

## ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 504.3.054+504.064.4+66-935.4

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-14>

### УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АСПІРАЦІЇ ТА ГАЗООЧИСНОЇ УСТАНОВКИ НА ДІЛЬНИЦІ КОКСОРТУВАННЯ КОКСОВОГО ЦЕХУ

**Галай Володимир Анатолійович,**

магістр

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»

ORCID ID: 0009-0007-4404-0353

**Максимова Наталія Миколаївна,**

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»

ORCID ID: 0000-0003-1684-7479

На дільницях коксортування коксових цехів основною проблемою є наявність великої кількості джерел неорганізованих викидів суспендованих твердих частинок, зокрема в місцях пересипу коксу, його сортування, транспортування конвеєрною стрічкою. Результати інструментальних досліджень у місцях інтенсивного пилоутворення на дільниці коксортування підтвердили фактичну ефективність роботи наявної системи аспірації та газоочисної установки. Виявлена висока запиленість повітря перед входом до групового циклона, а також незначна різниця між вмістом коксового пилу в повітрі робочих зон під час роботи та в разі вимкнення установки очистки газу. Як основний недолік системи аспірації повітря із зон пилоутворення виявлена необхідність транспортування потоку із зазначеною швидкістю, не меншою за мінімально необхідну для роботи групового циклона. Більша частина енергії, необхідної для функціонування димососа, який забезпечує роботу установки очистки газу, витрачається на подолання місцевих гідравлічних опорів, які виникають у газоходах, компенсацію прососів у газоходах, забезпечення швидкості газового потоку, необхідної для нормального штатного режиму експлуатації циклонів. Запропоновано як удосконалення наявної системи аспірації та газоочисної установки на дільниці коксортування впровадження місцевого пилозахисного укриття з пиловсмоктуючим обладнанням, яке дозволяє повертати уловлений пил у технологічний процес під час регенерації фільтрів. Реконструкція/заміна системи аспірації та газоочисної установки завдяки впровадженню місцевого пиловсмоктувального обладнання на дільниці коксортування коксового цеху дозволить не лише забезпечити якість повітря, але й підвищити енергоефективність виробництва, що нині набуває все більшої актуальності.

**Ключові слова:** система аспірації, установка очистки газу, коксовий пил, дільниця коксортування, енерговитрати, енергоефективність.

#### **Halay Volodymyr, Maksymova Nataliia. Improvement of the aspiration system and gas cleaning unit at the coke sorting section of the coke shop**

The main problem at the coke sorting areas of coke shops is the presence of a large number of fugitive emission sources of suspended particulate matter, in particular, in the places of coke transfer, sorting, and conveyor belt transportation. The results of instrumental studies in the areas of intensive dust formation at the coke sorting section confirmed the actual efficiency of the existing aspiration system and gas cleaning unit. High dust content of the air before entering the group cyclone was detected, as well as a slight difference between the coke dust content in the air of the working areas during operation and when the gas cleaning unit was shut down. The main disadvantage of the air aspiration system from the dust formation zones is the need to transport the flow at a specified speed not less than the minimum required for the operation of the group cyclone. Most of the energy required for the operation of the smoke exhauster, which ensures the operation of the gas cleaning unit, is spent on overcoming local hydraulic resistance arising in the gas ducts, compensating for leaks in the gas ducts, and ensuring the gas flow rate required for normal operation of the cyclones. It is proposed to improve the existing aspiration system and gas cleaning unit at the coke sorting section by introducing a local dust shelter with dust extraction equipment that allows the captured dust to be returned to the technological process during filter regeneration. The reconstruction/replacement of the aspiration system and gas cleaning unit through the introduction of local dust extraction equipment at the coke sorting section of the coke shop will not only ensure air quality but also increase the energy efficiency of production, which is becoming increasingly important.

**Key words:** aspiration system, gas purification plant, coke dust, coke sorting section, energy consumption, energy efficiency.

**Вступ.** Приблизно 90% викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря від коксохімічних заводів припадає на викиди діоксиду сірки ( $\text{SO}_2$ ), оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ), оксиду вуглецю ( $\text{CO}$ ), суспендовані тверді частинки (пил вугільних концентратів, пил коксу) і сажу [1–3]. Значно менше припадає на викиди таких неметанових летких органічних сполук (далі – НМЛОС), як бензол, толуол, ксилол, нафталін, фенол, а саме ~ 4,5%. Викиди аміаку, ціаністого водню та сірководню становлять ~ 4,5%.

Однією з основних проблем коксохімічного виробництва є наявність великої кількості ймовірних джерел неорганізованих викидів суспендованих твердих частинок, не диференційованих за складом. Показники емісії (питомі викиди) речовин у вигляді суспендованих твердих частинок від коксортування, як неорганізованого джерела викиду, варіюють у діапазоні від 3,0 до 15,0 г/т коксу, за даними [3].

На дільницях коксортування коксових цехів як джерела неорганізованих викидів варто розглядати: місця пересипу коксу; сортування, а саме дроблення та грохочення; транспортування конвеєрною стрічкою; подальшого обігу коксу на виробництво або на склад [4–6]. Особливо інтенсивним пиловиділенням характеризуються укриття в місці падіння матеріалу на конвеєр, а також власне технологічний процес сортування коксу на товарні класи за крупністю. Тому на дільницях коксортування коксових цехів передбачається улаштування систем аспірації з подальшим очищенням уловленого пилу на фільтрах [6–7].

Крупність частинок коксового пилу переважно варіює від 80 до 340 мкм [8]. Коксовий пил майже не злежується, вибухових властивостей не має, температура займання – 470–670 °C [9]. Коксовий пил належить до групи гідрофобних часток.

Вміст пилу в повітрі робочої зони має бути меншим за 6 мг/дм<sup>3</sup>. Наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 27 червня 2006 р. № 309 затверджено граничнодопустимий викид забруднювальних речовин із стаціонарних джерел у вигляді суспендованих твердих частинок від коксових печей, не диференційованих за складом, у розмірі 50 мг/м<sup>3</sup> [10]. Однак відповідні рівні, установлені дозволами на такі викиди в повітря стаціонарними джерелами для підприємств, зазвичай менші.

Загалом нині простежується світова тенденція до підвищення вимог до якості атмосферного повітря, зокрема за вмістом суспендованих твердих частинок [11]. Так, в оновлених

у 2021 р. рекомендаціях ВООЗ рекомендовані рівні AQG 2021 р. порівняно з інструкціями щодо якості повітря 2005 р. змінились так [12]: рекомендована середньодобова концентрація дрібних частинок пилу з аеродинамічним діаметром, що дорівнює або менше 2,5 мікрметрів ( $\text{PM}_{2,5}$ ), зменшилась з 25 до 15 мкг/м<sup>3</sup>, а для частинок пилу з аеродинамічним діаметром, що дорівнює або менше 10 мікрметрів ( $\text{PM}_{10}$ ), змінилась менш суттєво – з 50 до 45 мкг/м<sup>3</sup>; рекомендована максимальна разова концентрація з урахуванням 8-мигодинного короткочасного впливу підвищилась для  $\text{PM}_{2,5}$  з 10 до 5 мкг/м<sup>3</sup>, а для  $\text{PM}_{10}$  – із 20 до 15 мкг/м<sup>3</sup>.

Отже, одним з основних технологічних процесів, де необхідні системи аспірації з подальшим очищенням уловленого пилу на фільтрах, є процеси розвантаження і транспортування сипучих матеріалів [7; 11; 13]. Тому розгляд можливостей вдосконалення наявних систем аспірації та газоочисної установки на дільниці коксортування коксового цеху є актуальним науково-практичним завданням [7; 13].

**Матеріали та метод.** Дослідження шляхів удосконалення системи аспірації на дільниці коксортування та рециркуляції повітряного потоку після очищення виконано з використанням аналітичних методів і з урахуванням результатів інструментального контролю вмісту пилу в повітрі робочої зони.

Відбір проб повітря виконано за допомогою аспіратора ASA-4M в приміщенні дробарки, на майданчику біля валкового грохота та біля вібраційного грохота, поруч із загальним навантажувальним жолобом. Надалі в лабораторних умовах гравіметричним (ваговим) методом визначено запиленість повітря [14].

**Результати.** Як приклад розглянута двоступенева установка очистки газу (далі – ГОУ), яка представлена такою послідовністю технологічного устаткування, як: розгалужена мережа повітропроводів із куполами в місцях пиління – група із 4-х циклонів – димосос з електродвигуном 90 кВт – щелевий коагулятор – скруббер – димова труба. Коксортувалька має дві черги, які працюють почергово циклічно, водночас ГОУ одна і нероздільна.

За результатами інструментального контролю перевищень рівня запиленості повітря в межах робочих зон під час штатного режиму роботи установки не виявлено, що свідчить про ефективність роботи системи аспірації та газоочисної установки на дільниці коксортування. Зіставлення результатів вимірювання рівня запиленості повітря за ввімкненої та вимкненої ГОУ показали несуттєву розбіжність

( $\sim 2 \text{ мг/м}^3$ ), що вказує на завищені об'єми пилогазового потоку, який поступає до аспіраційної системи [15]. Великі об'ємні витрати пилогазового потоку зумовлені такою технічною необхідністю: забезпеченням швидкості газопилового потоку для ефективної роботи циклонів. Оптимальна швидкість пилогазового потоку на вході в циклон – у діапазоні від 20 до 25 м/с [16–17].

Хоча даний приклад системи аспірації в місцях пересипу та транспортування сипких матеріалів є надійним, забезпечує ефективне очищення повітря робочої зони, а також є досить поширеним в тій чи тій варіації технологічної лінії [16] і можна вважати за типовий, проте він характеризується низкою недоліків. Розгалужена мережа газоходів зумовлює: нерівномірність швидкості й об'ємних витрат пилогазового потоку; абразивне зношення матеріалу газоходів. Відсутність регулювання кількості задіяного обладнання, тобто відбувається перекачування «чистого» мінімально запиленого повітря через ГОУ з робочих зон обладнання, що не працює. Виявлені недоліки зумовлюють доцільність пошуку шляхів підвищення енергоефективності установки загалом.

За даними кращих європейських практик [5], для зон коксортування як захід захисту повітря розглядається така комбінація: 1) використання закритих будівель і споруд для розміщення обладнання або влаштування укриття; 2) ефективна аспірація пилогазового потоку з наступним його очищенням від пилу.

Очищення повітря безпосередньо на укриттях підвищує надійність роботи аспіраційної системи, зменшує витрати на компенсацію втраченого тиску від прососів [18], скорочує кількість поверхонь, які піддаються абразивному зношенню.

Отже, за доцільне вважається передбачити місцеві забори запиленого повітря та раціональну схему розміщення пилоприймачів [19]. Це надасть можливість уникнути «холостої» експлуатації місцевих заборів запиленого повітря і, як наслідок, підвищить загальну енергоефективність системи аспірації та газоочисної установки на дільниці коксортування.

Визначимо приблизні показники ефективності від удосконалення системи аспірації та газоочистки на дільниці коксортування. Приймаємо, що середньодобовий час роботи коксортувалки, отже, і ГОУ, становить 11 год/добу, продуктивність димососу ГОУ –  $60 \text{ тис. м}^3/\text{год}$ , вміст суспендованих твердих частинок недиференційованого складу у викиді існуючої ГОУ коксортувалки –  $100 \text{ мг/м}^3$ , що відповідає нормативному значенню, визначаємо середньорічний

об'єм викидів коксового пилу з існуючої ГОУ коксортувалки:  $60 \text{ тис. м}^3/\text{год} \cdot 11 \text{ год/добу} \cdot 100 \text{ мг/м}^3 \cdot 365 = 24,09 \text{ т/рік}$ .

У разі реалізації вдосконалення системи аспірації та газоочисної установки, завдяки зниженню вмісту пилу на виході із фільтра до  $6,0 \text{ мг/м}^3$ , а також зменшення сумарного середньодобового об'єму повітря, що аспірується (до 440 тис.  $\text{м}^3/\text{добу}$ ) з укриття завдяки підвищенню ефективності аспірації й запобігання аспірації повітря над обладнанням, що не працює, середньорічний об'єм викидів коксового пилу з аспірації коксортувалки становитиме:  $440 \text{ тис. м}^3/\text{добу} \cdot 6,0 \text{ мг/м}^3 \cdot 365 = 0,96 \text{ т/рік}$ .

Для розрахунку приймаємо типові характеристики газоочисного устаткування, а саме: димосос ГОУ укомплектований електродвигуном потужністю 150 кВт. Середньорічні витрати електроенергії на роботу ГОУ становитимуть:  $150 \text{ кВт} \cdot 11 \text{ год/добу} \cdot 365 = 602\,250 \text{ кВт/год}$ .

У разі реалізації вдосконалення ГОУ, завдяки підвищенню ефективності аспірації й усуненню аспірації повітря над обладнанням, що не працює, середньодобова витрата електроенергії на аспірацію становитиме 121кВт·год.

Середньорічні витрати електроенергії на роботу ГОУ становлять:  $121 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 365 = 44\,165 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$ . Результати розрахунку представлені в табл. 1 [20].

За наближеними розрахунками отримано, що вдосконалення технологічної аспірації дозволить знизити викиди пилу в навколишнє середовище від обладнання коксортувалки у 25 разів. За прийнятою вартістю електроенергії в розмірі 5,60 грн/кВт·год отримуємо також економію в розрізі витрат на електроенергію 256 872 грн за місяць. Тобто реалізація вдосконалення технологічного рішення дозволить підвищити енергоефективність аспіраційного обладнання коксортувалки у 13,6 разів.

**Висновки.** За результатами аналітичних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Незважаючи на досягнення нормативних значень за рівнем запиленості повітря робочих зон дільниці коксортування, виявлено як основний недолік типової системи аспірації та газоочисної установки низьку енергоефективність.

2. Як удосконалення вважається за доцільне передбачити місцеві забори запиленого повітря та раціональну схему розміщення пилоприймачів, що дозволить підвищити енергоефективність аспіраційного обладнання коксортувалки приблизно у 13,6 разів.

Таблиця 1

**Розрахунок ефективності вдосконалення системи аспірації та газоочисної установки на дільниці коксортування коксового цеху**

Джерела викидів забруднювальних речовин	Прийнята продуктивність місцевого забору повітря, тис. м³/год	Потужність електродвигуна, кВт/год	Час роботи протягом доби, год/добу	Вміст пилу у викидах, мг/м³	Добова витрата електроенергії, кВт/год	Добові викиди пилу в атмосферне повітря, г	Викиди пилу в атмосферне повітря за розрахунковий період для екологічного податку, т/міс	Місячні витрати на електроенергію, грн/міс.
Укриття перекачувального вузла з подрібнювальним механізмом I черги	6,00	2	6	6	12	216	0,00648	
Грохот «гризлі» I черги з навантажувальним жолобом	8,00	2	6	6	12	288	0,00864	
Вібраційний грохот I черги	16,00	4	6	6	24	576	0,01728	
Укриття перекачувального вузла з подрібнювальним механізмом II черги	6,00	2	5	6	10	180	0,0054	
Грохот «гризлі» II черги з навантажувальним жолобом	8,00	2	5	6	10	240	0,0072	
Вібраційний грохот II черги	16,00	4	5	6	20	480	0,0144	
Загальний навантажувальний жолоб	10,00	3	11	6	33	660	0,0198	
Комплекс місцевих заборів пилогазового потоку (пропозиція щодо вдосконалення аспіраційної системи)			11		121	2640	0,0792	20 328,00
Типова система аспірації та газоочисної установки	60,00	150	11	100	1 650	66 000	1,98	277 200,00

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. An overview of novel technologies to valorise coke oven gas surplus / J. M. Bermúdez, A. Arenillas, R. Luque, J. A. Menéndez. *Fuel Processing Technology*. 2013. Vol. 110. P. 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.12.007>
2. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. Донецьк : Український науковий центр технічної екології, 2004. Т. 1. 184 с. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=53404](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=53404) (дата звернення: 07.06.2024).
3. Energy conservation and circular economy in China's process industries / H. Li et al. *Energy*. 2010. Vol. 35. Issue 11. P. 4273–4281. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.04.021>.
4. Best available techniques (BAT) reference document for common waste gas management and treatment systems in the chemical sector – Publications Office of the EU. Publications Office of the EU. <https://doi.org/10.2760/220326>.
5. Best available techniques (BAT) reference document for iron and steel production : Publications Office of the EU. <https://doi.org/10.2791/97469>.
6. Ausstattung des Kohlenstaubkomplexes (PUT) für offene AG "ArcelorMittal Kryvyi Rih". *Arma-GmbH*. URL: <http://arma-gmbh.de/gasreinigung-und-aspiration-fur-akochemische-produktion-von-amkr/?lang=de> (дата звернення: 07.06.2024).
7. Demenko V.V. Innovations in Coal Preparation and Coke Sorting. *Coke and Chemistry*. 2019. № 62 (7). P. 296–301. <https://doi.org/10.3103/S1068364X19070044>.
8. Industrial ventilation: A Manual of Recommended Practice. Cincinnati, Ohio: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc, 1998. 23rd Edition. 514 pp.

9. Pólka M. An Analysis of Flammability and Explosion Parameters of Coke Dust and Use of Preliminary Hazard Analysis for Qualitative Risk Assessment. *Sustainability*. 2020. Volume 12. Issue 10. P. 4130. <https://doi.org/10.3390/su12104130>.

10. Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел : наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 27.06.2006 р. № 309. Дата початку дії 12.08.2006 р. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/RE12786?an=553> (дата звернення: 07.06.2024).

11. Галай В.А., Максимова Н.М. Огляд заходів захисту атмосфери від пилу в районах розвитку коксохімічної промисловості. *International scientific conference "MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education"* : conference proceedings, November 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia. Riga, Latvia, 2023. Vol. 2. P. 175–178. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-137>.

12. What are the WHO Air quality guidelines? *World Health Organization (WHO)*. URL: <https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/what-are-the-who-air-quality-guidelines> (дата звернення: 07.06.2024).

13. Trembach T.F., Klymenko A.G. Solutions for the reconstruction of coke sorting aspiration systems. *Journal of Coal Chemistry*. 2023. № 6. P. 23–28. <https://doi.org/10.31081/1681-309X-2023-0-6-23-28>.

14. ГОСТ 17.2.4.05-83 «Охрана природы. Атмосфера. Гравіметричний метод визначення частинок пилу у повітрі». URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=51414](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=51414) (дата звернення: 07.06.2024).

15. Wiessner F.G. Basics and industrial applications of pressure swing adsorption (PSA), the modern way to separate gas. *Gas Separation & Purification*. 1988. Vol. 2. № 3. P. 115–119. [https://doi.org/10.1016/0950-4214\(88\)80026-4](https://doi.org/10.1016/0950-4214(88)80026-4).

16. Правила технічної експлуатації коксохімічних підприємств ПТЕ 2017. Харків : ДП «ГИПРОКОКС» ; ДП «УХІН», 2017. 274 с.

17. Природоохоронні технології та ін. Ч. 1 : Захист атмосфери : навчальний посібник / Л.І. Северин. Вінниця : ВНТУ, 2012. 388 с.

18. Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing / A.B. Cecala et al. Pittsburgh : Department of Health and Human Services ; Centers for Disease Control and Prevention ; National Institute for Occupational Safety and Health ; Office of Mine Safety and Health Research, 2019. 406 p.

19. Inlet particle-sorting cyclones configured along a spiral channel for the enhancement of PM 2.5 separation / Y.-L. Chang et al. *Separation and Purification Technology*. 2021. Vol. 257. P. 117901. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117901> (дата звернення: 07.06.2024).

20. Ринок електроенергії – індекси та середньозважені ціни. Ставки, індекси, тарифи. *Мінфін*. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/prom/market/> (дата звернення: 07.06.2024).

#### REFERENCES:

1. Bermúdez, J.M. et al (2013). An overview of novel technologies to valorise coke oven gas surplus. *Fuel Processing Technology*. Vol. 110. P. 150–159. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.12.007>.

2. Zbirnyk pokaznykiv emisii (pytomykh vykydiv) zabrudniuiuchykh rechovyn v atmosferne povitria riznymy vyrobnytstvamy [Collection of indicators of emissions (specific emissions) of pollutants into the atmosphere by various industries]. Donetsk: Ukrainian Scientific Centre for Technical Ecology, 2004. Vol. 1. 184 s. Retrieved from: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=53404](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=53404) [in Ukrainian].

3. Li, H. et al (2010). Energy conservation and circular economy in China's process industries. *Energy*. Vol. 35, Issue 11. P. 4273–4281. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.04.021>.

4. Best available techniques (BAT) reference document for common waste gas management and treatment systems in the chemical sector – Publications Office of the EU. Publications Office of the EU. Retrieved from: <https://doi.org/10.2760/220326>.

5. Best available techniques (BAT) reference document for iron and steel production – Publications Office of the EU. Publications Office of the EU. Retrieved from: <https://doi.org/10.2791/97469>.

6. Ausstattung des Kohlenstaubkomplexes (PUT) für offene AG "ArcelorMittal Kryvyi Rih". *Arma-GmbH*. Retrieved from: <http://arma-gmbh.de/gasreinigung-und-aspiration-fur-akochemische-produktion-von-amkr/?lang=de>.

7. Demenko, V.V. (2019). Innovations in Coal Preparation and Coke Sorting. *Coke and Chemistry*. 62 (7). P. 296–301. Retrieved from: <https://doi.org/10.3103/S1068364X19070044>.

8. Industrial ventilation: A Manual of Recommended Practice. Cincinnati, Ohio: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc, 1998. 23rd Edition. 514 pp.

9. Pólka, M. (2020). An Analysis of Flammability and Explosion Parameters of Coke Dust and Use of Preliminary Hazard Analysis for Qualitative Risk Assessment. *Sustainability*. Volume 12. Issue 10. 4130. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/su12104130>.
10. Ministry of Environmental Protection of Ukraine (2006). Pro zatverdzhennia normatyviv hranychnodopustymykh vykydiv zabrudniuuchykh rehovyn iz statsionarykh dzherel [On Approval of Standards for Maximum Permissible Emissions of Pollutants from Stationary Sources]. Order of the Ministry of Environmental Protection of Ukraine dated 27.06.2006 № 309. Effective date 12.08.2006. Retrieved from: <https://ips.ligazakon.net/document/RE12786?an=553> [in Ukrainian].
11. Halai, V.A., Maksymova, N.M. (2023). Ohliad zakhodiv zakhystu atmosfery vid pylu v raionakh rozvytku koksokhimichnoi promyslovosti [Review of dust protection measures in the areas of coke industry development]. *International scientific conference "MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education": conference proceedings*, November 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia. Riga, Latvia. Vol. 2. P. 175–178. Retrieved from: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-137> [in Ukrainian].
12. What are the WHO Air quality guidelines? *World Health Organization (WHO)*. Retrieved from: <https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/what-are-the-who-air-quality-guidelines>.
13. Trembach, T.F., Klymenko, A.G. (2023). Solutions for the reconstruction of coke sorting aspiration systems. *Journal of Coal Chemistry*. 6: 23–28. <https://doi.org/10.31081/1681-309X-2023-0-6-23-28>.
14. GOST 17.2.4.05-83 "Okhorona pryrody. Atmosfera. Hravimetrychnyi metod vyznachennia chastynok pylu u povitri" ["Nature protection. Atmosphere. Gravimetric method for determination of dust particles in the air"]. Retrieved from: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=51414](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=51414) [in Ukrainian].
15. Wiessner, F.G. (1988). Basics and industrial applications of pressure swing adsorption (PSA), the modern way to separate gas. *Gas Separation & Purification*. Vol. 2, № 3. P. 115–119. Retrieved from: [https://doi.org/10.1016/0950-4214\(88\)80026-4](https://doi.org/10.1016/0950-4214(88)80026-4).
16. Pravyla tekhnichnoi ekspluatatsii koksokhimichnykh pidpriemstv PTE 2017 [Rules of technical operation of coke and chemical enterprises]. Kharkiv: DP "HYPROKOKS", DP "UKhIN", 2017. 274 p. [in Ukrainian].
17. Severyn, L.I. et al. (2012). Pryrodookhoronni tekhnolohii. Chastyna 1. Zakhyst atmosfery: navchalnyi posibnyk [Environmental technologies. Part 1: Atmospheric protection: a textbook]. Vinnytsia: VNTU. 388 p. [in Ukrainian].
18. Cecala, A.B. et al. (2019). Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing. Pittsburgh: Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Office of Mine Safety and Health Research. 406 pp.
19. Chang, Y.-L. et al. (2021). Inlet particle-sorting cyclones configured along a spiral channel for the enhancement of PM<sub>2.5</sub> separation. *Separation and Purification Technology*. Vol. 257. 117901. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117901>.
20. Minfin (2024). Rynok elektroenerhii – indeksy ta serednozvazheni tsyny. Stavky, indeksy, taryfy [Electricity market – indices and weighted average prices. Rates, indices, tariffs.]. Retrieved from: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/prom/market/> [in Ukrainian].