

КАВИТАЦИОННЫЙ ПУЗЫРЬ В ВЯЗКОЙ ТЯЖЕЛОЙ ЖИДКОСТИ

В. Н. Родионов

Институт динамики геосфер РАН, 117334 Москва

Рассматривается процесс движения кавитационного пузыря в вязкой тяжелой жидкости. Анализируются результаты киносъемки процесса. Описана лабораторная установка, позволяющая моделировать это явление.

Изобретение кумулятивного снаряда стало важным событием в военном деле, качественно изменив представления о поражении бронированных машин. Однако более значимым для науки и техники оказались гидродинамические модели, разъясняющие процесс формирования струи при обжати конической металлической оболочки взрывом и механизм внедрения струи в броневую плиту.

Эти модели были предложены М. А. Лаврентьевым в том ясном и наглядном виде, который отличает все классические модели естествознания. Отправляясь от классических моделей, ассоциативное мышление рождает образы, которые в разнообразных ситуациях помогают исследованию природных явлений. Все естествоиспытатели сознательно или бессознательно ищут в природе нечто, рожденное их воображением. Примером научного поиска физического объекта, который возник в воображении Г. В. Белякова под влиянием моделей М. А. Лаврентьева, могут служить опыты по созданию кавитационного пузыря в вязкой тяжелой жидкости.

Г. В. Беляков предположил, что быстрая короткая струя при внедрении в жидкость, находящуюся под давлением, образует в ней каверну, которая схлопывается в тыльной части с образованием струи. Если скорость струи и ее толщина не слишком отличаются от таких же характеристик первоначальной струи, то возникший пузырь сможет автономно существовать и двигаться, не вызывая возмущений в жидкости. Поисковый эксперимент увенчался успехом: действительно в некоторых опытах возникал быстро движущийся кавитационный вихрь [1].

Для отыскания условий возникновения пузыря в неподвижной жидкости при внедрении в нее струи была создана лабораторная установ-

ка. Труба длиной 50 см с внутренним диаметром 11 см располагалась вертикально. Торцы трубы были закрыты крышками, вблизи дна имелось сопло, а в верхней крышке — патрубок для откачки воздуха. Жидкость заполняла часть объема до заданного уровня над соплом. Струя выталкивалась через сопло поршнем под действием сжатой пружины. Длину, диаметр и скорость струи можно было менять от опыта к опыту. Оптическая регистрация пузыря велась через два длинных окна, расположенных напротив друг друга вдоль трубы. Одно окно,

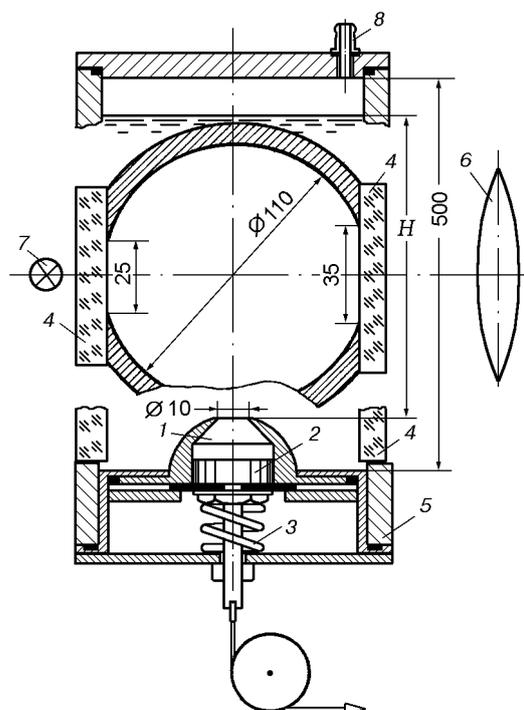


Рис. 1. Схема установки:

1 — сопло, 2 — поршень, 3 — пружина, 4 — окна, 5 — металлический цилиндр, 6 — кинокамера АКС-4, 7 — осветитель, 8 — патрубок

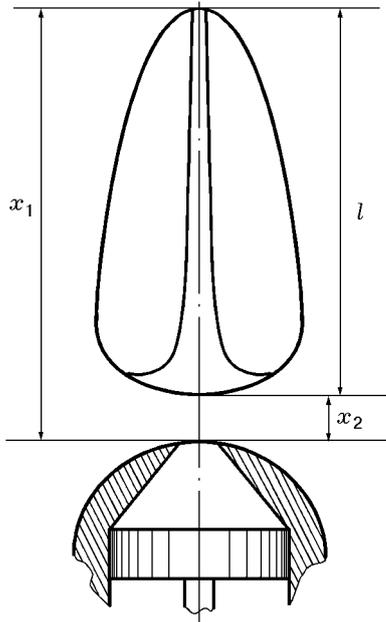


Рис. 2. Устойчивая форма кавитационного пузыря в тяжелой жидкости

шириной 2,5 см, освещалось рассеянным светом, через другое, шириной 3,5 см, велась киносъемка. На рис. 1 изображено рабочее пространство установки. (В центральной части, в разрывах, показано поперечное сечение.)

Ниже представлены условия и результаты одного опыта. Глицерин (плотность $1,26 \text{ г/см}^3$; вязкость $20 \text{ г/(см} \cdot \text{с)}$) заполнял трубу до уровня 15 см над соплом. Струя диаметром 1 см и длиной 2,5 см «выстреливалась» со скоростью 4,5 м/с. Давление газа над поверхностью глицерина $\approx 10^{-4}$ атм. Киносъемка проводилась с частотой 100 кадр/с. Экспериментальная установка позволяет реализовать условия, необходимые для того, чтобы возник и некоторое время мог автономно существовать кавитационный пузырь.

На рис. 2 изображена устойчивая форма кавитационного пузыря, всплывающего в тяжелой жидкости. Измерялись координаты и скорости вершины (v_1) и тыльной поверхности пузыря (v_2). Эти данные представлены в таблице. Измерить на фотографиях диаметр струи не удастся, так как преломление световых лучей в пузыре приводит к искажению размеров струи и предметов, находящихся за пузырем. Внешние контуры самого пузыря на фоне освещенного окна не искажены (рис. 3).

x_1 , мм	x_2 , мм	v_1 , м/с	v_2 , м/с	l , мм
66	24,2	4,18	1,434	41,8
85,8	31,9	1,98	0,77	52,9
96,8	37,4	1,1	0,55	59,4
106,7	41,8	0,99	0,44	64,9

Энергия пузыря пропорциональна произведению его объема и давления в окружающей жидкости. При постоянной энергии объем пузыря изменяется обратно пропорционально давлению в жидкости. Сопротивление движению пузыря обусловлено вязкостью жидкости, которая проявляет себя, главным образом, в локальных зонах головной и тыльной частей пузыря. Вследствие этого потери энергии пузырем существенно меньше потерь обтекаемым твердым телом того же размера.

Всплывая в поле тяжести, пузырь может увеличить свою энергию, если будут уменьшены ее потери. Аналогично будет увеличиваться энергия пузыря и при движении в направлении ускоренного перемещения сосуда с жидкостью.

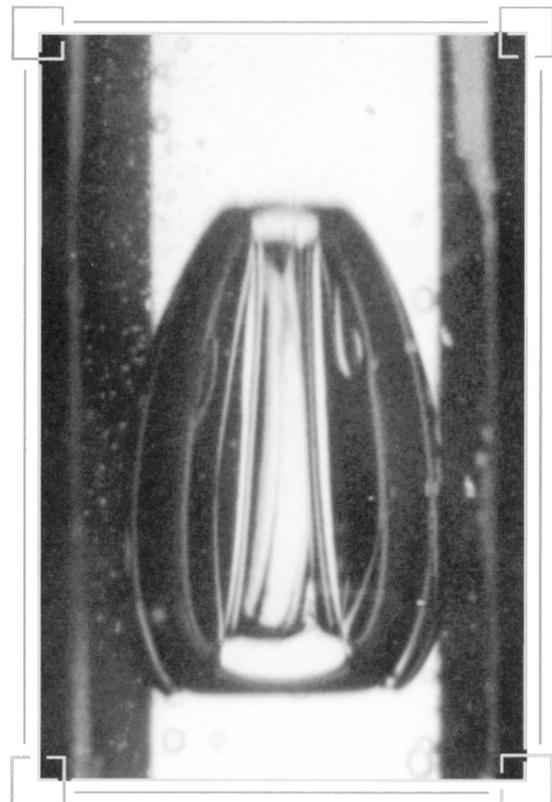


Рис. 3. Фотография кавитационного пузыря

Потеряв энергию, пузырь перестает существовать.

При благоприятных условиях пузырь может пройти большой путь и перенести с собой некоторое количество вещества иницирующей струи, так как вещественный обмен пузыря с окружающей жидкостью весьма ограничен.

Представленные результаты опыта демонстрируют формирование и автономное движение кавитационного пузыря в пространстве лабораторной установки. Механический образ пу-

зыря достаточно ясен для построения моделей и детального теоретического их исследования. Этот образ может воплотиться в разных природных явлениях и в разных средах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Садовский М. А., Родионов В. Н., Беляков Г. В. О механике возникновения кавитационного вихря // Докл. РАН. 1992. Т. 325, № 1. С. 42–45.

Поступила в редакцию 29/VI 2000 г.
