

DOI: 10.37100/2616-7689.2022.11(30).6

УДК 574 : 631.1

JEL CLASSIFICATION: Q 53, Q 55

**РІВЕНЬ ВИДІЛЕННЯ ТА ІНЕРЦІЙНЕ РОЗДІЛЕННЯ НЕОДНОРІДНИХ СИСТЕМ НА  
ХАРЧОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ**

**LEVEL OF SELECTION AND INERTIONAL SEPARATION OF INHOMOGENEOUS  
SYSTEMS AT FOOD ENTERPRISES**

**Володимир ПІДДУБНИЙ,**

*доктор технічних наук,*

*Київський національний торговельно-економічний  
університет*

*ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1497-7133>*

**Volodymyr PIDDUBNYI,**

*doctor of technical sciences,*

*National University of Trade and  
Economics, Kyiv*

**Юлія ХВЕСИК,**

*доктор економічних наук,*

*Київський національний університет імені Тараса  
Шевченка*

*ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9226-5473>*

**Yuliia KHVESYK,**

*doctor of economic sciences,*

*Taras Shevchenko National University  
of Kyiv, Kyiv*

**Ігор СТАДНИК,**

*доктор технічних наук,*

*Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя*

*ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4126-3256>*

**Igor STADNYK,**

*doctor of technical sciences,*

*Ivan Puluj National Technical  
University, Ternopil*

**Євгеній ПЕТРИЧЕНКО,**

*кандидат сільськогосподарських наук,*

*Уманський національний університет садівництва*

*ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1037-077X>*

**Ievgenii PETRYCHENKO,**

*candidate of agricultural sciences,*

*National University of Horticulture,  
Uman*

*Розглянуто питання пов'язані із захистом повітряного басейну від забруднення промисловими і вентиляційними викидами, що є однією із найважливіших проблем сучасності, дослідженням принципів збалансованої моделі природокористування на основі створення нових ефективних методів і апаратів очищення, вдосконалення діючої газоочисної апаратури, пошуком напрямів розв'язання відповідних проблем промисловості й формуванням ефективного пилоочисного обладнання.*

*Розглянуто можливі шляхи вдосконалення обладнання для очищення газів від пилу створенням пиловловлювачів, де поєднані принципи дії декількох апаратів. При цьому вдається не лише підвищити ступінь очищення, але і зменшити виробничі площі, що займає пилоочисне обладнання, скоротити енергетичні затрати на процес очищення і таким чином знизити вартість очищення в порівнянні з використанням декількох окремих апаратів, принципи дії яких поєднані в цьому обладнанні.*

*Запропоновано вдосконалення пиловловлювача при усуненні виявлених в процесі випробувань і експлуатації недоліків. Показано, що для використання одержаних переваг при вдосконаленні і створенні апаратів інших типів необхідно розробити наукові основи створення цих апаратів, розробити методи їх експериментальних досліджень і обробки отриманих результатів.*

*Кінцевою метою будь-якого виконання конструктивних розробок є зменшення собівартості продукції при високій її якості. Проаналізовано існуючі методи виділення частинок пилу з потоку. Розглянуто способи і апаратура пиловловлювання. Доведено*

необхідність створення високоефективних апаратів для очищення повітря від дрібнодисперсного пилу. Виявлено границі впливу різних факторів на процеси пилоловлювання. Розглянуто мету визначення області застосування існуючих сухих методів виділення пилу з потоку. Проведено аналіз існуючих способів очищення повітря від пилу на основі моделювання. Показано вплив повітряного середовища на рух частинки.

Подано методику розрахунку конструкцій розробки високоефективного пилоочисного обладнання і його успішної практичної експлуатації.

**Ключові слова:** пил, екологія, система очищення, математична модель; підвішений стан.

*Issues related to protection of the air basin from pollution by industrial and ventilation emissions, which is one of the most important problems of our time, study of the principles of sustainable nature management based on new effective methods and cleaning devices, improvement of existing gas cleaning equipment, search for solutions. problems of the industry and formation of the effective dust-cleaning equipment.*

*Possible ways to improve the equipment for cleaning gases from dust by creating dust collectors, where the principles of operation of several devices are combined, are considered. This can not only increase the degree of cleaning, but also reduce the production area occupied by dust cleaning equipment, reduce energy costs for the cleaning process and thus reduce the cost of cleaning compared to using several separate devices, the principles of which are combined in this equipment.*

*It is proposed to improve the dust collector while eliminating the shortcomings identified during testing and operation. It is shown that in order to use the obtained advantages in the improvement and creation of devices of other types it is necessary to develop scientific bases of creation of these devices, to develop methods of their experimental researches and processing of the received results.*

*The ultimate goal of any design development is to reduce the cost of products with high quality. The existing methods of extracting dust particles from the stream are analyzed. Methods and equipment for dust collection are considered. The necessity of creating highly efficient devices for air purification from fine dust has been proved.*

*The limits of influence of various factors on the processes of dust collection are revealed. The purpose of determining the application of existing dry methods in the field of dust extraction from the stream is considered. The analysis of existing methods of air purification from dust on the basis of modeling is carried out. The influence of air environment on particle motion is shown. The method of calculation of designs of development of highly effective dust-cleaning equipment and its successful practical operation is given.*

**Key words:** dust, ecology, cleaning system, mathematical model; suspended state.

**Постановка проблеми.** Захист повітряного басейну від забруднення промисловими і вентиляційними викидами є однією із найважливіших проблем сучасності, що охоплює практично всі країни світу, незалежно від рівня їх промислового розвитку, вона не визнає територіальних меж. На вирішення цієї проблеми в промисловорозвинених країнах виділяються значні кошти, адже об'єми викидів в атмосферу обмежуються міжнародними конвенціями, тому лише впровадження нових безвідходних технологій виробництва, створення нових ефективних методів і апаратів очищення, вдосконалення діючої газоочисної апаратури є єдиним шляхом для розширення обсягів виробництва.

В комплексі фізико-хімічних властивостей пилу його дисперсний склад є однією з найважливіших характеристик. Не знаючи ступеня дисперсності промислових пилів, неможливо об'єктивно оцінити ступінь його

очистки в діючих пилоочисних пристроях і прогнозувати його для установок, що проектуються. Методи розрахунку ефективності багатьох пилоловлювачів ґрунтуються на даних про дисперсний склад пилу і функції фракційного ступеня очистки. В свою чергу, фракційні ступені очистки газу від пилу в якому-небудь апараті можна визначити лише на основі достатньо достовірних аналізів дисперсного складу початкового, вловленого або винесеного пилу.

Ефективне використання пилоловлюючого обладнання неможливе без чіткого знання властивостей тих неоднорідних систем, для розділення яких передбачається його застосування. Тому доцільно коротко розглянути сучасні неоднорідні системи і їх характеристики та рекомендації щодо застосування для їх розділення тих чи інших типів обладнання.

**Аналіз попередніх досліджень і публікацій.** Виділення пилу в атмосферу на харчових підприємствах пов'язане з особливостями технологічних процесів: при розвантаженні вагонів, зберіганні й на відкритих складах, транспортуванні, перевантаженні, дробленні, сушінні, сепарації, термообробці. Організовані викиди пилу зменшують за допомогою очищення в різних типах пиловловлювачів.

Частина шкідливих речовин, що викидається зі стаціонарних джерел, потрапляє в повітря робочої зони, а з них – в атмосферу, і тому однією з основних проблем при вдосконаленні виробничих процесів є усунення або різке зменшення пиловиділення [1, 2, 3]. Особливо гостро стоїть проблема вловлення дрібнодисперсних фракцій, які завдяки малій густині розсіюються та пересуваються на великі відстані потоками повітря. Суттєве підвищення вимог до систем очистки неминуче призводить до ускладнення їх структури та різкого збільшення комплектуючих апаратів. Складність апаратури різного призначення по

кількості комплектуючих пристроїв зростає в останні роки в середньому в 2–3 рази.

В результаті цього виникли протиріччя: з одного боку – суттєво мають бути підвищені потенційні можливості систем очистки, з іншого боку – зросли труднощі в реалізації цих можливостей внаслідок експлуатаційних можливостей апаратури. Ускладнення систем пилоочищення, при одночасному підвищенні вимог щодо ефективності їх роботи, вимагає прийняття певних мір по розробці високоефективних апаратів пиловловлювання.

Вибір того чи іншого пиловловлювача – доволі складна задача, яка визначається фізико-хімічними властивостями пилоповітряної суміші, необхідною продуктивністю, ефективністю пиловловлювання, економічністю процесу. Найбільш широке застосування знайшли апарати сухого обезпилювання. В даному напрямку проводилися дослідження і при допомозі прикладних пакетних програм встановлювався рух частинки (рис. 1).

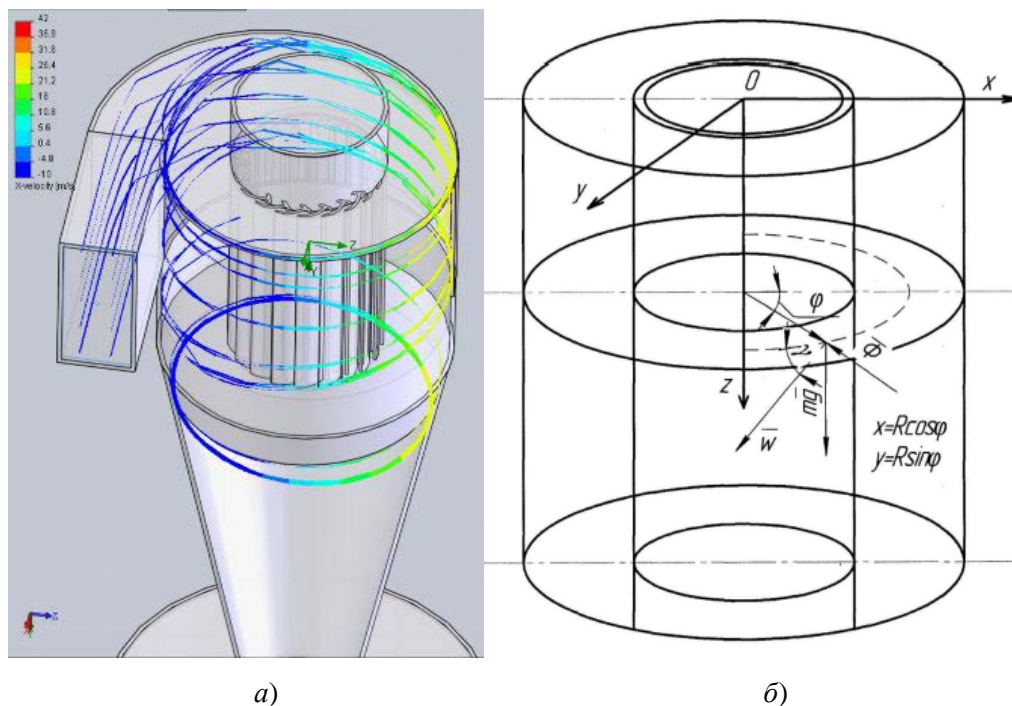


Рисунок 1 – Траєкторії руху пилу; а – у відцентрово-інерційному пиловловлювачі діаметром  $32 \cdot 10^{-6}$  м; б – основні сили, що діють на частинку в потоці (розроблено авторами)

Мокрі пиловловлювачі більш ефективні, ніж сухі, але при їх використанні виникає нова проблема – очистка забруднених стоків,

тому їх використовують у тих випадках, коли інші методи малоефективні.

Вибір методу й пристрою для вловлювання аерозолів передусім залежить від їх дисперсного складу (табл. 1) [1].

Таблиця 1 – Вибір апарата для вловлювання аерозолів в залежності від їх дисперсного складу\*

Розмір частинок, $10^{-6}$ м	Апарати
40–1 000	Пилоосаджуючі камери
20–1 000	Циклони діаметром 1–2 м
5–1 000	Циклони діаметром до 1 м
20–100	Скрубери
0,9–100	Тканинні фільтри
0,05–100	Волокнисті фільтри
0,01–10	Електрофільтри

\* Джерело: розроблено авторами на основі [1, 2, 3].

Кількість пилу, що утворюється, залежить від технологічного процесу, його інтенсивності, фізико-хімічної характеристики компонентів (величини, міцності, складу легкозаймистих матеріалів і сполук тощо) і багатьох інших факторів.

**Мета статті.** Аналіз особливостей конструкції і шляхів вдосконалення найхарактерніших пиловловлювачів інерційної дії, показав, що можливості покращення їх основного показника – ефективності пиловловлювання – лише внесенням змін в конструкцію їх окремих елементів практично вичерпані. Для досягнення відчутного покращення цих показників, а також зменшення енерго- і металоємності цих апаратів потрібно шукати інші рішення. Суттєвість проблеми полягає у вирішенні протиріччя між вимогами до ефективності пиловловлювання і реальними можливостями її забезпечення в апараті і системі пилоочистки. Вирішення цієї проблеми передбачає виконання у певній послідовності ряду технічних і організаційних рішень, тісно пов'язаних між собою загальною методологією досліджень, які можна представити у вигляді основних напрямків. Тому метою роботи є вивчення можливості, обґрунтування принципів пиловловлювання на основі розрахунків і припущень при оптимальних режимах гідродинамічних характеристик дисперсної системи.

**Виклад основного матеріалу.** На багатьох промислових підприємствах України і, зокрема, харчових, існує низький рівень техногенної безпеки, що проявляється в частих викидах шкідливих речовин у навколишнє середовище, збільшення кількості промислових відходів, зниження рівня надійності об'єктів, погіршення

здоров'я населення тощо. Причинами такої ситуації є старіння основних фондів, відсутність або повільні темпи їх відновлення, низька якість проектної документації, відсутність належного контролю стану об'єктів, засобів автоматизації й захисту. Проте найважливішою причиною є відсутність єдиних наукових методів оцінки й аналізу техногенної безпеки об'єктів на стадії проектування, що призводить до створення техногенно-небезпечних об'єктів, через що в останні роки проблеми екології стали винятково актуальними. Пили – це аерозолі з твердими частинками дисперсійного походження. В більшості випадків вони утворюються при механічному розподіленні твердих частинок в газі (при подрібненні, змішуванні і транспортуванні твердих матеріалів і ін.). Розміри твердих частинок пилів складають приблизно 3–70 мкм [2, 3].

Іноді в інженерній практиці пилом називають не лише середовище із завислими частинками – аерозолі, але і пилові частинки різного походження, в тому числі і осівши (порошки).

Дими – це аерозолі з рідкими частинками, що утворюються внаслідок конденсації парів (газів) при переході їх в рідкий або твердий стан. Розміри частинок, які при цьому утворюються, 0,3–5 мкм.

Тумани – аерозолі з рідкими частинками, що утворюються внаслідок конденсації пересичених парів рідин або диспергування рідин. Розміри частинок лежать в межах 0,3–5 мкм.

В останні роки об'єми викидів істотно зменшилися, що більшою мірою пояснюється спадом виробництва, а в меншій – здійсненям природоохоронних засобів. Через розмаїття технологічних процесів

харчової галузі є одним із найважчих для зниження негативного впливу на навколишнє середовище, що ускладнює експлуатацією великої кількості морально й фізично застарілого обладнання, з якого 60 % експлуатується більше 10 років, до 20 % – понад 20 років.

Захист атмосферного повітря від забруднення є однією з найбільш актуальних проблем сучасності. Харчове підприємство – це сукупність специфічних виробництв, пов'язаних з очисткою, температурною обробкою та переробкою сировини в готовий продукт. Традиційні технологічні процеси в ряді випадків пов'язані з виділенням в атмосферне повітря шкідливих речовин, таких як: аміак, оксид вуглецю, оксид азоту, феноли, а також різного роду пил.

*Основи процесів інерційного розділення.* Швидкість руху аерозольних частинок, як правило, змінюється за величиною і напрямом під впливом сил, прикладених до частинок, і внаслідок їх взаємодії з потоками.

Одним із найважливіших результатів взаємодії пилових частинок із повітряними потоками, що їх захоплюють, при наявності зовнішніх сил є сили інерції, які мають велике значення в теорії і практиці обезпилювання [1, 2].

На інерційній сепарації пилу із повітряних потоків ґрунтується будова великої групи різноманітних «інерційних» пиловловлювачів, що знайшли широке застосування в практиці обезпилювання: сухих і мокропливкових циклонів (відцентрових скрубєрів), пиловловлювачів Вентурі, струменевих, жалюзійних і ряду інших пиловловлювачів. В значній мірі силами інерції обумовлені відділення пилу при фільтруванні повітря через пористі шари, осадження пилу на перепонах і т. п.

Ще порівняно недавно природа і суть сил інерції були предметом дискусії. Класична механіка була схильна трактувати сили інерції як фіктивні сили, які вводяться формально, щоб можна було застосувати закони Ньютона при розгляді деяких рухів тіл.

В світлі сучасних фізичних уявлень слід розрізняти два класи сил інерції [2, 3]:

1) ньютоніві сили інерції, що діють в інерційних системах відліку, тобто в системах нерухомих або таких, що рухаються відносно нерухомих систем прямолінійно і рівномірно;

2) сили інерції, що діють в неінерційних системах відліку, тобто в системах, що рухаються відносно нерухомих систем з прискоренням.

При розгляді ньютонівих сил інерції слід мати на увазі, що згідно з першим законом Ньютона (законом інерції) в інерційній системі координат кожне окреме тіло, на яке не діють сили з боку інших тіл, може рухатись лише прямолінійно і рівномірно. Таким можна уявити рух пилової частинки у вакуумі, якщо не приймати до уваги силу тяжіння або допустити, що маса частинки досить мала, щоб можна було на деякий проміжок часу знехтувати впливом цих сил, наприклад, на викривлення траєкторії частинки.

Частинка, що рухається в повітряному середовищі, зазнає його впливу. Згідно з другим законом Ньютона в результаті цього впливу у частинки виникає прискорення відносно нерухомої системи координат, і швидкість її руху буде змінюватись. Прискорення частинки пропорційне діючій на неї силі опору середовища і за напрямком співпадає з напрямком цієї сили.

Якщо абсолютна швидкість прямолінійного руху частинки відносно нерухомої системи координат рівна  $\mathcal{G}$ , а середня швидкість повітряного середовища (поток) на шляху частинки (без врахування розподілу швидкості навколо частинки, рівна  $W$ , то ця сила рівна

$$\left. \begin{aligned} m \frac{d\mathcal{G}}{dt} &= 3\pi\mu_n d(w - \mathcal{G}) \\ \text{або} \quad \frac{d\mathcal{G}}{dt} &= \frac{1}{\tau}(w - \mathcal{G}) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

$$\text{де } \tau = \frac{m}{3\pi\mu_n d} = \frac{d^2}{18\mu_n} \rho. \quad (2)$$

Величина  $\tau$  має розмірність часу і називається часом релаксації частинки. В механіці аерозолів ця величина має фундаментальне значення.

У приведеному випадку прискорену дію на частинку здійснює повітряне середовище. Прискорена дія представлена правою частиною рівняння (1), прикладена до частинки. В інших випадках частинка прискорюється в результаті дії зовнішніх сил (сили ваги, електричних, радіометричних і інших сил).

Згідно з третім законом Ньютона, кожна дія викликає рівну і протилежну за напрямком

протидію. Ньютонова сила інерції є силою протидії частинки, що прискорюється, і як реакція, прикладена до прискореного повітряного середовища. Отже, діюча сила аеродинамічного опору і протидіюча їй сила інерції, які характеризують взаємодію частинки з повітряним потоком, мають одну й ту ж природу.

Вираз (1) є диференціальним рівнянням руху аерозольної частинки в повітряному потоці, причому права частина рівняння виражає опір середовища при постійній швидкості руху частинки в даний момент.

В загальнішому випадку, коли на частинку впливають інші зовнішні сили, це рівняння має вигляд

$$m \frac{d\mathcal{G}}{dt} = 3\pi\mu_n d(w - \mathcal{G}) + F, \quad (3)$$

де  $F$  – зовнішня сила.

В координатній формі рівняння (3) виражається так:

$$\left. \begin{aligned} m \frac{d\mathcal{G}_x}{dt} &= 3\pi\mu_n d(w_x - \mathcal{G}_x) + F_x \\ \frac{d\mathcal{G}_y}{dt} &= 3\pi\mu_n d(w_y - \mathcal{G}_y) + F_y \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

де  $w_x, w_y, \mathcal{G}_x, \mathcal{G}_y$  – складові швидкостей потоку і частинки по осях  $x$  і  $y$ .

Як видно із рівняння (4), складові швидкості криволінійного руху частинки на будь-якій осі підпорядковуються тому ж рівнянню (1), що при прямолінійному русі.

За допомогою рівнянь руху вирішують ряд задач по розрахунку швидкості, довжини пройденого шляху і траєкторії руху частинок. Наприклад, коли нерухома частинка підхоплюється потоком повітря, її рух визначається рівнянням (1):

$$\frac{d\mathcal{G}_x}{dt} = \frac{w - \mathcal{G}}{\tau}$$

Розділяючи змінні і інтегруючи, отримують, маючи на увазі, що при  $t = 0$  постійна інтегрування  $c = \ln w$ :

$$\ln \frac{w - \mathcal{G}}{w} = -\frac{t}{\tau}$$

$$\text{або } \mathcal{G} = w \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (5)$$

З допомогою одного з рівнянь (4) можна визначити також параметри руху частинки, що має початкову швидкість, в спокійному середовищі при відсутності будь-яких інших зовнішніх сил, крім сили аеродинамічного опору середовища. Так як при цьому  $w = 0$ , рівняння руху набуває вигляду

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = -\frac{t}{\tau} \mathcal{G}, \quad (6)$$

Після інтегрування отримують (при  $t = 0$  постійна інтегрування  $c = \ln \mathcal{G}_0$ ):

$$\ln \frac{\mathcal{G}}{\mathcal{G}_0} = -\frac{t}{\tau},$$

$$\text{або } \mathcal{G} = \mathcal{G}_0 e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{dx}{dt}, \quad (7)$$

Інтегруючи це рівняння, визначають довжину шляху, що проходить частинка:

$$\frac{x}{\mathcal{G}_0} = -\tau e^{-\frac{t}{\tau}} + c, \quad (8)$$

$$\text{звідки } x = \mathcal{G}_0 \tau \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

Слід відмітити, що в момент часу  $t = \tau$  швидкість частинки складає  $\frac{1}{e}$  – ту частину

початкової швидкості. В зв'язку з цим величина  $\tau$  названа «часом релаксації».

Якщо тривалість руху  $t$  значно більша за  $\tau$ , величиною  $e^{-\frac{t}{\tau}}$  можна знехтувати: вже при

$t = 7\tau$  значення  $e^{-\frac{t}{\tau}} \approx 0,001$ . При цьому в

рівняннях можна знехтувати членами, зв'язаними з цим множником, і вважати, що рух відбувається із постійно-стаціонарною швидкістю. Іншими словами, при розгляді рухів, тривалість яких значна в порівняння з  $\tau$ , можна вважати, що частинки рухаються зі швидкістю

$$\mathcal{G}(t) = BF(t)$$

де  $F(t)$  – миттєве значення зовнішньої сили;

$B$  – рухомість частинок.

Під рухомістю частинки розуміють відношення встановленої швидкості частинки до величини діючої на неї сили, тобто швидкість, яку вона набуває під дією сили одиничної величини. В області придатності формули Стокса

$$B = \frac{1}{3\pi\mu_n d}, \quad (9)$$

Такий рух називають квазістаціонарним.

При великих значення числа Рейнольдса рівняння руху значно стає складним. В праву частину рівняння (3) повинні бути введені члени, що враховують приєднану масу частинки, рівну половині маси повітря, витісненого частинкою; відхилення протікання від встановленого стану (сила

Басе); градієнт тиску в повітрі, що оточує частинку. В усі ці члени входить густина повітря. В зв'язку з її незначною величиною в порівнянні з густиною частинок цими членами нехтують, якщо тільки прискорення, якого набуває частинка, не дуже велике. В протилежному випадку зв'язана з ним сила опору стає в багато разів більшою за силу опору при встановленому русі [3, 7]. Рівняння такого руху в загальному випадку не розв'язані.

Переходячи до сил інерції другого класу, розглядають поведінку частинки в потоці, що протікає, наприклад, в конфузійній частині труби пиловловлювача Вентурі, в нерухомій системі координат. В міру звуження перерізу конфузора швидкість потоку  $W$  зростає. Швидкість руху частинки  $\mathcal{G}$ , рівна в момент входу в конфузуючий  $\mathcal{G} = w$ , змінюється повільніше, тому завжди існує значення  $\mathcal{G}_c = w - \mathcal{G}$ , відмінне від нуля.

Якщо ввести рухому систему координат, яка рухається разом з потоком, тобто таку, що рухається прискорено зі змінною швидкістю відносно нерухомої системи координат, абсолютна швидкість частини  $\mathcal{G} = w + \mathcal{G}_c$ , при цьому  $W$  може бути названа швидкістю переносного руху, а  $\mathcal{G}_c$  – швидкістю відносного руху. Відповідно прискорення складе

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{dw}{dt} + \frac{d\mathcal{G}_c}{dt}.$$

Спостерігач, зв'язаний з рухомою системою координат, і тому, не помічаючи її прискорення  $\frac{dw}{dt}$ , повинен бути відмітити, що пилова частинка рухається з прискоренням, рівним  $\frac{d\mathcal{G}}{dt} - \frac{dw}{dt}$ , яке він не зміг би приписати дії яких-небудь конкретних тіл. Для пояснення цього явища необхідно ввести до розгляду силу інерції –  $m\frac{dw}{dt}$ , направлену в бік, протилежний напрямку потоку.

Рівняння руху частинки відносно рухомої системи координат набуде вигляду

$$\frac{dw}{dt} + \frac{d\mathcal{G}}{dt} = -\frac{1}{\tau} \mathcal{G}_c, \quad (10)$$

Внаслідок довільності вибору швидкості рухомої системи координат  $W$  може довільно змінюватись і значення сили –

$m\frac{dw}{dt}$ . Очевидно, однак, що ця сила також є

силою реакції частинок.

Розгляд руху частинок в рухомих системах координат часто спрощує дослідження [5, 6].

Інерційним називається також осадження частинок на поверхні твердого тіла (або краплини) при обтіканні цього тіла запиленним потоком. Такими тілами (перепонами) можуть бути плоскі перфоровані листи, рейки, циліндричні поверхні (волокна, дрот, круглі стержні), окремі сферичні тіла (кулі, краплини, зерна). В обезпилюючих пристроях такими перепонами є окремі елементи заповнення фільтрів і пиловловлювачів і краплини рідини, що розбризкується в мокрих пиловловлювачах.

Інерційне осадження в даному випадку обумовлюється викривленням ліній протікання повітря при обтіканні перепон. Під впливом інерції траєкторії частинок викривляються в меншій мірі і перестають співпадати з лініями протікання, внаслідок чого деякі частинки вдаряються об перепони і, за певних обставин, осідають на них.

Ефективність інерційного осадження  $E_{st}$  визначається відношенням числа частинок, що вдаряються об перепону, до числа частинок, які перетнули контур перепони, якби вона не відхиляла потік, або, що одне і те ж, відношенням площі перерізу набігаючого потоку, із якого уловлюються всі частинки, до площі проекції перепони в напрямі потоку [6, 8].

Вивченню інерційного осадження присвячено багато робіт [4, 5, 7], в яких вивчаються особливості цього процесу як в прямолінійних, так і в криволінійних каналах при обтіканні запиленним потоком різного виду перепон.

Чи варто враховувати і чи спостерігається таке явище в пиловловлювачах, створенню і дослідженню яких присвячена робота, можна буде вирішити лише після детального розгляду суті протікаючих в них процесів і особливостей конструктивного оформлення цих апаратів. Але перед цим доцільно розглянути особливості розділення запиленних потоків, принципи дії яких поєднуються в апаратах [9].

Повну ефективність, яка досягається в апаратах із жалюзійним відводом повітря, як за рахунок відцентрової сепарації, так і за рахунок розділяючих властивостей жалюзійної решітки, теоретично

розраховувати поки-що не вдалося [8, 10]. Тому ефективність сепарації за рахунок додаткової очистки пилогазового потоку при проходженні через жалюзійну решітку можна оцінити шляхом порівняння результатів ефективності апарата з решіткою з ефективністю того ж апарата без решітки.

Отже, найвищий показник ефективності пиловловлювання, досягнути в процесі експериментальних досліджень становить 96 %. Він досягнутий в апараті діаметром 0,16 м з жалюзійною решіткою з коефіцієнтом живого перерізу  $k_p=0,4$ .

Теоретично розраховане значення ефективності сепарації, яке досягається лише за рахунок відцентрових сил (без врахування розділяючих властивостей жалюзійної решітки), при тих параметрах, при яких досягнене експериментальне значення, складає 87 %.

Отже, за рахунок застосування жалюзійної решітки ефективність пиловловлювання зростає на 6 %. Можна вважати, що саме цей показник (6 %) в більшій мірі характеризує розділяючі властивості застосованих у вихрових пиловловлювачах жалюзійних решіток і переконливо доводить доцільність поєднання в одному апараті принципів дії відцентрових і жалюзійних пиловловлювачів. Застосування цих пристроїв скорочує час відбору проб для проведення аналізу дисперсного складу пилу в декілька разів (~15) в порівнянні з найпоширенішим і доволі точним способом визначення дисперсного складу пилу методом седиментометрії на приладі з підйомною піпеткою, рекомендованим методикою. Річний економічний ефект від використання пиловловлювачів на шести підприємствах становить 1 628,7 тис. гривень.

**Висновки.** Ефективне використання пиловловлюючого обладнання неможливе без чіткого знання властивостей тих неоднорідних систем, для розділення яких передбачається його застосування. В комплексі фізико-хімічних властивостей пилу його дисперсний склад є однією з найважливіших характеристик. Не знаючи ступеня дисперсності промислових пилів, неможливо об'єктивно оцінити ступінь його очистки в діючих пилоочисних пристроях і прогнозувати його для установок, що проектуються. Методи розрахунку ефективності багатьох пиловловлювачів ґрунтуються на даних про дисперсний склад пилу і функції фракційного ступеня очистки. В свою чергу, фракційні ступені очистки газу

від пилу в будь-якому апараті можна визначити лише на основі достатньо достовірних аналізів дисперсного складу початкового, вловленого або винесеного пилу. Найвищий показник ефективності пиловловлювання можливо досягнути в апараті діаметром 0,16 м з жалюзійною решіткою та коефіцієнтом живого перерізу  $k_p=0,4$ .

#### Список використаних джерел

1. Мухин В. В., Путилина О. Н., Теплова Т. Е. и [др.] Новые подходы к оценке загрязнения атмосферного воздуха по результатам анализа выбросов промышленных предприятий. *Довкілля та здоров'я*. 2001. № 2(17). С. 53–57.
2. Батлук В. А. Наукові основи створення високоефективного пиловловлюючого обладнання: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.02. Львів, 2001. 370 с.
3. Азаров В. Н., Юркьян В. Ю., Сергина Н. М., Ковалева А. В. Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК). *Законодательная и прикладная метрология*. 2014. № 1. С. 46–48.
4. Азарський К. І. Локалізація екологічної загрози забруднення атмосфери від пилу спалювання вугілля на ТЕС: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01. Львів, 2008. 206 с.
5. Igor Stadnyk, Volodymyr Piddubnyi, Svitlana Krsnozhon, Nataliia Antoshkova. Influence of reduction on adhesive properties. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 76–87. URL: <https://doi.org/10.5219/1195>.
6. Стадник І., Піддубний В. Вдосконалення технологічного процесу та обладнання для формування виробів: монографія. Тернопіль: Видавництво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. 290 с.
7. Куц В. П. Характеристика і практичне застосування батарейного циклона з жалюзійними елементами. *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. 2005. № 4. С. 206–212.
8. Куц В. П. Ступеневе відведення пилу як шлях підвищення ефективності відцентрових пиловловлювачів. *Вісник НУ «Львівська політехніка»*. «Хімія, технологія речовин та їх застосування». 2006. № 553. С. 197–200.
9. Igor Stadnik and others. Justification of thermodynamic efficiency of the new air heat pump in the system of redistribution of energy resources at the enterprise. *Potravinarstvo Slovak*



*Journal of Food Sciences*. 2020. P. 76–87. URL: <https://doi.org/10.5219/1195>.

10. Tetiana Vitenko, Igor Stadnik, Paweł Drożdziej, Anna Rudawska. The Substantiation of the Optimal Parameters for Dough Pinning-Out Rollers. *Advances in Science and Technology Research Journal (ASTRJ)*. 2020. Vol. 14, issue 1, march. P 32–41. DOI: <https://doi.org/10.12913/22998624/113611>.

### References

1. Mukhyn, V.V., & Putylyna, O.N., & Teplova, T.E. y [dr.] (2001) Novi pidkhody do otsinky zabrudnennya atmosferneho povitrya za rezul'tatamy analizu vykydiv promyslovykh pidpryyemstv [New Approaches to Evaluation of Air Pollution Based on the Analysis of Emissions from Industrial Enterprises]. *Environment and health*, 2(17), 53–57 [in Ukrainian].

2. Batluk, V.A. (2001) Naukovi osnovy stvorennya vysokoefektyvnoho pylovlovyuyuchoho obladnannya [Scientific bases of creation of highly effective dust-collecting equipment]. *Dissertation of doctor of technical sciences*: 05.05.02 [in Ukrainian].

3. Azarov, V.N., & Jurkjan, V.Ju., & Sergina, N.M., & Kovaleva, A.V. (2014) Metodika mikroskopicheskogo analiza dispersnogo sostava pyli s primeneniem personal'nogo komp'yutera (PK) [Method of microscopic analysis of the disperse composition of dust using a personal computer (PC)]. *Legal and applied metrology*, 1, 46–48 [in Russian].

4. Azars'kyi, K.I. (2008) Lokalizatsiya ekolohichnoyi zahrozy zabrudnennya atmosfery vid pylu spaluyvannya vuhillya na TES [Localization of ecological threat of atmospheric pollution from coal combustion dust at thermal power plants]. *Dissertation of the candidate of technical sciences*: 21.06.01. Lviv [in Ukrainian].

5. Stadnyk Ihor, & Piddubnyy Volodymyr, & Krsnozhon Svitlana, & Antoshkova Nataliya (2020). Vplyv reduktsiyi na adhezyvni vlastyvoli [Influence of reduction on adhesive

properties]. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 14, 76–87. Retrieved from: <https://doi.org/10.5219/1195> [in English].

6. Stadnyk, I., & Piddubnyy V. (2019) Vdoskonalennya tekhnolohichnoho protsesu ta obladnannya dlya formuvannya vyrobiv [Improvement of technological process and equipment for product formation]: monograph. Ternopil: Ivan Pulyuy TNTU Publishing House [in Ukrainian].

7. Kuts, V.P. (2005) Kharakterystyka i praktychne zastosuvannya batareynoho tsyklona z zhalyuzynymy elementamy [Characteristics and practical application of a battery cyclone with louver elements]. *Bulletin of Ternopil State Technical University*, 4, 206–212 [in Ukrainian].

8. Kuts, V.P. (2006) Stupeneve vidvedennya pylu yak shlyakh pidvyshchennya efektyvnosti vidtsentroyvnykh pylovlovyuvachiv [Gradual removal of dust as a way to increase the efficiency of centrifugal dust collectors]. *Bulletin of Lviv Polytechnic National University. "Chemistry, technology of substances and their applications"*. 553, 197–200 [in Ukrainian].

9. Igor' Stadnik i dr. (2020) Obosnovanie termodinamicheskoy jeffektivnosti novogo vozdušnogo teplovogo nasosa v sisteme pereraspredeleniya jenergoresursov na predpriyatii [Justification of thermodynamic efficiency of the new air heat pump in the system of redistribution of energy resources at the enterprise]. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 76–87. Retrieved from: <https://doi.org/10.5219/1195> [in English].

10. Tetyana Vitenko, & Ihor Stadnik, & Pavlo Drozhdze, & Anna Rudavs'ka (2020) Obhruntuvannya optymal'nykh parametriv tistovidbyvayuchykh valyktiv [The Substantiation of the Optimal Parameters for Dough Pinning-Out Rollers]. *Advances in Science and Technology Research Journal (ASTRJ)*, 14, 1, march, 32–41. DOI: <https://doi.org/10.12913/22998624/113611> [in English].

Стаття надійшла до редакції 27 квітня 2022 року