

## НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИМПУЛЬСНОГО СЖИГАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕПОСРЕДСТВЕННО В ВОДНОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕ

В.С. Тесленко, А.П. Дрожжин, Р.Н. Медведев, В.И. Манжалей, В.Ю. Ульяницкий  
Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Показана принципиальная возможность сжигания углеводородных топлив **непосредственно в водном теплоносителе**. Представлены первые экспериментальные результаты на примере импульсного сжигания ацетилена в воде и в ударной трубке с инъекцией горячих продуктов сгорания в воду. Показана возможность перехода на новые принципы работы тепловых генераторов.

**Постановка №1:** Опыты были проведены со стехиометрической смесью ацетилена с кислородом ( $C_2H_2 + 2,5 \cdot O_2$ ). Газовая смесь выдувалась в воду с проводимостью  $\sim 1 \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$  через трубку-электрод с внешним диаметром  $d_c = 2,1\text{мм}$  и внутренним диаметром  $d_{in} = 1,5 \text{ мм}$ . При размере пузырька  $d \sim d_c$  на электрод подавалось напряжение 350-500 Вольт [1]. Для отсечения распространения пламени в систему газопровода в трубке устанавливался огнепреградитель.

**Постановка №2:** Осуществлялось гидродинамическое моделирование импульсного выброса горячих продуктов сгорания ацетилена в воду. Импульсное сжигание смеси ацетилена с кислородом осуществлялось в ударной трубке многофункционального импульсного детонационного аппарата ССДС-2000, разработанного в ИГиЛ СО РАН [2].

**Результаты экспериментов.** На Рис. 1 представлена типичная картина гидродинамического процесса одного цикла зажигания и сгорания газа в пузырьке. В данной постановке экспериментов электрический пробой в газе происходил внутри пузырька между трубкой-электродом и электролитом, что приводило к зажиганию газовой смеси в пузырьке.

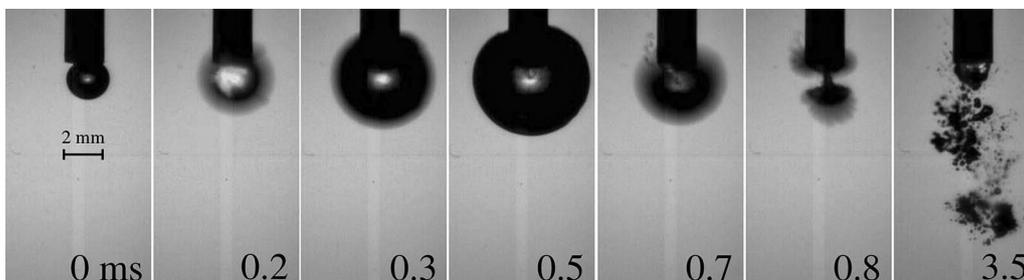


Рис. 1

Пузырек расширяется за время 0,3 мс и затем начинает схлопываться примерно до исходного размера, теряя симметричность. Схлопывание и последующее движение сопровождается образованием вихревого торообразного пузырькового кластера. Скорость отрыва первого пузырькового кластера от электрода  $V_b \approx 10-15\text{м/сек}$ . В процессе движения торообразного пузырькового кластера происходит его дробление до размеров  $d_i = 0,1-0,3\text{мм}$ . Из кинограмм следует, что в момент коллапса первого пузырька со сгоревшим газом образуется второй пузырек от электрического разряда, который соответствует началу следующего цикла.

На Рис. 2 представлены кадры типичной кинограммы импульсного выброса продуктов детонационного сгорания ацетилен-кислородной смеси ( $T \sim 3000\text{K}^\circ$ ) из отверстия в виде щели,  $h = 2\text{мм}$ ,  $l = 15 \text{ мм}$ .

**Анализ результатов.** Для постановки экспериментов №1 был выполнен приближенный расчет времени сгорания газа в пузырьке. При эффективном показателе адиабаты  $\gamma = 1,1$  исходный диаметр пузырька  $d$  увеличивается до  $D = 3,9d$ , в то время как в экспериментах  $D/d = 3$ . Различие связано с теплоотдачей воде в процессе расширения, а также с уходом части сгоревшего газа в под-

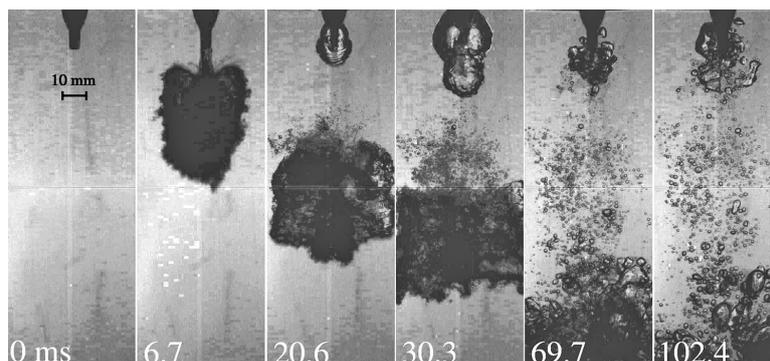


Рис. 2

водящую трубку. Если бы пузырек не разрушался, то он бы остывал за время  $t_1 \approx 10^{-2}$  сек. В нашем случае раздробленные пузырьки отдают тепло за время  $t_2 < 10^{-4}$  сек. При относительных скоростях  $\sim 10$  м/с число Вебера  $We \sim 10^3$ , что на два порядка превышает его критическое значение. При этом пузырек разрушается с диспергированием на более мелкие пузырьки со средним размером  $d_i \sim 0,3$  мм. Именно дробление исходных пузырьков в нашей постановке приводит к резкому ускорению теплопередачи. Одновременное зажигание газа в  $N$  пузырьках может обеспечиваться в режиме электрогидродинамической самосинхронизации пробоев в них [3, 4]. При этом верхний предел мощности генератора будет лимитироваться только частотой подачи топлива в воду. Например, если частота сжигания рассматриваемых пузырьков 1 кГц и на площади  $1\text{ м}^2$  установлено 25600 трубок-электродов, то средняя удельная мощность такого генератора составит  $\sim 25$  МВт/м<sup>2</sup>. В этом случае вся тепловая энергия остается в воде. Отметим, что эта оценка имеет частное значение, относящееся к представленным экспериментам. Конструктивно возможны более мощные и компактные устройства с импульсным сжиганием топлив в водном теплоносителе.

В качестве такого мощного экспериментального устройства можно рассматривать уже существующий импульсный газо-детонационный аппарат CCDS-2000 [2], с помощью которого были выполнены предварительные эксперименты в постановке №2. Из этих экспериментов следует, что метаемый в воду горячий газовый пузырек со скоростью 20 м/с эффективно разрушается (Рис.2), что обеспечивает высокоэффективную теплопередачу от дробящихся пузырьков в воду.

**Вывод.** Экспериментально показана принципиальная возможность импульсного сжигания углеводородных топлив **непосредственно в водном теплоносителе** для создания тепловых генераторов нового типа.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты 06-02-17453, 10-08-00788.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В.С. Тесленко, В.И. Манжалея, Р.Н. Медведев, А.П. Дрожжин. Сжигание углеводородных топлив непосредственно в водном теплоносителе. // ФГВ, 2010, № 4, с.1-4
2. С.Б. Злобин, В.Ю. Ульяницкий, А.А. Штерцер. Детонационное напыление покрытий из сплавов на никелевой основе и чугуна и исследование их свойств. // Упрочняющие технологии и покрытия, 2008, № 11, с. 36-41.
3. В.С. Тесленко, Р.Н. Медведев, А.П. Дрожжин. Самосинхронизация электрогидродинамических автоколебаний при многоочаговых разрядах в электролите. // Письма в ЖТФ, 2007, т. 33, в. 19, с. 55-63, <http://www.ioffe.ru/journals/pjtf/2007/19/p55-64.pdf>.
4. Medvedev R., Teslenko V., Drozhzhin A. Electrohydrodynamic self-synchronization of self-oscillations on two diaphragm current concentrators in electrolyte.// Physics Letters A, 2008, v. 373, pp. 102–106 <http://www.swsl.newmail.ru/publ/PLA18400.pdf>