

Е. Н. Кондратьев, В. В. Опятюк

*Институт горения и нетрадиционных технологий
Одесского Национального Университета им. И.И. Мечникова*

Некоторые особенности испарения капель водотопливных эмульсий при пульсационном режиме

В статье обсуждается зависимость периода пульсаций при испарении капель водотопливных эмульсий обратного типа от начального размера глобул воды. Приведены экспериментальные данные и результаты численного моделирования при квазистационарном подходе к процессам тепло-массообмена в капле эмульсии.

С 30-х годов прошлого века известно, что использование эмульгированного топлива в стационарных энергосиловых установках приводит к снижению вредных выбросов NO_x , CO и сажи [1-3]. Однако широкое применение водо-топливных эмульсий (ВТЭ) до сих пор является проблематичным. Хотя сам процесс перевалки такого тяжелого топлива как мазут подразумевает его обводнение. Применение этого обводненного топлива приводит к срыву факела на большинстве известных горелочных устройствах.

Это может объясняться тем, что нагревание капель ВТЭ при атмосферном давлении сопровождается скачкообразным изменением их диаметра в 1,5-2 раза, отрывом от основной массы топлива его мелких частичек. В заключительной фазе прогрева происходит полное разрушение исходной капли [3] сопровождающееся хлопками. Указанные особенности поведения капель ВТЭ обратного типа (вода в масле), являются следствием процессов происходящих при изменении фазового состояния воды, находящихся в топливе в виде объемных включений. Обнаружено [5], что при не сильном прогреве изменение диаметра капли эмульсии носит периодический характер, причем период пульсаций практически не зависит от начального размера дисперсной фазы.

С практической точки зрения представляет интерес нахождение режимов пульсационного испарения капель ВТЭ и их частотных характеристик в зависимости от таких свойств ВТЭ как содержание дисперсной фазы и размеров самих капель. Необходимо объяснить, почему период пульсаций не зависит от дисперсности глобул воды. Знание этих характеристик позволит уменьшить негативное акустическое воздействие на горелочные устройства и тем самым устранить вероятность срыва факела.

В работе исследовался процесс испарения капли ВТЭ обратного типа при таких температурах внешней среды ($250 - 300 \text{ }^\circ\text{C}$), когда глобулы воды заки-

пают, а масло еще не возгоняется. Для экспериментов были приготовлены два образца эмульсии на основе масла М8В10 с заведомо различными диаметрами глобул воды. Оба образца имели логнормальное распределение частиц воды по размерам. Для первого образца средний диаметр глобул 3 мкм, для второго — 18 мкм.

Опыты проводились на установке, аналогичной описанной в [5]. При нагреве капли в печи все процессы, происходящие с каплями ВТЭ фиксировались видеокамерой CANON. На рисунке 1 приведена последовательность кадров для одного периода пульсаций капли ВТЭ. Начальный диаметр капли — 2 мм, объемное содержание воды — 20 %, частота кадров при съемке — 1/30 секунды.

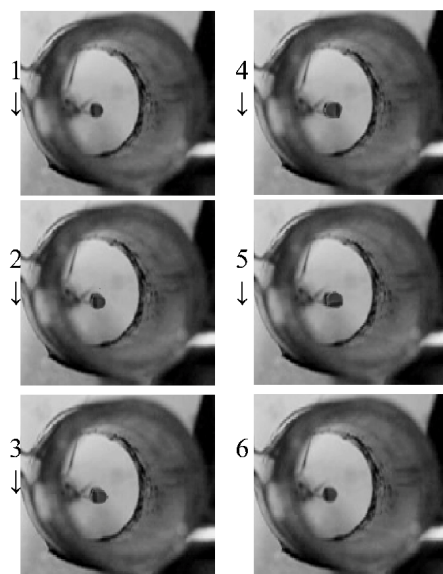


Рис. 1. Изменение поверхности капли при пульсационном испарении капли ВТЭ.

В ходе обработки данных видеосъемки было обнаружено, что частоты пульсаций изменения диаметра капель ВТЭ, имеющих существенно различные диаметры глобул воды, практически одинаковы и составляют 7Гц. Кроме того, частоты микровзрывов, в том числе и повторные, также совпадают и составляют по величине 1,5-2 Гц.

Для объяснения полученных результатов была построена теоретическая модель, базирующаяся на квазистационарном подходе к процессам тепло-массообмена происходящими в капле ВТЭ. Данная модель учитывает умень-

шение содержания масла и воды происходящее во время сбросов паромасляной оболочки капли.

В рамках модели независимость периода пульсаций от начального размера глобул объяснена следующим образом. Расстояние между глобулами r_{l-2} зависит от величины присоединенного объема V_n и начального размера глобул r_{g0} : $r_{l-2} = r_{g0} (4\pi/3V_n)^{1/3}$. Величина присоединенного объема для капель одинакового размера зависит только от начальной концентрации дисперсной фазы (воды) C_{g0} . На стадии парообразования и расширения паровых оболочек расстояние между ними определяется исключительно процессами тепло-массообмена в капле ВТЭ. С другой стороны, температура кипения глобул по закону Клайперона-Клаузиуса увеличивается при уменьшении начальных размеров глобул, из-за увеличения лапласовского давления. Поэтому обе зависимости нивелируют друг друга.

При моделировании считаем, что процесс накопления пара в объеме капли достаточно медленный, поэтому можно рассматривать задачу в квазистационарной постановке. При этом постулируются следующие положения модели:

- капля представляет собой трехкомпонентную систему, состоящую из масла как дисперсионной среды и частиц воды, окруженных паровой оболочкой;
- частицы воды в капле эмульсии подчиняется монодисперсному закону распределения;
- испарение масла не происходит, ввиду того, что температура возгонки масла (700 °C) намного больше температур кипения глобул воды;
- уравнение состояния паров воды подчиняется закону идеального газа $p = nkT$, так как система находится далеко от критических условий;
- число подобия Нуссельта принимается равным двум из-за сферичности формы капли и небольших скоростей движений глобул воды внутри капли ВТЭ;
- коэффициенты теплопроводности компонентов полагается постоянными, поскольку диапазон перепадов температур для рассматриваемой стадии в эмульсии невелик.

Считая, что капля с момента вскипания представляет трехфазную систему, составим уравнения теплового баланса для каждой фазы. При этом внешняя среда греет масло, масло греет пар, пар греет воду.

Уравнение разогрева капли:

$$c_m \rho_m V_m \frac{dT_m}{dt} = 4\pi (R_k \lambda_\infty (T_\infty - T_m) - N \lambda_n R_{oa} (T_m - T_n)) \quad (1)$$

– где индексы $k, m, \infty, n, oa, kin, v, vo$ — относятся к капле, маслу, воздуху, водяному пару, оболочке, при кипении, воде, воде при отсутствии кипения соответственно; N — число глобул, L — теплота парообразования.

Уравнение кинетики испарения воды:

$$L\rho_g \frac{dr_g^2}{dt} = -2\lambda_n (T_n - T_{кин}) \quad (2)$$

Радиус капли находим как:

$$R_k = \left(\frac{3}{4\pi} V_m + NR_{oa}^3 \right)^{1/3} \quad (3)$$

А радиус паровой оболочки:

$$R_{oa} = \left(\frac{\rho_g}{\rho_n} (r_{go}^3 - r_g^3) + r_g^3 \right)^{1/3} \quad (4)$$

При этом температура пара T_n , и температура кипения $T_{кин}$ рассчитываются как [4]:

$$T_n = \frac{R_{oa}\lambda_n T_m + r_g\lambda_g T_k}{R_{oa}\lambda_n + r_g\lambda_g} \quad T_{кин} = 2\sigma V / r_{go} R \ln(1 + 2\sigma / r_{go} P_{атм}) \quad (5)$$

— где R — универсальная газовая постоянная, σ — поверхностное натяжение воды, V — объем одного моля вещества.

Замыкает систему уравнений выражения для объема капли V_k и для плотности пара c_n :

$$V_k = V_m + V_n + V_g \quad \rho_n = \mu P_{атм} / T_m R \quad (6)$$

Система интегрировалась по схеме Рунге-Кутты с коррекцией шага интегрирования по заданной точности. Расчеты производились до момента времени, когда паровые оболочки достигали состояния плотной упаковки.

Расчет зависимости периода пульсаций видимых размеров капли эмульсии по этой модели от величины начального радиуса глобул воды приведен на рисунке 2.

Из рисунка видно, что для ВТЭ с глобулами радиусом меньше 2 мкм имеет место резкое увеличение периода пульсаций оболочки. Это объясняется возрастанием лапласовского давления на глобулу, что приводит к увеличению температуры кипения воды внутри нее. Для того, чтобы достигнуть этой температуры при одинаковых интенсивностях прогрева, капле требуется большее время. Для ВТЭ с глобулами радиусом больше 16 мкм имеет место слабое увеличение периода пульсаций, из-за возрастания экранировки теплового потока за счет утолщения паровой оболочки вокруг крупных глобул. Конкуренцией этих двух процессов объясняется наличие области, в которой значения периода пульсаций слабо зависят от начальных размеров глобул. Расчетные данные по представленной модели согласуются с экспериментом.

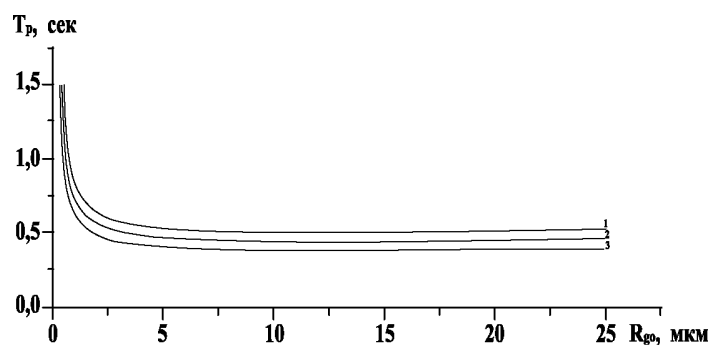


Рис. 2. Зависимость периода пульсации размера капли ВТЭ от начального радиуса глобул. 1 — $C_0=0,15$; 2 — $C_0=0,2$; 3 — $C_0=0,25$;

Литература

1. В.М. Иванов, П.И. Нефедов “Труды Института горючих ископаемых”, т.19, Изд-во АН СССР, 1962.
2. Л. А Комиссаров, В. М Иванов, Б. Н. Сметанников, В. С. Леваневский. О перспективах применения обводненных топлив в виде эмульсий на тепловых электростанциях. Новые методы сжигания топлива и вопросы теории горения — М. Наука. 1972г. 187с.
3. О.Н. Лебедев. Некоторые особенности горения капель водотопливных эмульсий в дизелях. ФГВ, 1978, т. 14, № 2.
4. А.Я. Исаков некоторые особенности микровзрыва капель водотопливной эмульсии. ФГВ, 1985, т.21, № 1
5. Е.Н. Кондратьев, В.В. Опятюк, К.И. Семенов “Пульсационный режим испарения капли водо-топливной эмульсии”, XX научная конференция стран СНГ, 2002, с. 140-141.

Е. М. Кондратьев, В. В. Опятюк

**Деякі особливості випарування краплини водопальної емульсії
при пульсаційном режимі**

АНОТАЦІЯ

У статті обговорюється залежність періоду пульсацій поверхні краплини водопальної емульсії зворотного типу від початкового розміру глобул води. Приведено експериментальні дані і результати чисельного моделювання при квазістаціонарному підході до процесів тепло- масообміну в краплі емульсії.

Kondratev E. N., Opyatyuk V. V.

**Special feature evaporation water-fuel (oil) inverse type
emulsion drops for pulse mode**

SUMMARY

The results of experimental research of water-fuel (oil) inverse type emulsion drops are presented. In article discussed dependence periodic pulsation surface of drops emulsion. Results of numerical modelling on the basis of model are analysed.