

УДК 66.021.1

DOI: 10.15587/2313-8416.2019.156427

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВЛОВЛЮВАННЯ В ЦИКЛОННОМУ АПАРАТІ З УТВОРЕННЯМ ПЛІВКИ

© В. В. Новодворський, А. Р. Степанюк, Р. В. Кичак

Запропонований циклон суттєво підвищує ефективність пиловловлювання композитного забруднення, яке складається з твердих частинок та водяної пари, та сприяє зменшенню температури в апараті, та підібрано і розв'язано фізичну та математичну моделі вловлювання в циклоні. 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

Широке впровадження інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур, використання в підвищених нормах органічних і мінеральних добрив, пестицидів та інших хімічних засобів порушують природні умови і забруднюють навколишнє середовище. Наявність у мінеральних добривах різних токсичних домішок, низький вміст поживних речовин, а також можливі порушення технології використання можуть призвести до серйозних негативних наслідків. Тому збереження екологічної рівноваги навколишнього середовища набуває державного значення.

Сульфат амонію (амоній сірчаноокислий) – хімікат, який вітчизняна промисловість випускає у великих кількостях. І не дивно, адже спектр його застосування дуже різноманітний; він не відноситься до отруйних речовин, не виділяє отруйні пари, що значно спрощує його використання як добрива.

Під час переробки водяних розчинів сульфату амонію у комплексні добрива одним із етапів процесу є очистка повітря від композитних забруднень. За допомогою циклону ефективність процесу досягає 96 %. Для підвищення ступеня вловлювання краще використовувати конструкцію, в якій буде відбиратися волога із теплоносія. Це дасть змогу підвищити ефективність процесу до 98 % і подавати шлам у мішалку.

Отже розробка способу очищення композитних забруднень при виробництві органічних добрив є важливою темою.

2. Літературний огляд

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

Авторами [1] досліджувалися апарати трьох типів з використанням стандартно приготовленого пилу (кварцового піску): перший – апарат зі самовстановленими жалюзі, другий – запропонований, третій – циклон ЦН-11.

Авторами [2] розглянуто перспективний спосіб скорочення викидів пилу в атмосферу в виробництві керамзиту високоефективним апаратом мок-

рого очищення з комбінованою схемою пиловловлювання в знепилюючих системах аспірації.

Представлена структура і функціональні можливості автоматизованої системи досліджень циклонів і скрубєрів, призначеної для визначення щільності пилу і її гранулометричного складу [3].

У літературі [4, 5] вирішено задачу повітроочищення. Напрямами вдосконалення обрано збільшення рівня достовірності теоретичного висвітлення супутніх аеродинамічних та сепаратійних процесів. Результати досліджень розв'язують проблему, вирішення якої дає змогу проводити очистку промислових і вентиляційних пилогазових потоків з вищою ефективністю і меншими енергетичними затратами.

Авторами [6] досліджено вплив при різному діаметрі та концентрації частинок сепаратора та габаритами апарата. Отримані результати можуть забезпечити основи для подальшого вивчення моделей сепарації газ–тверде тіло та розрахунку продуктивності циклонів.

Представлена детальна інформація про потоки та продуктивність п'яти різних циклонних сепараторів з різними кутами входу отриманий з CFD-DEM. Їх дієвість підтверджується зіставлення передбачуваного та вимірювання падіння тиску та швидкість газу [7].

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, а також сприяє зменшенню температури в апараті [8, 9].

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:

– визначити залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву та надати рекомендації щодо

проектування циклонного апарату запропонованої конструкції.

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

– змодельовати процес вловлювання в циклоні в програмному середовищі SolidWorks та визначити траєкторію потоку, коефіцієнт тепловіддачі, температурний розподіл в апараті і розподіл швидкостей.

4. Матеріали і методи

З зростанням обсягу промислового виробництва виникають проблеми викидів композитних забруднень, які вміщують тверді частинки і воду. Під час виробництва в грануляторі генерується велика кількість твердих, дрібнодисперсних частинок та парів води. Утворюється суспензія (рис. 1.), концентрація якої має бути визначена в певних межах. Для відділення цих викидів було запропоновано осаджувати високодисперсні тверді частинки та пари води у модернізованому циклоні, витрати води в якому значно менші.

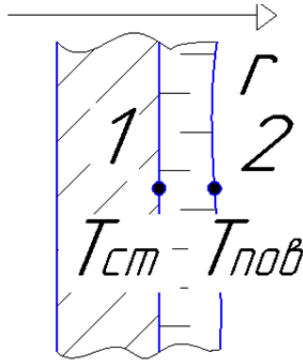


Рис. 1. Плівка в циклоні

Було розв’язане диференціальне рівняння:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial r} \right)$$

де $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$ – коефіцієнт теплопровідності.

Початкові умови: $t_1=20^\circ\text{C}$, $t_2=95^\circ\text{C}$;

Граничні умови:

$$\lambda_{ст} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial r} = \lambda_{пл} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial r}; \lambda_{пл} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial r} = \alpha \cdot (\Theta - \Theta_{пов}).$$

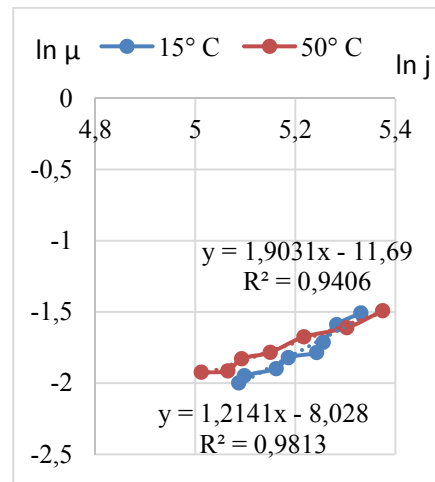
Для розв’язання рівняння треба знайти товщину плівки, а для цього необхідно визначити в’язкість суспензії, що утворюється.

5. Результати досліджень та їх обговорення

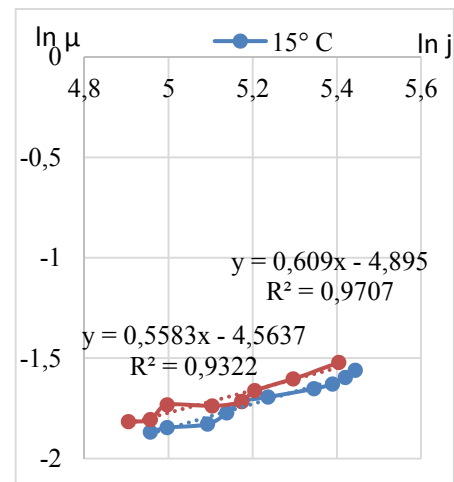
Для визначення математичної моделі необхідно визначити реологічні властивості суспензії.

Реологічні характеристики досліджуються на віскозиметрі типу РВ-8 [10].

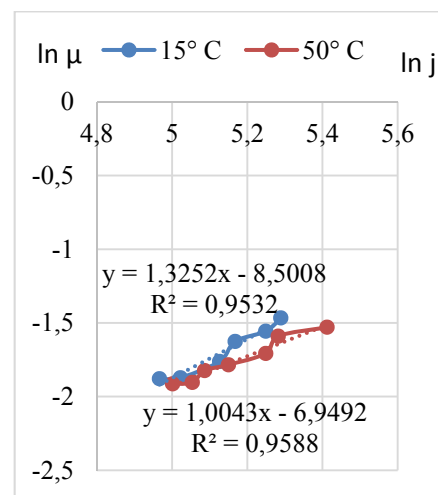
Визначено залежність в’язкості від швидкості зсуву при 20, 35 та 50 мас. % води та встановлено реологічні рівняння рис. 2.



a



б



в

Рис. 2. Визначено залежність в’язкості від швидкості

зсуву: a – при 20 % води $\tau = 0,162 \cdot j^{0,609} \cdot e^{\frac{0,416 \cdot (T-288)}{288-273}}$;

б – при 35 % води $\tau = 0,146 \cdot j^{1,21} \cdot e^{\frac{0,644 \cdot (T-288)}{288-273}}$;

в – при 50 % води $\tau = 0,147 \cdot j^{1,004} \cdot e^{\frac{-0,275 \cdot (T-288)}{288-273}}$;

Було відібрано проби та створено модельний розчин з твердої фази і води (80:20, 35:65, 50:50 мас. %) при температурах 15 °С і 50 °С.

Симуляція процесу вловлювання в циклоні у програмі SolidWorks рис. 3.

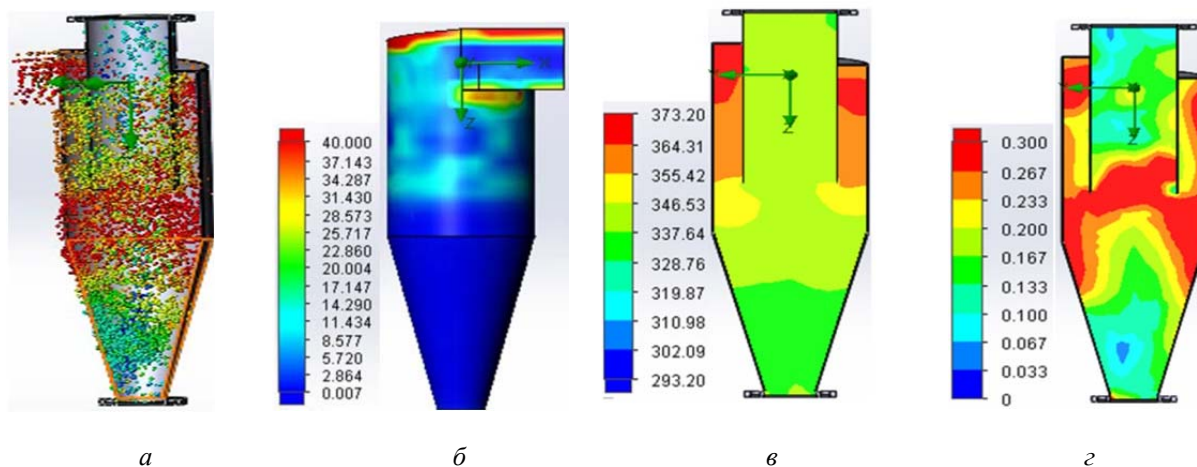


Рис. 3. Визначено: *a* –траєкторію потоку; *б* –коєфіцієнт тепловіддачі; Вт/(м²К); *в* – температурний розподіл; К; *г* – розподіл швидкостей, м/с

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 швидкості зсуву $\mu_{ef} = K \cdot j^{n-1}$, при різних концентраціях і те-

мпературах, що дало можливість визначити умови стікання плівки осаду у бункер, розрахувати товщину плівки (уточнити параметричний розрахунок циклону).

3) Змодельовано процес вловлювання в циклоні в програмному середовищі SolidWorks та визначено траєкторію потоку, коєфіцієнт тепловіддачі, температурний розподіл в апараті і розподіл швидкостей.

Література

1. Батлук В. В., Батлук В. А., Басов М. В. Створення пилоловлювачів для полідисперсного пилу // Охорона праці. 2009. № 2 (16). Р. 181–187.
2. Кошкарев С. А., Азаров В. Н. Оценка эффективности аппарата мокрой очистки обеспыливания выбросов печей обжига керамзита // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 2. Р. 18–32. doi: <http://doi.org/10.5862/mce.54.3>
3. Асламова В. С., Жабей А. А. Автоматизированная система исследования циклонов и скрубберов // Известия Томского политехнического университета. Энергетика. 2010. Т. 316, № 4. С. 71–76.
4. Кущенко О. В. Підвищення ефективності систем охолодження тягового електроустаткування локомотивів удосконаленням повітроочищувачів: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Луганськ, 2003. 24 с.
5. Куц В. П. Науково-практичні основи створення вискоєфективного пилоочисного обладнання комбінованої дії: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Львів, 2015. 40 с.
6. Solids concentration simulation of different size particles in a cyclone separator / Wan G. et. al. // Powder Technology. 2008. Vol. 183, Issue 1. P. 94–104. doi: <http://doi.org/10.1016/j.powtec.2007.11.019>
7. Effect of the inlet angle on the performance of a cyclone separator using CFD-DEM / Wang S. et. al. // Advanced Powder Technology. 2019. Vol. 30, Issue 2. P. 227–239. doi: <http://doi.org/10.1016/j.apt.2018.10.027>
8. Циклон: Пат. UA / Новодворський В. В., Степанюк А. Р. № u201807571; заявл. 06.07.2018.
9. Новодворський В. В., Степанюк А. Р. Моделювання процесу вловлювання в циклонному апараті нової конструкції // ScienceRise. 2018. № 10. С. 33–36. doi: <http://doi.org/10.15587/2313-8416.2018.146844>
10. 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 07.02.2019

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

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

Кичак Руслан Віталійович, аспірант, кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
E-mail: kkrnvh@gmail.com

УДК 066.015.23

DOI: 10.15587/2313-8416.2019.155858

ГАЗСОДЕРЖАНИЕ НА ТАРЕЛКЕ ПРОВАЛЬНОГО ТИПА В КОМБИНИРОВАННОМ КОНТАКТНОМ УСТРОЙСТВЕ

© Г. В. Тараненко

Проведено исследование тарелок провального типа с большим свободным сечением, которые предлагаются устанавливать в комбинации с пакетом гофрированной насадки с косым гофром. Пакет насадки устанавливается над тарелкой провального типа в качестве сепаратора газожидкостного слоя, таким образом, пакет насадки является второй зоной контакта фаз в условиях массопередачи. Такое комбинированное контактное устройство допускает большие линейные скорости газа.

Установлено, что гидродинамические характеристики комбинированного контактного устройства практически не зависят от диаметра колонного аппарата в условиях нагрузок по жидкой фазе характерных для процессов ректификации

Ключевые слова: комбинированное контактное устройство, колонна, геометрические характеристики, ректификация, сепаратор, тарелка провального типа

1. Введение

В химической и других отраслях промышленности достаточно широко изучаются гидравлические характеристики тарелок провального типа [1–3]. Эти работы посвящены исследованию тарелок провального типа с небольшим свободным сечением ($f < 0,25$).

В настоящее время актуальной задачей является увеличение линейной скорости газа (пара) в колонных аппаратах. Это позволяет уменьшить поперечное сечение аппарата, при сопротивлении массопередаче сосредоточенном в газовой фазе. Также уменьшается время пребывания контактирующих веществ в аппарате, что важно, если эти вещества термолabile [4].

Этой цели можно достичь, если снабдить колонный аппарат тарелками провального типа с большим свободным сечением. Однако такие тарелки имеют низкую эффективность. Для увеличения общей эффективности ступени контакта фаз в сепарационное пространство тарелки провального типа помещают сепаратор, который предназначен для

уменьшения брызгоуноса с нижележащей тарелки провального типа. В таком комбинированном контактном устройстве сепаратор выполняет задачу второй зоны контакта фаз [5].

Для эффективной работы в комбинации с тарелками провального типа с большим свободным сечением, сепаратор включает в свою конструкцию регулярную насадку с косым гофром [6]. Эта насадка допускает большие производительности по газу и жидкости, имеет небольшое гидравлическое сопротивление и обладает хорошими сепарационными характеристиками.

2. Анализ литературных данных

В [7] рассматриваются исследования гидравлических и кинетических характеристик комбинированного контактного устройства [5], которые проведены в широком диапазоне изменения скоростей, как газовой, так и жидкой фаз.

Геометрические характеристики исследованных тарелок приведены в табл. 1.

Таблица 1

Геометрические характеристики тарелок

Номер тарелки	1 2 3 4 5 6	7 8 9	10 11 12	13 14 15
Диаметр колонны, D_k , м	0,15	0,3	0,4	2,0
Свободное сечение, $f \times 10^2$	16 22 25 30 36 46	16 36 56	16 36 56	16 25 36
Диаметр отверстия, $d_0 \times 10^3$, м	8 12 12 12 12 7	8 12 12	12 12 12	12 12 12