

ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНІ АСПЕКТИ ГОРІННЯ СИСТЕМ ЗАВИСЛИХ ВУГЛЕЦЕВИХ ЧАСТИНОК

С. Г. Орловська, к.ф.-м.н., доц.

В. В. Калінчак, д.ф.-м.н., проф, В. В. Курятников, к.ф.-м.н., доц.

Кафедра фізики та астрономії

Кафедра екології та охорони довкілля

svetor25@gmail.com

Кінетика горіння систем завислих вуглецевих частинок вивчалася в Одеському державному університеті ім. І.І. Мечникова з середини 60-тих років минулого сторіччя. Експериментальні дослідження проводилися на експериментальній установці, працюючої по методу треків. Досліджувалося процеси займання і горіння дисперсних частинок різних фракцій. Дослідження перш за все підтвердили гетерогенний характер горіння частинок, підтвердили теорію тепло-масообміну, розвинуту для вуглецю школою А.С. Предводителєва.

Експерименти підтвердили висновки теорії теплового вибуху, розвинутої Н.Н. Семеновим. Виправдалися передбачення Д.А. Франк-Каменецького, який запропонував метод розв'язання нелінійних рівнянь в задачах дифузії і теплопередачі хімічної кінетики шляхом розкладання арреніусівської експоненти в ряд Тейлора поблизу точки самозаймання.

Мала різниця між температурами займання і самозаймання вуглецевих частинок дає підставу для використання цього методу в теоретичних дослідженнях цих процесів.

Поряд з цим були виявлені нові цікаві особливості [1-3], як то внутрішнє горіння – явище, яке задовго до цього передбачав Я.Б. Зельдович. Товщина приповерхневого шару вуглецевих частинок, де відбуваються процеси окислення, залежить від температури і є достатньо суттєвою в період індукції вуглецевих частинок. В період індукції частинок лімітуючою залишається хімічна кінетика, а дифузійні процеси відіграють свою роль в основному при внутрішньому реагуванні. При цьому значну роль відіграє активність вуглецевої поверхні, визначення якої дублювалося методом ЕПР.

Виявився вплив способу подрібнення вуглецю на швидкість окислювальних процесів. Частинки вуглецевих матеріалів, які отримувалися струминним способом, мали більшу реакційну здатність і тому швидкість їх реагування в процесах займання і горіння була вище, ніж у таких самих частинок, того ж самого розміру, але отриманими іншими, менш напруженими способами, зокрема, у шарових млинах або у ступці.

Виявлені причини нестабільного горіння вугілля на електростанціях, які складалися в різній реакційній здатності вугілля в залежності від його родовища. Впроваджені на найбільших електростанціях України установки і прилади автоматичного контролю горіння частинок вугілля і управління топковим процесом.

Проведені експериментальні дослідження впливу інгібіторів на займання вугілля в шахтах Донбасу. Знайдені добавки, які можуть бути надійними інгібіторами, наприклад, суперфосфат, який використовують в якості сільськогосподарських добрив.

Проведені експериментальні дослідження високотемпературного горіння вуглецю, при якому спостерігається його сублімація. Поряд з цим проводилося моделювання процесів факельного горіння, як в топках електростанцій, так і при високих температурах в камерах згоряння МГД-генераторів.

Досліджувалися [1-3] умови зриву теплової рівноваги в задачах займання і горіння вугільних частинок. Підтримання теплової рівноваги в процесі горіння завислої вугільної частинки відбувається завдяки виконанню двох умов: рівності теплоприходу та тепловідводу, а по-друге, рівності перших похідних їх по температурі. Коли ці умови порушуються і теплоотвід від частинки стає більшим за теплоприхід, частинка згасає.

Згасанню частинки сприяє плівка золи, що утворюється на поверхні частинки. Вона перешкоджає дифузії кисню до зовнішньої і внутрішньої поверхонь вуглецевої частинки. В результаті передчасного припинення процесу горіння залишається частинка золи із залишками вугілля.

Виявилося, що зола теж має різний хімічний склад і різні фізичні властивості. В залежності від своєї змочуваності, густини та ін. вона здатна чинити різний дифузійний опір, подібний оксидам металевих частинок при їх горінні. Внаслідок цього окремі частинки вугілля згасають, недогорівши до кінця. При цьому повнота горіння погана.

Сучасне низькосортне вугілля Донбасу має багато золи. Склад її в різних вугіллях може відрізнятися. Поведінка золи в топковому процесі залежить також від різних факторів. На електростанціях помічено, що при факельному згорянні в топці зола може бути у вигляді рідких крапель подібних дощовим, або у вигляді твердих частинок. Тоді кажуть, що в топці «йде сніг».

Повнота згоряння має і екологічні наслідки. Збільшуються викиди в атмосферу небезпечних речовин. Зростає забруднення атмосфери. Поблизу електростанції спостерігається чорний дим з її труб.

Золіві частинки потрібно уловлювати. Для цього на електростанціях використовують електрофільтри різного типу: ПГД і ПГДС із трьох- або чотирьохпольними апаратами, електрофільтр СГ-15-3 та ін.

Димові гази мають бути очищеними від золи, вміст якої досягає 20 – 30 г/см³ повітря. Дисперсний склад золи змінюється у широких межах, оскільки залежить від родовища та системи пилоприготування, але загалом більшість частинок має розмір, менше 30 - 40 мкм.

Електрофільтри призначені для роботи при швидкості потоку газів 1,5 м/с і температурі 130 -150 °С. Висота осаджувальних електродів -7,5 м і 12 м. Запиленість газів на виході з електрофільтра складає 0,3-0,5 г/м³, струшування електродів проводиться автоматично через кожні 2-4 хвилини без припинення подачі газів. Електрофільтри встановлюються після економайзерів перед димососами.

Розглянемо принцип роботи електрофільтра (рис.1), в якому відбувається електростатичне очищення газів.

Ступень очистки газів від дисперсних частинок визначається вмістом частинок в газі до поступлення в електрофільтр і після виходу з нього

$$\eta = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1} = 1 - \frac{Z_2}{Z_1},$$

де Z_1, Z_2 – концентрація частинок золи до входу та після виходу з апарата.

Маса пилу, що міститься в об'ємі міжелектродного простору завдовжки dx на відстані x від входу дорівнює

$$q = Z_{xcep} \cdot 2b \cdot d \cdot dx,$$

де b – ширина осаджувального електрода, d – відстань між коронуючим і осаджувальним електродами.

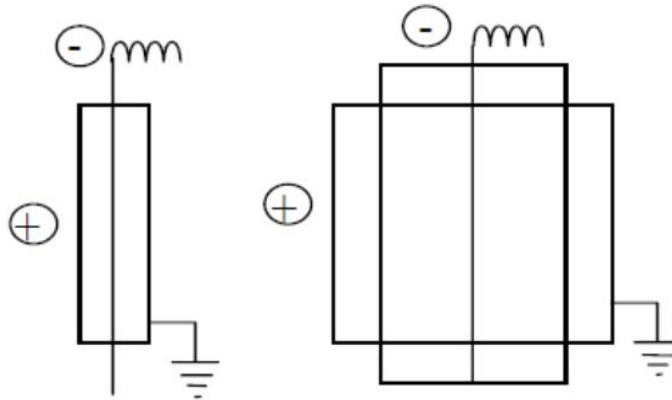


Рисунок 1 – Електрофільтри з трубчастим та пластинчастим електродами

Зменшення маси пилу dq при осадженні за час $d\tau$ на поверхню електродів площиною $2b \cdot dx$ дорівнюватиме

$$dq = -Z_x \cdot v \cdot 2b \cdot dx \cdot d\tau,$$

де v – швидкість дрейфу під дією поля у осаджувального електрода.

Об'єднуючи записані вирази і позначаючи

$$\chi = \frac{Z_x}{Z_{xcep}},$$

отримаємо

$$\frac{dq}{q} = -\frac{v\chi d\tau}{d} \quad \text{або} \quad \frac{dZ}{Z_{xcep}} = -v\chi \frac{d\tau}{d}.$$

Інтегруючи останній вираз, отримаємо закон зменшення концентрації частинок золи на виході з електрофільтра:

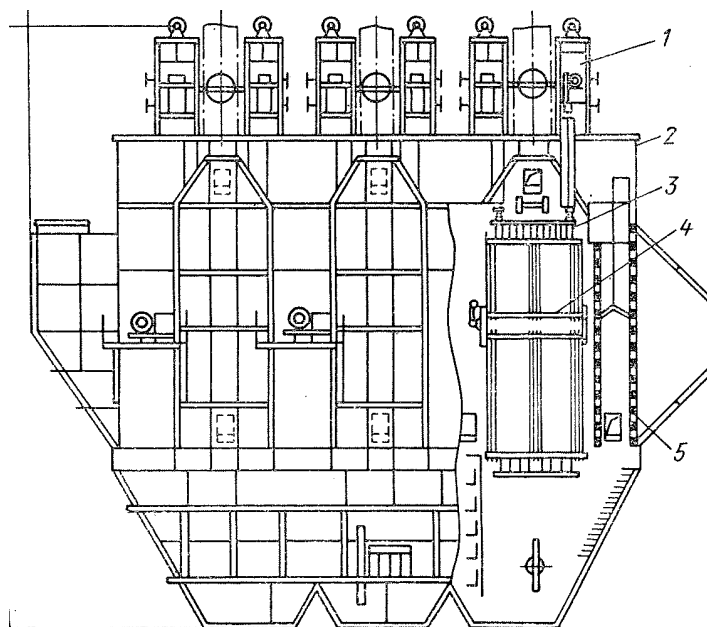
$$Z_2 = Z_1 e^{-v\chi\tau/d}.$$

Час перебування газу в електрофільтрі дорівнює $\tau = l/u$, де l – довжина електрофільтра, u – швидкість газу. Позначаючи функцією $f=l/ud$, отримаємо ступень очистки газів в електрофільтрі

$$\eta = 1 - e^{-\chi v f}.$$

Тобто ступень очистки димових газів росте із збільшенням довжини електродів і швидкості частинок у напрямку до осаджувального електрода і зменшується із збільшенням відстані між електродами та швидкості газу.

На рис. 2 приведена схема конструкції типового електрофільтра, який використовується на теплових електростанціях.



1 - коробка ізоляторна; 2 – корпус; 3 – система коронуючих електродів;
4 - система осаджувальних електродів; 5 -газорозподільні ґрати

Рисунок 2 – Електрофільтр СГ-15-3

Перелік посилань

1. Орловська С. Г., Зуй О. М. Вивчення високотемпературного тепломасообміну двофракційних газозавесів і поодиноких вуглецевих частинок в нагрітому повітрі [Study of high-temperature heatmass transfer of two-fraction gas suspensions and individual carbon particles in heated air; автори: Orlovska S.G., Zui O.M.] *Фізика і хімія твердого тіла*. 2024. Т. 25. № 2. С. 338-345.
2. Kalinchak V. V., Chernenko A. S. Effect of Gas Mixture Pressure on the Ignition, Combustion, and Spontaneous Extinction of Chars of Coals of Different Polymorphisms. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. 2021. V. 57. No. 2. P. 215-221.
3. Черненко О. С., Калінчак В. В., Батуріна А. П. Особливості вигорання поруватих частинок коксу вугілля. *Фізика аеродисперсних систем*. 2020. №. 58. С. 84-92.