



УДК 532.23:535

Базаров Ю.Б.¹, Баранов В.К.¹, Голубинский А.Г.¹, Георгиевская А.Б.¹, Красовский Г.Б.²,
Мешков Е.Е.², Степушкин С.Н.¹, Сяндюков А.Ю.¹, Хатункин В.Ю.¹

¹РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров

²СарФТИ НИЯУ «МИФИ», Саров

РАЗГОН И РАСПАД МОДЕЛИ ВОДЯНОГО СНАРЯДА

Экспериментально исследовано разрушение модели летящего водяного снаряда в виде слоя воды, ускоряемого давлением продуктов детонации смеси ацетилена с кислородом до скорости порядка 100 м/с. Регистрация течения осуществляется методом PDV (Photon Doppler Velocimetry).

МЕТОД PDV, ВОДЯНОЙ СНАРЯД

ВВЕДЕНИЕ

Способ тушения верховых лесных пожаров, описанный в [1], предполагает использование безоболочечных водяных снарядов (ВС), разгоняемых давлением продуктов горения или/и детонации смеси горючих газов с воздухом (или кислородом). Предполагается разгонять массивный ВС до скоростей порядка нескольких десятков метров в секунду и забрасывать его на высоту порядка нескольких десятков метров. Ранее была разработана методика, и проведено исследование поведения ВС (объемом до 0.5 л) при свободном падении [2]. Результаты экспериментов показывают, что в процессе свободного полета под действием аэродинамических сил и гидродинамических неустойчивостей ВС рассыпается, образуя быстро растущее облако мелких капель. При синхронной работе ряда устройств, разгоняющих ВС может создаваться протяженное облако капель, которое, попадая в кроны горящих деревьев, будет тушить их на большой площади. Ускорение подобных ВС должно осуществляться давлением продуктов детонации или горения смеси горючих газов с кислородом или с воздухом. В перспективе создание подобных устройств может оказаться экономичнее и проще, чем использование вертолетов и самолетов для тушения верховых лесных пожаров и вообще крупномасштабных пожаров.

Ниже описаны разработки исследования процессов сопровождающих разгон ВС на модели подобного устройства. Данная установка позволяет разгонять слой воды, который в процессе полета распадается на мелкие капли. Движение слоя воды и последующий распад на мелкие капли регистрируется при помощи оптогетеродинной методики или методики «PDV» (Photon Doppler Velocimetry) [3, 4].

ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

На рис. 1 приведена схема ударной трубы. Ударная труба состоит из камеры 1 и ускорительного канала 4. Канал отделен от камеры полиэтиленовой пленкой толщиной 5 мкм. На поверхности пленки располагается слой воды 3 толщиной 8 мм. Камера заполнена смесью ацетилена с кислородом стехиометрического состава $C_2H_2 + 2,5O_2$. Детонация смеси инициируется электроискровым способом. Под давлением продуктов детонации смеси ацетилена с кислородом происходит ускорение слоя воды. Регистрация течения

осуществляется PDV – датчиком в направлении движения слоя воды. PDV – датчик находится на расстоянии $L = 60$ мм от выхода из ускорительного канала.

После детонации газовой смеси в камере слой воды движется с ускорением. При этом на наружной границе слоя воды ускорение направлено от более тяжелой воды к более легкому воздуху. Эта граница является устойчивой. На внутренней границе ускорение направлено от более легкой среды к более тяжелой, и эта граница является неустойчивой, на ней развивается неустойчивость Рэлея – Тейлора [5, 6]. Развитие неустойчивости приводит к развитию на границе зоны турбулентного перемешивания. В результате постоянного роста зоны турбулентного перемешивания ее фронт в конечном итоге выходит на наружную границу слоя воды. И при этом слой воды распадается на облако мелких капель. Все стадии этого процесса мы наблюдаем при помощи датчика PDV.

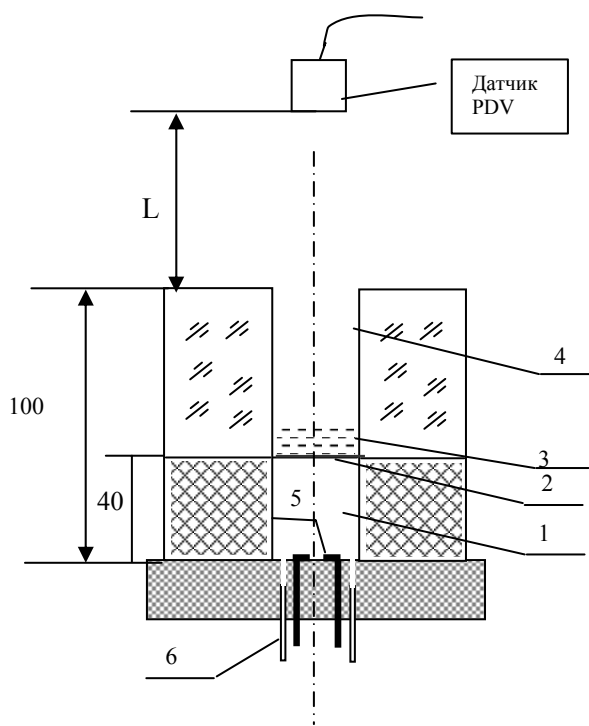


Рис. 1. Схема ударной трубы:

1 – камера заполненная ацетиленом с кислородом; 2 – полиэтиленовая пленка толщиной 5мкм;
3 – ВС; 4 – ускорительный канал; 5 – искровой зазор; 6 – газопроводы

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 приведены результаты эксперимента по регистрации скорости наружной границы воды PDV – датчиком.

Приведенный график можно условно разбить на 3 зоны. На начальном участке ($t < \sim 0,6$ мс) скорость растет примерно линейно, что соответствует приблизительно равномерно ускоренному слою воды. Затем ($\sim 0,6 < t < \sim 0,8$ мс) наблюдается быстрый, нелинейный рост скорости наружной границы слоя воды. Это можно объяснить приближением фронта зоны турбулентного перемешивания к наружной границе слоя. Зона турбулентного перемешивания проникает в слой воды в виде укрупняющихся со временем пузырей, заполненных продуктами детонации. В результате давление продуктов детонации действует на эффективно уменьшающийся слой воды и вследствие этого происходит резкое ускорение наружной границы слоя воды. После выхода пузырей зоны перемешивания происходит прорыв наружной границы с образованием облака мелких капель воды. Начиная с этого момента характер зависимости резко меняется: сплошная линия разрушается на отдельные точки, причем каждому моменту времени соответствует некоторый интервал

регистрируемых скоростей, ширина этого интервала растет со временем. Регистрируется скорость частиц не только на фронте облака, но и в глубине облака капель. Одновременно наблюдается быстрое, практически скачкообразное снижение скорости до нуля.

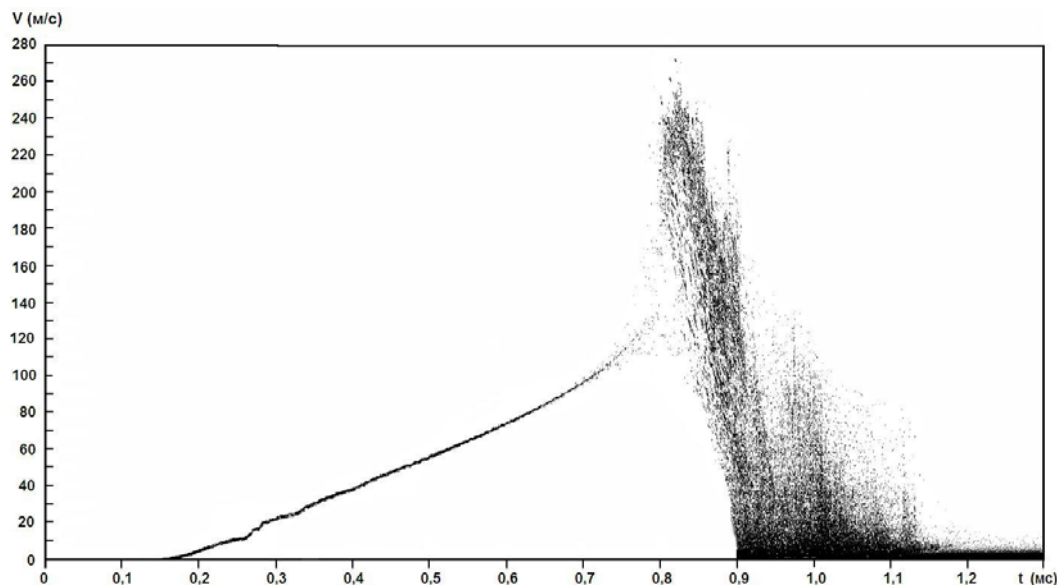


Рис. 2. Результаты измерения скорости наружной границы слоя воды методом PDV

Начальная скорость образовавшихся мелких капель соответствует скорости наружной границы после прорыва ее пузырями зоны перемешивания, следом за этим наблюдается резкое торможение этих частиц в воздухе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, приводятся результаты эксперимента по ускорению модели водяного снаряда в виде слоя воды в цилиндрическом канале давлением продуктов детонации смеси ацетилена с кислородом. Измерение скорости слоя воды методом PDV подтверждает возможность ускорения водяных снарядов до скорости ~ 100 м/с. Распад модели водяных снарядов на капли приводит к быстрому торможению и практически полной остановке облака капель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мешков Е.Е.** Способ импульсного распыления жидкости // Заявка №2008108320 от 03.03.2008.
2. **Распад** водяного ядра в свободном падении /Биюшкина Т.С., Мешков Е.Е., Орешков В.О. и др. // Аннотации докладов Научной Сессии НИЯУ МИФИ-2011, т.1. С. 80.
3. **Strand O.T., Goosman D.R., Martinez C., and Whitworth T.L.** Compact system for high-speed Velocimetry using heterodyne techniques // *Rev. Sci. Instrum.*, 77, 2006, p. 083108-1 – 083108-8.
4. **Оптогетеродинное** измерение скорости нескольких быстро движущихся объектов / Баранов В.К., Голубинский А.Г., Ирничев Д.А. и др. // Сб. трудов XII Харитоновских тематических научных чтений. Саров, 2010. С. 297 – 302.
5. **Lord Rayleigh** // *Proc.London Math Soc.* V.14, . 1883. P. 70.
6. **Taylor G.I.** The instability of liquid surfaces when accelerated in a direction perpendicular to their planes.I. // *Proc.Roy.Soc.* V.A201. 1950. P. 192.

Yu.B. Bazarov¹, V.K. Baranov¹, A.B. Georgievskaya¹, A.G. Golubinsky¹, G.B. Krasovsky²,
E.E. Meshkov², S.N. Stepushkin¹, A.Yu. Syundyukov¹, V.Yu. Khatunkin¹

¹*Russian Federal Nuclear Center-All-Russian Scientific Research Institute Of Experimental
Physics, Russia, 607190, Sarov, Mir st., 37*

²*Sarov Physical Technical Institute "MIFI", Russia, 607190, Sarov, Duhov st.,6*

ACCELERATION AND DECAY MODEL OF WATER PROJECTILE

The destruction of the water model flying projectile in the form of a layer of water accelerated by the pressure of detonation products of a mixture of acetylene and oxygen to the speed of 100 m / sec was investigated experimentally. The registration of currents was carried by the PDV Technique (Photon Doppler Velocimetry).

PDV TECHNIQUE, WATER PROJECTILE