

05:03

Лабораторное компактное устройство для разгона тонких ударников

© В.К. Баранов¹, А.Б. Георгиевская¹, Д.Е. Гук², Д.Н. Замыслов¹,
С.А. Макаров², Е.Е. Мешков², С.Н. Степушкин¹

¹ Российский федеральный ядерный центр — ВНИИЭФ, Саров,
Нижегородская обл.

² Саровский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, Саров,
Нижегородская обл.
E-mail: eemeshkov@gmail.com

Поступило в Редакцию 30 марта 2016 г.

Описана методика разгона в канале ударной трубы тонкого (~ 1 mm) ударника диаметром 35 mm до скорости более 200 m/s давлением продуктов детонации смеси ацетилена с кислородом. При ударе такого ударника по слою воды толщиной ~ 1 cm в последнем формируется нестационарная затухающая ударная волна (волна Тейлора) амплитудой 0.2 GPa (при выходе на свободную границу слоя).

При исследовании [1] неустойчивости свободной границы слоя воды (толщиной 1 mm), ускоряемой волной Тейлора, последняя создавалась действием короткого мощного импульса лазерного излучения. Такая методика является достаточно сложной и трудоемкой. Исследования неустойчивости свободной границы конденсированной среды, ускоряемой ударной волной (в частности, волной Тейлора), ведутся широко во многих странах, и разработка новых экономичных и простых методов исследования является актуальной задачей.

Нами разработано простое компактное устройство [2], в котором волна Тейлора создается в слое жидкости толщиной ~ 1 cm при

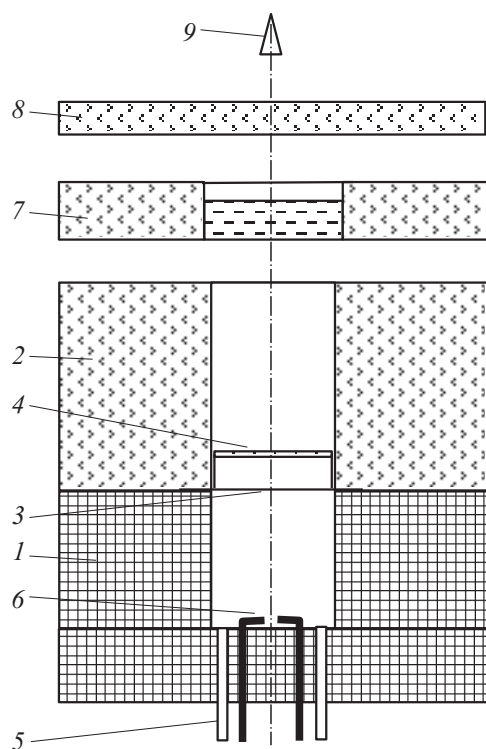


Рис. 1. Схема ударной трубы: 1 — камера, заполняемая смесью ацетилена с кислородом; 2 — ускорительный канал; 3 — пленка; 4 — ударник с „лобочкой“; 5 — газопроводы; 6 — искровой разрядник; 7 — кювета со слоем воды, удерживаемой на весу слоем скотча; 8 — защитная пластина; 9 — датчик PDV.

ударе по нему тонкого плоского ударника, ускоряемого давлением продуктов детонации стехиометрической смеси ацетилена с кислородом в цилиндрическом канале ударной трубы. Ударная труба (рис. 1) состоит из камеры 1 и ускорительного канала 2 (с внутренним диаметром 35 mm и наружным диаметром 120 mm), разделенных полимерной пленкой 3 толщиной 4 μm . Камера и ее дно изготовлены из текстолита, ускорительный канал выполнен из оргстекла. Плоский ударник 4 из

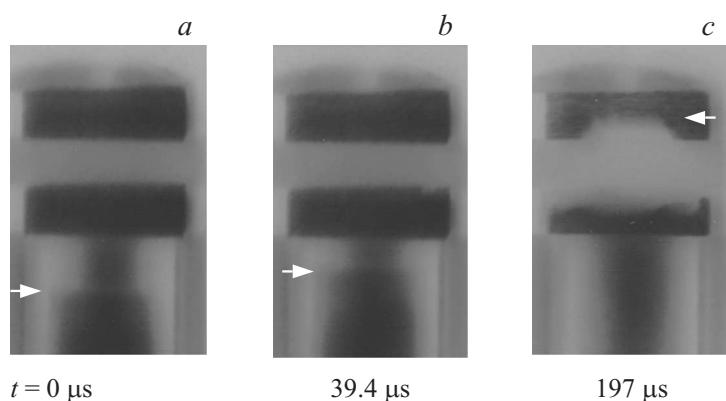


Рис. 2. Кадры фотохронограммы полета ударника (положение ударника в кадре отмечено стрелкой, направленной направо) и фронта облака диспергированной воды (стрелка налево). Время отсчитывается от первого кадра (*a*). Расстояние между торцом ускорительного канала и кюветой с водой 15 мм.

оргстекла толщиной 1 мм снабжен „юбочкой“ 5 в виде полоски пленки шириной 1 см, приклеенной по периметру ударника. Между ударником и стенкой канала имеется зазор ~ 0.1 мм. Камера 1 заполнялась стехиометрической смесью ацетилена с кислородом через газопроводы 6 путем прокачивания через нее объема смеси, в 5 раз превышающего объем камеры (по результатам экспериментов [3] этого достаточно для обеспечения чистоты газа в объеме камеры).

Инициирование детонации смеси осуществляется с помощью искрового разряда в искровом промежутке 6. Для регистрации разгона ударника использовались высокоскоростная кинокамера (скоростной фоторегистратор в режиме лупы времени) и оптогетеродинные доплеровские измерения скорости (метод PDV — photon Doppler velocimetry) [4].

На рис. 2 приведены несколько кадров фотохронограммы полета ударника перед вылетом из ускорительного канала и его удар по слою воды толщиной 1 см, налитой в кювете 7; вода в кювете удерживается слоем скотча, которым отверстие в кювете снизу заклеено. Зазор между торцом ускорительного канала и кюветой с водой (15 мм) предназначен для выхода воздуха, выталкиваемого из канала летящим ударником, с тем чтобы ослабить смягчение удара по слою воды. Полет поршня в ка-

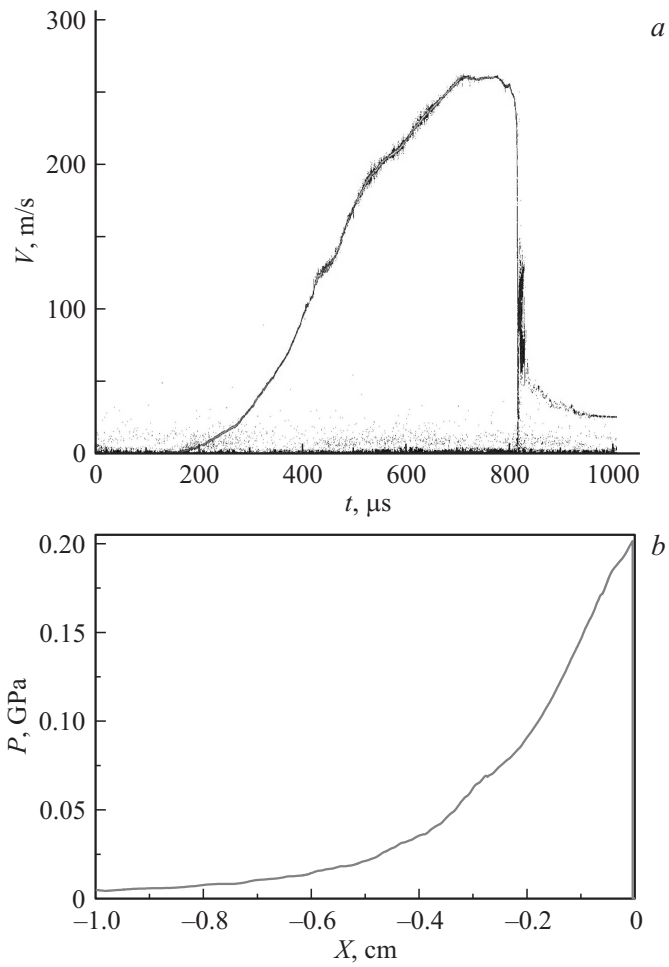


Рис. 3. *a* — зависимость от времени скорости ударника, полученная методом PDV. *b* — расчетный профиль волны Тейлора, образующейся после удара по слою и выходящей на свободную поверхность слоя воды ($X = 0$ соответствует положению свободной поверхности слоя воды).

нале вследствие низкого разрешения различается слабо, но зато хорошо виден разлет облака диспергированной воды, образовавшегося после выхода на свободную поверхность нестационарной ударной волны, которая, в свою очередь, возникает при столкновении ударника со слоем воды. По внешнему виду облака можно достаточно уверенно судить об удовлетворительной симметрии полета ударника. Следует заметить, что эта симметрия обеспечивается в значительной мере „юбочкой“ — полоской (шириной 1 см) скотча толщиной $45\ \mu\text{m}$, приклеенной по периметру ударника. По смещению ударника между кадрами *a* и *b* на рис. 2 можно грубо оценить скорость полета ударника перед вылетом из канала $\sim 220\ \text{m/s}$; можно также оценить (снизу) скорость разлета фронта облака диспергированной воды $\sim 210\ \text{m/s}$.

На рис. 3, *a* приведена зависимость скорости ударника V от времени t . В этом эксперименте регистрация проводилась только методом PDV [4], кювета со слоем воды отсутствовала. Эксперимент проводился с ударником без „юбочки“, его масса была ниже, чем в предыдущем опыте, и максимальная скорость, достигаемая ударником, оказывается заметно выше — $275\ \text{m/s}$. Почти сразу же после достижения максимальной скорости на диаграмме наблюдается крутой обрыв до нуля — это момент столкновения ударника с защитной пластиной из оргстекла; при ударе эта пластина разрушается и разлет осколков отражается на диаграмме в последующие после удара моменты времени.

На основе этих измерений скорости полета ударника были проведены одномерные численные расчеты для оценки интенсивности и формы ударной волны, выходящей на свободную поверхность слоя воды. В расчетах задавалось уравнение состояния (УРС) Ми–Грюнайзена с постоянной Γ для воды и оргстекла. Для воздуха задавался УРС идеального газа.

На рис. 3, *b* представлен расчетный профиль ударной волны, выходящей на свободную поверхность слоя воды толщиной 1 см, с давлением на фронте 0.2 ГПа.

Таким образом, разработана простая ударная труба, в цилиндрическом канале которой плоский ударник из оргстекла толщиной 1 мм (и диаметром 35 мм) разгоняется до скорости $\sim 275\ \text{m/s}$ давлением продуктов детонации смеси ацетилена с кислородом. По расчетной оценке при ударе этого ударника по слою воды толщиной 1 см в слое формируется волна Тейлора амплитудой $\sim 0.2\ \text{GPa}$. Подобная методика может найти применение для исследования развития неустойчивости

свободной границы слоя жидкости при выходе на нее волны Тейлора. В частности, она может быть использована для исследования влияния вязкости и поверхностного натяжения на процесс формирования облака диспергированной жидкости.

Работа выполнена частично при поддержке фонда РФФИ (проект № 13-08-01441). Авторы выражают свою признательность Ю.В. Алеханову, Ю.Б. Базарову, И.Н. Будникову, В.А. Кручинину, Б.М. Ловягину и А.И. Логвинову, С.А. Ломтеву за техническую помощь, Г.М. Янбаеву за помощь при оформлении статьи.

Список литературы

- [1] Асташкин М.В., Баранов В.К., Георгиевская А.Б., Голубинский А.Г., Ирничев Д.А., Мешков Е.Е., Степушкин С.Н., Сюдюков А.Ю., Хатункин В.Ю. // Письма в ЖЭТФ. 2014. Т. 99. № 3. С. 165.
- [2] Асташкин М.В., Баранов В.К., Георгиевская А.Б., Замыслов Д.Н., Мешков Е.Е., Наумов М.А., Степушкин С.Н. // Сб. тезисов XIV научно-технической конференции „Молодежь в науке“. Саров, октябрь 2015 г. С. 33.
- [3] Алеханов Ю.В., Власов Ю.А., Дудин В.И., Левушов А.Е., Ломтев С.А., Мармышев В.В., Мешков Е.Е., Никулин А.А., Половников Е.А. // Вестник Саровского физтеха. 2007. № 12. С. 57.
- [4] Strand O.T., Goosman D.R., Martinez C. // Rev. Sci. Instrum. 2006. V. 77. P. 083 108–1.