

03;12

Способ получения смеси диспергированной жидкости с газом при помощи поршневой машины и его возможные применения

© Ю.В. Алеханов, А.Е. Левушов, А.А. Логвинов,
С.А. Ломтев, Е.Е. Мешков

Российский федеральный ядерный центр
Всероссийский научно-исследовательский институт
экспериментальной физики, Саров
E-mail: root@gdd.vniief.ru
Саровский физико-технический институт
E-mail: meshkov@sarfti.sarov.ru

Поступило в Редакцию 5 апреля 2004 г.

Проведены эксперименты, подтверждающие возможность реализации метода получения смеси диспергированной жидкости с газом при помощи поршневой машины (ПМ) [1]. Эта смесь образуется при развитии неустойчивости Рэля–Тейлора [2,3] и турбулентном перемешивании очень тонкого слоя жидкости на торце поршня, двигающегося с торможением. Обсуждается возможность использования данного эффекта: а) для получения смеси диспергированной воды с воздухом для тушения пожаров и б) для приготовления топливно-воздушной смеси в двигателях внутреннего сгорания.

1. Движение поршня ПМ описывается соотношениями: $x = r \cdot \cos \gamma t + \text{const}$, $v = -r \cdot \gamma \cdot \sin \gamma t$, $a = -r\gamma^2 \cdot \cos \gamma t$, где x — путь, проходимый поршнем; r — радиус шатунной шейки коленвала ПМ; γ — угловая скорость вращения коленвала (угол поворота коленвала отсчитывается от положения верхней мертвой точки (ВМТ)); v — скорость поршня; a — ускорение. В интервале углов поворота коленвала $\pi/2 < \gamma t < 3\pi/2$ на поршне возникает искусственная сила тяжести и небольшое количество жидкости, помещенной в это время на плоском торце поршня, будет растекаться по его поверхности в виде тонкого слоя. В интервале углов $3\pi/2 < \gamma t < 2\pi$ поршень движется с торможением и граница между слоем жидкости на поршне и газом, сжимаемым поршнем, оказывается

неустойчивой (неустойчивость Рэлея–Тейлора [2,3]) и на ней должна развиваться зона турбулентного перемешивания (ТП) [1].

Разработана методика исследования данного процесса и проведены эксперименты, подтверждающие работоспособность способа [1].

Ранее были описаны эксперименты по исследованию развития зоны турбулентного перемешивания на границе относительно тонкого слоя жидкости, ускоряемого сжатым газом (т.е. в геометрии: сжатый газ–слой жидкости–слой сжимаемого газа–жесткая стенка) [4]. Исследование процесса развития неустойчивости Рэлея–Тейлора в очень тонком слое жидкости, граничащем с жесткой стенкой (т.е. в геометрии: жесткая стенка–слой жидкости–слой сжимаемого газа–жесткая стенка), представляет интерес как с научной точки зрения, так и с точки зрения возможных приложений. В описанных ниже экспериментах исследуется подобный случай.

2. Эксперименты проводились по схеме: жесткая стенка–сжатый газ (драйвер)–поршень (с тонким слоем воды на торце)–сжимаемый газ–жесткая стенка. При этом поршень из капролона толщиной 20.5 mm двигался в цилиндрическом канале постоянного сечения диаметром 50 mm. Вначале поршень движется с ускорением под давлением сжатого газа (продукты детонации смеси ацетилена с кислородом (~ 1 МПа)), а затем тормозится под нарастающим давлением сжимаемого газа (воздух при атмосферном (начальном) давлении). Эта схема качественно воспроизводит динамику поршня в поршневой машине. По периметру верхней поверхности поршня помещался барьер высотой 0.4 mm и шириной ~ 20 mm. Соответственно на верхнем торце поршня находилось углубление диаметром 10 и глубиной ~ 0.4 mm. В углублении помещалась вода (~ 35 mg) в виде капли.

Детонация газовой смеси в камере инициировалась электроискровым способом. Регистрация разгона и торможения поршня осуществлялась при помощи скоростной кинокамеры СФР с подсветкой от импульсной лампы ИФК-120. Свет от лампы направлялся через прозрачную стенку в конце ускорительного канала и освещал зону турбулентного перемешивания.

3. На рис. 1 приведены кадры фотохронограммы разгона и торможения поршня в одном из опытов. На начальной стадии ($t < 1.4$ ms) поршень движется с ускорением и соответственно граница воды является устойчивой; в результате наблюдается колебание воды на поверхности поршня (вначале вода имела форму капли). На стадии торможения

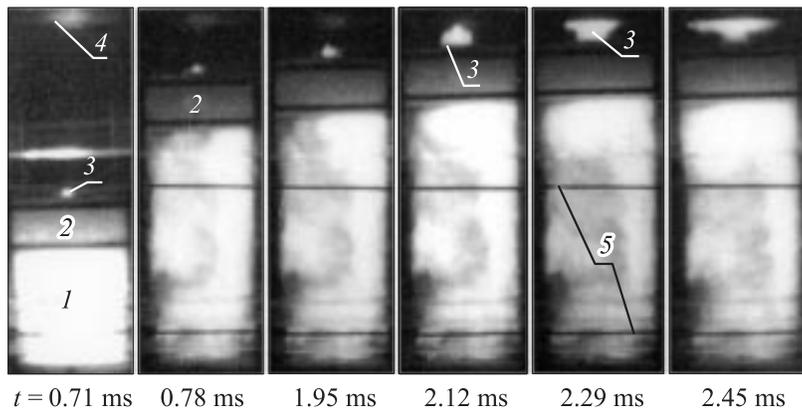


Рис. 1. Фотохронограмма опыта с цилиндрическим каналом (начальная высота камеры (смесь ацетилена с кислородом) $l = 22$ mm и высота ускорительного канала (воздух) $L = 74.5$ mm). Обозначения: 1 — самосветящиеся продукты детонации смеси ацетилена с кислородом; 2 — поршень; 3 — слой воды (после начала торможения поршня — зона турбулентного перемешивания воды с воздухом); 4 — торец ускорительного канала; 5 — реперные линии. Время отсчитывается от момента инициирования детонации смеси.

поршня ($t > 1.4$ ms) наблюдается быстрый рост зоны турбулентного перемешивания, причем она вырастает по всей ширине области первоначального положения почти одновременно. Зона перемешивания визуализируется вследствие рассеяния света на каплях воды. После удара о торец канала (кадры на моменты $t = 2.29$ ms и $t = 2.45$ ms) происходит „расплющивание“ и растекание облака диспергированной воды (ДВ), т.е. если бы с самого начала вода покрывала бы весь торец поршня, то весь объем ускорительного канала был бы заполнен смесью воды и воздуха.

На рис. 2 и 3 приведены $X-t$ диаграмма верхней границы поршня и верхнего края зоны турбулентного перемешивания и зависимость ширины зоны h от времени (время отсчитывается от момента инициирования детонации смеси).

В результате обработки результатов экспериментов (аппроксимация $X-t$ диаграммы верхней границы поршня полиномом 4-й степени и дифференцирование полинома) получена информация о масштабах, до-

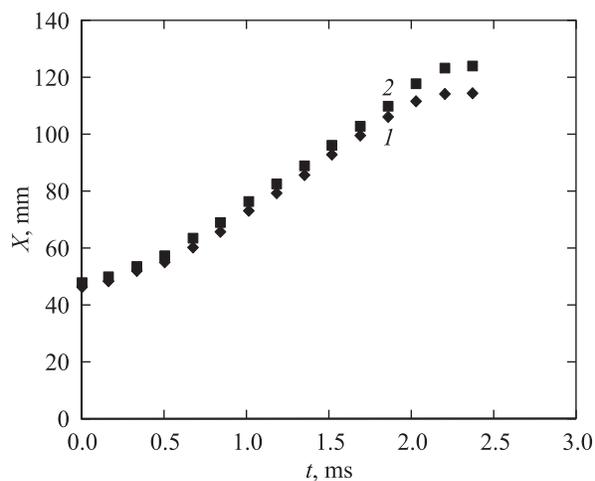


Рис. 2. $X-t$ диаграмма верхней границы поршня (1) и верхнего края зоны турбулентного перемешивания (2).

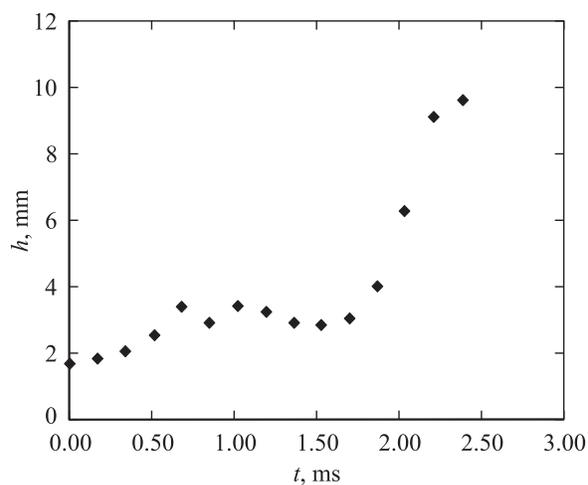


Рис. 3. Зависимость от времени толщины зоны турбулентного перемешивания. На стадии ускоренного движения поршня ($t \leq 1.4$ ms) видимая толщина слоя воды определяется колебаниями его поверхности, вследствие этого она оказывается в несколько раз больше средней толщины слоя (~ 0.4 mm).

стигаемых в эксперименте ускорения ($a \sim 2 \cdot 10^4 - 10^5 \text{ m/s}^2$) и скорости ($v \sim 30 - 40 \text{ m/s}$). Сжатие смеси воздуха с диспергированной жидкостью в канале не более $\sigma_1 \approx 7.5$ (от начала движения поршня и до момента максимального сжатия) и соответственно не более $\sigma_2 \approx 3$ (от момента начала торможения поршня до момента максимального сжатия).

4. Таким образом, результаты экспериментов подтверждают принципиальную возможность получения смеси диспергированной жидкости с газом при помощи поршневой машины. Этот метод может найти применение:

а) для непрерывного получения смеси ДВ с воздухом в больших объемах, например, для тушения пожаров и/или локализации вредных аэрозолей,

б) для приготовления топливно-воздушных смесей в дизелях (без применения форсунок).

Тушение огня диспергированной (или распыленной) водой (с размером капель менее $100 \mu\text{m}$) гораздо более эффективно по сравнению с тушением компактной струей [5]. Создание водяного аэрозольного облака обеспечивает эффективность использования воды до 100% (для сравнения: при традиционных способах тушения вода используется с эффективностью до 5%) [6].

С другой стороны, короткоживущие аэрозвеси ДВ, достаточно быстро оседающие на землю, могут использоваться для адсорбции аэрозолей, ядовитых газов, пыли и т.п. из облака взрыва при его перемешивании с ДВ и, таким образом, существенно ограничивать площадь загрязнения территории, окружающей место взрыва [7,8]. Технологии диспергирования жидкостей находят широкое применение и в других областях техники: в распылительной сушке, при нанесении лакокрасочных покрытий, при туманном орошении, для проведения процессов мокрого пылеулавливания и т.д.

Метод [1] может быть использован для непрерывного получения (в том числе в больших объемах) аэрозвеси ДВ. Вал используемой поршневой машины может приводиться во вращение двигателем любого типа (электрическим, внутреннего сгорания и т.п.). Для реализации метода необходимо снабдить поршневую машину устройством для вбрасывания нужного объема воды на стадии, когда на торце поршня создается искусственная сила тяжести. Кроме этого необходимо каждый цилиндр поршневой машины снабдить клапаном, открывающимся в момент, близкий к моменту максимального сжатия; при этом обра-

зовавшаяся сжатая смесь должна выбрасываться в выходную трубу под собственным давлением и затем направляться по трубопроводу в нужном направлении.

Результаты экспериментов также подтверждают принципиальную возможность использования метода [1] для приготовления топливно-воздушной смеси в двигателях внутреннего сгорания. Рассмотрим с учетом изложенных сведений ситуацию, возникающую при использовании в качестве поршневой машины одного из возможных вариантов дизельного двигателя внутреннего сгорания с коленчатым валом, имеющим радиус шатунной шейки $r = 47 \text{ mm}$, и со скоростью вращения коленвала от 800 до 4200 оборотов/мин. В этом случае максимальная скорость поршня составляет $3.9\text{--}20.7 \text{ m/s}$, а ускорение $330\text{--}9100 \text{ m/s}^2$ (в зависимости от числа оборотов коленвала). По порядку величины эти значения скорости и ускорения близки к наблюдавшимся в описанном эксперименте.

Список литературы

- [1] Мешков Е.Е., Невмержицкий Н.В. Способ получения смеси диспергированной жидкости с газом. Заявка № 2001123009, опубл. БИПМ, № 18. Ч. 1. С. 90, 27.06.03.
- [2] Lord Rayleigh // Proc. London Math. Soc. 1883. V. 14. P. 170.
- [3] Taylor G.I. // Proc. Roy. Soc. 1950. V. A201. P. 192.
- [4] Мешков Е.Е., Невмержицкий Н.В. // Письма в ЖТФ. 2002. Т. 28. В. 8. С. 34–37.
- [5] Повзик Я.С. Пожарная тактика. М.: ЗАО „СПЕЦТЕХНИКА“, 1999. С. 39.
- [6] Корольченко А.Я. // Пожаровзрывобезопасность. 2001. № 2. С. 3–5.
- [7] Коровченко Г.М. Мастер–взрывник. М.: Недра, 1972. С. 175–177.
- [8] Parkes J.H., Salter S.H. Improvements in decontamination. UK patent. 1996. GB 2 294 105.