

03;12

## Взаимодействие диспергированной воды с пламенем

© Ю.В. Алеханов, М.В. Близнецов, Ю.А. Власов, В.И. Дудин,  
А.Е. Левушов, А.И. Логвинов, С.А. Ломтев, Е.Е. Мешков

Российский федеральный ядерный центр — ВНИИЭФ  
Саровский физико-технический институт  
E-mail: root@gdd.vniief.ru

Поступило в Редакцию 28 августа 2002 г.

При электрическом взрыве проволоочки в цилиндрической тонкостенной стеклянной ампуле, заполненной водой, образуется радиально разлетающееся облако диспергированной воды (ДВ) в форме кольца, слабо расширяющегося в осевом направлении. При взаимодействии ДВ с пламенем происходит тушение последнего в области, куда попадает ДВ. На основе подобного эксперимента делаются оценки необходимых затрат на создание ДВ для тушения крупномасштабного пожара.

В последнее время интенсивно развивается технология тушения пожаров (в том числе крупномасштабных) при помощи распыленной или диспергированной воды (ДВ) (с размером капель  $100\ \mu\text{m}$  и менее) [1–4]. В связи с этим представляет интерес исследование физических процессов тушения пламени при использовании данной технологии. Для создания облака ДВ использовался электровзрыв [5,6] цилиндрической тонкостенной (0.5 mm) стеклянной ампулы с наружным диаметром 16 mm, заполненной водой ( $V = 1.6\ \text{cm}^3$ ). По торцам ампулы устанавливались пластинки из жести толщиной 0.5 mm. Проволока из нихрома диаметром 0.05 mm, расположенная по оси ампулы, взрывалась

под действием импульса тока от конденсаторной батареи с емкостью  $0.25 \mu\text{F}$ , заряженной до  $15 \text{kV}$ .

На рис. 1 приведены кадры фотохронограммы (снятой скоростной камерой СФР) разлета ДВ после взрыва ампулы. В этих опытах регистрация течения осуществлялась как в направлении оси ампулы (рис. 1, *a*), так и в нормальном к ней направлении (рис. 1, *b*). Из кинограмм следует, что после взрыва ампулы ДВ разлетается в форме кольца. Во всех случаях в процессе разлета кольцо слабо расширяется в осевом направлении. Поверхность кольца сильно возмущена, и это возмущение растет со временем. В конечном итоге при  $t \approx 2 \text{ms}$  развитие возмущений приводит к распаду кольца на отдельные группы. Это может быть связано с развитием неустойчивости Рэлея–Тейлора [7].

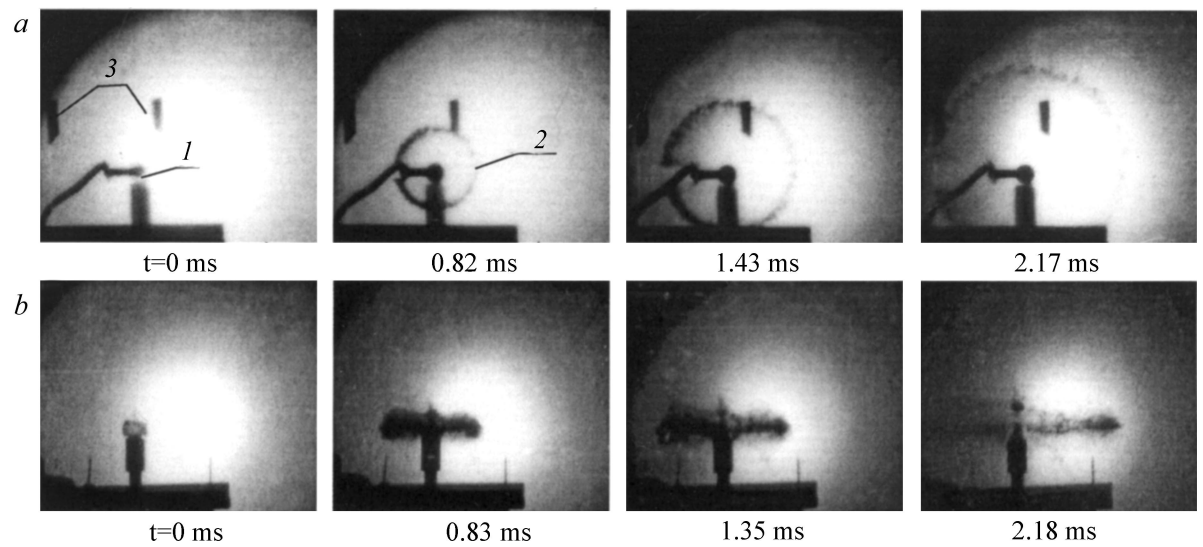
По данным измерений  $R-t$  диаграммы начальная скорость разлета кольца  $v_0$  составляет  $64 \text{m/s}$ . Поскольку вода разлетается в виде тонкого кольца и скорость всех элементов кольца практически одинакова, то можно оценить кинетическую энергию  $E \approx mv_0^2/2$  разлетающегося облака ( $E \approx 3.3 \text{J}$ ). Соответственно плотность энергии можно оценить на основе соотношения  $e = E/m \approx v_0^2/2$  ( $e \approx 2 \text{J/g}$ ).

По отпечаткам на бумаге, расположенной на разных расстояниях от ампулы, заполненной чернилами, было найдено, что последние в разлетающемся кольце диспергируются в основном на капли с размером менее  $250 \mu\text{m}$ .

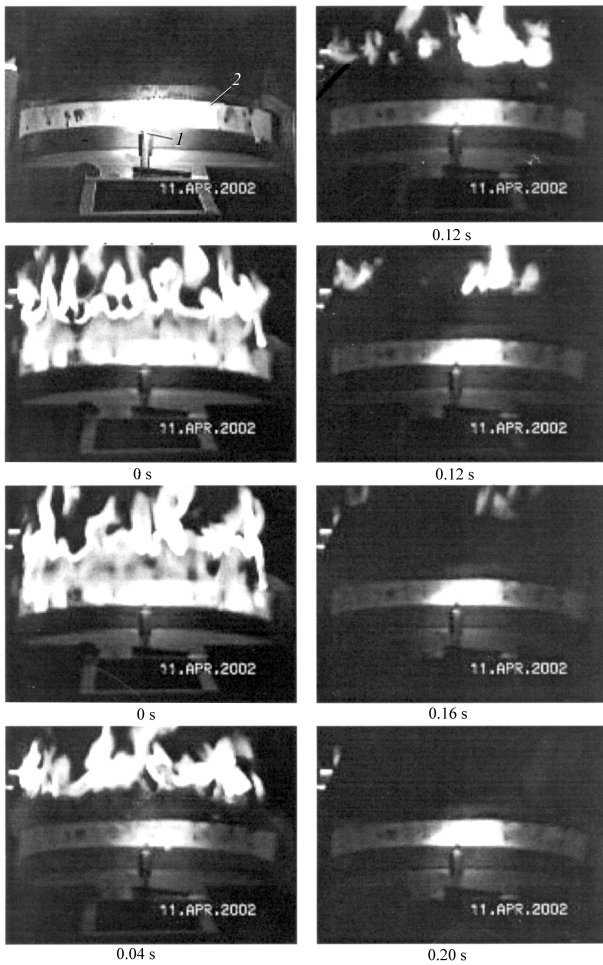
На рис. 2 приведены снятые видеокамерой (с частотой  $25 \text{pic/s}$ ) кадры эксперимента по взаимодействию разлетающегося облака ДВ с пламенем. Здесь ампула с водой помещалась на расстоянии  $R = 21 \text{cm}$  от металлического экрана (2), изогнутого в форме полуцилиндра. На внутренней поверхности экрана помещалась полоска из картона с укрепленной на ней полоской фильтровальной бумаги ( $\sim 42 \times 5 \text{cm}$ ). Бумага смачивалась ацетоном ( $\sim 1 \text{cm}^3$ ), поджигалась, и через несколько секунд производился подрыв ампулы.

При попадании облака ДВ в область пламени происходит интенсивный отбор тепла от пламени каплями ДВ за счет их нагрева и испарения. В той области пламени, куда попала ДВ, реакция горения прекращается полностью, вследствие резкого снижения температуры. В верхней части пламени, в которую ДВ не попала, происходит догорание паров ацетона.

Очевидно, что эффективность гашения пламени аэрозвесью ДВ в данном случае определяется тем, что она попадает в область, где



**Рис. 1.** Кадры фотохронограммы кольца разлета диспергированной воды (2) при электровзрыве цилиндрической ампулы (1) с водой (3 — реперные элементы). *a* — съемка в направлении оси ампулы; *b* — съемка в направлении, нормальном к оси ампулы. Время отсчитывается от момента взрыва ампулы.



**Рис. 2.** Гашение пламени горячей полоски бумаги, смоченной ацетоном, при воздействии на нее облака диспергированной воды. Диспергированная вода попадает в нижнюю область пламени, в которой происходит закипание и начальная стадия горения паров ацетона. Охлаждение этой зоны горения за счет испарения капель воды и разбавление реагирующих веществ парами воды приводят к гашению этой части пламени. Верхняя часть пламени, не подвергшаяся действию диспергированной воды, продолжает догорать ( $t = 0.08-0.2$  s).

начинается реакция горения испаренного ацетона. Быстрое охлаждение этой области резко замедляет скорость реакции, испарение ацетона и прерывает связь с нагретым участком пламени. Нетрудно видеть, что здесь срабатывают следующие механизмы прекращения огня:

- разбавление реагирующих веществ парами воды;
- охлаждение горящего вещества за счет испарения воды;
- изоляция реагирующих веществ; охлажденная область смеси продуктов реакции, воздуха и паров ацетона, разбавленная парами воды, является барьером между горящим пламенем и бумагой, пропитанной жидким ацетоном, — барьером, препятствующим дальнейшему испарению ацетона и воспламенению его паров.

Было выполнено несколько экспериментов в такой постановке, и каждый раз горение практически мгновенно прекращалось.

На основании этих экспериментов можно сделать некоторые грубые оценки условий, при которых достигается тушение пламени. По результатам приведенного опыта видно, что ширина зоны погашенного пламени приблизительно вдвое превышает ширину полосы бумаги, т.е. ее ширина составляет  $\approx 10$  см. Соответственно видимая площадь зоны погашенного пламени составляет  $10 \cdot 42 \approx 420 \text{ cm}^2$ . Протяженность этой зоны составляет  $\approx 1/3$  полной окружности с радиусом  $\approx 21$  см. Следовательно, на нее попадает  $\approx 1.6 \text{ cm}^2/3 \cong 0.53 \text{ cm}^3$  воды, т.е. на единицу площади падает слой воды толщиной  $0.53 \text{ cm}^2/420 \text{ cm}^2 \cong 0.0013 \text{ cm} \cong 0.001 \text{ cm}$  или по массе  $0.001 \text{ g}$  воды. Толщина зоны пламени (в направлении, нормальном к плоскости горящей бумаги) порядка  $\approx 1$  см. Соответственно объем воды в зоне гашения пламени составляет  $\approx 10^{-3}$  от объема пламени. И следовательно, плотность испаренной в зоне пламени воды будет порядка  $10^3 \text{ g/cm}^3$ , что по порядку величины соответствует плотности воздуха и других газообразных продуктов реакции в зоне пламени.

Таким образом, результаты указанных экспериментов и полученные на их основе оценки при всем их приближенном характере имеют простой физический смысл: для тушения огня в зоне пожара необходимо вбрасывать в эту зону количество диспергированной воды, приблизительно равное массе газообразных продуктов реакции в зоне пламени.

На основе приведенных оценок можно грубо оценить масштаб затрат, необходимых для тушения крупномасштабного пожара. Например,

для пожара на площади  $100 \times 100 \text{ м}$  и с высотой пламени  $\sim 10 \text{ м}$  объем пламени составляет  $\approx 10^5 \text{ м}^3$ . Опираясь на данные нашего эксперимента, можно предположить, что для тушения такого пожара потребуется  $\sim 10^5 \text{ м}^3$  взрывзвеси диспергированной воды или  $\sim 10^2 \text{ м}^3$  воды (не распыленной). В свою очередь, для диспергирования такого количества воды потребуется около  $1-2 \cdot 10^2 \text{ МДж}$  энергии, или 25–50 кг ВВ (в тротиловом эквиваленте).

Для создания облака ДВ такого размера, по-видимому, следует применять синхронно взрывааемые заряды ВВ, помещенные в легко разрушаемые, не дающие осколков, объемы воды, равномерно размещенные в объеме пламени. В процессе диспергирования воды может происходить резкое снижение взрывной нагрузки [8].

Приведенные оценки являются грубыми и имеют предварительный характер (поскольку не учитывают масштабного фактора), в дальнейших экспериментах они могут быть развиты и уточнены.

## Список литературы

- [1] Повзик Я.С. Пожарная тактика. М.: ЗАО „СПЕЦТЕХНИКА“, 1999. С. 39.
- [2] Корольченко А.А. // Пожаровзрывобезопасность. 2001. № 2. С. 3–5.
- [3] Захматов В.Д., Кожемякин А.С. // Пожаровзрывобезопасность. 1999. № 5. С. 69–72.
- [4] Зув Ю.В., Карпышев А.В., Лепешинский И.А. Способ создания газокapпельной струи, установка для его осуществления и сопло для создания газокapпельной струи. Патент РФ 2107554 // БИ. 1998. № 9.
- [5] Кедринский В.К. Гидродинамика взрыва. Эксперимент и модели. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000.
- [6] Стебновский С.В., Чернобаев Н.В. // ПМТФ. 1986. № 1. С. 57–61.
- [7] Блинецов М.В., Жидов И.Г., Мешков Е.Е., Невмержицкий Н.В., Сеньковский Е.Д., Сотсков Е.А. // Письма в ЖТФ. 2002. Т. 28. В. 2. С. 90–94.
- [8] „ФОНТАН“. Устройство локализации и подавления энергии взрыва. Рекламный проспект НПО СПЕЦИАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. С.-Петербург, 2002.