

## ВПРОВАДЖЕННЯ АСПІРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ СТАНЦІЇ РОЗВАНТАЖЕННЯ АВТОМОБІЛІВ НА ЕЛЕВАТОРІ IMPLEMENTATION OF DUST COLLECTION SYSTEM FOR AN ELEVATOR UNLOADING STATION

Гетьман Б. А., Волошина Н. О.  
Український державний університет  
імені Михайла Драгоманова  
*n.o.voloshyna@udu.edu.ua*

### Анотація

Стаття присвячена впровадженню аспіраційної системи на лінійному зерновому елеваторі ємністю 80 000 т (продуктивність 100 т/год) для видалення пилу під час розвантаження зерна з автомобілів у два приймальних бункери станції розвантаження автомобілів (СРА). Встановлена система (загальний об'єм повітря 84 000 м<sup>3</sup>/год, потужність 66 кВт) складається з дванадцяти аспіраційних рукавних фільтрів типу «аспіраційна шафа» (по шість комплектів на кожен приймальний бункер) з імпульсною регенерацією (ефективність 99,99 % для частинок  $\geq 2$  мкм). Вимірювання показали зниження концентрації пилу з 11 г/м<sup>3</sup> до 0,2 г/м<sup>3</sup> в зоні розвантаження та 1-4 мг/м<sup>3</sup> в робочих зонах приміщення СРА, при цьому викид після фільтрів не перевищує 10 мг/м<sup>3</sup>. Це рішення суттєво зменшило втрати зернового пилу (повернення продукту в технологічний процес) та знизило вибухонебезпечну концентрацію пилу (класифікація АТЕХ змінена з Зони 20+21 до Зони 21+22). Проектування виконано за методикою Industrial Ventilation (30-е вид.), відповідно до вимог стандартів ДСТУ EN 1127-1, ДСТУ ІЕС 60079-10-2 та законодавства ТР №1055,

НПАОП 0.00-7.23-23. Отримані результати продемонстрували підвищення екологічної безпеки, покращення умов праці, зниження ризику вибуху та економічні переваги від реалізації системи.

**Ключові слова:** аспірація, пил, зерновий елеватор, приймальний бункер, вибухонебезпечна зона, фільтрація, охорона праці.

*Hetman B.A., Voloshyna N.O. Mykhailo Dragomanov Ukrainian State University Postgraduate Student, Department of Ecology and Tourism*

### Abstract

The article is devoted to the implementation of an dust collection system on a linear grain elevator with a capacity of 80,000 tons (capacity 100 tons/hour) for dust removal during the unloading of grain from cars into two receiving hoppers of the car unloading station (CRA). The installed system (total air volume 84,000 m<sup>3</sup>/hour, power 66 kW) consists of twelve aspiration bag filters of the «dust collection wall» type (six sets for each receiving hopper) with pulse regeneration (efficiency 99.99% for particles  $\geq 2$  microns). Measurements showed a decrease in dust concentration from 11 g/m<sup>3</sup> to 1 g/m<sup>3</sup> in the unloading

zone and 1-4 mg/m<sup>3</sup> in the working areas of the CRA premises, while the emission after the filters does not exceed 10 mg/m<sup>3</sup>. This solution significantly reduced grain dust losses (product return to the technological process) and reduced explosive dust concentrations (ATEX classification changed from Zone20+21 to Zone21+22). The design was performed using the Industrial Ventilation (30th edition) methodology and in accordance with the requirements of DSTU EN 1127-1 [1], DSTU IEC 60079-10-2 and legislation TR No. 1055, NPAOP 0.00-7.23-23. The results obtained demonstrated increased environmental safety, improved working conditions, reduced explosion risk and economic benefits from the implementation of the system.

**Keywords:** dust collection system, dust, grain elevator, receiving pit, hazardous area, filtration, occupational safety.

### Постановка проблеми

Розвантаження зерна з автомобілів на елеваторі призводить до викиду значної кількості зернового пилу, що негативно впливає на довкілля та створює вибухонебезпечну атмосферу. Актуальним завданням є зниження запиленості до безпечних рівнів, що стало основою для наукових досліджень.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У профільній літературі та стандартах [1] підкреслюється важливість локальної аспірації на зернових підприємствах. Використання точкових рукавних фільтрів [14] є одним із найефективніших рішень для уловлювання пилу під час прийому зерна. Інженерні довідники Industrial Ventilation [9] та Handbook of Environmental Engineering [12] описують методики визначення швидкості уловлювання пилу та розрахунку необхідної витрати повітря. Зокрема, введено поняття «повітряно-тканинне відношення» (Air-to-Cloth Ratio) – відношення об'ємної витрати повітря до площі фільтрувальних елементів, яке використовують для розрахунку необхідної площі фільтрації в аспіраційних фільтрах.

### Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є процес приймання

зерна на лінійному зерновому елеваторі ємністю 80 тис. тонн і роботою транспортного обладнання з продуктивністю 100 т/год, який супроводжується інтенсивним пиловиділенням. Без аспірації концентрація пилу у приміщенні CRA при послідовному прийманні зернових може накопичуватись та сягати 35 г/м<sup>3</sup>, що значно перевищує гранично допустимі значення. Предметом дослідження є аспіраційна система приймального бункера, зокрема її конструкція, розрахункові параметри та вплив на рівень запиленості і вибухонебезпечності в робочій зоні.

### Методи дослідження

У роботі використано розрахунково-аналітичні методи проектування аспіраційних систем та експериментальні вимірювання запиленості повітря. Проектні розрахунки виконано за рекомендаціями довідників з промислової вентиляції та контролю забруднень повітря [9], з урахуванням стандартів вибухозахисту [1]. Вимірювання концентрації пилу проводились вже з застосуванням Flap-системи [17], до та після запуску системи аспірації з використанням сертифікованих приладів.

### Опис об'єкта

Розглядається лінійний зерновий елеватор (склад зерна), що включає приміщення станції розвантаження автотранспорту (CRA) із двома приймальними бункерами довжиною 20 м кожен та шириною 4,5 м. Падіння зерна з кузова автомобіля у бункер з висоти 2 м є основним джерелом утворення пилу. Отримані значення підтвердили, що без систем аспірації концентрація пилу в цьому приміщенні може досягати 35 г/м<sup>3</sup>, що створює небезпеку вибуху та перевищує норми щодо пилу у повітрі робочої зони.

### Проектування аспіраційної системи. Методика розрахунку

Задачею було забезпечити ефективне видалення пилу з приміщення CRA яке містить два приймальні бункери довжиною 20 м кожний. Встановити аспірацію уздовж усього бункера довжиною 20 м було б дуже затратно з точки зо-



шафа» [14]. Поправковий коефіцієнт визначено як добуток факторів, що враховують особливості пилу та режиму роботи:

$$F = F_S \times F_L \times F_T \times F_A$$

Де:  $F_S$  – коефіцієнт за розміром часток пилу (=1,2);  $F_L$  – за пиловим навантаженням (=0,9);  $F_T$  – за температурою (=1);  $F_A$  – за характером технологічного процесу (=1) [14].

Підставивши коефіцієнти, отримуємо  $F = 1,08$ . Таким чином, мінімально необхідна площа фільтрації для одного приймального бункеру складає

$$S = \frac{700 \text{ (м}^3/\text{хв)}}{5 \text{ (м}^3/\text{м}^2/\text{хв)} \times 1,08} = 129 \text{ (м}^2\text{)}$$

Отримане значення визначає мінімальну необхідну площу фільтрації аспіраційної системи для одного приймального бункеру СРА.

### Вибір обладнання. Аспіраційні фільтри

На основі виконаних розрахунків було обрано конфігурацію аспіраційної системи. Фільтри повинні охоплювати ефективну довжину зони уловлювання пилу  $W = 6$  м. Проаналізувавши модельний ряд рукавних фільтрів типу «аспіра-

ційна шафа» PULCO AIR NSFS, зупинилися на шести фільтрах моделі NSFS 02×1225 [14]. Кожен фільтр має площу фільтрації 23 м<sup>2</sup>. Фільтри встановлено по 3 штуки з кожного боку приймального бункеру в зоні падіння матеріалу [рис. 1], сумарно 6 фільтрів із загальною площею фільтрації 138 м<sup>2</sup>.

### Вибір обладнання. Вентилятори

Для відводу повітря від кожного фільтру підібрано окремий радіальний вентилятор. Виходячи з необхідної продуктивності 7000 м<sup>3</sup>/год на фільтр (42 000 м<sup>3</sup>/год / 6) та враховуючи аеродинамічний опір фільтра, повітроводів і вентиляційних решіток (1800 Па), обрано вентилятори моделі RH 400/2 потужністю 5,5 кВт кожен [11].

### Вибір обладнання

Вентиляційні решітки притоку. Оскільки очищене фільтрами повітря викидається назовні будівлі, а відбирання відбувається з майже герметичного приміщення, необхідно компенсувати приплив повітря. Було передбачено 20 решіток розміром 1000×1000 мм, сумарною пропускною здатністю 84 000 м<sup>3</sup>/год [Рис. 2].

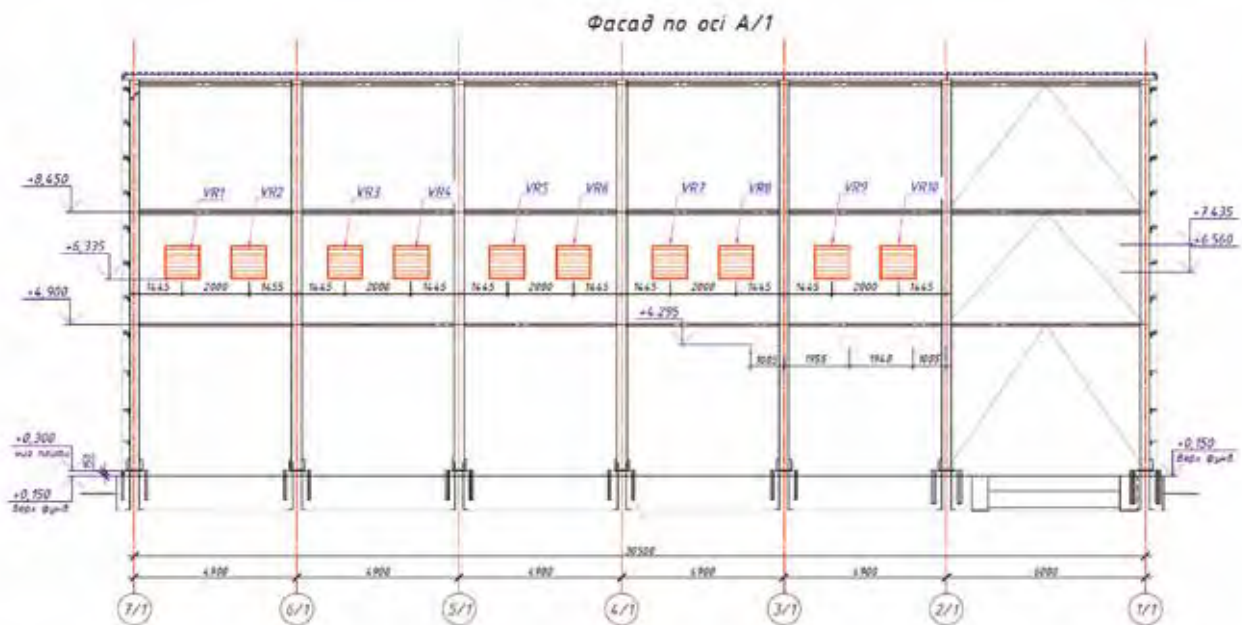


Рисунок 2. Розташування приливних вентиляційних решіток (VR1–VR10) на фасаді будівлі; розробка автора

## Основні елементи аспіраційної системи СРА; розробка автора.

№	Позначення	Обладнання (характеристики)	К-ть	Виробник
1	RW1.1–RW1.6, RW2.1–RW2.6	Рукавний фільтр NSFS 02×1225 Типу аспіраційна шафа, 24 рукави L=2500 мм, площа фільтрації 23 м <sup>2</sup> , ACR 5 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·хв, ефективність 99,99 % (≥ 2 мкм), Ex II 3D	12	TAMA AERNOVA (Італія) [11]
2	FD1.1–FD1.6, FD2.1–FD2.6	Вентилятор RH 400/2 Q=7000 м <sup>3</sup> /год, P=1850 Па, двигун 5,5 кВт, 3000 об/хв, Ex II 3D	12	MZ Aspiratori (Італія) [9]
3	FP1, FP2	Флар-система Розмір 20×4,5 × 0,4 м, сталь оцинк., мембрана ПУ антистат.	2	ТОВ «ЗЕО» (Україна) [14]
4	VR1–VR20	Вентиляційна решітка EPD-U Розмір 1000×1000 мм, сталь – приплив повітря	20	ТОВ «ТЕКО» (Україна) [6]

**Реалізація проєкту. Комплектація системи**

Реалізована система аспірації включає наступні основні компоненти (табл. 1). Фільтри та вентилятори сертифіковані для використання у пилових вибухонебезпечних середовищах. Флар-система виготовлена з оцинкованої сталі з антистатичними поліуретановими мембранами, призначена для утримання пилу в бункерах та уникненню накопичення статичних зарядів. Вентиляційні решітки забезпечують необхідний притік повітря.

**Реалізація проєкту. Схема аспірації**

Аспірація двох приймальних бункерів розділена на 8 автономних аспіраційних підсистем, відповідно до кількості точок викиду повітря. На рисунку 3 показано розташування кожної підсистеми (позначення АС – аспіраційна система, FD – вентилятор, RW – рукавний фільтр, номери 1.х та 2.х для першого і другого бункера). На рисунку 3 наведено план розташування аспірації, видно, що вздовж кожного з двох бункерів роз-

ташовані по три фільтри (RW) з вентиляторами (FD) і повітропроводами. Фільтри встановлені на фундаменті з обох боків бункерів, щоб не заважати проїзду транспорту.

**Результати. Зменшення запиленості повітря**

Запуск системи аспірації СРА показав досягнення значного зниження пилових концентрацій. До запуску аспірації концентрація пилу безпосередньо перед фільтрами становила 4-11 г/м<sup>3</sup>, тоді як після запуску лише 0,2 г/м<sup>3</sup>. Це означає зниження концентрації в зоні виділення пилу в 55 разів, тобто ефективність аспірації на рівні 98 %. А концентрація пилу за межами зони виділення пилу 1-4 мг/м<sup>3</sup>, що відповідає вимогам ГДК в робочій зоні. Викид пилу з фільтрів не перевищує 10 мг/м<sup>3</sup>.

**Результати. Зниження небезпеки вибуху**

Важливим результатом є зміна класифікації вибухонебезпечної зони приміщення СРА. Використання Флар-системи та аспірації знизило

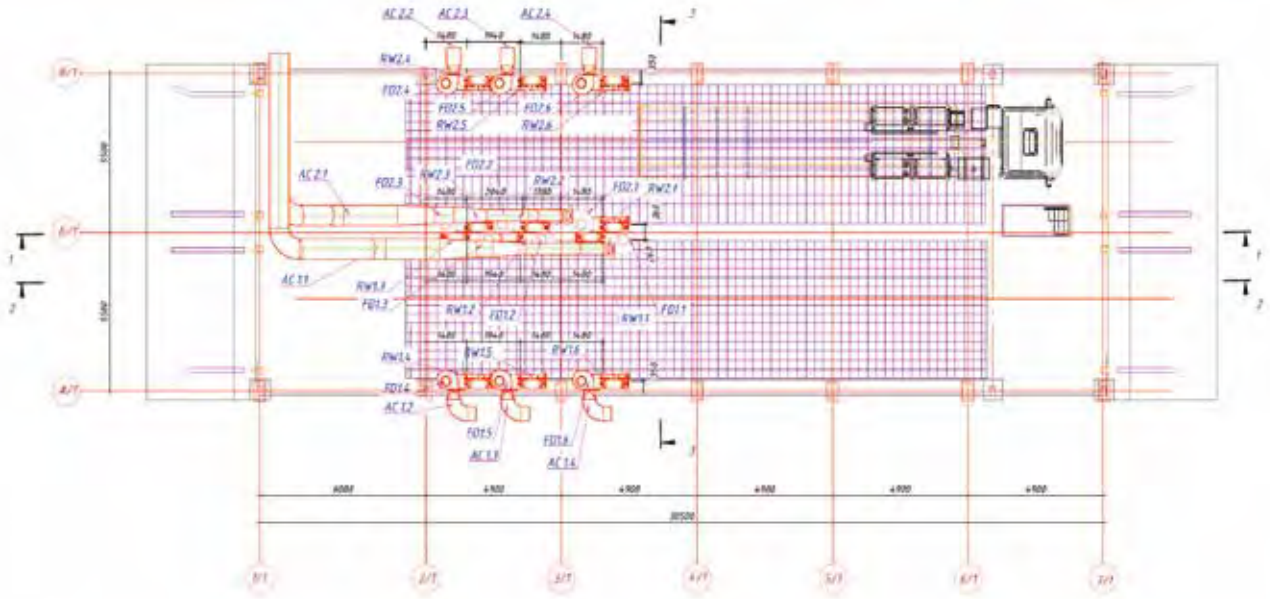


Рисунок 3. Встановлення аспіраційних систем – план CPA на відм. +0,150 м; розробка автора

рівень вибухонебезпечної з Зони 20 + 21 (рис. 4) до локальної Зони 21 + зона 22 (рис. 5). Це значно зменшує ризик вибуху пилу та вартість електричних приладів в приміщенні CPA в 1,5-2,5 рази.

**Результати. Економічний ефект**

Слід зазначити і економічні наслідки, установка системи аспірації дозволяє повертати в технологічний процес весь уловлений пил а не втра-

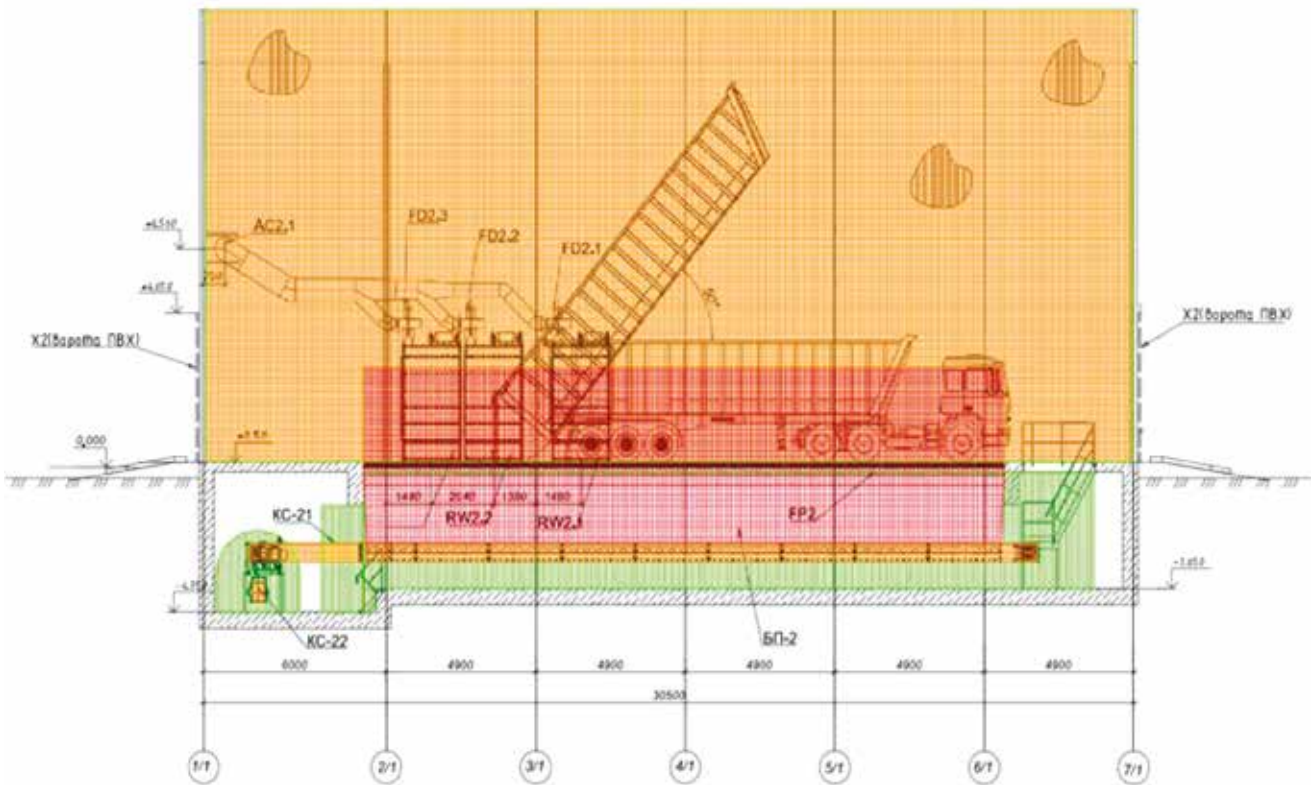


Рисунок 4. Класифікація вибухонебезпечних зон без аспірації та Flap-системи (червоний – Зона 20, помаранчевий – Зону 21, зелений – Зона 22); розробка автора

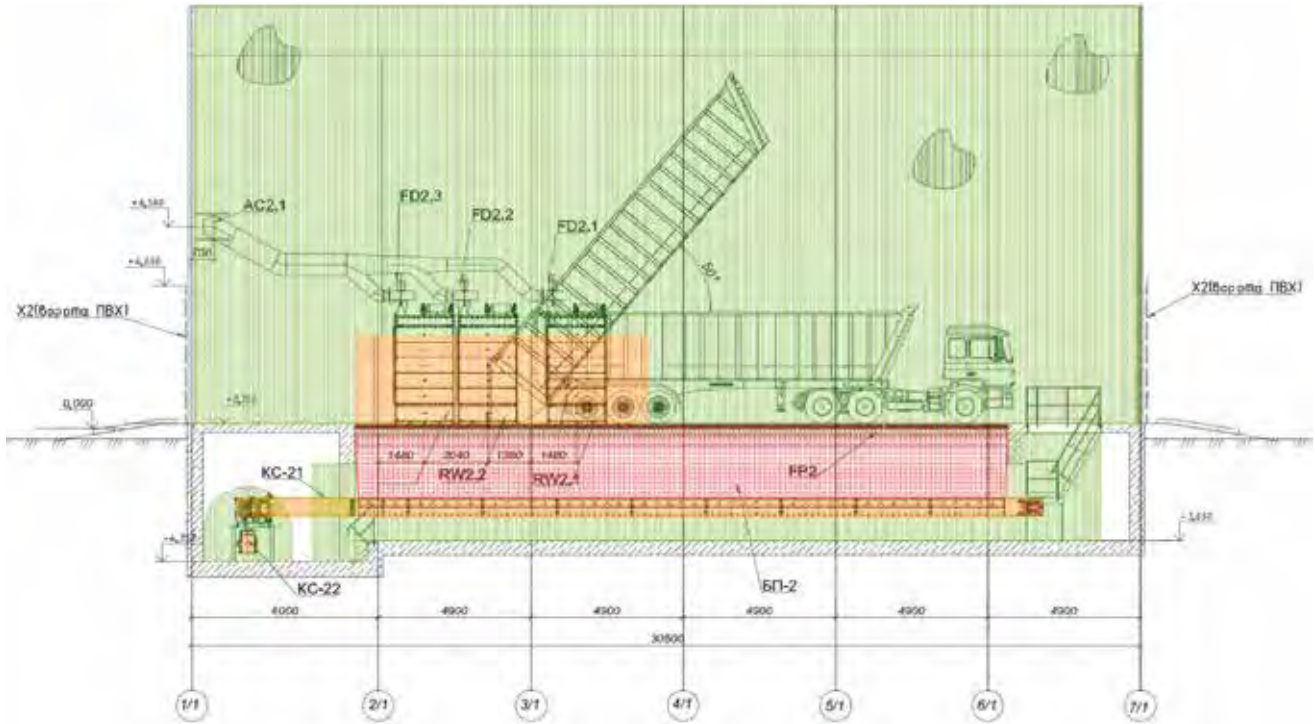


Рисунок 5. Класифікація вибухонебезпечних зон з аспірацією та Flap-системою (червоний – Зона 20, помаранчевий – Зону 21, зелений – Зона 22)

чати його у вигляді забруднення підприємства. Це дозволяє на наступних етапах технологічного процесу сепарувати пил від зерна та використати його у виробництві комбикормів, а також виключити затрати на прибирання.

### Перспективи подальших досліджень

Надалі планується проведення довготривалої оцінки роботи встановленої аспіраційної системи (моніторинг протягом повного виробничого сезону). Цікавим напрямком є дослідження ефективності систем аспірації на інших вузлах елеватора – наприклад, на норіях (елеваторах) чи транспортерних галереях, де також виникають пилові викиди. Перспективним є поєднання аспірації з іншими технологіями герметизації, такими як Flap-система. Подальші дослідження можуть бути спрямовані і на автоматизацію контролю запиленості (встановлення датчиків пилу, систем онлайн-моніторингу) для забезпечення автоматичного регулювання роботи аспіраційної системи для економії електроенергії.

### Список використаної літератури

1. ДСТУ EN 1127-1:2020 Вибухонебезпечне середовище. Запобігання вибухам та захист від вибухів. Частина 1. Основні концепції та методологія (EN 1127-1:2019, IDT). [Чинний від 01.04.2021]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. 86 с.
2. ДСТУ EN 60079-10-2:2022 Вибухонебезпечні атмосфери. Частина 10-2. Класифікація зон. Вибухонебезпечні пилові середовища (EN 60079-10-2:2015, IDT; IEC 60079-10-2:2015, IDT). [Чинний від 01.07.2020]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 54 с.
3. ДСТУ EN ISO 80079-36:2017. Середовища вибухонебезпечні. Частина 36. Неелектричне устаткування для вибухонебезпечних атмосфер. Основний метод і вимоги (EN ISO 80079-36:2016, IDT; ISO 80079-36:2016, IDT). [Чинний від 01.07.2018]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 84 с.
4. ДСТУ EN ISO 80079-37:2017 Середовища вибухонебезпечні. Частина 37. Неелектричне устаткування для вибухонебезпечних атмосфер. Неелектричний ступінь захисту за допомогою конструкційної безпеки с, керування джерелом

займання b, занурення в рідину k (EN ISO 80079-37:2016, IDT; ISO 80079-37:2016, IDT). [Чинний від 01.07.2018]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 56 с.

5. ДСТУ EN ISO/IEC 80079-20-2:2019 Вибухонебезпечні середовища. Частина 20-2. Характеристики речовин. Методи випробування горючого пилу (EN ISO/IEC 80079-20-2:2016; AC:2017, IDT; ISO/IEC 80079-20-2:2016; Cor 1:2017, IDT). [Чинний від 01.07.2020]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 64 с.

6. ТЕКО Україна. Зовнішня вентиляційна решітка EPD-U. [Електронний ресурс]. URL: <https://teko-ua.com/ua/naruzhnaya-ventilyacziionnaya-reshetka-epd-u.html> (дата звернення: 01.11.2025).

7. МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ. Наказ « Про затвердження Мінімальних вимог щодо безпеки та здоров'я працівників, які потенційно зазнають ризику у вибухонебезпечних середовищах» від 09.04.2023 № 2259. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0967-23#Text> (дата звернення: 01.11.2025).

8. Постанова Кабінету Міністрів України № 1055 від 28.12.2016 « Про затвердження Технічного регламенту обладнання та захисних систем, призначених для використання в потенційно вибухонебезпечних середовищах» (ТР №1055). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1055-2016-p#Text> (дата звернення: 01.11.2025).

9. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design. 30th ed. Cincinnati : ACGIH, 2019. 624 p.

10. GESTIS – IFA DGUV. Grain (2035). [Електронний ресурс]. URL: <https://staubex.ifa.dguv.de/explokomp.aspx?nr=2035&lang=e> (дата звернення: 01.11.2025).

11. MZ Aspiratori. RH Series – Medium Pressure Centrifugal Fans. URL: <https://www.mzaspiratori.eu/centrifugal-fans/medium-pressure/rh-series> (дата звернення: 01.11.2025).

12. Pereira N. C., Wang L. K. Handbook of Environmental Engineering. Vol. 1. Boca Raton : CRC Press, 2009. 712 p.

13. Tama Aernova. Industrial Filtration Systems. URL: <https://www.tamaaernova.com/en/> (дата звернення: 01.11.2025).

14. TBS INDUSTRY. Аспіраційна шафа NS-FS. URL: <https://tbs-industry.com/obladnannya/aspiracijna-shafa-ns-fs/> (дата звернення: 01.11.2025).

15. Wikipedia. Air-to-cloth ratio. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Air-to-cloth\\_ratio](https://en.wikipedia.org/wiki/Air-to-cloth_ratio) (дата звернення: 01.11.2025).

16. ZEO-UA. Flap-система ZEO-VAB. [Електронний ресурс]. URL: <https://zeo.ua/ru/equipment/flap-sistema-zeo-vab> (дата звернення: 01.11.2025).

## References

1. DSTU EN 1127-1:2020 Explosive atmospheres. Explosion prevention and protection. Part 1. Basic concepts and methodology (EN 1127-1:2019, IDT). [Valid from 01.04.2021]. Kyiv: DP «UkrNDNTS», 2021. 86 p.

2. DSTU EN 60079-10-2:2022 Explosive atmospheres. Part 10-2. Zone classification. Explosive dust atmospheres (EN 60079-10-2:2015, IDT; IEC 60079-10-2:2015, IDT). [Valid from 01.07.2020]. Kyiv: DP «UkrNDNTS», 2020. 54 p.

3. DSTU EN ISO 80079-36:2017. Explosive atmospheres. Part 36. Non-electrical equipment for explosive atmospheres. Basic method and requirements (EN ISO 80079-36:2016, IDT; ISO 80079-36:2016, IDT). [Valid from 01.07.2018]. Kyiv: DP «UkrNDNTS», 2018. 84 p.

4. DSTU EN ISO 80079-37:2017 Explosive atmospheres. Part 37. Non-electrical equipment for explosive atmospheres. Non-electrical degree of protection by structural safety c, ignition source control b, liquid immersion k (EN ISO 80079-37:2016, IDT; ISO 80079-37:2016, IDT). [Valid from 01.07.2018]. Kyiv: DP «UkrNDNTS», 2018. 56 p.

5. DSTU EN ISO/IEC 80079-20-2:2019 Explosive atmospheres. Part 20-2. Characteristics of substances. Test methods for combustible dust (EN ISO/IEC 80079-20-2:2016; AC:2017, IDT; ISO/IEC 80079-20-2:2016; Cor 1:2017, IDT). [Valid from 01.07.2020]. Kyiv: State Enterprise «UkrNDNTs», 2020. 64 p.

6. ТЕКО Ukraine. External ventilation grille EPD-U. [Electronic resource]. URL: <https://teko-ua.com/ua/naruzhnaya-ventilyacziionnaya-reshetka-epd-u.html> (access date: 01.11.2025).

7. MINISTRY OF ECONOMY OF UKRAINE. Order «On approval of minimum requirements for the safety and health of workers potentially at risk in explosive environments» dated 09.04.2023 No. 2259. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0967-23#Text> (access date: 01.11.2025).

8. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1055 of 28.12.2016 «On approval of the Technical Regulations for equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres» (TR No. 1055). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1055-2016-п#Text> (access date: 01.11.2025).
  9. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design. 30th ed. Cincinnati : ACGIH, 2019. 624 p.
  10. GESTIS – IFA DGUV. Grain (2035). [Electronic resource]. URL: <https://staubex.ifa.dguv.de/explokomp.aspx?nr=2035&lang=e> (access date: 01.11.2025).
  11. MZ Aspiratori. RH Series – Medium Pressure Centrifugal Fans. URL: <https://www.mzaspiratori.eu/centrifugal-fans/medium-pressure/rh-series> (accessed: 01.11.2025).
  12. Pereira N. C., Wang L. K. Handbook of Environmental Engineering. Vol. 1. Boca Raton : CRC Press, 2009. 712 p.
  13. Tama Aernova. Industrial Filtration Systems. URL: <https://www.tamaaernova.com/en/> (accessed: 01.11.2025).
  14. TBS INDUSTRY.NS-FS Aspirator Cabinet. URL: <https://tbs-industry.com/obladnannya/aspiracijna-shafa-ns-fs/> (accessed: 01.11.2025).
  15. Wikipedia. Air-to-cloth ratio. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Air-to-cloth\\_ratio](https://en.wikipedia.org/wiki/Air-to-cloth_ratio) (access date: 01.11.2025).
  17. ZEO-UA. Flap-system ZEO-VAB. [Electronic resource]. URL: <https://zeo.ua/ru/equipment/flap-sistema-zeo-vab> (access date: 01.11.2025).
- 
-