

БУЛГАКОВ Ю.Ф., КАВЕРА А.Л., БЕРШАДСКИЙ И.А. (ДонНТУ)

РАЗРАБОТКА НОВОГО СПОСОБА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВОЗГОРАНИЙ ШАХТНОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Проанализировано состояние вопроса о воздействии электрического поля на пламя. Описана разработанная установка для проверки возможности применения этих свойств электрического поля для создания новой технологии тушения возгораний электрооборудования и материалов.

При современном уровне противопожарной защиты, предприятия нуждаются в использовании дорогостоящих, металлоемких и требующих периодической замены огнетушащих средств. В связи с этим возникает актуальный вопрос о разработке принципиально новой технологии предотвращения и тушения возгораний. В данной статье рассматривается способ тушения пламени при помощи электрического поля.

Впервые об электрических и магнитных свойствах пламени упоминается в 20-е годы XIX века в работах французского ученого Пуайе. В 1846 году Майкл Фарадей обнаруживает, что постоянные магниты заставляют деформироваться пламя свечи. В начале XX века Дж. Томсон, открывший электрон, высказал гипотезу, что в пламени возникают электроны, которые и являются причиной распространения пламени. Практический интерес к влиянию электрического поля на процесс горения возник в 20-е годы XX века. Теоретические исследования в этой области были проведены профессором А.Э.Малиновским [1] и его сотрудниками, но дальнейшего распространения не получили. Ученые израильского университета Бен-Гурион сумели разработать установку для тушения ковровых покрытий в гостиницах. В 2000 году американская компания Spectrex разработала и запатентовала технологию подавления пожара электрическим полем [2]. В нашей стране экспериментальные исследования проводились в НИИГД [3]. Результаты этих исследований позволили вплотную подойти к объяснению процессов, происходящих в пламени, при наложении на него электрического поля.

Согласно исследованиям НИИГД [3] и следуя Лаутону [4], процесс образования "ионного ветра" и расчет его скорости представляется следующим образом. Схема структуры потока и формы пламени при наложении на него внешнего электрического поля имеет вид, представленный на рисунке 1.

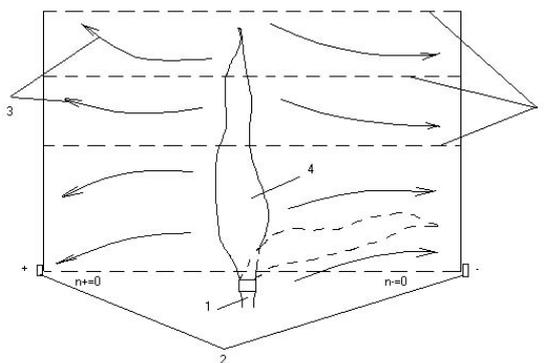


Рис. 1. Схема структуры потока и формы пламени: 1-горелка; 2-электроды; 3-линии тока; 4-пламя; 5-силовые линии.

Как известно, электрическое поле изменяет скорость и направление "теплого" движения ионов во время каждого свободного пробега так, что компонента скорости в направлении поля возрастает. Дополнительное количество движения, приобретаемое ионом, равно $E \cdot e \cdot \phi$, где E - напряженность приложенного внешнего поля, e - величина заряда иона, ϕ - время свободного пробега иона между двумя столкновениями. Это дополнительное количество движения в направлении поля приводит к появлению объемной силы, действующей на газовую пламенную среду. Эта сила, отнесенная к единице объема, может быть записана в виде

$$F = E \cdot e \cdot (n_+ - n_-). \quad (1)$$

При достаточно больших напряженностях поля, когда силы становятся значительными (но до появления вторичной ионизации) положительные и отрицательные носители заряда существуют совместно фактически только в очень узкой реакционной зоне горения во фронте пламени, где они и

образуются. В приэлектродных областях, где заряды не образуются, дрейфуют ионы только одной полярности. В таком случае выражение (1) может быть переписано в виде

$$\pm F = E \cdot e \cdot n_{\pm} . \quad (2)$$

В этих условиях движение среды всецело зависит от распределения давления, возникающего в униполярных приэлектродных областях под действием объемных сил, определяемых уравнением (2).

Тогда плотность тока в этих зонах будет определяться выражением

$$j = E \cdot e \cdot n_{\pm} \cdot m_{\pm} , \quad (3)$$

где $m_{\pm} = \frac{V_{\pm}}{E}$ - подвижность ионов, V_{\pm} - скорость движения ионов. Подставляя (3) в (2), получаем

$$F = \pm \frac{j}{m_{\pm}} .$$

Эти соображения справедливы до тех пор, пока напряженность поля значительно меньше значения E_b , при котором начинается вторичная ионизация

$$E \ll E_b$$

Когда энергия, приобретаемая ионами на средней длине свободного пробега, становится достаточно большой и могут происходить столкновения, приводящие к ионизации, вторичные заряды, возникающие при этих столкновениях в межэлектродном пространстве, быстро ослабляют суммарные объемные силы. Как только в области положительного пространственного заряда появляются электроны, они становятся основными носителями тока и эффективная подвижность резко возрастает, а объемная сила исчезает.

Распределение статистического давления рассчитывается следующим образом. Разность давлений между двумя точками X_1 и X_2 будет равна

$$\pm \int_{P_1}^{P_2} dP = \int_{X_1}^{X_2} \frac{j}{m_{\pm}} dx . \quad (4)$$

Если принять для ионов постоянную подвижности $m = \text{const}$, то из (4) получим

$$\pm P_2 = \frac{j}{m_{\pm}} \cdot (X_2 - X_1) + P_1 ,$$

а избыточное давление на положительных электродах

$$dP = j \cdot \left(\frac{a_+}{m_+} - \frac{a_-}{m_-} \right) ,$$

где a_+ и a_- - расстояния от пламени до положительного и отрицательного электродов соответственно. В простейшем случае одномерного невязкого течения при отсутствии подъемной силы, когда газу не оказывается никакого сопротивления, поток количества движения на расстоянии X от источника ионов равен $c \cdot V_x^2$, его приращение в элементе объема толщины S_x и единичного поперечного сечения будет равно

$$c \cdot \frac{\partial V_x}{\partial x} \cdot S_x = \frac{j}{m} \cdot S_x - \frac{\partial P}{\partial x} \cdot S_x . \quad (5)$$

Если градиент давления отсутствует, то, интегрируя (5), получаем

$$(V_x^2 - V_0^2) = \int_{x_0}^x \frac{j}{\rho \cdot m} dx = \frac{j}{\rho \cdot m} \cdot (x - x_0) ,$$

где c - плотность газовой смеси.

Если при $X=0$, $V_0=0$, то в случае симметричного расположения электродов относительно пламени $\left(\frac{a_+}{m_+} = \frac{a_-}{m_-} \right)$ имеем скорость "ионного ветра"

$$V = \pm \left(\frac{j \cdot a_{\pm}}{c \cdot m_{\pm}} \right)^{\frac{1}{2}} .$$

Максимально достижимые значения величин, связанных с "ионным ветром", лимитируются

появлением вторичной ионизации газовой среды и, соответственно, возможным пробоем. Значения максимальной величины объемной силы статистического давления и скорости "ионного ветра" между электродами определяется по следующим формулам:

$$F_{\max} = \frac{E_{\text{в}}^2}{8 \cdot \rho \cdot a};$$

$$dP_{\max} = \frac{E_{\text{в}}^2}{8 \cdot \rho};$$

$$V_{\max} = \frac{E_{\text{в}}}{2 \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot c}}.$$

При нормальных условиях для пробивной напряженности $E=3000$ кВ/м (чистый воздух и чистые гладкие электроды). Эти значения равны соответственно 8 кН/м^3 , 40 Па , 11 м/с .

Процесс горения поддерживается за счет тепла, выделяющегося в пламени, в котором смешиваются пары летучего горючего, выделяющегося из горящего материала, и окислителя, доставляемого из окружающей среды. При достаточно больших скоростях воздушного потока над поверхностью ленты, режим горения не может существовать. Скорость реакции оказывается недостаточной для того, чтобы выделяющегося тепла хватило на разогрев поступающих в пламя чересчур больших количеств паров горючего и окислителя (смещение интенсифицируется с ростом напряжения). Это, как известно, ведет к переохладению диффузионного пламени и его срыву.

Подобная установка была разработана в ДонНТУ, ее внешний вид представлен на рисунке 2. Установка позволяет генерировать электрическое поле при напряжении на электродах до 75 кВ . Был проведен ряд экспериментов по определению оптимальных параметров для тушения пламени.

Установка состоит из блока питания (повышающий трансформатор), пульта управления и двух электродов, внешний вид которых представлен на рисунке 2. С пульта управления на электроды подается высокое напряжение, в результате чего между ними возникает электрическое поле. Для исследования влияния электрического поля на источник пламени, в качестве которого использовалась горелка, была составлена программа проведения экспериментов. Она включала в себя матрицу планирования экспериментов, в которой предусматривалось проведение ряда опытов, направленных на изучение влияния на пламя вида электрического поля (постоянное или переменное), формы электродов и материала из которого сделаны электроды.



Рис. 2. Внешний вид электродов

В результате проведенного ряда опытов было установлено, что переменное электрическое поле оказывает более существенное влияние на пламя, чем постоянное, поскольку значение напряжения, при котором полностью гаснет источник пламени, установленный между электродами, намного ниже в случае использования переменного напряжения.

Материал, из которого сделаны электроды, а были испытаны электроды из алюминия и меди, не оказал влияния на факт гашения пламени, но форма электродов явилась существенным фактором. Для опытов было изготовлено три вида электродов:

- 1) иглообразный остро заточенный электрод;
- 2) круглая плоская пластина;
- 3) пластина из диэлектрического материала с набором шипов, каждый из которых подключается отдельным проводом.

Третий тип электродов был задуман для создания объемного поля. Однако, как выяснилось, наиболее эффективной формой, с точки зрения гашения пламени, является первый тип электродов.

Как показывает опыт предыдущих исследований, эффект гашения пламени электрическим полем, основан на образовании потока электронов, называемым "ионным ветром", который сбивает пламя. Наблюдается следующая картина. Пламя, с увеличением напряжения на электродах, сильнее отклоняется в сторону заземленного электрода. При этом создается впечатление, как будто на пламя дует поток воздуха. При достижении определенного значения напряжения, фаза горения переходит в фазу тления и при дальнейшем увеличении напряжения, источник пламени полностью гаснет. Чтобы убедиться в том, что пламя сбивается "ионным ветром", был поставлен следующий опыт. Источник пламени был помещен в стеклянный цилиндр с открытым верхом, для доступа кислорода и отвода продуктов горения. Цилиндр препятствовал влиянию "ионного ветра", на пламя, которое приобрело форму шара. Вероятно, это вызвано тем, что цилиндр сверху открыт.

Таким образом, экспериментальным методом было установлено, что пламя сбивается потоком электронов, образованного электрическим полем и этот процесс носит механический характер. Решающими факторами являются вид электрического поля и форма, образующих его электродов.

Библиографический список

1 Малиновский А.Э. Роль заряженных частиц в процессах горения и взрыва // Социалистическая реконструкция и наука. –1934. -№7. –с.24-37.

2 Fire extinguishment of pool flames by means of a DC electric field. E.Sher, E.Jacobson, R.Baron, A.Pokravalo and G.Pinhasi. Spectrex Inc. New Jersey, USA, 2003. –32 с.

3 Отчет о научно-исследовательской работе. Ю.Ф.Булгаков, И.Ф.Дикенштейн, С.Н.Зуйкова. – Донецк: НИИГД, 1997. -25 с.

4 Лаутон Д., Вейнберг Ф. Электрические аспекты горения. – М.: Энергия, 1976. –296 с.

© Булгаков Ю.Ф., Кавера А.Л., Бершадский И.А., 2003