

С.Н. Бондаренко, адъюнкт, АПБУ

ОЦЕНКА МАССЫ ОГНЕТУШАЩЕГО АЭРОЗОЛЯ, ОБРАЗУЕМОГО ГЕНЕРАТОРОМ

(представлено д-ром техн. наук Ю.А. Абрамовым)

В работе получены аналитические выражения массового расхода огнетушащего вещества и выражения для оценки массы огнетушащего аэрозоля образованного генератором.

В последнее время в качестве средств объемного пожаротушения довольно широкое распространение получили огнетушащие составы, которые получают путем сжигания специально подобранной твердотопливной композиции в камере генератора огнетушащего аэрозоля (ГОА). Разработкой и производством этих устройств занимаются более десяти предприятий России и Украины. Но все же, при проектировании ГОА остается актуальной задача прогнозирования выходных характеристик генератора, например, величины массового расхода, защищаемого объема, продолжительности работы, в зависимости от физико-химических характеристик аэрозолеобразующего заряда и геометрических размеров корпуса ГОА. Одним из путей решения этой проблемы является использование методов математического моделирования.

В работе [1] показано, что дифференциальные уравнения, устанавливающие зависимость среднеобъемного давления, плотности и температуры газоаэрозольной смеси в камере генератора, представляют собой систему нелинейных уравнений первого порядка. Получены аналитические выражения, позволяющие оценить продолжительность работы ГОА [2].

Выражение для определения массы аэрозоля, образуемого генератором за время t_p , запишем в виде

$$m_{\text{АЭР}} = M_{\text{СТ}} \cdot t_p, \quad (1)$$

где $M_{\text{СТ}}$ – массовый расход в установившемся режиме работы генератора.

С учетом быстротечности переходных процессов в камере генератора, выражение (1) может использоваться для оценки общей производительности генератором аэрозоля.

Определим значение массового расхода с помощью следующего уравнения:

$$V_K \cdot \frac{d\bar{p}}{dt} = \rho_T \cdot S_3 \cdot u(\bar{p}, T_H) - m^*(\bar{p}, \bar{\rho}), \quad (2)$$

где V_K – объем камеры сгорания генератора; \bar{p} – среднеобъемная плотность газоаэрозольной смеси; \bar{p} – среднеобъемное давление; ρ_T – плотность аэрозолеобразующего заряда; S_3 – площадь поверхности горения; $u(\bar{p}, T_H)$ – средняя по поверхности скорость горения заряда; T_H – начальная температура заряда; $m^*(\bar{p}, \bar{\rho})$ – массовый расход при докритическом режиме истечения газоаэрозольной смеси через выходные отверстия генератора, который определяется следующим выражением:

$$m^*(\bar{p}, \bar{\rho}) = \mu \cdot S_B \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot \bar{p} \cdot \bar{\rho} \cdot \left(\frac{P_{атм}}{\bar{p}}\right)^{\frac{2}{k}} \left(1 - \left(\frac{P_{атм}}{\bar{p}}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right)}, \quad (3)$$

где S_B – площадь выпускных отверстий генератора; μ – коэффициент потерь через выходные отверстия; k – показатель адиабаты; $P_{атм}$ – атмосферное давление.

В установившемся режиме работы ГОА, с учетом степенной зависимости скорости горения от давления, имеем из (2):

$$\rho_T \cdot S_3 \cdot u_a \cdot e^{\beta \cdot T_H} \left(\frac{P_{ст}}{P_{атм}}\right)^{\nu} - M_{ст}(P_{ст}, P_{ст}) = 0, \quad (4)$$

где ν – показатель степени в законе горения; β – температурный коэффициент; u_a – скорость горения заряда при атмосферном давлении; $P_{ст}$ – стационарное давление в корпусе генератора.

Решим уравнение (4) с учетом (3), относительно $P_{ст}$. При значении ν , равном 0.286, получим

$$P_{ст} = P_{атм} \cdot \left(\frac{1}{1-\eta}\right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (5)$$

где

$$\eta = \frac{k-1}{2 \cdot k} \cdot \left(\frac{\rho_T \cdot S_3 \cdot u_a \cdot e^{\beta \cdot T_H}}{\mu \cdot S_B \cdot p_a} \right)^2 \cdot T_H \cdot \chi \cdot R; \quad (6)$$

T_H – температура горения заряда; χ – коэффициент тепловых потерь; R – газовая постоянная.

Из (4) с учетом (5) запишем выражение для массового расхода в установившемся режиме работы:

$$M_{ст} = \frac{\rho_T \cdot S_3 \cdot u_a \cdot e^{\beta \cdot T_H}}{1 - \eta}. \quad (7)$$

Проведя аналогичные выкладки, получим аналитические выражения $M_{ст}$ для значений ν , равных 0.14; 0.21; 0.43. Зависимость $M_{ст}$ от показателя ν представлена на рис. 1, где цифрой 1 обозначена прямая, полученная по результатам линейной интерполяции значений массового расхода и значений показателя ν .

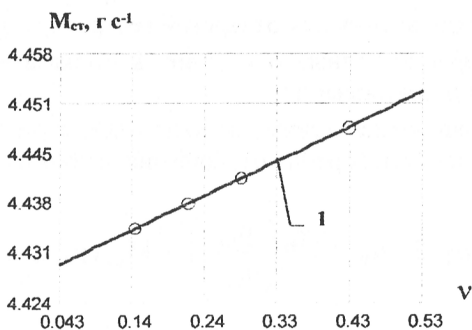


Рисунок 1 – График зависимости массового расхода от показателя ν

Исследование влияния параметров корпуса генератора и характеристик топлива на величину массового расхода проведем с помощью соответствующих графиков.

На рис 2-3 представлены графики зависимости массового расхода от площади поверхности горения, плотности заряда, скорости и температуры его горения, при $u_a = 0.001$ м/с, $T_H = 2200$ К, $S_B = 1.178 \cdot 10^{-4}$ м³, $R = 287$ Дж/(кг·К), $\mu = 0.97$, $p_{атм} = 101325$ Па, $\chi = 0.9$, $k = 1.4$, $\nu = 0.286$. Зависимости на рассматриваемых диапазонах носят линейный характер.

Анализ графических зависимостей представленных на рис. 1-3, свидетельствует о том, что значительное влияние на величину массового расхода оказывают плотность заряда, площадь поверхности горения и скорость горения заряда. Причем характер этой зависимости является практически линейным. Вместе с тем температура горения заряда и показатель ν оказывают незначительное влияние на изменение массового расхода.

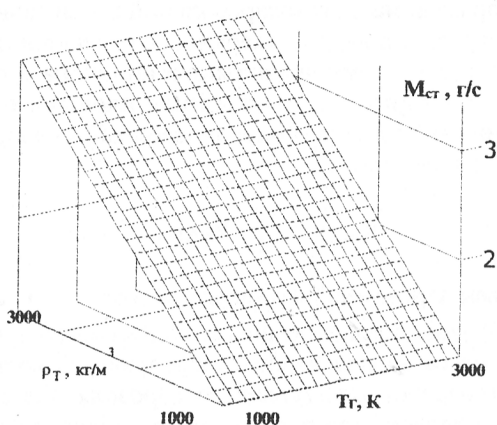


Рисунок 2 – График зависимости массового расхода от плотности и температуры горения заряда

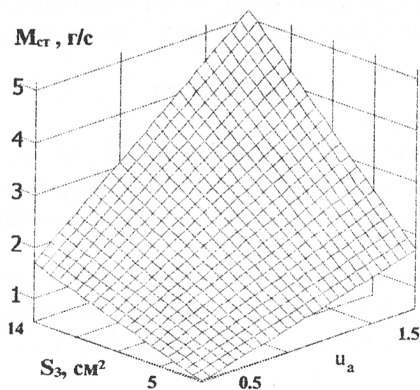


Рисунок 3 – График зависимости массового расхода от площади поверхности и скорости горения заряда

Подставив в (1) выражение для массового расхода (7) и выражение для времени работы ГОА из [2], получим выражение для оценки массы, образованной генератором газоаэрозольной смеси:

$$m_{\text{АЭР}} = \rho_{\text{T}} \cdot S_3 \cdot \ell, \quad (8)$$

где ℓ – длина заряда.

Таким образом, масса газоаэрозольной смеси зависит только от плотности заряда, площади поверхности горения и длины заряда. Если заряд имеет форму правильного цилиндра и горение его осуществляется по торцу, то произведение площади поверхности горения на длину заряда есть объем аэрозолеобразующего заряда. Тогда можно (6) переписать:

$$m_{\text{АЭР}} = \rho_{\text{T}} \cdot V_{\text{ЗАР}}, \quad (9)$$

где $V_{\text{ЗАР}}$ – объем аэрозолеобразующего заряда.

Таким образом, произведение, стоящее справа в (9), есть не что иное, как масса заряда аэрозолеобразующего состава, которым снабжен генератор огнетушащего аэрозоля. Следовательно, равенство (9) позволяет отождествить массу заряда с массой огнетушащего аэрозоля, образуемого генератором. А так как масса заряда аэрозолеобразующего состава является одной из основных характеристик ГОА, выражение (9) можно использовать при проектировании генераторов с заданными характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1 Бондаренко С.Н. Упрощенная математическая модель процессов в камере генератора огнетушащего аэрозоля. // Проблемы пожарной безопасности: Сб. научн. тр. – Вып. 5. – Харьков: ХИПБ МВД Украины, 1999. – С.50 – 53.

2 Бондаренко С.Н. Оценка времени работы генератора огнетушащего аэрозоля. // Проблемы пожарной безопасности: Сб. научн. тр. – Вып. 7. – Харьков: ХИПБ МВД Украины, 2000. – С.50 – 53.

Статья поступила в редакцию 12.03.2002 г.