

A bioreactor design community with the ongoing process of anaerobic fermentation is suggested. The method of engineering calculation to determine the performance of biogas plants operated at farms is proposed including setting out the maximum number of biogas and effective daily download volume of organic materials under changing temperatures of hydraulic settling. The received images and analysis patterns can be used in the design of household biogas systems for biogas production and utilization of agricultural waste.

Keywords: bioreactor, biogas, methane fermentation, organic waste, anaerobic fermentation.

УДК 674:621.928.93

ОСНОВИ МОКРОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ

І.М. Озарків¹, Г.В. Сомар², І.А. Соколовський³, М.С. Кобринович⁴,
Т.А. Сомар⁵, О.М. Левчунець⁶

Наведено характерні особливості (ознаки) мокрого очищення газової суміші, що існують у технологічних процесах виробництв лісопромислового комплексу. Розкрито класифікацію найпоширеніших типів апаратів мокрого очищення газового потоку, тобто повітря і частинок пилу. Наведено теоретичні основи мокрого очищення газових потоків коли захоплення частинок пилу із подальшим осадженням пилу проходить краплями рідини і безпосередньо плівкою рідини. Описано механізми захоплення частинок пилу краплями і плівкою рідини. Наведено залежності, що відображають процес пилловловлювання в апаратах мокрого очищення газового потоку.

Ключові слова: пил, газова суміш, мокре очищення газів.

Вступ. Відомо [1], що технологічні процеси на підприємствах лісопромислового комплексу тісно пов'язані із виділеннями в атмосферу деревного пилу, нагріву розчинників та розріджувачів, формальдегіду, фенолу, аміаку, лакового пилу, спиртів, барвників, дубильних речовин, волокон, сірководню та ін. Інтенсивність шкідливих виділень залежна від виду матеріалу, характеру технології та режиму роботи. Токсичний і нетоксичний пил, потрапляючи в атмосферу, негативно впливає на навколишнє середовище. Сучасні пристрої (апарати) для зменшення газів умовно можна поділити на такі [1]:

- механічні (сухі) знепилювальні пристрої (установки), в яких пил осідає під дією сил земного тяжіння, інерції та відцентрових сил;
- гідравлічні (мокрі) апарати, в яких тверді частинки вловлюються рідинами;
- пористі фільтри, на яких осідає пил;
- електрофільтри, в яких пил осаджується внаслідок іонізації газу та зарядження пилу, що знаходяться в них.

До найпоширеніших типів апаратів мокрого очищення газів відносять такі:

- порожнисті газопромивачі (скрубери);
- газопромивачі з рухомою насадкою;
- мокрочисні апарати ударно-інерційної дії;

¹ проф. І.М. Озарків, д-р техн. наук – НЛТУ України, м. Львів;

² доц. Г.В. Сомар, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів;

³ доц. І.А. Соколовський, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів;

⁴ доц. М.С. Кобринович, канд. фіз.-мат. наук – НЛТУ України, м. Львів;

⁵ аспір. Т.А. Сомар – НЛТУ України, м. Львів;

⁶ інж. І кат. О.М. Левчунець – НЛТУ України, м. Львів

- мокрі апарати відцентрової дії;
- швидкісні турбулентні газопромивачі;
- залежно від створюваного тиску, тобто за аеродинамічними характеристиками, мокрі пилловловлювачі ділять на групи: низьконапірні (до 1 Па), середьонапірні (1500...4500 Па) та високонапірні (більше 4500 Па).

Особливості мокрого очищення газів. Для вловлювання пилу за рахунок рідини використовують два основні способи захоплення частинок пилу: краплями рідини і плівкою рідини. У першому випадку запылений потік повітря промивають дисперговою рідиною, коли частинки пилу захоплюються краплями рідини і виводяться із газової суміші. Залежно від режиму температури газового потоку, тиску і відносної вологості повітря в процесі промивання може відбуватися випаровування крапель або конденсація парів із повітряного потоку. Зауважимо, що використання конденсаційного ефекту значно покращує осадження пилу.

У другому випадку осадження пилу здійснюють, направляючи потік частинок пилу на поверхню рідини, або змочену рідиною стінку, або плівку спеціально створених газових бульбашок (бульок). Тому, залежно від способу захоплення, мокрі пилловловлювачі умовно поділяють на два типи: з промиванням газу рідиною; з осадженням пилу на плівку рідини.

Захоплення частинок пилу краплями. Під час руху краплі в заповненому газом просторі осадження пилу на ньому відбувається за рахунок кінематичної коагуляції. Розглядаючи механізм осадження частинок на краплі, як чисто інерційних, то коефіцієнт захоплення $\eta_{зax}$ визначають критерієм Стокса Stk , а кількість захоплених частинок в одиницю часу N_{τ} становитиме

$$N_{\tau} = \eta_{stk} \cdot \frac{\pi \cdot d_k^2}{4} \cdot \omega_0 \cdot z, \quad (1)$$

де: ω_0 – швидкість вловлювання; z – запыленість газового потоку; d_k – діаметр краплі. Кількість частинок пилу, захоплених (1 см³) розпиленою водою буде дорівнювати

$$N_v = \eta_{stk} \cdot \frac{\pi \cdot d_k^2}{4} \cdot \omega_0 \cdot z \cdot \frac{6}{\pi \cdot d_k^3} = \frac{3}{2} \eta_{stk} \cdot \frac{z}{d_k} \quad (2)$$

Рівняння (2) показує, що ефективність вловлювання за однакових умов зростає із зменшення діаметра краплі і може досягати великих значень навіть для дрібних частинок.

Захоплення частинок пилу плівкою рідини. Під час удару частинки об тверду стінку може відбутися відскок (рикошет) частинки або прилипання до стінки скрубера за рахунок сил адгезії P_{ad} . Зауважимо, що відскок (рикошет) частинки пилу виникає у випадку, коли кінетична енергія відбитої частинки пилу більша за енергію адгезії E_{ad} , тобто

$$\frac{m \cdot \omega^2}{2} > E_{ad}, \quad (3)$$

де: m – маса частинки пилу діаметром $d_{екв}$ і густиною $\rho_{ч}$; ω – швидкість відскоку у припущенні, що сили адгезії відсутні ($\omega \approx 0,80 \omega_{удар}$, де $\omega_{удар}$ – швидкість частинки при ударі);

$$m = \pi d^3 \rho_4 / \sigma. \quad (4)$$

Орієнтовно приймають [5], що

$$P_{ad} = 0,012 d; \quad (5)$$

$$E_{ad} = \int P_{ad} \cdot d \cdot h, \quad (6)$$

де h – проміжок між поверхнею стінки і частинкою.

Наближено проінтегрувавши рівняння (6), отримуємо граничну (крайову) швидкість удару, за якої можливе прилипання частинки, тобто

$$\omega = 0,249/d, \quad (7)$$

де d – розмір частинки, мкм.

За наявності на поверхні плівки рідини умови прилипання істотно покращаються. Це означає, що силу адгезії можна визначити за формулою

$$P_{ad} = \frac{2\pi \cdot G \cdot d}{1 + \operatorname{tg}(\alpha/2)} \cdot \cos \phi, \quad (8)$$

де: α – кут, що визначає змочену частину поверхні частинки; ϕ – крайовий (граничний) кут змочування, що залежить від фізико-хімічних властивостей і дисперсності пилу.

Для добре змочуваних поверхонь матеріалів ($\phi \approx 0$) за точкового контакту ($\alpha \approx 0$) величина сили адгезії дорівнює

$$P_{ad} = 2\pi \cdot \sigma \cdot d, \quad (9)$$

Для мінеральних масел за товщини плівки

$$\sigma = 0,50 d, \quad (10)$$

а величина сили адгезії становить

$$P_{ad} = 157 d, \quad (11)$$

Порівнюючи рівняння (5), (6) і (11), видно, що сила адгезії при поверхні, вкритій маслом, у кілька разів більша, ніж при сухій поверхні. Тоді гранична швидкість удару, що забезпечує осадження пилових частинок, дорівнює

$$\omega = 7350/d. \quad (12)$$

Відомо, що за однакової швидкості ω змоченою поверхнею будуть утримуватися значно більші частинки пилу, ніж сухої.

Враховуючи те, що змочуваність матеріалів погіршується із зменшенням розмірів, то таку змочуваність порівнюють із гідрофобними частинками. Для пиловловлювання таких частинок потрібно, щоби їхня кінетична енергія перевищувала затрати занурення частинки в рідину, тобто мали місце затрати переборювання сил поверхневого натягу. Тоді гранична швидкість удару частинки, що буде забезпечувати її занурення в рідину, дорівнюватиме

$$\omega = \frac{1}{\cos \psi} \sqrt{\frac{8 \cdot \sigma}{\rho \cdot d}}, \quad (13)$$

де ψ – кут між напрямком руху частинок і нормаллю до поверхні рідини в точці співорудару. У випадку, коли $\psi = 0$, коли рух частинки пилу відбувається по нормалі до поверхні рідини, гранична швидкість удару

$$\omega = 2,83 \sqrt{\sigma / \rho \cdot d} \quad (14)$$

За великих кутів ψ , коли частинки пилу рикошетують від поверхні, то вловлювання є можливим тільки за великих швидкостей співорудару. У випадку, коли критерій Рейнольдса $Re < 5$, в момент удару частинки занурюються в плівку рідини не повністю і можуть дуже легко бути зірвані газовим потоком, оскільки поверхня рідини після удару дуже швидко випрямляється, а утримувальні частинки сили адгезії є незначними.

Висновок. Наведені вище аналітичні залежності вказують на переваги мокрого очищення газової суміші, тобто повітря і пилу.

Література

1. Озарків І.М. Основи техноекотології : навч. посібн. / І.М. Озарків, Й.С. Мисак, М.Д. Кірик, І.А. Соколовський, В.С. Джигирей, П. М'якуш. – Львів : Вид-во НВФ "Українські технології", 2009. – 336 с.
2. Єфремов Г.И. Пылеочистка / Г.И. Ефремов, Б.П. Лукачевский. – М. : Изд-во "Химия", 1990. – 67 с.
3. Кучерук В.В. Очистка вентиляционного воздуха от пыли / В.В. Кучерук. – М. : Изд-во "Машгиз", 1963. – 144 с.
4. Святков С.Н. Пневматический транспортер измельченной древесины / С.Н. Святков. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1966. – 320 с.
5. Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве : учеб. [для студ. ВУЗов] / С.Б. Старк. – М. : Изд-во "Металлургия", 1990. – 400 с.
6. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя : пер. с нем. Г. Шлихтинг. – М. : Изд-во "Наука", 1974. – 712 с.
7. Лютий Є.М. Циклон в деревообробній промисловості : монографія / Є.М. Лютий, Л.О. Тисовський, Ю.Р. Дадак, А.В. Ляшеник. – Львів : Вид-во "Український пасічник", 2009. – 148 с.

Надійшла до редакції 08.06.2016 р.

Озаркив І.М., Сомар Г.В., Соколовський І.А., Кобринович М.С., Сомар Т.А., Левчунец О.М. Основи вологого очищення газів

Приведены характерные особенности влажного очищения газовой смеси, имеющие место в технологических процессах производства лесопромышленного комплекса. Раскрыта классификация наиболее распространенных типов аппаратов влажного очищения газового потока, то есть воздуха и частиц пыли. Приведены теоретические основы влажного очищения газовых потоков, когда захват частиц пыли с последующим осаждением пыли проходит каплями жидкости и непосредственно пленкой жидкости. Описаны механизмы захвата частиц пыли каплями и пленкой жидкости. Приведены зависимости, которые отображают процесс пылозахвата в аппаратах влажного очищения газового потока.

Ключевые слова: пыл, газовая смесь, влажное очищение газов.

Ozarkiv I.M., Somar G.V., Sokolovskiy I.A., Kobrynovich M.S., Somar T.A., Levchunets O.M. The Basics of Wet Gas Scrubbing

Some typical features of wet scrubbing of gas mixture taking place in production processes of forest sector are presented. The classification is given to the most common types of apparatus for wet cleaning of gas stream, that is a mixture of air and dust particles. The theoretical grounding for the wet scrubbing of gas streams wherein the particulate material is captured by liquid droplets and liquid film with subsequent settling of the dust particles is provided. A variety of mechanisms for dust particles capture by the liquid droplets and film are described. Mathematical relationships describing dust collection by wet gas scrubbing process are presented.

Keywords: dust, gas mixture, wet gas scrubbing, wet cleaning.