Тунелі	2
Пасажирський ліфт або ліфтова шахта	2
Зернові сушарки	2
Приймальна яма	2
Інші	9

2. Заходи захисту від вибухів пилу на елеваторах

Аналізуючи причини вибуху пилу, необхідно зазначити, що трапляються випадки так званих вторинних вибухів, що відбуваються одразу ж після основного (первинного). Це явище відбувається через здіймання в повітря внаслідок первинного вибуху пилу, що знаходився на стінах та поверхні обладнання. Вторинні вибухи, викликані так званим "каскадним ефектом", часто завдають набагато більше шкоди, ніж первинні. Каскадні вибухи можуть переміщуватися з приміщення в приміщення чи з силоса в силос. Це звична справа для зерносховищ, тобто найбільш вибухонебезпечним місцем елеватора є об'єм силоса [4,5].

Силоси зерна – вертикальні циліндри, виготовлені з залізобетону чи сталі. Їх функція – зберігання та попереднє оброблення багатьох видів сільськогосподарської продукції. Згідно з будовою елеватора, зерно норіями, розташованими в робочій вежі, подається в верх-

ню частину елеватора, а потім – в надсилосне приміщення, звідки засипається безпосередньо в силос. Продукція зберігається в силосі для подальшого оброблення або відвантаження. Відвантаження зерна відбувається з нижньої частини силоса. Всі конструктивні елементи, пов'язані зі зберіганням зерна, здебільшого проектуються так, щоб знизити тиск при можливому вибуху. Для цього використовують двері, вікна, легкоскідні конструкції (ЛСК). Це значно зменшує шкоду, завдану при вибуху, адже пошкоджені вікна набагато легше поновити, ніж несучі конструктивні елементи. До ЛСК також належать шибки вікон та аераційні ліхтарі¹. Вони влаштовуються в приміщеннях категорії А і Б. Площа ЛСК визначається розрахунком, проте має становити не менше 0,05 м² на 1 м³ об'єму приміщення категорії А та не менше 0,03 м² на 1 м³ об'єму приміщення категорії Б.

У виробничих будівлях категорії Б, висотою понад 30 м, доцільно запроєктувати не задимловальні сходові клітки 1-го типу (з входом на сходову клітку через зовнішню повітряну зону з балконів та лоджій).

Для запобігання можливості розповсюдження високотемпературних продуктів вибухового горіння самотечними трубопроводами, повітроводами, закритими конвеєрами і іншими комунікаціями з метою уникнення можливості виникнення вторинних вибухів у бункерах і силосах необхідно забезпечувати систему локалізації вибухів. Такі системи можуть розділяти загальну технологічну лінію на більш короткі ділянки, локалізовані шляхом встановлення вогнеперешкоджальних пристроїв (шлюзові засувки, гвинтові конвеєри (шнеки), швидкодіючі пристрої, які запобігають поширенню вибуху) [6].

Кожне приміщення, пов'язане зі зберіганням та переміщенням зерна, має мати систему відведення пилу. Для цього використовують фільтри для видалення пилу з повітря. Повітря проходить через фільтр, а пил залишається в ньому. Для забезпечення необхідної пожежної безпеки необхідно систематично видаляти цей пил з фільтра [11].

Значна увага має також приділятися електрообладнанню в приміщеннях, пов'язаних зі зберіганням зерна, в тому числі заземленню електричних пристроїв, де може виникати статична напруга. Малоімовірно, що іскра, спричинена статичним розрядом, змогла б стати причиною вибуху хмари зернового пилу, проте ці заходи необхідно виконувати, щоб уникнути ризику загалом [5]. Також доцільно використовувати електричну систему елеватора, здатну від'єднуватись автоматично при виникненні несправності в будь-якому блоці. Окрім зберігання власне зерна, в приміщеннях елеватора можуть знаходитись інші горючі матеріали. Для захисту цих приміщень використовують наявні пожежні крани. Проте треба враховувати спосіб подачі води та кут подачі, бо націлений струмінь води може підняти хмару пилу, збільшивши ризик вибуху. Фуміганти² для боротьби з комахами-шкідниками також можуть сприяти можливому вибуху. Пари легкозаймистого чи горючого фуміганта могли б знизити нижню концентраційну межу розповсюдження полум'я для зернового пилу, проте на сьогодні немає відповідних досліджень для підтвердження чи спростування цієї теорії.

Утримання приміщень в чистоті та систематичне видалення пилу – найголовніше завдання при зберіганні зерна. Найкращі запобіжні пристрої не можуть функціонувати справно без необхідного обслуговування. Пристрої для відведення пилу необхідно періодично перевіряти, щоб гарантувати їх безперебійну роботу. Також необхідно видаляти пил з виступів, стін, де він часто осідає, чи з'являється внаслідок аварії.

¹ Аераційний ліхтар – конструктивний елемент, який застосовують у цехах із значними газо – і тепловиділеннями. Дія аерації ґрунтується на тепловому підпорі, що виникає унаслідок різниці температур внутрішнього і зовнішнього повітря. Тепле внутрішнє повітря піднімається вгору і виходить через витяжні отвори, а на зміну йому через нижні (припливні) отвори проникає в приміщення холодне зовнішнє повітря або через різницю перепаду висоти між витяжними і припливними отворами.

² Фумігант – пестицид, який має найбільший ефект при використанні в вигляді газу, пари, диму. Фумігант використовується для знищення комах, гризунів та інших шкідників у продовольчих запасах.

Серед конструктивних рішень, які використовують для запобігання вибуху чи зменшення завданої шкоди, якщо вибух відбувся, можна вказати технічні засоби контролю на технологічному обладнанні, до яких належать давачі контролю швидкості, сходження стрічки, давачі підпору зерна та ін. Норії, зерносушарки, фільтри-циклони оснащуються вибухорозрядними пристроями.³ Для зменшення ризику аварій застосовують полімерні матеріали в норіях, конвесерах, бункерах і силосах. Також цікавою є система масляного зрошення зерна, яка дає змогу знизити концентрацію пилу всередині обладнання при транспортуванні [3].

Висновки:

1. Досліджені умови, за яких утворюється вибухонебезпечна концентрація пилу з повітрям в приміщеннях та обладнанні елеваторів та умови, які призводять до вибуху. Встановлено, що зерно, враховуючи характер його зберігання та транспортування в елеваторі, є одним з найбільш небезпечних продуктів сільського господарства з точки зору вибухо-, пожежонебезпеки.

2. Враховуючи небезпеку виникнення вибухів великої потужності, існує низка запобіжних заходів та конструктивних рішень з метою уникнення утворення вибухонебезпечної концентрації пилу та повітря, обмеження виникнення джерел запалювання та зменшення можливої шкоди, завданої вибухом. Комплексний підхід до забезпечення вибухозахисту елеваторів та використання інноваційних досягнень в цій сфері може значно зменшити ризик вибухів на даних підприємствах.

Список літератури:

1. **Вогман Л.П.** Анализ пожарной опасности пневмотранспортных установок горючих пылей и меры по обеспечению их пожарной безопасности / Л.П. Вогман, В.А. Зуйков, А.Е. Чистов // Пожарная безопасность. – 2006, № 5. – С. 52-58.

2. **Семенов Л.И.** Взрывобезопасность элеваторов, мукомольных и комбикормовых заводов / Л.И. Семенов, Л.А. Теслер. – М.: Агропромиздат, 1991. – 367 с.

3. **Теплов А.Ф.** Защита от взрывов и аварий на производстве / А.Ф. Теплов. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.securpress.ru/issue/Pavt/2006/teplov.html>.

4. **Kennedy, John.** Explosion Investigation and Analysis: Kennedy on Explosions/ Kennedy, Patrick M. and Kennedy, John. – Chicago: Investigations Inst., 1990. – 451 pages.

5. **Arthur Cote.** Industrial Fire Hazards Handbook / Cote, Arthur. – Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 1990. – chapter 8.

6. **Murray A. Cappers, Jr.** Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids/ Murray A. Cappers, Jr., Joe R. Barton, Kris Chatrathi. – Denver: National Fire Protection Association, NFPA 61A. – 2000. – 21-25 pages.

7. **Standard** for the Prevention of Fires and Explosions in Grain Elevators and Facilities Handling Bulk Raw Agricultural Commodities, – Quincy, Massachusetts: NFPA 61B. – 1989.

8. **David James Price.** Dust Explosions: Theory and Nature of. Phenomena, Causes and Methods of Prevention / Price, David James and Brown, Harold H. – Boston, Mass.: NFPA – 1922.

9. **Roger Sterhlow.** Prevention of Grain Elevator and Mill Explosions / Roger Sterhlow, John E. Albertson, William C. Brasie. – Washington D.C., National Academy Press. – 1982. – 13-30, 123-126 pages.

10. **Randall C. Gordon,** Dust Control for Grain Elevators / Randall C. Gordon. – Washington, D.C. National Grain & Feed Association, 1981. – 351-367 pages.

³ Вибухорозрядні пристрої (далі в.п.) – мембрани із заданою площею, розраховані на низький розривний тиск, які встановлюються на отвір конструкції, що захищається. У разі швидкого горіння в.п. забезпечують при виникненні розривного тиску заздалегідь певної величини (P_{stat}) швидке і нічим не обмежене розкриття, завдяки чому продукти горіння, що збільшуються в об'ємі, виходять через випускний отвір. Площа мембрани, необхідна для захисту установки або устаткування може визначатися за допомогою існуючих державних стандартів.

ВЗРЫВООПАСНОСТЬ ЭЛЕВАТОРНОЙ ПЫЛИ И ВЗРЫВОЗАЩИТА ЭЛЕВАТОРОВ

Рассмотрена статистика аварий на элеваторах и определены основные причины взрывов на них. Установлено, что элеваторная пыль создает с воздухом взрывоопасные смеси, которые при определенных условиях способны взрываться, вызывая аварии на производстве и приводя к человеческим жертвам. Применение средств защиты от взрыва дает возможность значительно снизить степень риска на данных объектах.

Ключевые слова: элеватор, взрыв, зерно, элеваторная пыль, силос, концентрационный предел распространения пламени, легкобрасываемые конструкции, пылевоздушная смесь.

V.V. Korniychuk, Yu.I. Hrytsyuk

HIGHLY EXPLOSIVE ELEVATOR DUST AND EXPLOSION PROTECTION OF ELEVATORS

The statistics of accidents at elevators is considered. The basic reasons for explosions are prescribed. Elevator dust and air create explosive hazardous mixture which can explode, cause accidents and human victims. The usage of explosion protection means allows reducing the level of risk on these enterprises.

Key words: elevator, explosion, grain, elevator dust, silo, concentration border of flame spreading, easy overthrowing constructions, dust and air mixture/

