

*Р.М. Силенко, ад'юнкт, УЦЗУ,
В.В. Пономар, ад'юнкт, УЦЗУ,
В.Ф. Чіжов, канд. техн. наук, доц., УЦЗУ*

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА ОСЕРЕДКІВ ПОЖЕЖ В ЗАМКНУТИХ ПРИМІЩЕННЯХ ВІД ДИМУ

(представлено доктором фіз.-мат. наук С.В. Яковлевим)

На основі проведеного аналізу існуючих математичних моделей очистки повітря визначені подальші напрямки теоретичних досліджень щодо розробки рециркуляційного електрофільтру на принципі електричного вітру (РЕФ). Отримано аналітичну залежність ступеня очистки газоповітряного середовища осередків пожеж в замкнутих приміщеннях від аерозольного забруднення з використанням РЕФ від показників електричного вітру.

Постановка проблеми. Одним з найбільш істотних небезпечних факторів пожеж в замкнутих приміщеннях є наявність аерозольного забруднення, зокрема диму, у концентраціях, які перевищують граничні значення, що ускладнює проведення підрозділами МНС аварійно-рятувальних робіт та робіт по ліквідації надзвичайних ситуацій (НС). Тому необхідність створення фільтрів нового покоління визначається новими задачами по ліквідації наслідків НС та є актуальною. До перспективних засобів очистки осередків НС від диму в замкнутих спорудах відноситься метод електричного осадження, що реалізується шляхом використання малогабаритного переносного рециркуляційного фільтру на принципі електричного вітру (РЕФ) [1].

Для удосконалення наявних та розробки нових електрофільтрів, а також для вивчення закономірностей і отримання інформації про процес очистки осередків НС від аерозольного забруднення в замкнутих приміщеннях при високій концентрації дисперсної фази, де працює електрофільтр в режимі рециркуляції, необхідно провести аналіз існуючих математичних моделей даного процесу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Розглянемо з цієї точки зору, відомі нам публікації, що мають відношення до поставленої проблеми. При цьому будемо враховувати роботи, що стосуються не лише осадження аерозолі в приміщенні, а й очищення повітря від диму, пилу та інших забруднювачів, оскільки теоретична база цих задач однакова.

В роботі [2] наводиться рішення для загального випадку очистки повітря приміщення від шкідливих речовин (пил, газу, туман, во-

лога і т.д.), коли є загальнообмінна вентиляція, виділення шкідливих речовин всередині приміщення та надходження їх з притічним повітрям. В статті [3] запропонована теорія осадження уніполярно зарядженого аерозолі в закритому приміщенні під дією гравітаційних сил та за рахунок електростатичного розсіювання.

В публікаціях [4,5] розглянуто випадок, коли в приміщенні є фільтри притічного та витяжного повітря, рециркуляції повітря, а також аероіонізатор. В даних роботах враховано осадження заряджених часток пилу як за рахунок їх дрейфу в електричному полі аероіонізатора, так і за рахунок електростатичного розсіювання. В роботах [6, 7] при складанні рівняння матеріального балансу шкідливих речовин в приміщенні, окрім їх виділення всередині приміщення, надходження з притічним повітрям, враховано вплив інфільтрації, а рівняння для концентрації аерозолі, що встановилася в приміщенні, доповнено урахуванням очистки повітря за рахунок роботи рециркуляційного фільтру. Проведений аналіз показує, що в жодній з розглянутих робіт не враховується вплив електричного вітру при математичному моделюванні процесу очистки.

Постанова задачі та її рішення. Мета роботи – визначення теоретичних передумов щодо математичного моделювання процесів очистки повітря важкодоступних осередків пожеж від аерозольного забруднення з використанням РЕФ.

Для побудови математичної моделі будь-якого процесу необхідно прийняти ряд припущень. У нашому випадку основними припущеннями є:

- 1) дим - монодисперсний аерозоль, а його частки мають сферичну форму;
- 2) швидкість електричного вітру постійна в часі та однакова в усіх точках поперечного перерізу РЕФ;
- 3) ступінь очистки повітря в зоні зарядки дорівнює нулю, ступінь очистки повітря в РЕФ дорівнює ступеню очистки повітря в зоні осадження;
- 4) система коронуючих електродів в зоні зарядки має вигляд "дріт-сітка" ("дріт-площина").

Ступінь очистки повітря в електрофільтрі визначається по формулі [8]

$$\eta_{\phi} = 1 - e^{-\frac{wl}{vh_2}}, \quad (1)$$

де w – швидкість дрейфу частки в поперечному перерізі ЕФ під дією електричного поля, м/с; l – довжина осаджувальних електродів електрофільтру, м; v – швидкість повітряного потоку, м/с; h_2 – міжелект-

родна відстань в зоні осадження, м.

Швидкість повітряного потоку визначається для РЕФ швидкістю електричного вітру та може бути розрахована за формулою [9]:

$$v = \sqrt{\frac{8I}{3\pi k \gamma_{\text{п}}}}, \quad (2)$$

де I – сила струму коронного розряду (на 1 м. довжини коронуючого електроду), А/м; k – рухливість іонів, $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$; $\gamma_{\text{п}}$ – густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Сила струму коронного розряду визначається (по Дейчу) виразом [9]

$$I = kGU(U - U_0), \quad (3)$$

де G – геометричний коефіцієнт, $\text{Ф}/\text{м}^3$; U – напруга коронного розряду, В; U_0 – початкова напруга коронного розряду, В.

Початкову напругу коронного розряду для електродів циліндричної форми знайдемо за формулою [9]

$$U_0 = E_0 r_0 \ln\left(\frac{2h_1}{r_0}\right), \quad (4)$$

де E_0 – початкова напруженість коронного розряду, В/м; h_1 – міжелектородна відстань в зоні зарядки, м; r_0 – радіус коронуючого електроду, ($r \ll h_1$) м.

Значення початкової напруженості коронного розряду розраховуються по формулі Піка [9]

$$E_0 = 30,3\delta \left(1 + \frac{0,298}{\sqrt{r_0\delta}}\right), \quad (5)$$

де δ – відносна густина повітря ($\delta=1$ при $t=20^\circ\text{C}$, $P=760$ мм.рт.ст.).

Для системи електродів "дріт-площина" [9]

$$G = \frac{\varepsilon_0 \pi^2}{h^2 \ln\left(\frac{2h_1}{r_0}\right)}, \quad (6)$$

де $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – електрична стала.

Зробивши необхідні перетворення, отримаємо для швидкості електричного вітру

$$v = \sqrt{\frac{8\varepsilon_0\pi U \left(U - 30,3\delta r_0 \ln\left(\frac{2h_1}{r_0}\right) \right) \left(1 + \frac{0,298}{\sqrt{r_0\delta}} \right)}{3h^2_1\gamma_{\pi} \ln\left(\frac{2h_1}{r_0}\right)}}. \quad (7)$$

Використовуючи вираз (7) для ступеня очистки повітря, маємо залежність:

$$\eta_{\phi} = 1 - e^{-\frac{wl}{h_2 \sqrt{\frac{8\varepsilon_0\pi U \left(U - 30,3\delta r_0 \ln\left(\frac{2h_1}{r_0}\right) \right) \left(1 + \frac{0,298}{\sqrt{r_0\delta}} \right)}{3h^2_1\gamma_{\pi} \ln\left(\frac{2h_1}{r_0}\right)}}}}}. \quad (8)$$

Осередки НС можуть характеризуватися високим рівнем небезпечного аерозольного забруднення. Так, під час пожежі вагова концентрація дисперсної фази в димі, що утворився, лежить в широкому діапазоні і складає зазвичай до $(6-7) \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$, а розмір часток дисперсної фази коливається в межах 0,01 - 1 мкм [1]. При цьому, змінюються умови та характеристики коронного розряду та, як наслідок, змінюються умови зарядки та руху часток аерозолі. Внаслідок збільшення концентрації часток їх зарядка відбувається з дефіцитом іонів. Крім того, змінюється розподіл напруженості поля, що безпосередньо впливає на значення граничного заряду та швидкості дрейфу часток [10].

Отже, для побудови достовірної математичної моделі, що відповідає реальним процесам очистки газоповітряного середовища важкодоступних осередків НС за допомогою РЕФ необхідно врахувати всі вище зазначені фактори.

Висновки. Отримано аналітичну залежність ступеня очистки газоповітряного середовища осередків димоутворення в замкнутих приміщеннях за допомогою РЕФ від показників електричного вітру.

Теоретичні та експериментальні дослідження РЕФ треба проводити з урахуванням концентрації дисперсної фази в димі, що утворився в осередках НС, яка суттєво впливає на ступінь очистки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Силенко Р.М., Пономар В.В., Попов І.І. Дослідження шляхів удосконалення методів та засобів боротьби з димом в осередках

пожеж в замкнутых спорудах. // Проблемы пожарной безопасности – Харків: УЦЗУ. – Вип. 23. – 2008. – С. 168-174.

2. Селиверстов А.Н. Вентиляция фабрично-заводских помещений. Том 1 .-М.-Л.: Госстройиздат, 1932.-207 с.

3. Дунский В.Ф., Китаев А.В. Осаждение униполярно заряженного аэрозоля в закрытом помещении // Коллоидный журнал, 1960, №2, с. 159-167.

4. Возмилов А.Г. Электроочистка и электрообеззараживание воздуха в промышленном животноводстве и птицеводстве: Дис. ...д-ра техн. наук: 05.20.02 / ЧГАУ.- Челябинск, 1993.- 337 с.

5. Возмилов А.Г., Кирпичников И.В. Выбор системы очистки конвективных потоков воздуха в помещениях малого объема // Вестник ЧГАУ, 1996, т.14, с. 121-126.

6. Уаддн Р.А., Шефф П.А. Загрязнение воздуха в жилых и общественных зданиях.-М.: Стройиздат, 1990.-126 с.

7. Кирпичникова И.М. Энергосберегающие системы электроочистки воздуха в сельскохозяйственных помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха: Дис. ... д-ра техн. наук.- Челябинск: ЧГАУ, 2001. —326 с.

8. Ужов В.Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами.- М.:Химия, 1967.-344 с.

9. Основы электрогазодинамики дисперсных систем / Верещагин И.П., Левитов В.И., Мирзабекян Г.З., Пашин М.М. - М.: Энергия, 1974.- 480 с: илл .

10. Чекалов Л.В. Научные основы создания электрогазоочистного оборудования нового поколения: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук.- Москва: МЭИ (ТУ), 2007. —41 с.

puszu.edu.ua

Стаття надійшла до редакції 29.09.2008 р.