

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОВЗРЫВА КАПЛИ ВОДОТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ

А. Я. Исаков  
(Владивосток)

Известно [1], что процесс нагревания капель водотопливной эмульсии при атмосферном давлении сопровождается скачкообразным изменением их диаметра в 1,5—2 раза, отрывом от основной массы топлива мелких частичек, а иногда и дроблением исходной капли. Указанные особенности поведения капель являются следствием микровзрывов, происходящих при изменении фазового состояния воды, находящейся в топливе в виде объемных включений. Практический интерес представляет определение температур, при которых вскипает вода в условиях капли водотопливной эмульсии.

В настоящей работе предлагается модель микровзрыва капель, основанная на гетерогенной схеме образования зародышей конкурентной фазы в перегретой воде. Рассмотрим каплю эмульсии с радиусом  $R_k$ , включающую в себя сферический объем воды радиусом  $R_b$ . В воде, не прошедшей специальной обработки, всегда содержатся неоднородности в виде микроскопических полостей, заполненных газом и парами воды. Функцию распределения полостей в воде по размерам от минимального  $R_0 = R_{\min}$  до максимального  $R_0 = R_{\max}$  радиуса примем в виде [2]

$$N(R_0) = \frac{\alpha}{1,32\pi(R_{\max} - R_{\min})R_0^3}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  — объемное газосодержание воды. Статическое равновесие зародыша с  $R_0$  нарушится при равенстве или превышении давления насыщенных паров  $p_n$  воды при некоторой температуре  $p_n(T)$  внешнего давления  $p_0$ . Величина  $p_0$  в данном случае представится в виде суммы атмосферного и лапласовского давлений

$$p_n(T) \geq p_0 - 4\sigma/3R_0, \quad R_0 \geq 4\sigma/3[p_n(T) - p_0], \quad (2)$$

где  $\sigma$  — усредненное по температуре значение коэффициента поверхностного натяжения на границе раздела вода — воздух. Концентрация зародышей, способных увеличивать объем при заданной температуре, т. е. их количество в сферическом объеме воды с  $R_b$ , определится на основе (1) следующим образом:

$$G(R_0) = \frac{4}{3} \pi R_b^3 \int_{R_0}^{R_{\max}} N(R_0) dR_0 = \frac{\alpha R_b^3}{(R_{\max} - R_{\min})} \int_{R_0}^{R_{\max}} \frac{dR_0}{R_0^3}, \quad (3)$$

$$G(R_0) = \frac{\alpha R_b^3}{(R_{\max} - R_{\min})} \left( \frac{1}{2R_0^2} - \frac{1}{2R_{\max}^2} \right).$$

Предположим далее, что начало процесса перехода воды в паробразное состояние будет возможно, когда в ее объеме содержится всего один зародыш, удовлетворяющий условиям (2). Решая (3) при  $G(R_0) = 1$ , получим

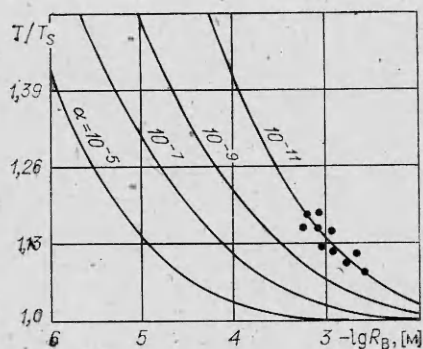
$$R_0 = \left[ \frac{R_b^3 R_{\max}^2 \alpha}{(R_{\max} - R_{\min}) 2R_{\max}^2 + R_b^3 \alpha} \right]^{0,5}. \quad (4)$$

Значение  $R_{\max}$  возможно приближенно оценить при  $G(R_0) = 1$  и  $R_b > R_{\max} > R_{\min}$  путем интегрирования (3) в пределах от  $R_{\max}$  до  $R_b$

$$R_{\max} \simeq R_b (0,5\alpha)^{0,33}. \quad (5)$$

С учетом (5) запишем

$$R_0 = 0,707 R_b (0,5\alpha)^{0,33}. \quad (6)$$



Подставляя (6) в (2), получим величину критического давления насыщенных паров

$$p_{\text{к}}(T) = p_0 + 1,33\bar{\sigma}/0,707R_{\text{к}}(0,5\alpha)^{0,33}. \quad (7)$$

Последнее уравнение возможно разрешить относительно температуры, аппроксимируя функцию  $p_{\text{к}}(T)$  зависимостью

$$p_{\text{к}}(T) = k_1 p_{\text{к}} \exp(-k_2 T_{\text{к}}/T),$$

$$T = \frac{k_2 T_{\text{к}}}{\ln(k_1 p_{\text{к}}) - \ln\{p_0 + 1,33\bar{\sigma}/0,707R_{\text{к}}(0,5\alpha)^{0,33}\}} \quad (8)$$

где  $p_{\text{к}}$ ,  $T_{\text{к}}$  — давление насыщенных паров и температура воды в критической точке;  $k_1 = 1263,8$ ;  $k_2 = 7,19$  — постоянные коэффициенты.

На рисунке приведены результаты расчетов по формуле (8) зависимостей  $T/T_s = f(R_{\text{к}})$  для разных  $\alpha$  при  $p_0 = 1,013 \cdot 10^5$  Па,  $\bar{\sigma} = 3,73 \cdot 10^{-2}$  Н/м ( $T_s$  — температура кипения воды в нормальных условиях).

Как видно из полученных данных, вода, присутствующая в каплях топлива в виде объемных включений, может находиться в перегретом состоянии. Степень перегрева, определяется величинами  $\alpha$  и  $R_{\text{к}}$ . Существенно отметить, что водотопливные эмульсии для практических целей в основном получают в эмульгаторах, где имеет место кавитационное воздействие на обрабатываемые жидкости. В результате кавитации в жидкости значительно повышается концентрация парогазовых полостей как следствие перехода растворенного газа в свободное состояние. При этом у воды величина  $\alpha$  может достигать значений  $10^{-5} - 10^{-4}$ .

Теоретические значения критических температур удовлетворительно совпадают с опытными данными. В качестве примера на рисунке отмечены зарегистрированные экспериментально величины  $T/T_s$ , соответствующие распаду капели отстоявшейся водопроводной воды с  $\alpha = 10^{-11}$  при их погружении в цилиндрический объем прозрачного масла с известным распределением температур по высоте.

С помощью полученных зависимостей возможно объяснить некоторые известные из практики аспекты горения капели водотопливной эмульсии при атмосферном давлении. В [3] отмечено, что наибольший положительный эффект, заключающийся в интенсификации горения за счет вторичного распыления топлива, наблюдался при наличии в факеле множества относительно крупных капели. В случае  $R_{\text{к}} > R_{\text{в}}$  в крупных каплях топлива могут находиться большие по объему включения воды. Как следует из (8), температура начала процесса фазовых превращений воды уменьшается с ростом  $R_{\text{в}}$ . Разрушение исходной капли становится возможным тогда, когда кинетическая энергия  $E$ , выделяющаяся при микровзрыве объема воды, превысит энергию, обусловленную действием поверхностных сил. В приближении Рэлея [4] величина  $E = 2\pi\rho R^2 \dot{R}^3$  пропорциональна плотности воды  $\rho$ , квадрату скорости роста полости  $\dot{R}$  и ее объему  $R^3$ . Из этого следует, что при заданной объемной концентрации воды в топливе с точки зрения микровзрыва более предпочтителен случай, когда в капле топлива присутствует одна крупная частица воды, а не множество мелких.

Поступила в редакцию 23/IV 1983,  
после доработки — 28/X 1983

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Иванов, П. И. Нефедов. Тр. Института горючих ископаемых, т. 19. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
2. Э. М. Агрест, Г. Н. Кузнецов. Акуст. журнал, 1974, 20, 4.
3. P. V. Thomson. Marine engineering review, 1979, 4.
4. О. Двайер. Теплообмен при кипении жидких металлов. М.: Мир, 1980.