

УДК 536.71; 537.5; 662. 61

СЖИГАНИЕ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ В ВОДЕ В КОЛЬЦЕВЫХ ПУЗЫРЯХ**Тесленко В.С., Дрожжин А.П., Медведев Р.Н.***Институт гидродинамики им М.А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск, Россия*

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты №№ 13-08-00838, 12-08-31087.

АННОТАЦИЯ

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований сжигания заранее приготовленной стехиометрической смеси пропана с кислородом в кольцевых пузырях, выдуваемых в воду на границе с металлической стенкой. Исследована динамика сжигания газа в стационарно сформированных пузырях и последующие гидродинамические стадии расширения и пульсации пузырей после сгорания пропана. Проведены измерения импульсов силы на граничную твердую стенку

в корреляции с киносъемкой гидродинамических процессов.

В работе показано, что непосредственное импульсное сжигание газа в воде обеспечивает усилие на тяговую стенку. Это позволит конструировать движители нового типа с прямым преобразованием химической энергии в кинетическую энергию тела, и избавиться от энергозатратных сложных и промежуточных узлов (двигатель внутреннего сгорания, редуктор, винт).

ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] реализован метод сжигания горючих газов непосредственно в воде с раздельной подачей горючего газа и окислителя с помощью линейных щелевых форсунок. Горючая смесь в воде образовывалась в динамическом режиме в виде квазицилиндрического пузыря из двух выдуваемых пузырей. Осуществлены циклические режимы сжигания ацетилена, водорода, пропана и МАФ с частотой до 2,5 Гц.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований сжи-

гания заранее приготовленной стехиометрической смеси пропана с кислородом в кольцевых пузырях, выдуваемых в воду на границе с металлической стенкой. Исследована динамика сжигания газа в стационарно сформированных пузырях и последующие гидродинамические стадии расширения и пульсации пузырей после сгорания пропана. Проведены измерения импульсов силы на граничную твердую стенку в корреляции с киносъемкой гидродинамических процессов.

ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Пузырьки с заранее заготовленной стехиометрической смесью пропана с кислородом объемом 1-4 см³ выдувались непосредственно в воду. Пузырек удерживался в воде в кольцевой канавке диаметром 40 мм на жесткой горизонтальной стенке, которой являлся торец цилиндра диаметром 59 мм. Инициирование горючей смеси в пузырьках осуществлялось искровым разрядом с энергией до 4 Дж. На Рис. 1 иницирующий электрод справа. На первом кадре виден искровой разряд.

Проводилась скоростная киносъемка горения газа в пузырьках и динамика расширения

пузырей в результате сжигания газовой смеси. Съемка осуществлялась в двух проекциях: с торца цилиндра и сбоку. Синхронно осуществлялись измерения импульсов силы $F(t)$ на горизонтальную стенку, удерживающую пузырь. Регистрация импульсов силы на стенку осуществлялась на цифровом осциллографе TDS-210 с помощью пьезоэлементов ЦТС, имеющих цилиндрическую форму с диаметром 40 мм и высотой 15 мм, и эмиттерного повторителя с постоянной составляющей времени 10 сек.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

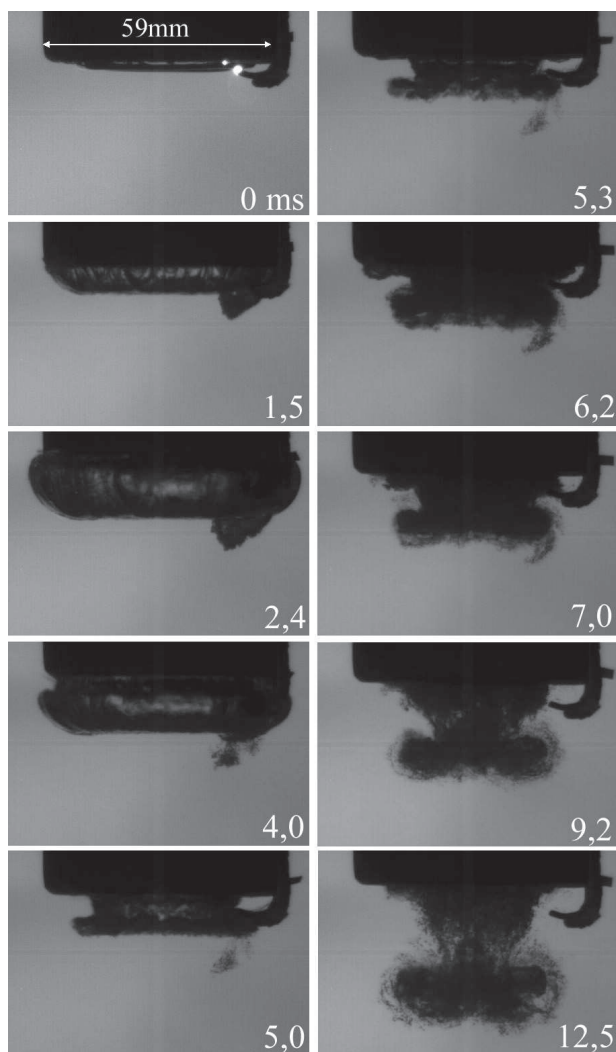


Рис.1 Кадры теневой съемки гидродинамических процессов при сжигании газа в кольцевом пузыре на торце цилиндра.

На Рис. 1 представлены отдельные кадры теневой киносъемки гидродинамических процессов при сжигании стехиометрической смеси пропана с кислородом в кольцевом пузыре радиусом 40 мм и объемом 3 см³ на торце цилиндра. Для данной кинограммы цилиндр был не закреплен, поэтому видно его перемещение.

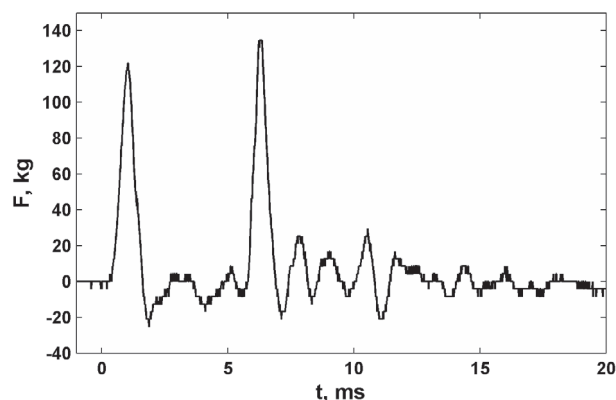


Рис.2 Осциллограммы импульсов силы на жесткую стенку.

На Рис. 2 представлена осциллограмма для импульсов силы, действующих на горизонтальную стенку торца цилиндра, при сжигании 2 см³ стехиометрической смеси пропана с кислородом. На данной осциллограмме отслеживаются два основных импульса. Первый импульс соответствует процессу расширения пузыря после сгорания газа, а второй импульс соответствует моменту коллапса образованного пузыря. Видно, что второй импульс соизмерим с первым, при этом: $P_1 = \int F_1 dt = 0,077 \text{ кгс}$, $P_2 = \int F_2 dt = 0,075 \text{ кгс}$.

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для экспериментов в представленной постановке при прочих равных условиях, скорость горения носит «галолирующий» характер вдоль пузыря. От эксперимента к эксперименту для стехиометрической смеси пропана с кислородом разброс значений скорости фронта горения находился в пределах 100 - 140 м/сек. В целом, этот разброс слабо влияет на динамику расширения и пульсации пузырей. Расширение сгоревшего газа в пузыре обеспечивает первый им-

пульс силы на стенку цилиндра. Второй импульс силы генерируется при коллапсе торообразного или эллипсоидального пузыря. Геометрия образованного пузыря зависит от начального объема горючего газа. Так для начальных объемов газа 1-2 см³ образуется торообразный пузырь, который коллапсирует радиально к оси тора и симметрично к оси цилиндра (Рис. 1). При коллапсе таких пузырей формируются два противоположных потока жидкости вдоль оси. При на-

чальных объемах газовой смеси более 2 см^3 торообразный пузырь превращается в эллипсоид, “приплюснутый” в направлении к стенке. Такой пузырь коллапсирует радиально к оси стенки с последующим формированием «симметричных» струйных потоков жидкости вдоль оси. На кинограммах поток жидкости от стенки виден как аксиальное течение с образованием кольцевого вихря из мелких пузырьков. Струя, направленная в сторону стенки, отражается от нее и толкает ее вверх (Рис. 1). Этому процессу соответствует второй импульс силы (Рис. 2). После первого коллапса тора или эллипсоидального пузыря наблюдается дробление исходного пузыря с образованием вихря из более мелких пузырьков. Этот кольцевой вихрь из мелких пузырьков, перемещаясь вдоль оси, пульсирует совместно с пузырьками у стенки. Пульсации эти отслеживаются на кинограммах и в виде слабых импульсов на осциллограммах измерений импульсов силы (Рис. 2). Пульсации происходят за счет кооперативных процессов мелких пузырьков в наблюдаемых вихревых кластерах.

Как для динамического смешения горючего газа с кислородом [1], так и для заранее приготовленной смеси в пузырях наблюдаются эффекты стохастичности процессов сгорания газов от эксперимента к эксперименту. Во всех экспериментах (ацетилен, водород, пропан, МАФ) при динамическом

смешении газов видимая скорость горения не превышала 400 м/сек . Таким образом, мы имеем дело с дефлаграционным механизмом горения газов в пузыре. Наблюдаемые галолирующие режимы горения, по-видимому, связаны с неустойчивостью границы пузыря, которые отслеживаются на кинограммах и, как следствие, с различием концентраций паро-капельной составляющей воды в пузыре. Изучение влияния паров воды на скорость горения газов являются актуальными задачами для разработки методов сжигания газов в жидкостях.

Наблюдаемая динамика течений в жидкости при расширении и пульсациях пузыря вблизи жесткой стенки качественно подобна процессам струйных течений, описанных в монографии В.К. Кедринского [2] для случаев пульсаций пузыря от взрывов конденсированных ВВ вблизи свободной поверхности жидкости. Важно отметить следующее отличие при взрывах конденсированных ВВ и сжигания газов в воде, которое заключается в том, что в нашем случае отсутствуют процессы детонации источника взрыва. Следовательно, перераспределение энергии между кинетической энергией жидкости от расширения газового пузыря и энергией ударной волны будет происходить в пользу пузыря. При этом динамика пульсаций торообразных пузырей [2,3] отлична от динамики сферических пузырей.

ВЫВОД

Экспериментально показано, что сжигание газов в воде вблизи жесткой стенки позволяет выполнять преобразование химической энергии сжигаемой газовой смеси в поступательную составляющую на тяговой стенке за счет импульсов силы, возникающих при расширении продуктов сгорания газа в воде и при захлопывании пузыря. При этом, за счет формирования аксиальных потоков жидкости при захлопывании пузыря вблизи стенки, обеспечивается дополнительный вторичный импульс силы, соизме-

римый с первым. Этот эффект указывает на перспективную эффективность преобразования химической энергии газов в механическую энергию тела, погруженного в жидкость.

С помощью рассмотренных методов сжигания газов на тяговой стенке можно исключить потери энергии в существующих сложных устройствах преобразования химической энергии в механическую энергию путем смены технологий сжигания топлив для водных движителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тесленко В.С., Дрожжин А.П., Манжале В.И., Медведев Р.Н., Ульяницкий В. Ю. Сжигание горючих газов в водном теплоносителе с

раздельной подачей горючего и окислителя. // СОВРЕМЕННАЯ НАУКА, Сборник научных статей №2(10), г.Киев, ISSN 2076-6866, «Триакон» - 2012 г,

- с. 64-67, http://www.swsl.newmail.ru/publ/teslenko_Alushta2012.pdf
Teslenko V.S., Drozhzhin A.P., Manzhaley V.I., Medvedev R.N., Ulyanitskii V.Yu. Combustion of gas fuel in water-based heat carrier with separate fuel and oxygen injection // Modern science, Collection of research papers, No. 2, Vol. 10, Kiev, ISSN 2076-6866, "Triacon", 2012, pp. 64-67.
2. Кедринский В.К. Гидродинамика взрыва эксперимент и модели // Из-во СО РАН, 2000 г., 434 стр. Kedrinskii V.K.. Hydrodynamics of explosion: experiment and models. 2000, 434 p.
3. R.N. Medvedev, A.A. Chernov, D.I. Karpov. Calculations of pulsation period of a toroidal bubble during diaphragm discharge in electrolyte // International Journal of Heat and Mass Transfer, 2013, Vol. 64, pp. 743-750. <http://www.swsl.newmail.ru/publ/HMT-2013.pdf>