

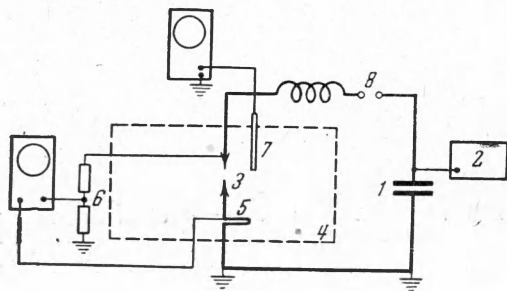
ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОВЗРЫВЕ В ВОДЕ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ВЗРЫВА

М. И. Вороникова

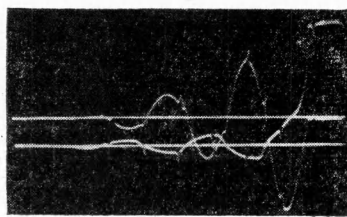
(Новосибирск)

При взрыве в воде можно считать, что энергия распределяется в основном на энергию, уносимую ударной волной, и энергию радиального движения слоев среды, прижимающихся к газовому пузырю.

В работе исследуется распределение энергии подводного электровзрыва между указанными видами движения в зависимости от начальной скорости выделения энергии. Изменение начальной скорости выделения энергии достигалось включением различных индуктивностей в цепь разряда.



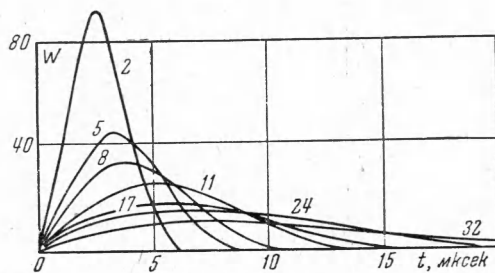
Фиг. 1



Фиг. 2

Попытка определить отношение энергии положительной фазы акустической волны в воде при электровзрыве к полной энергии, запасенной в конденсаторе, при различных параметрах разрядной цепи была сделана в работе [1]. Зависимость излученной звуковой энергии от общей энергии разряда, индуктивности и сопротивления описана в статье [2].

Описание установки. Схема установки изображена на фиг. 1. Разряд батареи конденсаторов 1 общей емкостью 1,35 мкф, заряженной выпрямителем 2 до напряжения 20 кВ, производился через искровой промежуток 3 длиной 20 мм, помещенный в ванну 4 на глубину 140 мм. Ванна размером 500 × 500 × 1000 мм³ заливалась водой из водопроводной сети. Индуктивность цепи менялась от 2 до 32 мкГн. Зависимость от времени тока и напряжения на искровом промежутке записывалась осциллографом ОК-25. Датчиком тока являлся безындукционный шунт 5 из нихромовой ленты с делителем; датчиком напряжения — делитель 6, собранный из сопротивлений типа ВС без нарезки.



Фиг. 3

Волна давления от искры регистрировалась осциллографом ЭО-58М. Датчик давления 7 представлял собой цилиндр диаметром 7 мм, высотой 10 мм из поляризованной керамики титаната бария, припаянный сплавом Вуда к длинному цинковому стержню того же диаметра. Эта система помещалась в алюминиевую трубку внутренним диаметром 10 мм, зазор заливался воском. Калибровка датчика давления проводилась в ударной трубе. Разрешающая способность во времени порядка 5 мксек.

Одновременно с регистрацией тока, напряжения и давления происходила съемка первой пульсации газового пузыря на вращающийся диск фоторегистра. Подсветка осуществлялась импульсной газоразрядной лампой ИФП-1500 через окно в ванне.

Зависимость энергии положительной фазы волны давления от скорости выделения энергии. На фиг. 2 приведена развертка во времени тока и напряжения на искровом промежутке. Запуск осциллографа происходит в момент замыкания воздушного промежутка 8 (фиг. 1), когда на искровой промежуток в воде подается напряжение 20 кВ. Однако пробой искрового промежутка в воде происходит не сразу, а с некоторой задержкой, во время которой происходит формирование искрового канала. Время задержки различно и достигает 10—15 мксек. Разряд носит характер затухающих гармонических колебаний; период и декремент затухания зависят от параметров разрядного контура.

Осциллограммы тока и напряжения дают возможность подсчитать:
 1°. Общее количество энергии, выделившейся на искровом промежутке, как

$$\int_0^{\infty} UI dt$$

Опыт показал, что величина интеграла мало меняется с изменением индуктивности цепи и примерно равна $1/2 C U^2$, т.е. всей первоначально запасенной в конденсаторе энергии. В опытах $W_0 = 270$ дж.

2°. Пользуясь осциллограммами, можно построить зависимость $W(t)$ в дж выделяющейся энергии от времени, представленную на фиг. 3, где различные значения индуктивности L разрядного контура указаны на кривых. По тангенсу начального угла наклона определяется начальная скорость выделения энергии W

Для каждого из семи значений индуктивности проводилось 20 опытов, из них обчитывалось два со средним временем задержки.

Опыт показывает, что начальная скорость выделения энергии обратно пропорциональна (фиг. 4) индуктивности разрядного контура L .

Энергия положительной фазы волны давления W_p является важной характеристикой подводного взрыва и служит мерой полезной работы, которая может быть произведена ударной волной. В предположении сферической симметрии работа $W(R)$ на поверхности радиуса R , совершаемая после прихода фронта волны в момент $t = 0$, определяется выражением

$$W(R) = 4\pi \int_0^{\tau} r P U dt$$

где U — скорость потока на поверхности радиуса R и $U dt$ — смещение поверхности за время dt .

Если на основании экспериментальных кривых давление — время (осциллограмма на фиг. 5) требуется вычислить энергию, излучаемую в волне давления конечной амплитуды, то скорость потока может быть исключена при помощи выражения

$$U = \frac{p - p_0}{\rho_0 c_0}$$

В результате, если пренебречь величиной гидростатического давления p_0 , получаем

$$W(R) = S \frac{1}{\rho_0 c_0} \int_0^{\tau} p^2 dt$$

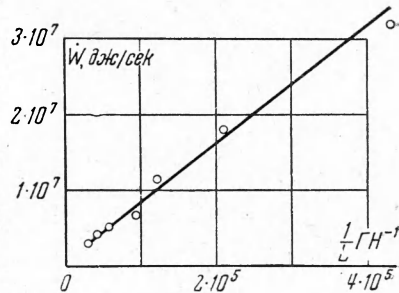
Здесь S — площадь сферы, радиус которой равен расстоянию от искрового промежутка до датчика давления; $\rho_0 c_0$ — волновое сопротивление воды; τ — длительность положительной фазы волны давления; p — пиковое давление [3].

Как показывает опыт, длительность положительной фазы волны давления Δt_+ не зависит от скорости выделения энергии в искровом промежутке. Величина Δt_+ является функцией начального радиуса газового пузыря, размеры которого определяются расстоянием между электродами искрового промежутка [4].

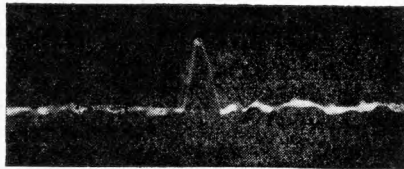
При данных параметрах разрядной цепи энергия волны давления на расстоянии 20 см от источника составляет всего несколько процентов первоначально запасенной в конденсаторе энергии.

Зависимость η (отношение энергии положительной фазы волны давления к первоначально запасенной в конденсаторе энергии) от начальной скорости выделения энергии в искровом промежутке W приведена на фиг. 6.

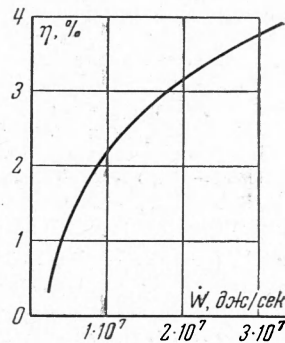
Энергия радиального движения жидкости и газового пузыря может быть выражена как потенциальная энергия расширенного пузыря через его максимальный радиус



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

a и гидростатическое давление p_0 на глубине взрыва по формуле

$$Y = \frac{4}{3} \pi a^3 p_0$$

Максимальный радиус пузыря определяется по фоторегистрограммам, одна из которых приведена на фиг. 7 (развертка во времени процесса расширения и сжатия газового пузыря, возникающего при электроразряде в воде). Снимок сделан через щель методом развертки на вращающийся диск фоторегистра.



Фиг. 7

Максимальный радиус пузыря в пределах ошибок эксперимента не зависит от скорости выделения энергии. Результат понятен, так как общее количество энергии не изменяется, а процесс выделения энергии всегда остается достаточно быстрым по сравнению с процессом расширения газовой полости. Энергия радиального движения слоев жидкости, примыкающих к газовому пузырю, составляет около 22% энергии, первоначально запасенной в конденсаторе, и не зависит от начальной скорости выделения энергии.

В заключение автор благодарит Р. И. Солоухина за внимание к работе.

Поступила 25 VIII 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. Рой Н. А. и Фролов Д. П. Об электроакустическом к. п. д. искрового разряда в воде. Докл. АН СССР, 1958, т. 118, № 4.
2. Bailitis E. d. Der Schallimpuls eines Flüssigkeitsfunkens, Z. angew. Phys., 1957, 9, № 9.
3. Коул Р. Подводные взрывы. ИИЛ, 1950.
4. Баженова Т. В. и Солоухин Р. И. Поле давлений, возникающее в воде при электрическом разряде. Физическая газодинамика (Энергетический ин-т им Г. М. Кржижановского), М., Изд.-во АН СССР, 1959.

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ КИНЕМАТИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ (обзор)

А. М. Трохан
(Новосибирск)

Среди большого разнообразия средств измерения скорости газовых потоков все большее внимание привлекает группа, получившая название кинематических способов или способов трассирования.

При измерении кинематическими способами в общей среде газового потока каким-либо образом метится определенный, обычно малый, объем газа и движение этого объема-метки прослеживается при помощи соответствующих средств. Скорость газа при измерении кинематическими способами определяется как

$$V = \Delta S / \Delta t \quad (1)$$

Здесь ΔS — элемент пути, проходимого меткой, Δt — время, V — скорость газа, средняя при прохождении пути ΔS .

Соответственно измеряется либо время прохождения меткой определенного заданного пути, либо путь, проходимый за заданный промежуток времени. Первый способ обычно используется при электрических методах регистрации, второй — при фотографических.

Как видно из (1), при измерении кинематическими способами скорость газа находится в соответствии с определением понятия скорости, что позволяет в максимальной степени исключить влияние на получаемый результат любых посторонних факторов. Другим основным достоинством, делающим кинематические способы иногда единственно возможным средством измерения, является отсутствие необходимости введения в исследуемый поток каких-либо посторонних механических зондов. Это особенно важно при измерении высокоскоростных и высокотемпературных потоков.

Кинематические способы позволяют найти скорость метки, среднюю на данном отрезке пути ΔS . Используя достаточно малые ΔS и Δt , приходим к возможности нахождения скорости в «точке» потока. Размеры этой «точки» зависят от методики измерения, а также от степени совершенства используемого оборудования.

Диапазон параметров газовых потоков, охватываемый различными способами трассирования, очень широк. Он простирается от давлений, соответствующих глубо-