

УДК 532.23, 535.8

В.К. Баранов<sup>1</sup>, А.Б. Георгиевская<sup>1</sup>, Д. Замыслов<sup>2</sup>, Е.Е. Мешков<sup>2</sup>,  
С. Степушкин<sup>1</sup>, А. Шамшин<sup>1</sup>, В.А. Юрин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров*  
<sup>2</sup>*СарФТИ НИЯУ «МИФИ», Саров*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА PDV ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ПОРШНЕВОЙ УДАРНОЙ ТРУБЫ**

### **АННОТАЦИЯ**

Поршневая ударная труба ПУТ-4 разрабатывается на базе научно-учебной гидродинамической лаборатории СарФТИ НИЯУ МИФИ, для проведения исследований развития неустойчивости свободной поверхности слоя воды при выходе на нее ударной волны. Результаты экспериментальной обработки ПУТ-4 с применением метода PDV [1], демонстрируют уникальные возможности этого метода. В экспериментах проводилась регистрация скорости движения поршня, разгоняемого давлением продуктов детонации смеси ацетилена с кислородом, с последующим его ударом по тонкому слою воды (или имитатора слоя воды).

### **ВВЕДЕНИЕ**

При выходе ударной волны на свободную поверхность конденсированной среды вследствие проявления таких сложных явлений, как откольное разрушение, развитие неустойчивостей на поверхности среды, кавитация, образуется облако летящих микрочастиц. Несмотря на длительную историю изучения этого процесса, многие вопросы остаются открытыми. Особый интерес представляет образование и распределение мелких фракций по размерам и скоростям, зависящим от параметров течения и реологических свойств среды.

При регистрации облака частиц, вылетающих с поверхности конденсированной среды, обычно используются методы импульсной рентгенографии и фотографии; при этом получается интегральная картина облака летящих микрочастиц. Применение метода PDV (Particle-Doppler-Velocity) – лазерного доплеровского метода непрерывной регистрации скорости летящего объекта [1]<sup>1</sup> существенно расширяет возможности экспериментального исследования указанной проблемы. [2-4]

В рамках данной работы разрабатывается поршневая ударная труба ПУТ-4 для разгона плоского ударника до скорости ~100 м/с.

### **ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА**

На рис.1 изображена схема установки ПУТ-4. Камера (1) наполняется смесью ацетилена с кислородом; детонация этой смеси инициируется искровым разрядом в искровом промежутке, расположенном в нижней части камеры. В результате плоский ударник (2) из оргстекла толщиной 5,7 мм ускоряется до скорости ~100 м/с в ускорительном канале

<sup>1</sup> В некоторых источниках этот метод называется LDA (Laser-Doppler-Anemometry)

(диаметром 15 мм) и движется навстречу слою воды (3) (или ее имитатору); при ударе в слое формируется ударная волна. Слой (3) помещается на поверхности скола (толщиной 45 мкм), перекрывающего выходное отверстие ускорительного канала, и ограничивается сбоку стенками колодца с диаметром отверстия, равного диаметру ускорительного канала, и высотой равной высоте исследуемого слоя.

Регистрация скорости движения ударника и одновременно исследуемого слоя, производилась датчиком PDV (4).

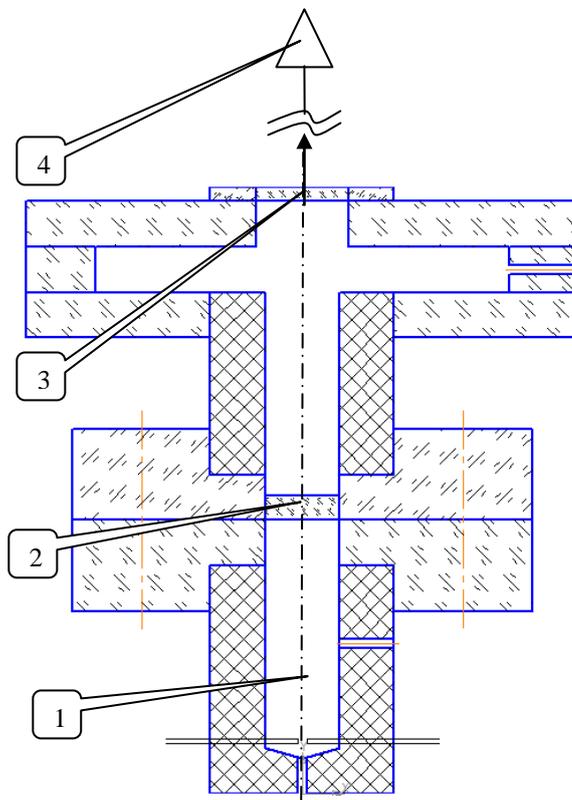


Рис. 1. Схема ударной трубы ПУТ-4. Обозначения: 1 – камера, 2 – ударник, 3 – слой воды (или его имитатор), 4 – датчик PDV

В методике PDV один из сигналов, создаваемый оптоволоконным эрбиевым лазером с длиной волны 1550 нм, выполняющий функции гетеродинного, имеет постоянную во времени несущую частоту, а второй, отраженный от движущегося объекта и имеющий доплеровский сдвиг частоты, является носителем информации о скорости объекта. Детектирование частоты биения этих сигналов осуществляется на нелинейном элементе, которым в методике «PDV» является фотодиод. Принципиальная схема измерений методикой PDV, показана на рисунке 2.

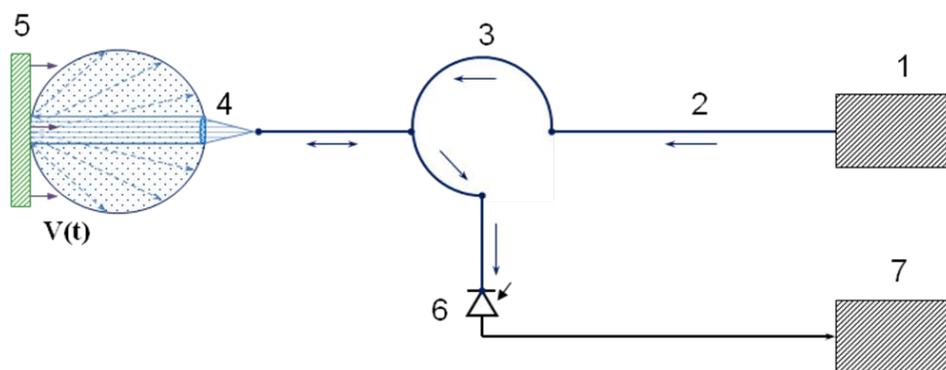


Рис. 2. Схема измерений скорости движения методикой PDV: 1 – лазер с длиной волны излучения 1550 нм, 2 – оптоволоконно, 3 – оптоволоконный циркулятор, 4 – коллиматор, 5 – быстро движущийся объект, 6 – фотодиод, 7 – осциллограф «Le Croy» с полосой 2 ГГц.

Особенностью метода является возможность одновременной регистрации скорости  $V(t)$  одновременно как ударника, так и прозрачного исследуемого слоя. Результаты экспериментов демонстрируют эту особенность.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 3 приведена характерная картина, зарегистрированная PDV-датчиком, в экспериментах.

Ударник из оргстекла разгоняется давлением продуктов детонации ацетилен-кислородной смеси. Одновременно с регистрацией движения ударника (1) PDV-датчик регистрирует движение имитатора слоя воды (2) – пластину из оргстекла – ускоряющегося под действием воздушной волны сжатия, создаваемой ударником, движущимся в ускорительном канале.

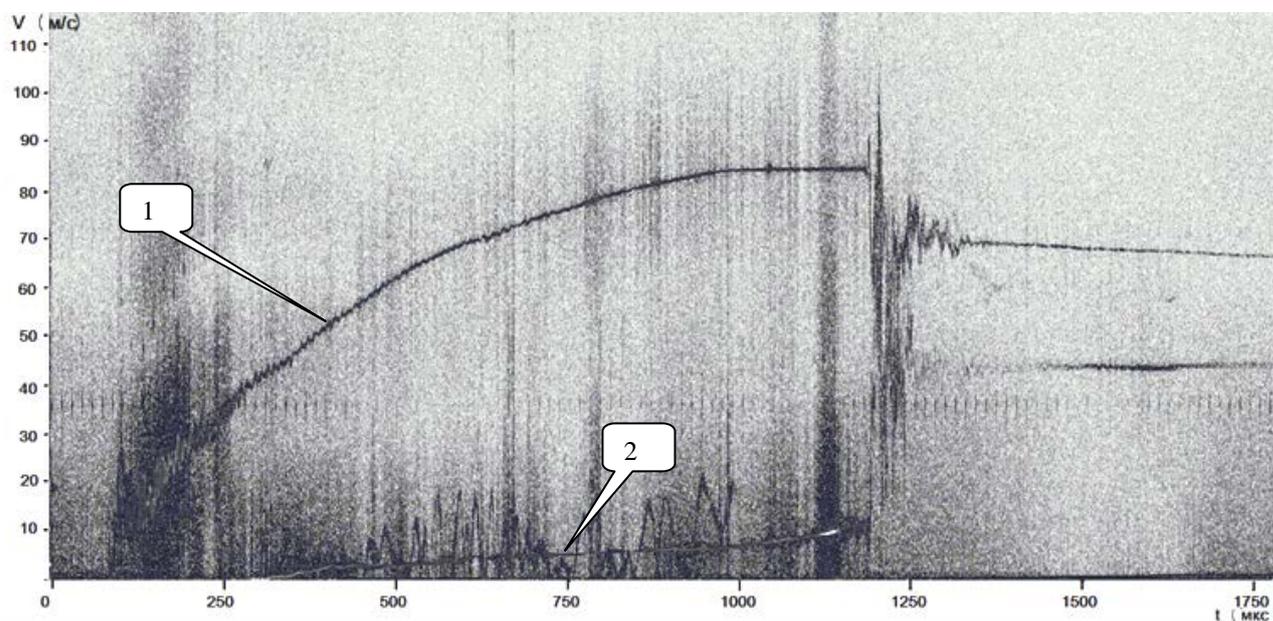


Рис.3. Результаты измерения скорости ударника (1) и имитатора слоя воды (2) методом PDV

В данном эксперименте ударник из оргстекла достигал скорости  $\approx 85$  м/с до момента столкновения с имитатором слоя воды при  $t \approx 1250$  мкс.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты экспериментов по ускорению ударника в поршневой ударной трубе ПУТ-4 с регистрацией скорости движения ударника методом PDV демонстрируют уникальные возможности метода. В экспериментах проводилось одновременное измерение методом PDV скорости исследуемого прозрачного слоя и летящего за ним ударника

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.

**2. Баранов В.К., Голубинский А.Г., Ирничев Д.А., Степушкин С.Н., Хатункин В.Ю.** Оптогетеродинное измерение скорости нескольких быстро движущихся объектов // Сб. трудов XII Харитоновских тематических научных чтений. Саров, 2010, стр.297 - 302.

**3. Базаров Ю.Б., Баранов В.К., Голубинский А.Г., Георгиевская А.Б., Красовский Г.Б., Мешков Е.Е., Степушкин С.Н., Сюндюков А.Ю., Хатункин В.Ю.** Разгон и распад модели водяного снаряда //Труды 11 конференции «Оптические методы исследования потоков», 2011 г., Электронная версия трудов конференции.

**4. Базаров Ю.Б., Баранов В.К., Барсуков Ю.К., Голубинский А.Г., Георгиевская А.Б. Ирничев Д. А., Красовский Г.Б., Мешков Е.Е. Ольхов О.В., Степушкин С.Н., Седов С.Ю., Сюндюков А.Ю., Хатункин В.Ю.** О возможности исследования механизмов образования облака микрочастиц при выходе ударной волны на свободную поверхность слоя конденсированной среды в лабораторных условиях. //Труды 11 конференции «Оптические методы исследования потоков», 2011 г., Электронная версия трудов конференции.

*V. Baranov<sup>1</sup>, A. Georgievskaya<sup>1</sup>, D. Zamylov<sup>2</sup>, E. Meshkov<sup>2</sup>, S. Stepushkin<sup>1</sup>, A. Shamshin<sup>1</sup>,  
V. Yurin<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*RFNC-VNIIEF, Sarov*

<sup>2</sup>*SarPhTI NRNU MEPhI, Sarov*

## **APPLICATION OF RESEARCH WORK FOR PDV PISTON SHOCK TUBE**

*Piston shock tube PUT-4 is developed on the basis of scientific- education hydrodynamic laboratory SarPhTI NRNU MEPhI, for studies of the instability of the free surface of a layer of water accelerated by shock wave. The results of experimental working out of PUT-4 using the PDV method [1], demonstrate the unique capabilities of this method. In the experiments was recorded piston speed, accelerated by pressure of acetylene - oxygen mixture detonation products, followed by its impact on a thin layer of water (or simulator water layer).*