

*А.Н. Литвяк, к.т.н., доцент, доц. каф., НУГЗУ,  
А.А. Дервянко, к.т.н., доцент, нач. каф., НУГЗУ*

## **РАСЧЕТ ДИНАМИКИ ОСАЖДЕНИЯ ОГНЕТУШАЩЕГО АЭРОЗОЛЯ АКТИВНЫМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ ФИЛЬТРОМ**

(представлено д.т.н. Прохачем Э.Е.)

Представлены результаты расчетов динамики осаждения огнетушащего аэрозоля активным электростатическим фильтром в условно герметичном помещении. Выполнено сравнение результатов расчета с экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** генератор огнетушащего аэрозоля, аэрозолеобразующий состав, огнетушащий аэрозоль, газоздушная среда, скорость осаждения аэрозоля, активный электростатический фильтр.

**Постановка проблемы.** После срабатывания генератора огнетушащего аэрозоля (ОА) атмосфера в помещении долгое время остается непригодной для дыхания. Особенно остро стоит вопрос восстановления нормальных условий жизнедеятельности человека для замкнутых непрветриваемых помещений [1]. В таких случаях для очистки воздуха целесообразно применение активных электростатических фильтров [2]. Для вновь проектируемых автоматических систем аэрозольного пожаротушения вопрос расчета динамики осаждения ОА и времени очистки воздуха в случае применения активных электростатических фильтров является весьма актуальным. Таким образом, существует проблема расчета динамики осаждения ОА в условно герметичных, непрветриваемых помещениях при применении активных электростатических фильтров.

**Анализ последних исследований и публикаций.** При исследовании горения аэрозолеобразующих составов (АОС) основное внимание уделяется определению избыточного давления в защищаемых помещениях и решению проблемы высокой температуры сгорания АОС [1–4].

В [5] представлены результаты численного расчета влияния электростатических сил на осаждение заряженных частиц и полученные результаты сравнивались с известными аналитическими решениями.

В [6] проводились экспериментальные исследования по влиянию ультразвукового поля на скорость осаждения угольной пыли. В [2] представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию электростатических полей на скорость осаждения ОА. Но результаты, представленные в [2], ограничены условиями эксперимента и не могут быть распространены на любой другой объект. Таким образом вопросу очистки воздуха в помещении от ОА не уделяется должного внимания.

**Постановка задачи и ее решение.** В замкнутом помещении с расчетным объемом  $V_p$ , установлен активный электростатический фильтр. При прохождении через фильтр единицы объема воздуха часть ОА осаждается на пластинчатых электродах. Требуется оценить эффек-

тивность работы фильтра и определить концентрацию ОА в произвольный момент времени.

Эффективность работы фильтра при осаждении ОА оценивается коэффициентом эффективности  $\xi$  и определяется по формуле

$$\xi = \frac{C_A - C_{A\Phi}}{C_A}, \quad (1)$$

где  $C_A$  – концентрация ОА перед фильтром,  $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $C_{A\Phi}$  – концентрация ОА после фильтра,  $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

При решении поставленной задачи примем следующие допущения: концентрация ОА не влияет на плотность воздуха; гравитационное осаждение ОА – пренебрежимо мало; эффективность фильтра остается постоянной за все время его работы.

За время  $dt$  в фильтр поступает объем воздуха

$$dV = Q_\Phi dt, \quad (2)$$

где  $Q_\Phi$  – объемный расход воздуха через фильтр,  $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ .

Масса осажденного на фильтре ОА составит

$$dm_A = \xi \cdot C_A \cdot dV = \xi \cdot C_A \cdot Q_\Phi \cdot dt. \quad (3)$$

Соответственно, изменение концентрации ОА в помещении будет

$$dC_A = -\frac{dm_A}{V_P} = -\frac{\xi \cdot C_A \cdot Q_\Phi}{V_P} \cdot dt. \quad (4)$$

Разделяя переменные получим

$$\frac{dC_A}{dt} = -\frac{\xi \cdot Q_\Phi}{V_P} \cdot C_A. \quad (5)$$

Или

$$\frac{V_P}{\xi \cdot Q_\Phi} \cdot \frac{dC_A}{dt} + C_A = 0. \quad (6)$$

Обозначим

$$T_\Phi = \frac{V_P}{\xi \cdot Q_\Phi}. \quad (7)$$

Решением данного дифференциального уравнения будет

$$C_A(t) = C_{A_0} \cdot e^{-\frac{1}{T_\Phi} t}, \quad (8)$$

где  $C_{A_0}$  – значение концентрации ОА в начальный момент времени.

Из уравнений (7, 8) можно определить коэффициент эффективности электростатического фильтра при осаждении ОА

$$\xi = \frac{V_P}{Q_{\Phi} \cdot t} \cdot \ln \left( \frac{C_{A_0}}{C_A(t)} \right). \quad (9)$$

А так же рассчитать время  $t_R$ , необходимое для очистки воздуха до заданного значения концентрации ОА –  $C_{A_R}$  :

$$t_R = \frac{V_P}{Q_{\Phi} \cdot \xi} \cdot \ln \left( \frac{C_{A_0}}{C_{A_R}} \right). \quad (10)$$

Для проверки достоверности результатов, получаемых по разработанной модели, был решен ряд тестовых задача при горении аэрозоля марки Е-1 в модели помещения со следующими исходными данными [2]:  $V_P=0,112\text{м}^3$  – объем модели помещения;  $Q=0,02 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$  – расход воздуха через фильтр;  $C_{A_0}=6079 \text{ мг/м}^3$  – начальная концентрация ОА;  $C_A(t)=2082 \text{ мг/м}^3$  – текущая концентрация ОА;  $\Delta t=1 \text{ мин}$  – шаг выполнения измерений.

Расчетное значение коэффициента эффективности электростатического фильтра по результатам экспериментов [2]  $\xi=0,1$ .

На рис. 1 приведены результаты расчета динамики изменения концентрации ОА полученные по формуле (9) и экспериментальные данные [2] для различных значений начальной концентрации ОА.

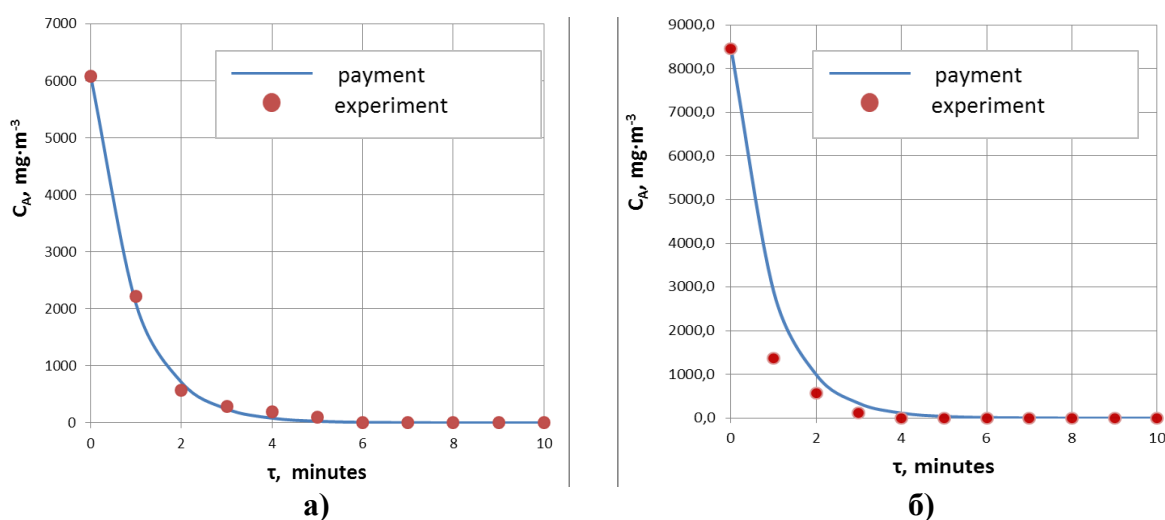


Рис. 1. Динамика изменения концентрации ОА в модели помещения для различных значений начальной концентрации ОА: а)  $C_{A_0} = 6079 \text{ мг/м}^3$ ; б)  $C_{A_0} = 8458 \text{ мг/м}^3$

Как показал сравнительный анализ (рис.1) данные расчета удовлетворительно совпадают с данными эксперимента.

**Выводы.** Получена простая динамическая модель, позволяющая оценить коэффициент эффективности активного электростатического фильтра и с удовлетворительной точностью прогнозировать концентрацию ОА в условно герметичном помещении при работе активного электростатического фильтра.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Пожежна техніка. Установки автоматичні аерозольного пожежо-гасіння. Проектування, монтування та експлуатування: ДСТУ 4490:2005 – [Чинний від 2005-25-11]. – К.: Держспоживстандарт України. – 2005.– 16 с. – (Національний стандарт України).

2. Olga Kudryashova and Maria Stepkina Electrostatic charge of powder particles and their sorption capacity // Proc. HEMS 2016. 136-137, Tomsk (2016).

3. Бондаренко С.Н. Применение генераторов огнетушащего аэрозоля в составе автоматических установок пожаротушения, вопросы математического моделирования/ С.Н. Бондаренко // Проблемы пожарной безопасности.– 1999. – №3.– С. 25-28. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1512>.

4. Дерев'яно А.А. Динамическая модель газовой среды в условно герметичном помещении при работе генератора огнетушащего аэрозоля / А.А.Дерев'яно, А.Н.Литвяк // проблемы пожарной безопасности . – Харьков, НУГЗУ, 2018. – Вып. 44 – С.31-35. Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol44/Derev'yanko.pdf>

5. Литвяк А.Н. Экспериментальное определение температуры и избыточного давления при работе генераторов огнетушащего аэрозоля. / А.Н. Литвяк, М.Н. Мурин // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков, УГЗУ, – 2008. – Вып 23.–С.115-119. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/492/1/08%20Litvyak%20Murin%20GOA.pdf>

6. Zaripov T.Sh., Egorov A.G. Deposition efficiency of charged aerosol particles in cylinder array // European Aerosol Conference? EAC–2012. – Granada, 2012. 1p. – Digital Abstracts Book : C-WG10S1P20.

*Получено редколлегией 12.03.2019*

О.М. Литвяк, О.А. Дерев'яно

**Розрахунок динаміки осадження вогнегасного аерозолю активним електростатичним фільтром**

Представлені результати розрахунків динаміки осадження вогнегасного аерозолю активним електростатичним фільтром в умовно герметичному приміщенні. Виконано порівняння результатів розрахунку з експериментальними даними.

**Ключові слова:** генератор вогнегасного аерозолю, аерозолеутворюючий склад, вогнегасний аерозоль, газоповітряне середовище, швидкість осадження аерозолю, активний електростатичний фільтр.

A. Litvyak, A. Derev'yanko

**Calculation of the dynamics of the deposition of fire extinguishing aerosol active electrostatic filter**

The results of calculations of the dynamics of fire extinguishing aerosol deposition by an active electrostatic filter in a conditionally sealed room are presented. Comparison of calculation results with experimental data is performed.

**Keywords:** fire-extinguishing aerosol generator, aerosol forming composition, fire extinguishing aerosol, gas-air environment, aerosol deposition rate, active electrostatic filter.