

2. Бахарев В.С. Особливості формування екологічної небезпеки в умовах пилового забруднення атмосферного повітря / В.С. Бахарев // Біосферно-ноосферні ідеї В.І. Вернадського та еколого-економічні проблеми розвитку регіонів : тези доп. V-ої Всеукр. наук.-практ. конф. – Кременчук : Вид-во КДПУ, 2005. – С. 85-86.

3. Мала гірнича енциклопедія. – У 3-ої т. / за ред. В.С. Білецького. – Донецьк : Вид-во Донбас, 2004. – 143 с.

4. Илонова В.А. Откуда родом пыль? / В.А. Илонова. – М. : Изд-во "Санитарное просвещение", 1996. – 426 с.

5. Жизнь растений. – Т. 5. Цветковые растения / под ред. А.Л. Тахтаджяна. – М. : Изд-во "Просвещение", 1980. – С. 314-320.

6. Красинский Н.П. Теоретические основы построения ассортиментов газоустойчивых растений / Н.П. Красинский // В кн.: Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые сорта. – М. : Изд-во "Наука", 1950. – 422 с.

7. Рубин Б.А. Курс физиологии растений / Б.А. Рубин. – М. : Изд-во "Выш. шк.", 1976. – С. 157-167.

8. Растения и чистота природной среды : сб. статей. – Минск : Изд-во "Жизнь", 1983. – 90 с.

9. Школьный экологический мониторинг : учебно-метод. пособ. / под ред. Т.Я. Ашихминой. – М. : Изд-во АГАР, 2000. – 428 с.

10. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища в Україні у і півріччі 2015 року (за даними мережі спостережень національної гідрометслужби України).

Надійшла до редакції 18.04.2016 р.

Радомская М.М., Карташ Ю.Г. Оценка уровня пылевого загрязнения атмосферного воздуха города Киева

Рассмотрен уровень пылевого загрязнения как фактор формирования экологической обстановки в населенных пунктах. Проанализированы источники и последствия пылевого загрязнения урбанизированных территорий на примере центральной части Киева. Представлены результаты исследования интенсивности опыления городских зеленых насаждений, которое сформировалось при различных пространственных условиях и на разных породах деревьев. Осуществлен сравнительный анализ интенсивности пылевого загрязнения деревьев и установлено преобладающее влияние транспорта на формирование пылевого загрязнения города. Даны рекомендации по ограничению и контролю пылевого загрязнения в городской зоне.

Ключевые слова: пылевое загрязнение, фитотоксичность, городская зеленая инфраструктура, автомобильный транспорт.

Radomska M.M., Kartash Yu.G. The Assessment of Atmospheric Air Dust Pollution in Kyiv City

The materials of the article consider the level of dust pollution as a factor of environment condition formation in human settlements. The sources and effects of dust pollution at urban areas were analysed on the example of the central part of Kiev. The results of the research of urban green infrastructure dusting, formed at various spatial conditions and on different types of wood, are given. The comparative analysis of the intensity of dust pollution of trees was conducted and the dominant influence of transport on the formation of urban dust pollution was established. The recommendations on limitation and control of dust pollution in urban areas were given.

Keywords: dust pollution, phytotoxicity, urban green infrastructure, automobile transport.

3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ

УДК 631.2:658.261/262

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНИХ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІОМАСИ НА ПРОЦЕС МЕТАНОУТВОРЕННЯ В МАЛОГАБАРИТНИХ БІОРЕАКТОРАХ

В.М. Желих¹, Ю.В. Фурдас², О.В. Омельчук³, В.М. Штець⁴, М.П. Генсецький⁵

Запропоновано конструкцію побутового біореактора з безперервним процесом анаеробного бродіння. Подано метод інженерного розрахунку для визначення продуктивності біогазових установок, що експлуатуються на фермерських господарствах, зокрема встановлення максимальної кількості виходу біогазу та ефективного об'єму добового авантаження органічної сировини за змінних температур гідравлічного відстоювання. Отримані графічні та аналітичні закономірності можна використовувати під час проектування побутових біогазових систем для отримання біогазу та утилізації сільськогосподарських відходів.

Ключові слова: біореактор, біогаз, метанова ферментація, органічні відходи, анаеробне бродіння.

Актуальність роботи. Сьогодні в Україні пріоритетним напрямом економії паливно-енергетичних ресурсів є використання альтернативних джерел енергії. Одним із шляхів задоволення енергетичних потреб є використання біогазу як продукту анаеробного бродіння органічних відходів сільськогосподарського виробництва.

Біореактор є основною складовою частиною біогазової установки. Найбільшого поширення набули резервуари овальної і циліндричної форми. У таких місткостях забезпечуються найменші витрати на перемішування сировини, видалення відпрацьованого субстрату, відбір утвореного біогазу та руйнування кірки, яка утворюється у процесі бродіння, є найменшими. Використовуючи реактори циліндричної форми у похило-горизонтальному положенні, можна ефективніше розмістити обладнання для перемішування та створити потрібні умови для видалення шламу.

Основними вимогами до збродживальної сировини є придатність для розвитку метаноутворювальних бактерій, а саме: наявність органічної речовини, що біологічно розкладається, достатній вміст води (90-94%), відсутність речовин, які перешкоджають розвитку мікроорганізмів, та наявність нейтрального середовища. Найчастіше як органічну масу використовують гній сільськогосподарських тварин.

Важливою умовою виробництва біогазу є підтримання постійного температурного режиму збродживального субстрату. Метанова ферментація розпо-

¹ проф. В.М. Желих, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

² асист. Ю.В. Фурдас, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

³ ст. викл. О.В. Омельчук – НУ "Львівська політехніка";

⁴ аспір. В.М. Штець – НУ "Львівська політехніка";

⁵ доц. М.П. Генсецький, канд. техн. наук – Львівський техніко-економічний коледж НУ "Львівська політехніка"

чинається за температури 6 °С. За нижчої температури виділення метану припиняється. Одночасно із зростанням температури швидко збільшується об'єм газу, що виділяється.

Тривалість гідравлічного відстоювання залежить також від виду сировини, що завантажується. Органічні речовини розкладаються з різною швидкістю. Найдовший час гідравлічного відстоювання буде за підвищеного вмісту целюлози та геміцелюлози, коротший – у разі наявності у сировині білків та жирів, а найкоротший – для цукрів.

Мета та завдання дослідження. Визначити залежність виходу об'єму біогазу, що утворюється під час анаеробного бродіння органічної сировини за різних температур біомаси та часу гідравлічного відстоювання.

Експериментальні дослідження та їх аналіз. Конструкція біореактора відіграє важливу роль для ефективного процесу метаноутворення, при цьому потрібно забезпечити достатньо розвинену поверхню біомаси для виходу біогазу. Врахувавши попередньо висвітлені рекомендації щодо конструювання біореакторів, запропоновано резервуар у вигляді циліндра зі зрізаними конусами доверху і до низу (рис. 1) [6].

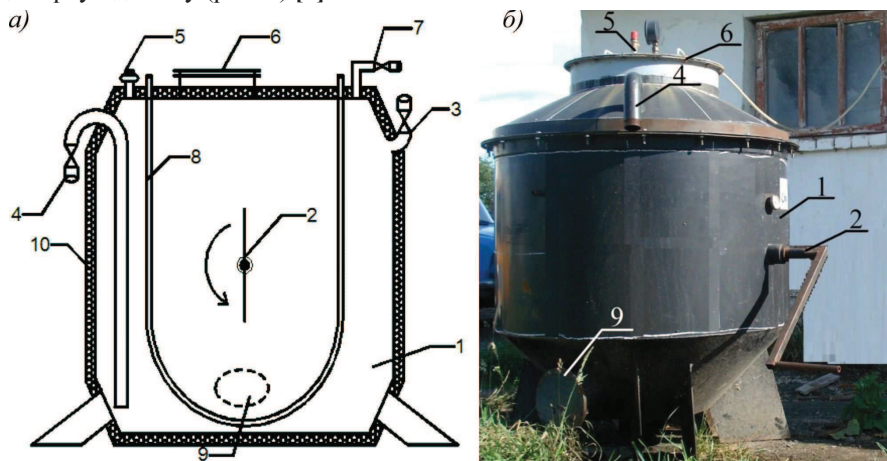


Рис. 1. Схема (а) та фото (б) побутового біореактора: 1) резервуар; 2) засіб перемішування; 3) патрубок завантаження; 4) патрубок розвантаження; 5) клапан; 6) люк; 7) патрубок виходу біогазу; 8) система підігрівання; 9) люк; 10) шар теплоізоляції

Одним із чинників, які впливають на об'єм виробленого біогазу, є вид органічної сировини, яка переброджує. Це пояснюється деякими відмінностями в хімічному складі гнійової біомаси від різних видів сільськогосподарських тварин. Тому визначення об'єму резервуара біореактора починають із збирання даних про вид тварин, поголів'я та об'єм біомаси, яка потребує утилізації. Прогнозування об'єму виходу біогазу проведено шляхом визначення потрібного об'єму сировини для забезпечення процесу анаеробного бродіння. Для розрахунку біореактора запропонованої конструкції використано методику Л.І. Гюнтера

[3]. Потрібно прийняти вихідні дані: t_B – температура біомаси, °С; W – вологість субстрату, %; A – зольність сухої органічної сировини, %.

Потрібний об'єм біореактора визначено за формулою

$$V = 100 \cdot D_{\text{д}} / D, \quad (1)$$

де: V – робочий об'єм реактора, м³; $D_{\text{д}}$ – добовий об'єм маси завантажуваної сировини, кг/(м³·доба); D – доза завантаження за об'ємом, %;

Визначено добове завантаження біореактора $D_{\text{д}}$, кг/(м³·доба)

$$D_{\text{д}} = \frac{S}{\tau}, \quad (2)$$

де: S – концентрація органічних речовин у завантажувальній сировині, кг/м³; τ – час бродіння, доба.

Концентрацію органічних речовин визначено із залежності, кг/м³:

$$S = \rho_{\text{об}} \cdot (100 - W) \cdot (100 - A) \cdot 10^{-4}, \quad (3)$$

де: W – вологість субстрату, %; A – зольність сухої органічної сировини, %; $\rho_{\text{об}}$ – густина біомаси, кг/м³.

Розраховано густину біомаси, кг/м³

$$\rho_{\text{об}} = \frac{\rho_{\text{вих}}}{100 + W \cdot (\rho_{\text{вих}} \cdot 10^{-3} - 1)} \cdot 100, \quad (4)$$

де $\rho_{\text{вих}}$ – густина твердої фракції біомаси, кг/м³.

Визначено кінематичний коефіцієнт K за формулою

$$K = K_r \cdot \frac{\mu_m \cdot S - d}{B \cdot S - K_r \cdot d}, \quad (5)$$

де K_r – коефіцієнт пропорційності.

Визначено коефіцієнт пропорційності

$$K_r = P \cdot \frac{38 \cdot S - 205}{100 \cdot (t_g - 17,8)}, \quad (6)$$

де: t_g – температура процесу бродіння, °С; P – поправний коефіцієнт, ($P = 1$ за $t_g = 33-53$ °С). Визначено максимальну швидкість росту мікроорганізмів μ_m в біомасі, доба⁻¹:

$$\mu_m = 0,013 \cdot t_B - 0,129. \quad (7)$$

Визначено добовий об'єм біогазу V_B , м³/(м³×доба)

$$V_B = \frac{B \cdot S}{\tau} \left(1 - \frac{K}{\tau \cdot \mu_m - 1 + K} \right), \quad (8)$$

де: B – максимальний вихід біогазу, м³/кг; S – концентрація органічних речовин у завантажувальній сировині, кг/м³; τ – час бродіння, доба.

Дослідження проведено для анаеробного біореактора, при цьому температура зброджуваної біомаси t_g змінювалась у діапазоні від 35 до 50 °С. Як органічна сировина використано:

- гній великої рогатої худоби з вологістю $W=88$ % та зольністю сухої речовини $A=16$ % з густиною твердої фракції $\rho_{\text{вих}}=1250$ кг/м³.

- гній свиней з вологістю $W=88\%$ та зольністю сухої речовини $A=15\%$ з густиною твердої фракції $\rho_{\text{тв}}=1400 \text{ кг/м}^3$.

Результати дослідження показано на рис. 2 та рис. 3

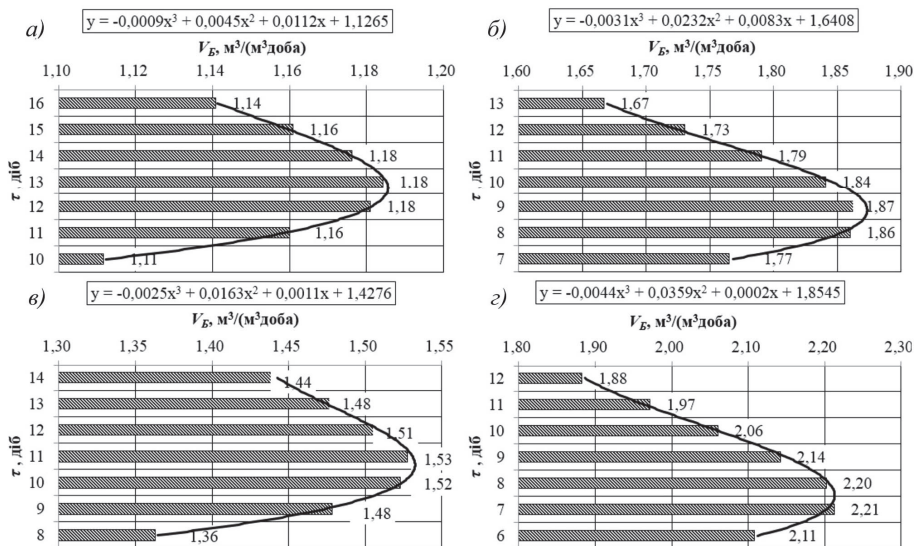


Рис. 2. Добовий об'єм біогазу із гною ВРХ залежно від часу τ бродіння та температури процесу t_a : а) $t_a=35^\circ\text{C}$; б) $t_a=40^\circ\text{C}$; в) $t_a=45^\circ\text{C}$; г) $t_a=50^\circ\text{C}$

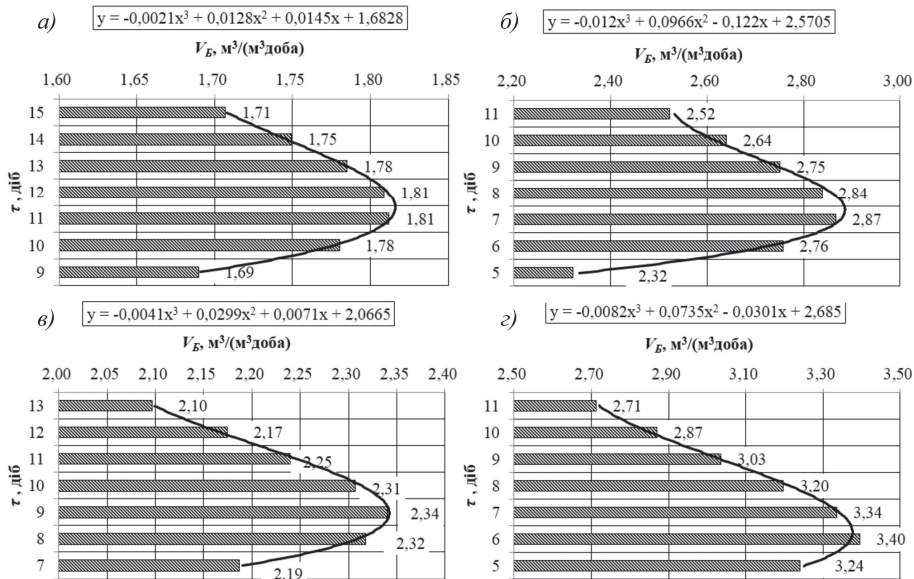


Рис. 3. Добовий об'єм біогазу з гною свиней залежно від часу τ бродіння та температури процесу t_a : а) $t_a=35^\circ\text{C}$; б) $t_a=40^\circ\text{C}$; в) $t_a=45^\circ\text{C}$; г) $t_a=50^\circ\text{C}$, де: y – вихід біогазу $V_B, \text{ м}^3/(\text{м}^3 \times \text{доба})$, x – час бродіння τ , днів

З рис. 2 та 3 видно, що за певного часу бродіння спостерігаються піки виходу біогазу, це зумовлено добовим завантаженням потрібного об'єму органічної сировини. Також спостережено, що тип зброджувальної біомаси впливає на продуктивність біореактора. Так, використовуючи гній від свиней з температурою анаеробного бродіння $t_a=50^\circ\text{C}$ та терміном гідравлічного відстоювання $\tau=6$ днів, досягається максимум виходу біогазу $V_B=3,4 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \times \text{добу})$.

Висновки. На основі виконаного аналізу підтверджено ефективність запропонованої конструкції малогабаритного біореактора безперервної дії, який працює в інтервалі температур біомаси від 35°C до 50°C . Для цього температурного діапазону анаеробного процесу метаноутворення встановлено час, за якого утворюється максимальний об'єм біогазу. Отримано графічні та аналітичні залежності для визначення прогнозованого добового виходу біогазу за використанням відходів великої рогатої худоби та гною свиней за різної температури зброджувального шלאму.

Література

1. Баадер Б. Биогаз: Теория и практика : пер. с нем. М.И. Серебряного / Б. Баадер, М. Доне Брендерфер. – М. : Изд-во "Колос", 1982. – 148 с.
2. Даффи Дж.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж.А. Даффи, У.А. Бекман. – М. : Изд-во "Мир", 1977. – 410 с.
3. Гюнтер Л.И. Метантенки : монография / Л.И. Гюнтер, Л.Л. Гольдфа. – М. : Изд-во "Стройиздат", 1991. – 129 с.
4. Соуфер С. Биомасса как источник энергии : пер. с англ. / С. Соуфер, О. Заборски. – М. : Изд-во "Мир", 1985. – 368 с.
5. Ратушняк Г.С. Интенсификация биоконверсии кокультурами перемешиванием субстрата / Г.С. Ратушняк, В.В. Дездежула. – Вінниця : Вид-во "УНІВЕРСАМ – Вінниця", 2008. – 117 с.
6. Желих В.М. Біогазовий реактор / В.М. Желих, Ю.В., Фурдас // Патент на корисну модель № 57360 від 25.02.2011 р., Бюл. № 4.
7. Желих В.М. Підтримання теплового режиму біореактора під час застосування сонячної енергії / В.М. Желих, Ю.В. Фурдас // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Теорія і практика будівництва. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2012. – № 742. – С. 83-86.

Надійшла до редакції 13.05.2016 р.

Жельх В.М., Фурдас Ю.В., Омельчук О.В., Штець В.М., Генсецький М.П. Влияние температурного и физико-химического свойства биомассы на процесс метанообразования в малогабаритных биореакторах

Предложена конструкция бытового биореактора с непрерывным процессом анаэробного брожения. Представлен метод инженерного расчета для определения производительности биогазовых установок, эксплуатируемых на фермерских хозяйствах, в частности установление максимального количества выхода биогаза и эффективного объема суточной загрузки органического сырья при переменных температурах гидравлического отстаивания.

Полученные графические и аналитические закономерности можно использовать при проектировании бытовых биогазовых систем для получения биогаза и утилизации сельскохозяйственных отходов.

Ключевые слова: биореактор, биогаз, метановая ферментация, органические отходы, анаэробное брожение.

Zhelyh V.M., Furdas Y.V., Omelchuk O.V., Shtets V.M., Hensetskyi M.P. The Effect of Temperature and Physico-Chemical Properties of Biomass Process on the Methane Formation in Small Bioreactors

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. Кобриневич⁴,
Т.А. Сомар⁵, О.М. Левчунець⁶

Наведено характерні особливості (ознаки) мокрого очищення газової суміші, що існують у технологічних процесах виробництва 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. Кобриневич, 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 диспергованою 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 припушенні, що сили адгезії відсутні ($\omega \approx 0,80 \omega_{удар}$, де $\omega_{удар}$ – швидкість частинки при ударі);