

### 3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ



Науковий вісник НЛТУ України  
Scientific Bulletin of UNFU

<https://nv.nltu.edu.ua>

<https://doi.org/10.15421/40280819>

Article received 03.10.2018 р.

Article accepted 25.10.2018 р.

УДК 674.047:669.015.7.074(075.8)



ISSN 1994-7836 (print)  
ISSN 2519-2477 (online)

@ ✉ Correspondence author

I. V. Petryshak  
borason@ukr.net

**І. М. Озарків, І. В. Петришак, Ю. В. Книш, В. С. Гродз'як**

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

#### ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОВИХ СУМІШЕЙ З ДОПОМОГОЮ ФІЛЬТРУВАННЯ

Розглянуто форми подрібнених дисперсних матеріалів. Наведено формули визначення еквівалентного діаметра. Подано класифікацію сучасних фільтрів, розкрито їхні особливості. Показано основні чинники, що впливають на роботу фільтрів. Відомо, що сушильні апарати для подрібненої деревини, які часто використовують у виробництві деревостружкових і деревоволокнистих плит, для конвективного підведення тепла до стружки, як об'єкта сушіння, потребують уважного ставлення до енергоощадності. Варто зазначити, що специфічні властивості подрібненої деревини (малі розміри частинок, мала насипна маса, рухомість, парусність) дають змогу використовувати різноманітні способи сушіння: сушіння у щільному, киплячому, розпушеному шарі, а також безпосередній контакт об'єкта сушіння із нагрітою металевою поверхнею. Незважаючи на конструкційне розмаїття сушильних агрегатів для подрібненої деревини, найпоширенішими є конвективні сушарки із пневмомеханічним переміщенням подрібненого матеріалу. Наведені нижче формули дають змогу залежно від форми та розмірів подрібнених частинок і породи деревини зробити правильний вибір типу фільтру. Останнє дає змогу оцінити роботу самих фільтрувальних пристроїв. Адже за мірою накопичення пиловловлюваних подрібнених частинок значно зростає ступінь їх вловлюваності.

**Ключові слова:** подрібнена деревина; пиловловлювальні фільтри; пористість; густина упаковки; еквівалентний діаметр; швидкість; питомий опір фільтра; запиленість.

**Вступ.** Дисперсні частинки з деревини різних порід мають різноманітну форму: кулясту, округлу, подовгасту, кутасту, призматичну, голчасту, пластинчасту, волокнисту (Ozarkiv et al., 2008; Atamaniuk & Humnytskyi, 2013). Усереднений діаметр частинок неправильної форми визначають на підставі прямих або опосередковано визначених параметрів цієї частинки.

Здебільшого дисперсні матеріали зберігають насипом на закритих або відкритих виробничих майданчиках. З цього насипу вибирають 3–5 проб подрібненого матеріалу в різних точках насипу (в центрі насипу і на периферії). Отже, щоб вони адекватно відображали гранулометричний склад насипу. З кожної проби вибирають 200–300 шт. частинок стружки, які ретельно обмірюють за допомогою штангенциркуля або мікрометра.

Розмір окремих частинок визначають:

$$d_i = \sqrt[3]{a_i \cdot b_i \cdot c_i}, \quad (1)$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – розміри частинки у трьох взаємно перпендикулярних площинах. Усереднений діаметр частинок кожної проби визначають за формулою

$$\bar{d}_q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt[3]{a_i \cdot b_i \cdot c_i} \quad (2)$$

Якщо отримані результати між окремими пробами відрізняються між собою не більше, ніж на 3–5 %, то можна вважати, що отримане значення усередненого діаметра можна використовувати для подальших розрахунків. Усереднений діаметр частинок полідисперсної суміші інколи розраховують без урахування їхнього кількісного складу за такими формулами:

- як середньоарифметичне

$$\bar{d}_q = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2}; \quad (3)$$

- як середньгеометричне

$$\bar{d}_q = \sqrt{d_{\max} \cdot d_{\min}}; \quad (4)$$

- як середньгармонічне

$$\bar{d}_q = \frac{2 \cdot d_{\max} \cdot d_{\min}}{d_{\max} + d_{\min}}. \quad (5)$$

Відомо (Atamaniuk & Humnytskyi, 2013; Aliev, 1986; Mazus, 1985 Uzhov et al., 1981; Ozarkiv et al., 2009b), що в основі роботи пористих фільтрів усіх видів лежить фільтрування запиленого газу через пористу перегородку, коли частинки пилу у виваженому (здіймленому) газі затримуються перегородкою, а газ проходить

#### Інформація про авторів:

**Озарків Ігор Мирославович**, д-р техн. наук, професор, кафедра технологій захисту навколишнього середовища, деревини, безпеки життєдіяльності та соціальних комунікацій. **Email:** bzd@nltu.edu.ua

**Петришак Ігор Васильович**, канд. техн. наук, доцент, кафедра ТЗНС і Д, БЖД та СК. **Email:** borason@ukr.net

**Книш Юрій Вікторович**, канд. техн. наук, доцент, кафедра ТЗНС і Д, БЖД та СК. **Email:** bzd@nltu.edu.ua

**Гродз'як Василь Стефанович**, канд. техн. наук, доцент, кафедра ТЗНС і Д, БЖД та СК. **Email:** bzd@nltu.edu.ua

**Цитування за ДСТУ:** Озарків І. М., Петришак І. В., Книш Ю. В., Гродз'як В. С. Фізичні основи очищення газових сумішей з допомогою фільтрування. Науковий вісник НЛТУ України. 2018, т. 28, № 8. С. 92–94.

**Citation APA:** Ozarkiv, I. M., Petryshak, I. V., Knysh, Yu. V., & Hrodzik, V. S. (2018). Physical basis for gas mixtures cleaning by filtration. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(8), 92–94. <https://doi.org/10.15421/40280819>

через неї. Пористі фільтри можуть дуже повно й ефективно затримувати частинки пилу практично будь-яких розмірів. На сьогодні набули популярності волоконні, тканинні, металево-керамічні та повітряні фільтри (Ozarkiv et al., 2009b).

*Волоконні фільтри* – пористі перегородки, які складені із хаотично розташованих, але більш-менш рівномірно розподілених за об'ємом волокон, кожне з яких бере участь в осадженні аерозольних частинок.

*Тканинний фільтр* представляє собою рукав, виготовлений із фільтрувальної тканини. Корпус такого фільтра розділений на декілька герметичних камер, у кожній з яких розміщено кілька рукавів.

Залежно від виду, структури та умов роботи пористої перегородки вловлювані частинки пилу або осідають на стінках порових каналів, накопичуючись при цьому по всьому об'ємі, що займає пориста перегородка, або утворюють на лобовій поверхні перегородки шар пилу, що є високоефективним фільтрувальним середовищем. В обох випадках швидкість процесу фільтрування визначається перепадом тиску на перегородці, що створюється вентилятором або іншим спонукальним чинником тяги (Ozarkiv et al., 2010, 2009a). За мірою накопичення вловлюваних частинок опір руху газового потоку безперервно зростає, внаслідок чого в разі збереження постійного перепаду тиску на пористій перегородці швидкість фільтрування безперервно зменшується. Навпаки, для підтримання постійної швидкості фільтрування, необхідно безперервно збільшувати перепад тиску на пористій перегородці. В обох випадках, у разі досягнення деякого заданого опору перегородку піддають регенерації, тобто звільняють її від вловленого пилу.

Розміри порових каналів у фільтрувальній перегородці в декілька разів перевищують розміри вловлюваних частинок пилу. Тому фільтрування не варто розглядати як процес просіювання через будь-яке сито. Вловлювання частинок пилу, що проникають у глибину, відбувається завдяки осадженню їх на стінках каналів, утворених твердими елементами пористої перегородки, де вони утримуються силами адгезії.

**Теоретичні дослідження.** *Процес фільтрування умовно розділяють на дві стадії:*

- *на першій стадії* (стаціонарне фільтрування) осаджувальні частинки пилу накопичуються всередині пористої перегородки в незначній кількості, що практично не змінює її структури;
- *на другій стадії* (нестационарне фільтрування) завдяки великій кількості осаджувальних частинок пилу пориста перегородка піддається безперервним змінам.

Після утворення і нарощування лобового пилового шару в процесі фільтрування істотну роль починає відігравати так званий "ситовий ефект", тому що утворюючі пори стають співрозмірними із розмірами вловлюваних частинок. З огляду на це постійно змінюються гідравлічні опори й ефективність роботи фільтра. Необхідно зазначити, що в умовах експлуатації більшості промислових фільтрів визначальне значення має саме нестационарне фільтрування.

Під час визначення ефективності роботи пористих фільтрів основним параметром є сумарний коефіцієнт захоплення частинок пилу ( $\eta_{\Sigma, зах}$ ) елементом фільтрувального шару. Кількість фільтрувальних елементів  $N$  в

одиниці об'єму фільтрувального шару товщиною  $H$  дорівнює (Ozarkiv et al., 2009b):

$$N = \frac{\rho \cdot H}{V_{\phi}}, \quad (6)$$

де:  $\rho$  – густина упаковки шару;  $V$  – об'єм одного фільтрувального елемента. Основною властивістю пористої перегородки є її  $\varepsilon$ , що представляє собою відношення порового простору (об'єму пор) до загального об'єму, що зайнятий пористим середовищем. Густиною упаковки  $\rho$  називають об'єм твердих елементів фільтрувальної перегородки, що знаходиться в одиниці об'єму пористого середовища. Пористість фільтрувального середовища або густину ущільнення за відсутності закритих пор усередині фільтрувальних елементів визначаємо за формулою

$$\varepsilon = 1 - \rho = \frac{\rho_e - \rho_{\phi}}{\rho_e}, \quad (7)$$

де  $\rho_e$  – густина матеріалу елементів фільтрувального середовища;  $\rho_{\phi}$  – передбачувана густина фільтрувального середовища. Еквівалентний діаметр порових каналів визначаємо за формулою

$$d_{екв} = \frac{4 \cdot \varepsilon}{S_{\Sigma}}, \quad (8)$$

де  $S_{\Sigma}$  – сумарна поверхня фільтрувальних елементів в одиниці об'єму фільтрувального шару. Поверхня твердих елементів в одиниці об'єму пористого середовища становитиме

$$S = n \cdot S_1 = \frac{1 - \varepsilon}{V_1} \cdot S_1, \quad (9)$$

де:  $S_1$  – поверхня одного твердого елемента;  $V_1$  – середній об'єм цього елемента. Тоді еквівалентний діаметр порових каналів визначається

$$d_{екв} = \frac{4 \cdot \varepsilon}{S} = \frac{4 \cdot \varepsilon \cdot V_1}{(1 - \varepsilon) \cdot S_1}. \quad (10)$$

Для фільтрувальної перегородки, що складається із частинок сферичної (кулястої) форми, еквівалентний діаметр порових каналів можна визначити аналітично, прийнявши, якщо

$$V_1 = \frac{\pi \cdot d^3}{3}; \quad S_1 = \pi \cdot d^2, \quad (11)$$

то

$$d_{екв} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \cdot d. \quad (12)$$

З формули (12) випливає, що ефективний діаметр пор зменшується із зменшенням розмірів твердих частинок пилу ( $\varepsilon = \text{const}$ ). Під швидкістю фільтрування  $\omega_{\phi}$  (м/с) розуміють умовну швидкість, яку отримують як співвідношення об'ємної витрати газу  $V_2$ , що проходить через фільтр, до повної площі фільтрувальної перегородки  $F$ . Чисельно швидкість фільтрування дорівнює газовому навантаженню фільтра, тобто об'єму газового потоку, який проходить через одиницю поверхні фільтра в одиницю часу,  $\text{м}^2/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

Фактична швидкість у порових каналах  $\omega'$  істотно більша за швидкість фільтрування і залежить від пористості фільтрувальної перегородки, тобто

$$\omega' = \omega_{\phi} / \varepsilon. \quad (13)$$

Важливою характеристикою пористої перегородки є пиловмістимість, що представляє собою кількість пилу, що затримується фільтром за період безперервної роботи, тобто двома черговими регенераціями. Критерієм

пиловмістимості є інтенсивність росту питомого опору  $\phi$ , тобто

$$\phi = \frac{\Delta p_2 - \Delta p_1}{M_1}, \quad (14)$$

де:  $\Delta p_1$ ,  $\Delta p_2$  – відповідно початковий та кінцевий опори фільтра, Па;  $M_1$  – питома запиленість фільтра, кг/м<sup>2</sup>.

Питома запиленість фільтра визначаємо за формулою

$$M_1 = M / F, \quad (15)$$

де:  $M$  – кількість вловлювального пилю, кг;  $F$  – робоча поверхня фільтра, м<sup>2</sup>.

**Висновки.** Внаслідок аналізу наведених вище формул видно, що вловлювання пилю є складним багатостадійним процесом, що складається із двох стадій: стаціонарного і нестаціонарного фільтрування. Після утворення і нарощування товщини лобового пилового шару істотну роль відіграє ситовий ефект. Наведені вище формули дають змогу оцінити роботи пиловловлювальних пристроїв (фільтрів).

### Перелік використаних джерел

Aliev, G. M. A. (1986). *Tekhnika pylevlavlivaniia i ochistki promyshlennykh gazov*. Moscow: Metallurgii, 543 p. [In Russian].

Atamaniuk, V. M., & Humnytskyi, V. M. (2013). *Naukovi osnovy filtratsiinoho sushinnia dyspersnykh materialiv*. Lviv: Publishing Lvivskoi politekhniki, 276 p. [In Ukrainian].

Mazus, M. G. (1985). *Filtry dlia ulavlivaniia promyshlennykh pylei*. Moscow: Mashinostroenie, 239 p. [In Russian].

Ozarkiv, I. M., Bilei, P. V., Maksymiv, V. M., Sokolovskyi, I. A., & Soroka, L. Ya. (2008). *Teplovi protsesy derevoobrobky*. Lviv: RVV NLTU Ukrainy, 264 p. [In Ukrainian].

Ozarkiv, I. M., Kopynets, Z. P., Huber, Yu. M., & Dadak, Yu. R. (2010). *Teplomasoobminni protsesy u derevoobrobnykh vyrobnystvakh: Metodychni porady shchodo rozviazuvannia zadach*. Lviv: RVV NLTU Ukrainy, 80 p. [In Ukrainian].

Ozarkiv, I. M., Maksymiv, V. M., Huber, Yu. M., Hrodzyk, V. S., & Kopynets, Z. P. (2009a). *Tekhnolohiia ta obladnannia dlia sushinnia shponu ta podribnennykh materialiv*. Lviv: RVV NLTU Ukrainy, 150 p. [In Ukrainian].

Ozarkiv, I. M., Mysak, Y. S., Dzhyhyrei, V. S., Kiryk, M. D., Sokolovskyi, I. A., & Miakush, I. I. (2009b). *Osnovy tekhnokolohii*. Lviv: NVF "Ukrainski tekhnolohii", 336 p. [In Ukrainian].

Uzhov, V. A., Valdberg, A. Iu., Miagkov, B. N., & Reshidov, N. K. (1981). *Ochistka promyshlennykh gazov ot pyli*. Moscow: Khimiia, 396 p. [In Russian].

**И. М. Озаркив, И. В. Петришак, Ю. В. Книш, В. С. Гродзик**

*Национальный лесотехнический университет Украины, г. Львов, Украина*

## ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ С ПОМОЩЬЮ ФИЛЬТРОВАНИЯ

Рассмотрены формы измельченных дисперсных материалов. Приведены формулы определения эквивалентного диаметра. Дана классификация современных фильтров, раскрыты их особенности. Показаны основные факторы, что влияют на работу фильтров. Известно, что сушильные аппараты для измельченной древесины, которые широко используются в производстве древесностружечных и древесноволокнистых плит, для конвективного подвода тепла к стружке, как объекта сушки, требуют внимательного отношения к энергосбережению. Надо отметить, что специфические особенности измельченной древесины (небольшие размеры частиц, малая насыпная масса, подвижность, парусность) дают возможность использовать разные способы сушки: сушка в плотном, кипящем, распушенном слоях, а также непосредственный контакт объекта сушки с нагретой металлической поверхностью. Несмотря на конструктивное разнообразие сушильных агрегатов для измельченной древесины наиболее распространенными есть конвективные сушки с пневмомеханическим перемещением измельченного материала. Приведенные ниже формулы дают возможность в зависимости от формы та размеров измельченных частиц и породы древесины сделать правильный выбор типа фильтра. Последнее дает возможность оценить работу фильтровальных устройств, так как по мере накопления пылеулавливающих измельченных частиц возрастает степень их уловимости.

**Ключевые слова:** измельченная древесина; пылеулавливающие фильтры; пористость; плотность упаковки; эквивалентный диаметр; скорость; удельное сопротивление фильтра; запыленность.

**I. M. Ozarkiv, I. V. Petryshak, Yu. V. Knysh, V. S. Hrodzyk**

*Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine*

## PHYSICAL BASIS FOR GAS MIXTURES CLEANING BY FILTRATION

The authors consider some forms of crushed disperse materials. The formulas for determining the equivalent diameter are given. The classification of modern filters is described, their features are revealed. The main factors affecting filters operation are shown. In the course of study we have discovered that hazardous substances contained in gaseous discharges of the forestry complex enterprises dissipate in the lower layer of the atmosphere, where the temperature is evenly lowered with increasing height above the Earth's surface. Due to the temperature inversion of the troposphere, convective flows of air turbulent in nature are formed there, that provides an intensive air movement. We should note that when the air moves close to the Earth's surface, the forces of internal friction are being exercised due to the viscosity of the air. Drying machines for chopped wood, which are widely used in the manufacturing of particleboard and fiberboards, for the convective heat supply to chips as a drying object, are known to require careful attention to energy efficiency. We should also indicate the following specific properties of crushed wood: small particle sizes, small bulk density, mobility, and sailing allow using a variety of drying methods such as drying in a dense, boiling, loose layer, as well as the direct contact of the drying object with a heated metal surface. Despite the structural variety of drying aggregates for crushed wood, the most common are the convection dryers with pneumatic mechanized transport of crushed material. As the result of the study we have deduced the formulas that allow choosing a proper type of the filter depending on the shape and size of the shredded particles and the wood species. The latter enable evaluating the work of the filtering devices. Therefore, the degree of trapping of dust crushed particles significantly increases with the increasing of the amount of dust particles accumulated.

**Keywords:** chopped wood; dust filters; porosity; packing density; equivalent diameter; speed; specific filter resistance; dustiness.