

УДК 66.021.1

DOI: 10.15587/2313-8416.2018.146844

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВЛОВЛЮВАННЯ В ЦИКЛОННОМУ АПАРАТІ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ

© В. В. Новодворський, А. Р. Степанюк

*Запропонований циклон суттєво підвищує ефективність пиловловлювання композитного забруднення, яке складається з твердих частинок та водяної пари, та сприяє зменшенню температури в апараті. Проведено літературний огляд і визначено, що було досліджено раніше і що авторами не було досліджено сукупного вловлювання. Було відібрано проби пилу, що вловлено та проведено визначення фракційного складу*

**Ключові слова:** пиловловлювач, полідисперсний пил, апарат, очищення повітря, циклон, сепаратор, тверда частинка

### 1. Вступ

Циклони є найбільш широко використовуваним встаткуванням в промисловості для пиловловлювання. Ці апарати працюють за рахунок відцентрової сили, щоб відокремити тверді частинки від газоподібних потоків. Основними перевагами циклонів є простота виготовлення, відсутність рухомих деталей, відносно невеликий гідравлічний опір і велика продуктивність [1].

### 2. Літературний огляд

Незважаючи на те, що циклони користуються популярністю в сучасних технологіях, промисловості, підвищення ефективності вловлювання дрібних часток є досі складною задачею.

Авторами [2, 3] виконані дослідження, які виявили вплив завантаження частинок у діапазоні від  $1,6 \text{ г/м}^3$  до  $115,3 \text{ г/м}^3$ , швидкості подачі газу та ефективність розділення. Авторами [4] досліджено вплив тиску та застосування декількох циклонів і залежність ефективності вловлювання від цих параметрів. Авторами [5, 6] було розв'язано актуальну науково-технічну задачу побудови математичних моделей полідисперсного багатофазового потоку та досліджено процес коагуляції. Авторами [7] виявлено вплив температурного поля на концентрацію дисперсної фази.

Виконано порівняльний аналіз [8] моделей з різними значеннями конструктивного параметра  $h$ , що представляє собою найкоротшу відстань між внутрішньою обичайкою елемента і його зовнішньою стінкою, вимірний в площині симетрії, було встановлено, що оптимальним значенням даного параметра є  $h \approx 7,5 \text{ мм}$ , оскільки в діапазоні початкових швидкостей  $15 \dots 30 \text{ м/с}$  для частинок діаметром  $10^{-6} \dots 10^{-5} \text{ м}$  воно дає найбільший сумарний коефіцієнт уловлювання при допустимих значеннях гідродинамічного опору. Авторами [9] виконані дослідження щодо оцінювання витрат.

В літературі не наведено способів одночасного вловлювання високодисперсних твердих частинок та парів води, тому було запропоновано циклон який підвищує ефективність пиловловлювання композитного забруднення, що складається з твердих частинок та водяної пари, та сприяє зменшенню температури в апараті [10].

### 3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є моделювання пиловловлювання композитного забруднення, яке складається з твердих частинок та водяної пари та зменшення температури в апараті для часткової конденсації парової фази.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- обґрунтувати фізичну модель процесу видалення композитних забруднень в циклонному апараті та підібрати математичну модель;

- визначити залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву та надати рекомендації щодо проектування циклонного апарату запропонованої конструкції.

### 4. Матеріали і методи

На сьогоднішній день виробництво добрив має надзвичайно важливе значення. Виробництво азотогумінових і азото-мінеральних добрив з вмістом сульфату, калію, і здійснюється в грануляторі. Під час виробництва в грануляторі генерується велика кількість твердих, дрібнодисперсних частинок та парів води. Для осадження цих викидів було запропоновано осаджувати високодисперсні тверді частинки та пари води у модернізованому циклоні. В результаті чого в циклонному апараті утворюється суспензія.

Рух уловленої суспензії суттєво залежить від її теплофізичних властивостей, особливо від в'язкості та густини, які в свою чергу залежать від внутрішнього тертя, яке проявляється при наявності відносного руху сусідніх шарів рідини і залежить від сил зчеплення між окремими молекулами.

Для забезпечення руху суспензії по стінках циклону необхідно дослідити властивості руху суміші. Серед одних із найважливіших – в'язкість. По закону Ньютона сила внутрішнього тертя, тобто сила, яка проявляється при переміщенні одного шару рідини відносно іншого, прямо пропорційна відносній швидкості переміщення і величині поверхні дотику цих шарів.

Вона залежить від властивостей рідини і не залежить від тиску.

Виділимо в потоці рідини, що рухається по стінці, елементарний елемент  $h2\pi r dx$  (рис. 1). На нього діють сили тяжіння, архімеда і тертя.

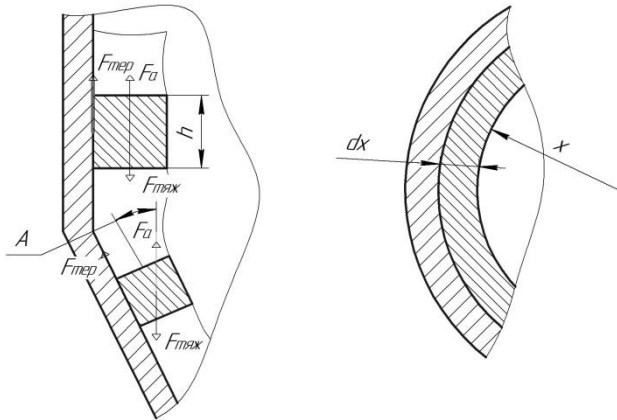


Рис. 1. Осадження плівки в циклоні

Сила тяжіння може бути записана, як:

$$F_{тяж} = dm \cdot g = \rho_{ч} g 2\pi h x dx.$$

Сила тертя:

$$F_{тер} = S \cdot \mu = 2\pi h (x + dx) \mu,$$

де  $\rho_{ч}$  – густина суспензії (що вміщає в себе тверді частинки),  $\rho_{г}$  – густина газу,  $h$  – висота виділеної ділянки;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $x$  – відстань

від центру до виділеного елемента,  $dx$  – товщина виділеної ділянки.

Сила Архімеда:

$$F_a = V \cdot \rho_{г} \cdot g = \rho_{г} g 2\pi h x dx.$$

Тоді для нормальної роботи циклонного апарату у найпростішому вигляді повинні виконуватися умови:

– для вертикальної частини циклону:

$$(F_a + F_{тер}) < F_{тяж};$$

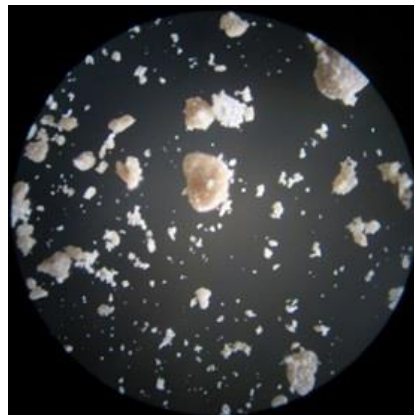
– для конічної частини циклону:

$$F_a + F_{тер} \cdot \cos(A) < F_{тяж}$$

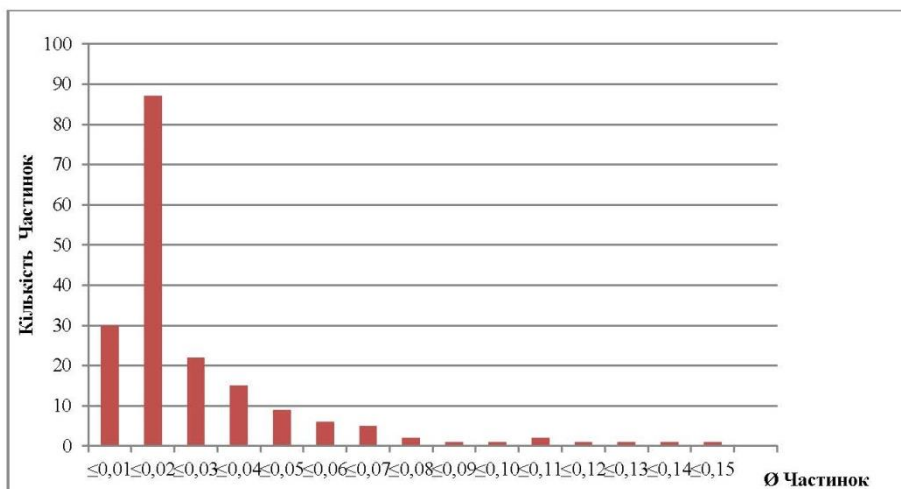
**5. Результати досліджень та їх обговорення**

Для визначення математичної моделі необхідно визначити розміри в твердих частинок та реологічні властивості суспензії.

В процесі відбору проб пилу, що вловлено в циклоні та проведено визначення фракційного складу. Пил складається з солей сульфату амонію, карбонату та аморфних добавок гуматів рис. 2.а. Після визначення кількості та розмірів частинок отримано осередженні результати, зображені на рис. 2.б.



a



б

Рис. 2. Фракційний склад пилу в циклоні: а – один із зразків; б – осередженні результати

З рис. 2.б фракційного складу пилу видно, що графік відповідає принципу біноміального розподілу.

При відборі проб було створено модельний розчин з твердої фази і води 30:70 %, 40:60 %, 50:50 %, при температурах 19 °С і 50 °С.

Реологічні характеристики розчинів полімерів досліджуються на ротаційному віскозиметрі типу РВ-8 у діапазоні швидкостей зсуву  $j=2...300\text{c}^{-1}$  [11, 12].

Визначено в'язкісні параметри залежності в'язкості від швидкості зсуву і напруги зсуву. Результати зображені на рис. 3.

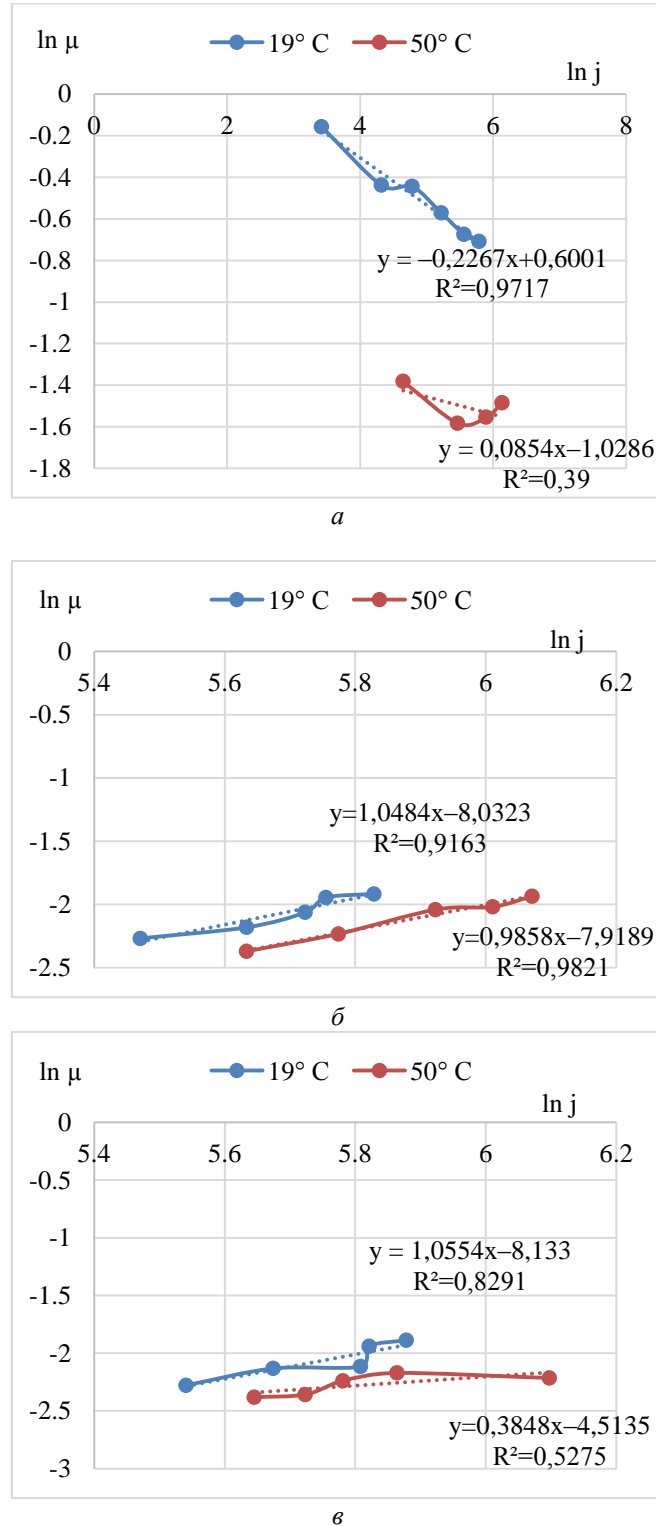


Рис. 3. Залежності в'язкості від швидкості зсуву  $\mu_{ef} = K \cdot j^{n-1}$ : а – при 30 % води; б – при 40 % води; в – при 50 % води

**6. Висновки**

- 1) Підібрано та обґрунтовано фізичну та математичну моделі вловлювання в циклоні, що дає можливість визначити умови осадження забруднень у циклоні.
- 2) Визначено залежність в'язкості від напруги

зсуву  $\mu_{ef} = f(\tau_{zc})$  і від швидкості зсуву  $\mu_{ef} = f(j)$ , при різних концентраціях і температурах, що дало можливість визначити умови стикання плівки осаду у бункер, тобто уточнити параметричний розрахунок циклону.

**Література**

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Москва, 1961. 829 с.
2. Ganegama Bogodage S., Leung A. Y. T. Improvements of the cyclone separator performance by down-comer tubes // Journal of Hazardous Materials. 2016. Vol. 311. P. 100–114. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.02.072>
3. Huang A.-N. Effects of particle mass loading on the hydrodynamics and separation efficiency of a cyclone separator // Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 2018. Vol. 90. P. 61–67. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.12.016>
4. Luciano R. D. Multi-objective optimization of cyclone separators in series based on computational fluid dynamics // Powder Technology. 2018. Vol. 325. P. 452–466. doi: <http://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.11.043>
5. Антоненко І. В. Моделювання процесів переносу у трифазових полідисперсних потоках стосовно до мокрої очистки газів від твердих частинок. Київ: Інститут Вугільних Енерготехнологій, 2016. 141 с.
6. Дубровський В. В., Підвисоцький О. М., Шрайбер О. А. До визначення ефективності уловлювання частинок легкої золи краплями // Проблеми загальної енергетики. 2011. № 3 (26). С. 45–49.
7. Рижков С. С., Ощип О. В. Інтенсифікація осадження високодисперсних частинок у лабіринтному сепараторі за рахунок термофоретичних ефектів // Збірник наукових праць НУК. 2011. № 4. С. 99–107.
8. Шелюх Ю. С. Сучасні методи очищення повітря від промислових видів пилу // Вісник ЛДУ БЖД. 2012. № 6. С. 214–218.
9. Рижков С. С., Пастухов С. Ю. Численное моделирование осаждения высокодисперсных частиц в проточной части сепарационного оборудования // Электронный Вісник НУК. 2010. № 3. URL: <http://evn.nuos.edu.ua/article/download/24952/22404>
10. Радченко Р. Н., Радченко Н. І., Хлопенко Н. Я. Оценка эффективности охлаждения воздуха на входе главного двигателя транспортного судна забортной водой и эжекторной холодильной машиной // Збірник наукових праць НУК. 2011. № 4. URL: <http://jnn.nuos.edu.ua/article/download/25590/23057>
11. Циклон / Новодворський В. В., Степанюк А. Р.; заявник Новодворський В. В. № u201807571; заявл. 06.07.2018.
12. Швед М. П., Степанюк А. Р. Дослідження реологічних властивостей розчинів полімерів. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 17 с.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Радовенчик В. М.  
Дата надходження рукопису 28.08.2018*

**Новодворський Володимир Валерійович**, кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056  
E-mail: [qwertyqwerty641@ukr.net](mailto:qwertyqwerty641@ukr.net)

**Степанюк Андрій Романович**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056  
E-mail: [ynk@kpi.ua](mailto:ynk@kpi.ua)