

## Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»



RESEARCH ARTICLE  
OPEN ACCESS

### ВРАХУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АЕРОЗОЛЬНИХ ВИКИДІВ ПІД ЧАС РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ

I. С. Козій<sup>1</sup>, Л. Д. Пляцук<sup>1</sup>, Л. Л. Гурець<sup>1</sup>, І. О. Трунова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сумський державний університет, Суми, Україна

УДК 504.064

DOI: 10.52363/2522-1892.2021.1.1

Отримано: 14 березня 2021

Прийнято: 21 квітня 2021

**Cite as:** Kozii I., Plyatsuk L., Hurets L., Trunova I. (2021). Taking into account the parameters of aerosol emissions in the development technological solutions to reduce the impact on the environment. Technogenic and ecological safety, 9(1/2021), 3–10. doi: 10.52363/2522-1892.2021.1.1

#### Анотація

У статті розглянуто питання дослідження параметрів аерозольних викидів різного походження з метою обґрунтованого вибору відповідних технологічних рішень для зменшення впливу на довкілля. На підставі аналізу літературних джерел розглянуто класичний підхід до існуючої класифікації аерозолів: за характером утворення; за дисперсністю; за агрегатним станом дисперсної фази; за морфологічними ознаками частинок; за концентрацією частинок; за характером впливу на людину. Було проведено уточнення існуючих класифікацій з урахуванням найбільш вагомих фізико-хімічних характеристик таких як злипливість часток, гігроскопічність та здатність поглинати додаткові речовини із зовнішнього середовища, що у свою чергу є вагомим чинником під час вибору технологічних природоохоронних рішень. На підставі аналізу класифікацій аерозолів є можливість вирішення задачі підбору високоефективного і надійного обладнання, здатного вловлювати дрібнодисперсний пил з різноманітними фізичними та фізико-хімічними параметрами.

**Ключові слова:** технології захисту, зменшення впливу, аерозоль, фізико-хімічні параметри, класифікація.

#### Постановка проблеми.

Сучасний розвиток виробництва і технологій супроводжується надходженням у навколишнє середовище великої кількості різноманітних аерозольних систем (тумани, дим, дрібнодисперсний пил та інше) [1–3]. Існує надходження аерозолів в навколишнє середовище характеризується довготривалим часом існування, демонструє високий ступінь забрудненості і широке розповсюдження на великі відстані [4, 5], що говорить про значний регіональний і глобальний аспекти впливу на довкілля.

Зростаючий науковий інтерес до забруднення повітряного середовища аерозольними частками пояснюється їх важливим значенням для екологічної безпеки. Фактично, тверді частинки є однією з найскладніших проблем, що впливають на якість повітря, так і для досліджень в напрямку зміни клімату [6, 7]. Дослідженню питання аерозольних викидів приділяється значна кількість міжнародних наукових публікацій (рис. 1).

Актуальність теми підтверджується аналізом бази даних Scopus за напрямком досліджень – викиди аерозолів у хімічній промисловості, який вказує на те, що кількість наукових публікацій збільшилась у понад десять разів за останні 10 років. Осадження забруднюючих речовин призводить до забруднення ґрунту і міграції важких металів в підземні і поверхневі води.

Звичайне обладнання для видалення твердих часток (електрофільтри, циклони та інші) не завжди є ефективним для вловлення дрібнодисперсних частинок з розмірами менше мікрону, тому це

ставить завдання розробки природоохоронних заходів з охорони атмосферного повітря з урахуванням різноманітного складу і фізико-хімічних властивостей аерозолів.

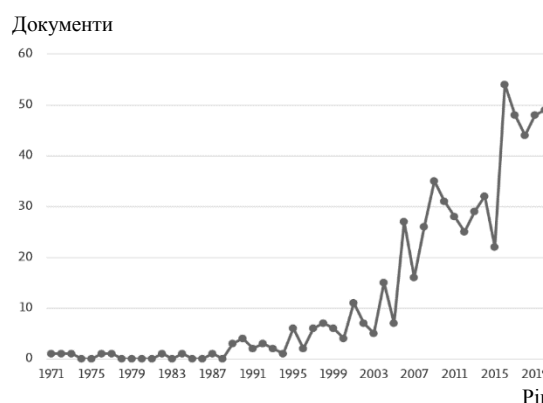


Рисунок 1 – Кількість наукових публікацій за темою аерозольних викидів у хімічній промисловості бази даних Scopus

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Потужний промисловий розвиток північної півкулі планети супроводжується щільним розташуванням аерозольних джерел викидів, саме тому найбільша зацікавленість проблемою аерозольних викидів і їх впливу на довкілля припадає на дослідників із Китаю та США (рис. 2).

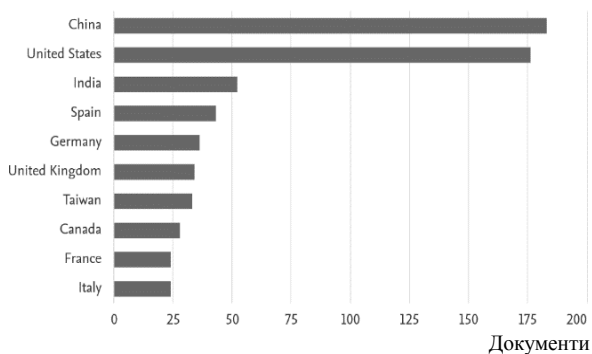


Рисунок 2 – Наукові публікації за країною походження в базі даних Scopus

Навіть незначна кількість аерозольних часток впливає на більшість характеристик газового середовища, враховуючи життєвонеобхідне для існування людства якісне атмосферне повітря, як середовище існування [8, 9]. Як приклад, саме існування ядер конденсації, яких у повітрі не більше ніж атомів найбільш рідкого інертного газу – ксенону, визначає можливість утворення хмар, що дуже важливо для існування життя на Землі.

Аерозолі мають природні або антропогенні джерела походження і надходять у повітряне середовище у вигляді первинних аерозолів (викидаються безпосередньо в атмосферу) або утворюються в результаті вторинних процесів (шляхом складних фізико-хімічних перетворень первинних аерозолів) (рис. 3).



Рисунок 3 – Джерела надходження аерозолів у навколишнє середовище

Дослідження питання надходження аерозольних викидів у повітря і їх ідентифікації засобами дистанційного зондування (AERONET, SKYNET, MODIS) займається багато науковців починаючи з кінця минулого століття [10–16].

Методи виявлення аерозольних часток в повітрі є лише інструментом їх аналізу і оцінки, які не вирішують проблему зменшення кількості аерозольних викидів. Тому, для розуміння напрямків зниження негативного впливу на довкілля від аерозолів, проведемо їх класифікацію.

Питанням класифікації аерозольних частинок і методам їх визначення присвячені роботи [17–22], які містять схожий підхід до їх класифікації але є роботи [23–28], які мають більш вузьку специфіку дослідження класифікації аерозолів.

**Постановка завдання та його вирішення.**

Розглянемо більш детально існуючу класифікацію аерозолів антропогенного походження.

**1) Класифікація аерозолів за характером утворення**

За характером утворення аерозолі можна класифікувати на: диспергаційні, конденсаційні і змішані.

Диспергаційні аерозолі утворюються під час розприскування рідин (водяні тумани, розпилювання рідкого палива в енергетичних установках, руйнування струменів рідини під впливом поля електричного потенціалу тощо) та під час подрібнення твердих речовин (пил технологічних процесів пересипання порошкоподібних речовин, шліфування твердих матеріалів та інше) [20].

Конденсаційні аерозолі – це аерозолі, які утворюються внаслідок охолодження і утворення перенасиченої пари, частинки якого добре конденсуються на ядрах конденсації, а також в результаті хімічних реакцій між двома або більше речовинами (коли утворюється нова речовина з меншою пружністю пари). Цей механізм утворення аерозолів пов'язаний з утворенням у гомогенній

системі нової фази і може відбуватися у трьох випадках:

- 1) під час адіабатичного розширення;
- 2) під час змішування парів і газів з різними температурами;
- 3) під час охолодження газової суміші.

Крім того, конденсаційні аерозолі можуть утворюватися в результаті газових реакцій, які призводять до утворення нелетких речовин (дим під час згоряння палива, смог в атмосфері, випаровування речовин з подальшою конденсацією пари) [22].

Найбільш поширеними [22] є змішані аерозолі (рис. 4), дисперсна фаза яких містить частинки, що утворилися як в результаті подрібнення так і конденсації (викиди металургійних підприємств і теплових електростанцій, пірометалургійні та зварювальні процеси).

Характер утворення аерозолів дозволяє говорити більше про місце реалізації природозахисних технологій ніж про вибір того чи іншого обладнання.

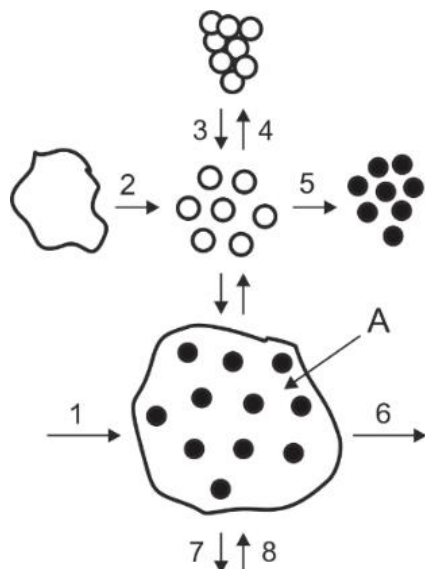


Рисунок 4 – Існування аерозольної системи:

A – аерозоль,

- 1, 6 – переміщення аерозольних частинок;
- 2, 5 – утворення аерозольних частинок диспергуванням і конденсацією;
- 3, 4 – агрегація (коагуляція) і подрібнення частинок дисперсної фази;
- 7, 8 – відтік і притік частинок

## 2) Класифікація аерозолів за дисперсністю

В залежності від розміру частинок аерозолі можна виділити наступні види:

- пил ( $d_p > 10$  мкм);
- тумани ( $10 > d_p > 0,1$  мкм);
- дим ( $0,1 > d_p > 0,001$  мкм).

Пил складається із механічних частинок, що диспергувалися в результаті подрібнення твердих речовин або висиханні крапель з розчиненими речовинами або частинками. Хімічний склад частинок пилу різний [21].

Тумани складаються із крапель рідини, що утворюються під час конденсації пари або розпилюванні рідин. До таких видів аерозолів також враховуються краплі із розчиненими речовинами або з частинками всередині [30].

Дим утворюється під час горіння і підйому летючих речовин, а також в результаті хімічних і фотохімічних реакцій (котельні ТЕЦ, пожежі) [31]. Іноді дим може містити крупні частинки не повністю спалених речовин, золу, оксиди металів, смоли, тому розмір димових частинок коливається у широкому діапазоні – від субмікронних (0,01 мкм) до мікроскопічних (100 мкм).

Частинки диму, що мають високу дисперсність, на відміну від пилу (більш грубодисперсний), практично не осаджуються під дією сили тяжіння [32]. Це у свою чергу ускладнює задачу їх уловлення під час утворення і впливає на екологічну складову впливу на довкілля різних виробничих процесів.

А практиці зазвичай дисперсний склад аерозолі характеризують розподілом частинок за розмірами у вигляді кількісної або масової концентрації. Типові розміри частинок деяких аерозолів наведені у таблиці 1 [20].

Таблиця 1 – Розміри деяких частинок аерозолів

Тип аерозолі	Діаметр, мкм
Туман сірчаної кислоти	0,3 – 0,5
Топковий дим	0,1 – 10,0
Атмосферний туман	2,0 – 50,0
Біогенний пилок	15,0 – 20,0

Мінімальний розмір частинок аерозолі визначається можливістю існування в агрегатному стані (найменша частинка твердої речовини або рідини не може мати розмір менше 0,001 мкм). Верхня межа визначається розміром, який не дозволяє тривалий час знаходитись у зваженому стані у повітрі (близько 100 мкм) [32].

За типом походження і розмірами аерозолі можна поділити на дві групи: макро- і мікрочастинки [33]. Мікрочастинки ( $d_p < 0,5 - 1,0$  мкм) утворюються в процесах конденсації і коагуляції, макрочастинки – виникають під час дезінтеграції з поверхні Землі.

Розмір частинок визначає здатність аерозолі проникати у дихальні шляхи. Так, мікрочастинки (респірабельні фракції до 10 мкм) здатні потрапляти в альвеоли і затримуватися в них. Частинки розміром 10 мкм і більше затримуються у верхніх дихальних шляхах і бронхах [20].

Таким чином, розсіювання аерозольних частинок у повітрі в значній мірі визначається дисперсним складом твердих частинок, а найважливіше питання пиловловлення – підбір пиловловлюючого обладнання – визначається на підставі дисперсного складу викиду.

**3) Класифікація аерозолію за агрегатним станом дисперсної фази**

За агрегатним станом класифікацію аерозолів представлено у таблиці 2 [21]. Найбільш розповсюдженими є аерозолі з дисперсною фазою лише із твердих частинок (Т/Г) (дим, пил) або із крапель (Р/Г) (тумани).

Агрегатний стан є суттєвим чинником для вибору технологічних рішень уловлення аерозольних викидів, обладнання повинно ефективно працювати з різними дисперсними фазами і може бути представлено апаратами для комплексного очищення пилогазових викидів.

**4) Класифікація аерозолію за морфологічними ознаками частинок**

Існує класифікація згідно морфологічних ознак частинок: щільність, форма, структура, хімічний склад [20, 34].

Таблиця 2 – Класифікація аерозолію в залежності від агрегатного стану дисперсної фази

Дисперсна фаза	Позначення	Назва
Тверда	Т/Г	Дим, пил
Рідка	Р/Г	Туман, краплі
Тверда і рідка	Т, Р/Г	Смог
Піна	Р, Г/Г	Рідка аерозольна піна (вогнегасник)
	Т, Г/Г	Тверда аерозольна піна (попіл і вулканічна лава)
Газові утворення	Г/Г	Клатрати, газові гідрати

Частинки аерозолію можуть бути різної форми, в залежності від якої їх поділяють на три основні класи (рис. 5).

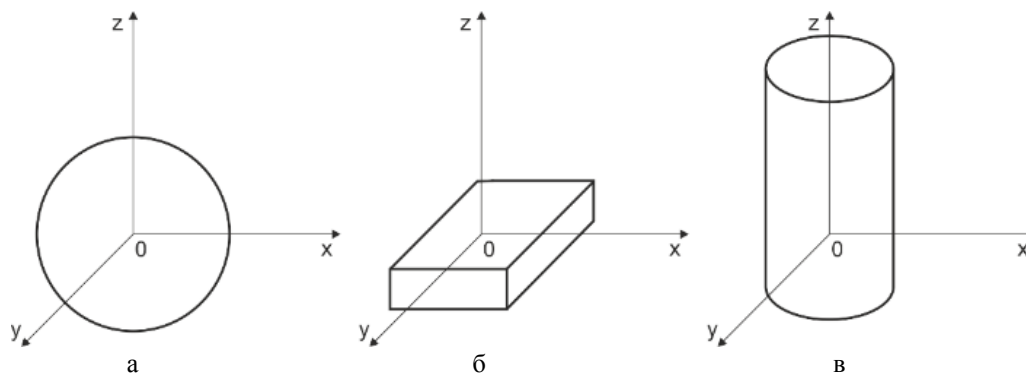


Рисунок 5 – Основні форми частинок аерозолів: а – ізометрична частинка; б – пластинка; в – волокно

Більшість наукових уявлень про поведінку аерозолів відноситься до ізометричних частинок (оптика аерозолів, рух двофазних середовищ та інше) [19, 35].

Форму пластинок зазвичай мають частинки пилу, як і більшість твердих аерозольних частинок, що мають неправильну форму, до яких застосовується поняття – певний середній розмір (за об’ємом або за площею проекції).

Волокна (мають протяжність в одному напрямі) – призми, голки, нитки або мінеральні волокна (азбест). Наукові дані по цій формі аерозолів суттєво обмежені у порівнянні з ізометричними частинками.

Форма частинок залежить від їх фазового стану і механізму утворення. Рідкі аерозолі, як правило, мають сферичну форму, тверді – неправильну.

Хімічний склад частинок аерозолію може бути найрізноманітнішим і визначається вихідним матеріалом і способом їх утворення. Основними хімічними складовими аерозольних часток є неорганічні іони NO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> та NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, мінерали, сіль, органічні вуглеводні і елементарний вуглець. Розповсюджені також композитні частинки, які складаються з кількох хімічних речовин [34].

**5) Класифікація аерозолів за концентрацією частинок**

В залежності від концентрації частинок аерозолі поділяються на висококонцентровані і розріджені. Критерієм даної класифікації є об’ємна концентрація частинок [21]:

$$C_v = \frac{V_v}{V}$$

де V<sub>v</sub> – об’єм, що займають частинки в аерозольній системі, V – загальний об’єм аерозольної системи.

За умови, коли C<sub>v</sub> > 0,1 система називається висококонцентрованою, при C<sub>v</sub> < 0,1 – розрідженою. Як приклад, у безвітряну ясну погоду за містом в 1 л повітря міститься декілька десятків тисяч частинок загальною масою менше 10<sup>-7</sup> г, а у шахті поблизу працюючого бурового обладнання – мільярди частинок масою у кілька десятків мг (10<sup>-2</sup> г) [36]. Тому, технологічні рішення для уловлення аерозолію повинні забезпечувати достатню поверхню контакту фаз і час протікання можливих хімічних реакцій в апараті навіть за високих концентрацій аерозольних викидів.

### б) Класифікація аерозолів за характером впливу на людину

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) [37], вплив аерозолу на організм людини обумовлений як короткочасною (протягом годин або днів), так і довготривалою (протягом місяців або років) експозицією і включає:

- респіраторну і серцево-судинну захворюваність (загострення астми і респіраторних симптомів і зростання числа випадків смерті під час госпіталізації);

- смертність від серцево-судинних, респіраторних захворювань і від раку легень.

За характером впливу на організм людини аерозоль має дратівливу і токсичну дію [20].

Аерозолі, які мають дратівливу дію на організм людини:

- мінеральний пил (процесів шліфування, розмелу, транспортування);

- металеві частинки (механічна обробка металів);

- деревний пил (обробка деревини);

- полімерні частинки (процеси переробки полімерів).

Аерозолі токсичної дії викликають отруйний вплив на людину під час дихання, ковтання і осадження на поверхню шкіри (діє як рідка отрута). Тому, вибір ефективних природоохоронних рішень з високими показниками ефективності роботи залишається актуальною задачею.

До показників, які широко використовуються для характеристики аерозолів і мають значення для здоров'я людини, відносяться масова концентрація частинок діаметром  $d_p < 10$  мкм ( $PM_{10}$ ) і частинок діаметром  $d_p < 2,5$  мкм ( $PM_{2,5}$ ). На більшості територій північної півкулі  $PM_{2,5}$  складають 50-70%  $PM_{10}$  [38-40].

#### Уточнення класифікацій

Існуючі класифікації аерозолів в повній мірі не дозволяють реалізувати підходи до забезпечення технологічних рішень для підвищення рівня екологічної безпеки на рівні підприємств та регіонів в цілому.

Тому, для більш раціонального вибору технологічних рішень щодо зменшення впливу аерозольних викидів на довкілля, що неповністю враховується вищезазначеною класифікацією аерозольних домішок, пропонуємо враховувати додаткову класифікацію аерозолів – за фізико-

хімічними властивостями. Було розглянуто найбільш вагомні фізико-хімічні характеристики як злипливість часток, гігроскопічність та здатність сорбувати додаткові речовини з зовнішнього середовища, що у свою чергу є вагомим чинником під час вибору технологічних природозахисних рішень.

Стабільна робота пилоочисного обладнання суттєво залежить від здатності частинок до злипання, так як підвищена здатність до злипання може призвести до часткового або повного забивання обладнання. Аерозолі, у яких понад 70% частинок мають розмір менше 10 мкм, ведуть себе як дуже здатні до злипання [39]. Здатність частинок до злипання оцінюють за величиною розривної міцності, що дозволяє розділити пиловидні матеріали на 4-и групи (табл. 3).

Здатність пилових частинок поглинати вологу з навколишнього середовища до рівноважного стану з оточуючим газовим середовищем називається гігроскопічністю, що залежить від хімічного складу, нерівностей поверхні частинок, їх розміру і форми. Гігроскопічність впливає на такі властивості частинок, як електропровідність або злипання.

За здатністю до змочування частинки діляться на:

- добре змочувані – гідрофільні (краще вловлюються в мокрих пиловловлювачах);

- погано змочувані – гідрофобні.

Змочування впливає на гідропиловидалення та ряд інших важливих процесів [17].

Серед фізико-хімічних властивостей аерозолів також можна розглядати їх здатність до поглинання (сорбція) компонентів зовнішнього середовища. Будь-які за агрегатним станом аерозолі можуть виконувати функцію сорбентів, тобто поглинати за рахунок мікропористої структури поверхні чи хімічних реакцій інші речовини з середовища в якому вони перебувають. Здатність аерозолів вступати в хімічну реакцію часто залежить від температури, що свідчить про наявність активізаційного бар'єра. Суттєве обмеження даного процесу, окрім температурного чинника, полягає у часі контакту газового потоку з сорбентом в апараті для повноти протікання хімічної реакції.

Це у свою чергу може вплинути на правильний вибір необхідного пилоочисного обладнання, а також суттєво збільшує потенційну небезпеку за рахунок поглинання аерозолями супутніх високотоксичних забруднювачів.

Таблиця 3 – Злипання деяких частинок дрібнодисперсного пилу

Група злипання	Розривна міцність шару частинок (P, Па)	Приклад частинок
I група – незлипливі	< 60	Шлак, глинозем, доломіт
II група – слабкозлипливі	60 – 300	Кокс, апатит, доменний пил
III група – середньозлипливі	300 – 600	Сухий цемент, сажа, залізний колчедан і пил з $d_{q\max} = 25$ мкм
IV група – сильнозлипливі	> 600	Гіпс, вологий цемент, алебастр, бавовна і пил з $d_{q\max} = 10$ мкм

**Висновки.**

Таким чином, на підставі наведеної класифікації аерозолів, необхідно відзначити, що розмір частинок аерозолу є одним із основних характеристик, що визначає вибір типу апарата або системи апаратів для очищення газу. Також, саме розуміння фізико-хімічних властивостей аерозолу дозволяє оптимально підібрати необхідне пилогазоочисне обладнання, яке б дозволило реалізувати не тільки швидкі в часі фізичні механізми вловлення дисперсних часток, а і підібрати потрібну конструкцію для достатності часу протікання хімічної реакції (тривалість контакту фаз) під час взаємодії дисперсної фази з поглинальним середовищем.

Крупні частинки легше осідають із газового потоку і можуть уловлюватися в апаратах найпростішого типу. Для очищення газу від дрібнодисперсних аерозолів (дим, туман), а також, який може містити різноманітні домішки (смоли, легкозпливлив речовини), зазвичай потрібно не один, а декілька апаратів, встановлених паралельно за рухом газової суміші. Тому, задача підбору високоефективного і надійного обладнання, здатного вловлювати дрібнодисперсний пил з різноманітними фізичними та фізико-хімічними параметрами, є достатньо актуальною.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Butler T. M. The influence of megacities on global atmospheric chemistry: A modelling study. / T.M. Butler, M.G. Lawrence // *Environmental Chemistry*. – 2009. – Vol. 6, no. 3. – P. 219–225.
2. Twomey S. Aerosols, clouds and radiation. / S. Twomey // *Atmospheric Environment*. – 1991. – Part A Gen. Top. 25. – P. 2435–2442.
3. Xu J. Aerosol types and radiative forcing estimates over East Asia. / J. Xu, M. Szyszkowicz, B. Jovic, S. Cakmak, C.C. Austin, J.P. Zhu // *Atmospheric Environment*. – 2016. – Vol. 141. – P. 532–541.
4. Kaskaoutis D. G. Influence of anomalous dry conditions on aerosols over India: Transport, distribution and properties. / D. G. Kaskaoutis, R. Gautam, R. P. Singh, E. E. Houssos, D. Goto, S. Singh, A. Bartzokas, P. G. Kosmopoulos, M. Sharma, N. C. Hsu, B. N. Holben, T. Takemura // *Journal of Geophysical Research*. – 2012. – Vol. 117. – D09106. – DOI: 10.1029/2011JD017314.
5. Hallquist M. The formation, properties and impact of secondary organic aerosol: current and emerging issues. / M. Hallquist, J. Wenger, U. Baltensperger, Y. Rudich, D. Simpson, M. Claeys, J. Dommen, N. Donahue, C. George, A. Goldstein // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2009. – Vol. 9. – P. 5155–5236. – DOI: 10.5194/acp-9-5155-2009.
6. Kahn R. Atmospheric Aerosol Properties and Climate Impacts / R. Kahn, H. Yu, S. Schwartz, M. Chin, G. Feingold, L. Remer, D. Rind, R. Halthore, P. DeCola. National Aeronautics and Space Administration: Washington, DC, USA, 2009. – 116 p.
7. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнений атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1985. – 272 с.
8. Lee K. Chemical characteristics of aerosols in coastal and urban ambient atmospheres / K. Lee, J. Park, M. Kang, D. Kim, T. Batmunkh, M. S. Bae, K. Park // *Aerosol and Air Quality Research*. – 2017. – Vol. 17. – P. 908–919.
9. Alam K. Classification of aerosols in an urban environment on the basis of optical measurements. / K. Alam, K. Shaheen, T. Blaschke, F. Chishtie, H. U. Khan, B. S. Haq // *Aerosol and Air Quality Research*. – 2016. – Vol. 16. – P. 2535–2549.
10. Choi Y. Identification of columnar aerosol types under high aerosol optical depth conditions for a single AERONET site in Korea. / Y. Choi, Y. S. Ghim, B. N. Holben // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. – 2016. – Vol. 121. – P. 1264–1277. – DOI: 10.1002/2015JD024115.
11. Chin M. Light absorption by pollution, dust, and biomass burning aerosols: A global model study and evaluation with AERONET measurements. / M. Chin, T. Diehl, O. Dubovik, T. F. Eck, B. N. Holben, A. Sinyuk, D. G. Streets // *Annals of Geophysics*. – 2009. – Vol. 27. – P. 3439–3464.
12. Dubovik O. Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from Aerosol Robotic Network (AERONET) Sun and sky radiance measurements. / O. Dubovik, A. Smirnov, B. N. Holben, M. D. King, Y. J. Kaufman, T. F. Eck, I. Slutsker // *Journal of Geophysical Research*. – 2000. – Vol. 105. – P. 9791–9806. – DOI: 10.1029/2000JD900040.
13. Kim J. Consistency of the aerosol type classification from satellite remote sensing during the Atmospheric Brown Cloud–East Asia Regional Experiment campaign. / Kim J., Lee J., Lee H.C., Higurashi A., Takemura T., Song C. H. // *Journal of Geophysical Research*. – 2007. – Vol. 112, D22S33.
14. Pöschl U. Atmospheric aerosols: Composition, transformation, climate and health effects. / Pöschl U. // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2005. – Vol. 44(46). – P. 7520–7540.
15. Atwood S. A. Classification of aerosol using a cluster model. Classification of aerosol population type and cloud condensation nuclei properties in a coastal California littoral environment using an unsupervised cluster model. / S. A. Atwood // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2019. – Vol. 19. – P. 6931–6947.
16. Qi-Xiang C. Spatiotemporal Distribution of Major Aerosol Types over China Based on MODIS Products between 2008 and 2017. / C. Qi-Xiang, H. Chun-Lin, Yuan Y., M. Qian-Jun, T. He-Ping // *Atmosphere*. – 2020. – Vol. 11. – 703 p.
17. Лаптев А. Г. Очистка газов от аэрозольных частиц сепараторами с насадками. / А. Г. Лаптев, М. И. Фарахов, Р. Ф. Миндубаев. – Казань: издательство «Печатный двор», 2003. – 120 с.
18. Фукс Н.А. Высокодисперсные аэрозоли. / Н.А. Фукс // *Успехи химии*. – 1968. – С. 1965 – 1980.
19. Фукс Н.А. Механика аэрозолей / Н.А. Фукс. – Москва: Эксмо, 2009. – 351 с.
20. Чекман И.С. Аэрозоли – дисперсные системы: Монография / И.С. Чекман, А.О. Сырочая, С.В. Андреева, В.А. Макаров. – Х.: «Цифрова друкарня №1». – 2013. – 100 с.
21. Грин Х. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы / Х. Грин, В. Лейн. – Ленинград: Химия, 1969. – 428 с.
22. Райст П. Аэрозоли / П. Райст. – Москва: Мир, 1997. – 397 с.
23. Tsuji H. Classification and collection of fine particles by means of backward sampling. / H. Tsuji, H. Makino, H. Yoshida // *Powder Technology*. – 2001. – Vol. 118. – P. 45–52.
24. Hyvönen S. A look at aerosol formation using data mining techniques. / S. Hyvönen // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2005. – Vol. 5. – P. 3345–3356.
25. Verma S. A new classification of aerosol sources and types as measured over Jaipur, India. / S. Verma, D. Prakash, P. Ricaud, S. Payra, J.L. Attié, M. Soni // *Aerosol and Air Quality Research*. – 2015. – Vol. 15. – P. 985–993.
26. Meng-Dawn C. Classification of Volatile Engine Particles. / C. Meng-Dawn // *Aerosol and Air Quality Research*. – 2013. – Vol. 13. – P. 1411–1422.
27. Toledano C. Airmass Classification and Analysis of Aerosol Types at El Arenosillo (Spain). / C. Toledano // *Journal of applied meteorology and climatology*. – 2009. – Vol. 48. – P. 962–981.
28. So Hyeon J. Classification and Characterization of Organic Aerosols in the Atmosphere over Seoul Using Two Dimensional Gas Chromatography-time of Flight Mass Spectrometry (GC × GC/TOF-MS) Data. / H. J. So, B. L. Hyung, R. C. Na, Y. L. Ji, K. A. Yun, P. K. Yong // *Asian Journal of Atmospheric Environment*. – 2019. – Vol. 13, no. 2. – P. 88–98.

29. Dal Maso M. Formation and Growth of Fresh Atmospheric Aerosols: Eight Years of Aerosol Size Distribution Data from SMEAR II, Hyytiälä, Finland. / M. Dal Maso, M. Kulmala, I. Riipinen, R. Wagner, T. Hussein, P. P. Aalto, K. E. Lehtinen // *Boreal Environment Research*. – 2005. – Vol. 10. – P. 323–336.
30. Kunkel D. Urban emission hot spots as sources for remote aerosol deposition. / D. Kunkel, M. G. Lawrence, H. Tost, A. Kerkweg, P. Jöckel, S. Borrmann // *Geophysical Research Letters*. – 2012. – Vol. 39. L01808. – DOI: 10.1029/2011GL049634.
31. Rodríguez S. Influence of sea breeze circulation and road traffic emissions on the relationship between particle number, black carbon, PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5-10</sub> concentrations in a coastal city. / S. Rodríguez, E. Cuevas, Y. González, R. Ramos, P.M. Romero, N. Pérez, X. Querol, A. Alastuey // *Atmospheric Environment*. – 2008. – Vol. 42. – P. 6523–6534.
32. Remer L. Dynamic aerosol model - Urban/industrial aerosol. / Remer L., Kaufman Y. J. // *Journal of Geophysical research*. – 1998. – Vol. 103(D12). – P. 13859–13871.
33. Almeida S. M. Ambient particulate matter source apportionment using receptor modelling in European and Central Asia urban areas. / S. M. Almeida // *Environmental Pollution*. – 2020. – Vol. 266. – P. 115–199.
34. Calvo A. I. Research on aerosol sources and chemical composition: past, current and emerging issues. / A. I. Calvo, C. Alves, A. Castro, V. Pont, A. M. Vicente, R. Fraile // *Atmospheric Research*. – 2013. – Vol. 120. – P. 1–28. – DOI: 10.1016/j.atmosres.2012.09.021.
35. Abdul-Razzak H. A parameterisation of aerosol activation. Part I: Single aerosol type. / H. Abdul-Razzak, S. Ghan, C. Rivera-Carpio // *Journal of Geophysical research*. – 1998. – Vol. 103. – P. 6123–6132.
36. Basart S. Aerosol characterization in Northern Africa, Northeastern Atlantic, Mediterranean Basin and Middle East. / S. Basart // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2009. – Vol. 9. – P. 8265–8282.
37. Всесвітня організація охорони здоров'я. – URL: <https://www.who.int/>.
38. Belis C. A. Urban pollution in the Danube and Western Balkans regions: the impact of major PM<sub>2.5</sub> sources. / C. A. Belis, E. Pisoni, B. Degrauwe, E. Peduzzi, P. Thunis, F. Monforti-Ferrario, D. Guizzardi // *Environment International*. – 2019. – Vol. 133. – P. 105–158.
39. Diapouli E. Evolution of air pollution source contributions over one decade, derived by PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> source apportionment in two metropolitan urban areas in Greece. / E. Diapouli, M. Manousakas, S. Vratolis, V. Vasilatou, Th. Maggos, D. Saraga, Th. Grigoratos, G. Argyropoulos, D. Voutsas, C. Samara, K. Eleftheriadis // *Atmospheric Environment*. – 2017. – Vol. 164. – P. 416–430.
40. Lang J. L. Investigating the contribution of shipping emissions to atmospheric PM<sub>2.5</sub> using a combined source apportionment approach. / J. L. Lang, Y. Zhou, D. S. Chen, X. F. Xing, L. Wei, X. T. Wang, N. Zhao, Y. Y. Zhang, X. R. Guo, L. H. Han // *Environmental Pollution*. – 2017. – Vol. 229. – P. 557–566.

### Kozii I., Plyatsuk L., Hurets L., Trunova I.

#### TAKING INTO ACCOUNT THE PARAMETERS OF AEROSOL EMISSIONS IN THE DEVELOPMENT TECHNOLOGICAL SOLUTIONS TO REDUCE THE IMPACT ON THE ENVIRONMENT

The article discusses the issues of studying the parameters of various origins aerosol emissions in order to make a reasonable choice of appropriate technological solutions to reduce the impact on the environment. Based on the analysis of literary sources, a classical approach to the existing classification of aerosols considered: by the nature of the formation; by dispersion; by the state of aggregation of the dispersed phase; by morphological characteristics of particles; by particle concentration; by the nature of the impact on a person. Refinement of existing classifications was conducted based on the most important physical and chemical characteristics such as cohesiveness of particles, hygroscopicity, and ability to absorb additional substances from the environment which in turn is an important factor in the selection process of environmental solutions. Based on the analysis of aerosols classifications concluded possible solutions of the problem of selection of high-efficiency and reliable equipment capable for trapping fine dust with various physical and physicochemical parameters.

**Key words:** protection technologies, impact reduction, aerosol, physicochemical parameters, classification.

#### REFERENCES

- Butler T. M., Lawrence M. G. (2009). The influence of megacities on global atmospheric chemistry: A modelling study. *Environ. Chem.*, 6(3), 219–225.
- Twomey S. (1991). Aerosols, clouds and radiation. *Atmos. Environ. Part A Gen. Top.* 25, 2435–2442.
- Xu J., Szyszkwicz M., Jovic B., Cakmak S., Austin C. C., Zhu J. P. (2016). Aerosol types and radiative forcing estimates over East Asia. *Atmos. Environ.*, 141, 532–541.
- Kaskaoutis D. G., Gautam R., Singh R. P., Houssos E. E., Goto D., Singh S., Bartzokas A., Kosmopoulos P. G., Sharma M., Hsu N. C., Holben B. N., Takemura T. (2012). Influence of anomalous dry conditions on aerosols over India: Transport, distribution and properties. *Journal of Geophysical research*, 117. D09106. DOI: 10.1029/2011JD017314.
- Hallquist M., Wenger J., Baltensperger U., Rudich Y., Simpson D., Claeys M., Dommen J., Donahue N., George C., Goldstein A. (2009). The formation, properties and impact of secondary organic aerosol: current and emerging issues. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9, 5155–5236. DOI: 10.5194/acp-9-5155-2009.
- Kahn R., Yu H., Schwartz S., Chin M., Feingold G., Remer L., Rind D., Halthore R., DeCola P. (2009). Atmospheric Aerosol Properties and Climate Impacts. National Aeronautics and Space Administration: Washington, DC, USA, 116 p.
- Berljand M. E. (1985). Prognoz i regulirovanie zagryznenij atmosfery [Prediction and regulation of atmospheric pollution]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 272 p. [in Russian].
- Lee K., Park J., Kang M., Kim D., Batmunkh T., Bae M. S., Park K. (2017). Chemical characteristics of aerosols in coastal and urban ambient atmospheres. *Aerosol and Air Quality Research*, 17, 908–919.
- Alam K., Shaheen K., Blaschke T., Chishtie F., Khan H. U., Haq B. S. (2016). Classification of aerosols in an urban environment on the basis of optical measurements. *Aerosol and Air Quality Research*, 16, 2535–2549.
- Choi Y., Ghim Y. S., Holben B. N. (2016). Identification of columnar aerosol types under high aerosol optical depth conditions for a single AERONET site in Korea. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 1264–1277. DOI: 10.1002/2015JD024115.
- Chin M., Diehl T., Dubovik O., Eck T. F., Holben B. N., Sinyuk A., Streets D. G. (2009). Light absorption by pollution, dust, and biomass burning aerosols: A global model study and evaluation with AERONET measurements. *Ann. Geophys.*, 27, 3439–3464.
- Dubovik O., Smirnov A., Holben B. N., King M. D., Kaufman Y. J., Eck T. F., Slutsker I. (2000). Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from Aerosol Robotic Network (AERONET) Sun and sky radiance measurements. *J. Geophys. Res.*, 105, 9791–9806. DOI: 10.1029/2000JD900040.
- Kim J., Lee J., Lee H.C., Higurashi A., Takemura T., Song C. H. (2007). Consistency of the aerosol type classification from satellite remote sensing during the Atmospheric Brown Cloud–East Asia Regional Experiment campaign. *J. Geophys. Res.*, 112, D22S33.
- Pöschl U. (2005). Atmospheric aerosols: Composition, transformation, climate and health effects. *Angew. Chem., Int. Ed.*, 44(46), 7520–7540.
- Atwood S. A. (2019). Classification of aerosol using a cluster model. Classification of aerosol population type and cloud condensation nuclei properties in a coastal California littoral environment using an unsupervised cluster model. *Atmos. Chem. Phys.*, 19, 6931–6947.
- Qi-Xiang Chen, Chun-Lin Huang, Yuan Yuan, Qian-Jun Mao, He-Ping Tan. (2020). Spatiotemporal Distribution of Major Aerosol Types over China Based on MODIS Products between 2008 and 2017. *Atmosphere*, 11, 703 p.

17. Laptev A. G., Farahov M. I., Mindubaev R. F. (2003). Ochistka gazov ot ajerozol'nyh chastic separatorami s nasadkami [Cleaning gases from aerosol particles by separators with nozzles]. Kazan': izdatel'stvo «Pechatnyj dvor», 120 p. [in Russian].
18. Fuks N.A. (1968). Vysokodispersnye ajerozoli [Highly dispersed aerosols]. Uspehi himii [Advances in chemistry], 1965–1980. [in Russian].
19. Fuks N.A. (2009). Mehanika ajerozolej [Aerosol mechanics] / Moscow: Jeksmo, 351 p. [in Russian].
20. Chekman I.S., Syrovaja A.O., Andreeva S.V., Makarov V.A. (2013). Ajerozoli – dispersnye sistemy: Monografija. Kharkiv, «Cifrova drukarnja no. 1», 100 p. [in Russian].
21. Grin H., Lejn V. (1969). Ajerozoli – pyli, dymy i tumany [Aerosols – dust, fumes and mists]. Leningrad, Himija, 428 p. [in Russian].
22. Rajst P. (1997). Ajerozoli [Aerosols]. Moscow, Mir, 397 p. [in Russian].
23. Tsuji H., Makino H., Yoshida H. (2001). Classification and collection of fine particles by means of backward sampling. *Powder Technology*, 118, 45–52.
24. Hyvönen S. (2005). A look at aerosol formation using data mining techniques. *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 3345–3356.
25. Verma S., Prakash D., Ricaud P., Payra S., Attié J.L., Soni M. (2015). A new classification of aerosol sources and types as measured over Jaipur, India. *Aerosol and Air Quality Research*, 15, 985–993.
26. Meng-Dawn Cheng. (2013). Classification of Volatile Engine Particles. *Aerosol and Air Quality Research*, 13, 1411–1422.
27. Toledano C. (2009). Airmass Classification and Analysis of Aerosol Types at El Arenosillo (Spain). *Journal of applied meteorology and climatology*, 48, 962–981.
28. So Hyeon Jeon, Hyung Bae Lim, Na Rae Choi, Ji Yi Lee, Yun Kyong Ahn, Yong Pyo Kim. (2019). Classification and Characterization of Organic Aerosols in the Atmosphere over Seoul Using Two Dimensional Gas Chromatography-time of Flight Mass Spectrometry (GC × GC/TOF-MS) Data. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 13(2), 88-98.
29. Dal Maso M., Kulmala M., Riipinen I., Wagner R., Hussein T., Aalto P. P., Lehtinen K. E. (2005). Formation and Growth of Fresh Atmospheric Aerosols: Eight Years of Aerosol Size Distribution Data from SMEAR II, Hyttiala, Finland. *Boreal Env. Res.*, 10, 323–336.
30. Kunkel D., Lawrence M. G., Tost H., Kerkweg A., Jöckel P., Borrmann S. (2012). Urban emission hot spots as sources for remote aerosol deposition. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L01808. DOI: 10.1029/2011GL049634.
31. Rodríguez S., Cuevas E., González Y., Ramos R., Romero P.M., Pérez N., Querol X., Alastuey A. (2008). Influence of sea breeze circulation and road traffic emissions on the relationship between particle number, black carbon, PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5–10</sub> concentrations in a coastal city. *Atmos. Environ.*, 42, 6523–6534.
32. Remer L., Kaufman Y. J. (1998). Dynamic aerosol model - Urban/industrial aerosol. *Journal of Geophysical research*, 103(D12), 13859–13871.
33. Almeida S. M. (2020). Ambient particulate matter source apportionment using receptor modelling in European and Central Asia urban areas. *Environmental Pollution*, 266, 115–199.
34. Calvo A. I., Alves C., Castro A., Pont V., Vicente A. M., Fraile R. (2013). Research on aerosol sources and chemical composition: past, current and emerging issues. *Atmos. Res.*, 120, 1-28. DOI: 10.1016/j.atmosres.2012.09.021.
35. Abdul-Razzak H., Ghan S., Rivera-Carpio C. (1998). A parameterisation of aerosol activation. Part I: Single aerosol type. *Journal of Geophysical research*, 103, 6123–6132.
36. Basart S. (2009). Aerosol characterization in Northern Africa, Northeastern Atlantic, Mediterranean Basin and Middle East. *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 8265–8282.
37. World Health Organization. URL: <https://www.who.int/>.
38. Belis C. A., Pisoni E., Degraeuwe B., Peduzzi E., Thunis P., Monforti-Ferrario F., Guizzardi D. (2019). Urban pollution in the Danube and Western Balkans regions: the impact of major PM<sub>2.5</sub> sources. *Environ. Int.*, 133, 105–158.
39. Diapouli E., Manousakas M., Vratolis S., Vasilatou V., Maggos Th., Saraga D., Grigoratos Th., Argyropoulos G., Voutsas D., Samara C., Eleftheriadis K. (2017). Evolution of air pollution source contributions over one decade, derived by PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> source apportionment in two metropolitan urban areas in Greece. *Atmos. Environ.*, 164, 416–430.
40. Lang J. L., Zhou Y., Chen D. S., Xing X. F., Wei L., Wang X. T., Zhao N., Zhang Y. Y., Guo X. R., Han L. H. (2017). Investigating the contribution of shipping emissions to atmospheric PM<sub>2.5</sub> using a combined source apportionment approach. *Environ. Pollut.*, 229, 557-566.