

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ ОГНЕТУШАЩЕГО АЭРОЗОЛЯ В СОСТАВЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ, ВОПРОСЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С.Н. Бондаренко

(представлено докт. техн. наук Ю.А. Абрамовым)

В статье рассмотрены достоинства и недостатки аэрозольного способа пожаротушения, вопросы использования генераторов огнетушащего аэрозоля в составе автоматических установок пожаротушения, а также возможные пути решения задачи создания математической модели генератора огнетушащего аэрозоля.

Несмотря на многочисленные и разнообразные профилактические мероприятия, пожары происходят довольно часто. Статистика пожаров показывает, что систематически растет их количество, ущерб и, что прискорбно, число жертв. Поэтому исключительно актуальной остается проблема обеспечения быстрого обнаружения пожара и надежной ликвидации его с наименьшими затратами. Для решения этой задачи существует довольно большое число способов выявления и ликвидации загорания, один из них заключается в том, что обнаружение очага пожара осуществляется с помощью средств пожарной автоматики — высокочувствительных пожарных извещателей, а ликвидация загорания достигается за счет использования объемного способа пожаротушения. Этот способ особо эффективен для закрытых помещений и ограниченных объемов. В качестве огнетушащего вещества чаще всего используют хладоны, углекислый газ CO_2 и инертные газы. Наибольшей эффективностью из перечисленных средств обладают хладоны. Но из-за разрушающего воздействия на озоновый слой атмосферы Земли, согласно Монреальскому протоколу 1987 года, их использование к 2000 году должно быть полностью ликвидировано.

В последние годы получили довольно широкое распространение альтернативные хладонам новые средства, так называемые аэрозольные огнетушащие составы (АОС). Эти средства представляют собой, по существу, разновидность огнетушащих порошков, характеризующихся мелкой дисперсностью (размер частиц составляет от 1 до 5 мкм) и получаются путем сжигания твердотопливной композиции (ТТК) из калийсодержащих неорганических окислителей (например, перхлорат и нитрат калия) и органических восстановителей, включающих различные смолы, пластификаторы, отвердители и т.п. ТТК изготавливается в виде цилиндрических таблеток различного размера, которые называются

аэрозолеобразующими зарядами (АЗ). Этими АЗ снаряжаются специальные устройства – генераторы огнетушащего аэрозоля (ГОА), в которых происходит сгорание заряда и превращение его в аэрозоль, с дальнейшей подачей АОС в защищаемое пространство.

Огнетушащие аэрозоли обладают следующими достоинствами: находясь изначально в твердом виде, АОС может быть легко получен непосредственно в момент возникновения пожара; легкость инициирования зарядов ТТК и соответственно возможность автоматизации пуска; отсутствие необходимости в сосудах под давлением для хранения и трубопроводах для доставки огнетушащего вещества в очаг пожара; возможность длительного хранения заряда ТТК в широком диапазоне температур, влажности и других параметров без особых предосторожностей.

Полученный при сгорании ТТК аэрозоль имеет ряд недостатков: сгорая твердотопливный заряд создает открытый очаг (форс) пламени, тем самым являясь источником пожара; полученный таким образом аэрозоль имеет высокую температуру – порядка 1500 °К, всплывает под потолок помещения и только через некоторое время, охлаждаясь опускается вниз и воздействует на очаг пожара.

Автоматическая система объемного аэрозольного пожаротушения (АСОАП) построена по тому же принципу что и все существующие автоматические установки пожаротушения и имеет в своем составе следующие элементы: устройства обнаружения пожара – пожарные извещатели; пульт пожарной сигнализации; контрольно-пусковое устройство; система оповещения о пожаре; генераторы огнетушащего аэрозоля, линии связи. Но существующие системы не всегда отвечают поставленным перед ними требованиям, например, с точки зрения оптимального расхода огнетушащего вещества или достижения максимального быстрого действия во время обнаружения и ликвидации пожара. Поэтому необходимо использовать аппарат математического моделирования для решения задачи создания АСОАП, отвечающей заданным параметрам. Из всех вышеперечисленных элементов системы, только ГОА еще не описан математически. Поэтому на сегодняшний день весьма актуальна задача создания математической модели генератора. Включив такую модель в состав общей системы, описывающей работу АСОАП, можно решать задачи синтеза оптимальных систем по заданным параметрам.

Наибольший интерес с точки зрения математического описания вызывает режим горения заряда. Рассмотрим соотношения, связывающие основные параметры камеры и горящего заряда. Математическая модель камеры ГОА должна включать уравнения

сохранения, записанные для газа, движущегося в камере сгорания, а также уравнения, описывающие процесс нестационарного горения ТТК.

Уравнения внутренней баллистики камеры сгорания генератора описывают изменение во времени основных параметров внутрикамерного процесса: давления, температуры и плотности продуктов сгорания. Для случая одномерного движения продуктов сгорания в одноканальном заряде ГОА в предположении что газодинамические параметры в поперечном сечении распределены равномерно, уравнение сохранения массы можно записать следующим образом [2]

$$\frac{\partial(\rho F)}{\partial \tau} + \frac{\partial(\rho \omega F)}{\partial x} = \rho_s \Pi u;$$

уравнение сохранения энергии

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \left(\rho F \left(e + \frac{1}{2} \omega^2 \right) \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[\rho \omega F \left(h + \frac{\omega^2}{2} \right) \right] = \rho_s \Pi u \chi_k h_s;$$

уравнение состояния

$$p = \rho R T,$$

где ρ , ρ_s – плотность продуктов сгорания и заряда; T , ω – температура и скорость продуктов сгорания; Π , F – смоченный периметр и площадь поперечного сечения; e , h – внутренняя энергия и энтальпия единицы массы продуктов сгорания; χ_k – средний по времени и объёму коэффициент тепловых потерь в генераторе; h_s – полная энтальпия продуктов сгорания твердотопливного заряда (определяется либо в результате термодинамических расчетов, либо экспериментально); u – средняя по периметру скорость горения заряда. К этим уравнениям необходимо добавить уравнение горячей поверхности, которое можно представить в виде

$$\frac{\partial F}{\partial \tau} = \Pi u.$$

Система уравнений, описывающая нестационарные процессы горения в камере ГОА построена на основе фундаментальных уравнений гидродинамики и химической кинетики для многокомпонентной реагирующей смеси идеальных газов [1]. В силу сложности нестационарных явлений, протекающих в камере генератора, их

математическое моделирование возможно при следующих упрощающих предпосылках: времена запаздывания в газовой фазе пренебрежимо малы; в твердой фазе учитывается нестационарная теплопроводность; топливо гомогенное; процесс горения представляет собой гомогенную реакцию n -го порядка; в твердой фазе отсутствуют какие бы то ни было реакции; массовый поток определяется законом Аррениуса; эрозионное горение отсутствует.

Общее уравнения неразрывности имеет вид

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial j}{\partial x} = 0.$$

Уравнение сохранения энергии запишем следующим образом

$$\rho \frac{\partial h}{\partial \tau} + j \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\lambda}{c_p} \frac{\partial h}{\partial x} \right] - \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\lambda}{c_p} (Le-1) \sum_i h_i \frac{\partial \chi_i}{\partial x} \right] = \frac{\partial p}{\partial \tau};$$

$$h = \sum_i \chi_i h_i, \quad h_i = \int_0^T c_{pi} dT + h_i^0,$$

где Le – число Льюиса; h – энтальпия смеси; h_i^0 – теплота образования i -го компонента; λ , c_p – соответственно коэффициент теплопроводности и удельной теплоемкости продуктов сгорания.

Дифференциальное уравнение теплопроводности в твердой фазе при пренебрежении химическими реакциями запишем в виде

$$\rho_s c_s \frac{\partial T}{\partial \tau} = -j_w c_s \frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_s \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}.$$

Здесь индекс s характеризует параметры твердого топлива.

Решая представленные уравнения при соответствующих граничных условиях и с учетом некоторых допущений можно получить зависимость искомых параметров от времени и построить математическую модель работы ГОА.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Денисон М., Баум Е. Упрощенная модель неустойчивого горения твердого ракетного топлива / Ракетная техника, 1961, № 8, С. 81-92.
- 2 Пресняков А.Н. Динамика рабочих процессов в ракетных двигателях твердого топлива. – М.: Машиностроение, 1984, С. 171–183.