

Роль электронного удара в СВЧ разряде в жидком *n*-гептанеЮ. А. Лебедев¹, А. В. Татаринов^{1,2}, И. Л. Эпштейн¹, К. А. Аверин^{1,2}¹ Институт нефтехимического синтеза им А.В. Топчиева РАН² Московский физико-технический институт (государственный университет)

В настоящей работе представлена модель микроволнового разряда, создаваемого в окрестности металлического проводника, погруженного в жидкий *n*-гептан. Эта работа является продолжением исследований, проводимых авторами по изучению физико-химических процессов в микроволновых разрядах в жидких углеводородах [1, 2]. Была продемонстрирована возможность использования метода фазового поля [3] для моделирования плазмохимических процессов.

Цилиндрическая камера с металлическими стенками частично заполнена жидким *n*-гептаном. Энергия от СВЧ источника подводится снизу по коаксиальному кабелю. Часть дна цилиндрической камеры, обозначенная буквами ОАВС, проницаема для СВЧ поля, и непроницаема для жидкости и пара (рис.1). В нижней части камеры есть небольшая цилиндрическая полость ОАВ, которая в начальный момент заполнена перегретым паром.

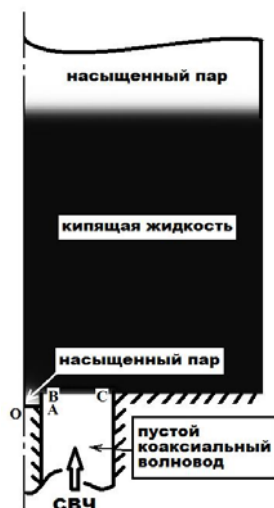


Рис.1. Область расчета и распределение жидкой и паровой фаз *n*-гептана в начальный момент. Ввод СВЧ мощности отмечен стрелкой. $|OA| = 1.5$ мм, $|AB| = 1$ мм, $|BC| = 4.5$ мм. Диаметр и высота камеры: 4 и 5 см. Длина коаксиального волновода 2.5 см (обрезан).

Двумерная осесимметричная модель включает в себя систему уравнений Навье-Стокса для двухфазного дозвукового потока несжимаемой жидкости и сжимаемого газа,

уравнение теплопроводности, уравнение Максвелла для СВЧ поля, уравнение Больцмана и уравнения баланса для электронов плазмы.

Расчеты позволяют проследить эволюцию процесса кипения. При мощности более 500 Вт после отрыва первого пузыря из каверны поднимается столб перегретого пара.

Диаметр получающихся пузырей составляет несколько миллиметров. Плазма горит только внутри каверны, в непосредственной близости к центральному электроду. При отрыве пузыря от электрода плазма внутри него исчезает. Это объясняется тем, что СВЧ поле сосредоточено вблизи торца центрального электрода и очень резко падает вне него.

Проведенные расчеты позволили определить характерные времена процессов образования пузыря, его отрыва и дальнейшего всплывания. Чем выше уровень подводимой СВЧ мощности, тем больше скорость всплытия пузырька и тем больше его диаметр (рис. 2).

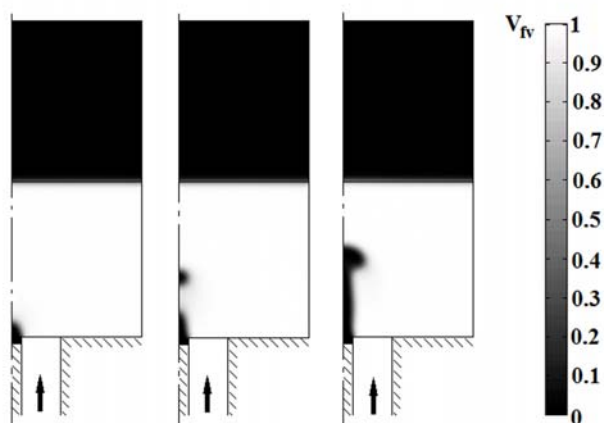


Рис. 2. График объемной доли пара V_{fv} в момент времени $t=0.1s$ для разных падающих мощностях. Слева направо: $P_{inc} = 300, 500, 700$ W. Моделирование.

На рис. 3 для сравнения приведены пузыри газа в кипящем н-гептане, полученные в расчете и в эксперименте. В эксперименте СВЧ разряд в кипящем н-гептане горит на конце СВЧ антенны, погруженной в жидкий углеводород. Детальное описание экспериментальной установки можно найти в [1, 2]. Поскольку геометрии СВЧ антенны различны, то можно судить только о приблизительном соответствии возникающего пузыря.

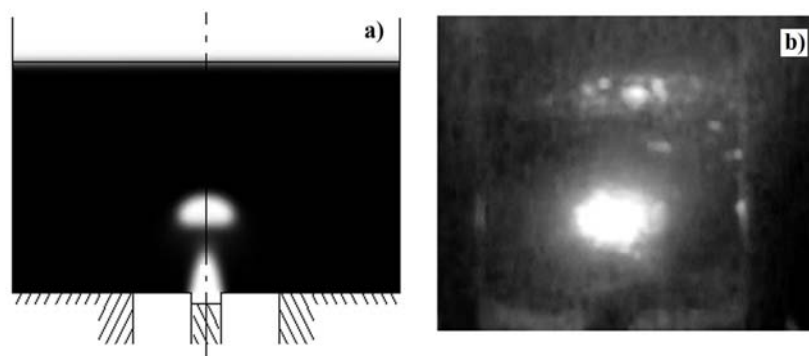


Рис. 3 а) График объемной доли пара V_{fv} в момент времени $t=7 \times 10^{-2}$ с при $P_{inc} = 1$ kW. Моделирование. б) Фотография разряда в моменты времени $t=1.2 \times 10^{-2}$ сек. $P_{inc} = 500$ W. Эксперимент.

Прикладные научные исследования, описанные в данной статье, проводятся при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации федеральной целевой программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы", уникальный идентификатор прикладного научного исследования RFMEFI57514X0060.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Yu.A. Lebedev, V.S. Konstantinov, M.Yu. Yablokov, A.N. Shchegolikhin and N.M. Surin, Microwave Plasma in Liquid *n*-Heptane: A Study of Plasma Chemical Reaction Products, *High Energy Chem.*, Vol.48, (2014), 385–388.
- [2] Yu.A. Lebedev, I.L. Epstein, V.A. Shkhatov, E.V. Yusupova, V.S. Konstantinov, Spectroscopy of Microwave Discharge in Liquid C_7 – C_{16} Hydrocarbons, *High Temp.*, Vol.52, (2014), 319.
- [3] D. Jacqmin, Calculation of two-phase Navier–Stokes flows using phase field modeling, *J. Comp. Phys.*, Vol. 155, (1999), 96.