

УДК 537.528

ОСОБЕННОСТИ ВОЛНОВОГО ЦУГА, ИЗЛУЧАЕМОГО ПРИ ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РАЗРЯДЕ В ВОДЕ

А. И. ВОВЧЕНКО, В. В. ШАМКО, А. М. ШИШОВ

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев

Получено 18.11.2002

Експериментально встановлено можливість перерозподілу інтенсивностей первинної та вторинної хвиль стиску, які випромінюються підводним високовольтним електричним розрядом, шляхом варіювання режиму виділення електричної енергії в розрядному каналі. Показано, що високовольтний електричний розряд як акустичний джерело вибухового типу займає проміжне місце між вибухом хімічних конденсованих речовин і газових сумішей.

Експериментально встановлено можливість перерозподілу інтенсивностей первинної та вторинної хвиль стиску, які випромінюються підводним високовольтним електричним розрядом, шляхом варіювання режиму виділення електричної енергії в розрядному каналі. Показано, що високовольтний електричний розряд як акустичний випромінювач вибухового типу займає проміжне місце між вибухом хімічних конденсованих речовин і газових сумішей.

Possibility to redistribute the intensities of the first and the second compression waves emitted by underwater high-voltage electrical discharge by means of variation of mode of input of electrical energy in the discharge channel is proven experimentally. It is shown that the high-voltage electrical discharge as an acoustic emitter of explosive type should be placed between the explosions of chemical condensed matters and gaseous mixtures.

ВВЕДЕНИЕ

Излучаемые высоковольтным электрическим разрядом (ВЭР) в воду волны давления представляют собой чередование сжатий и разрежений [1]. Волны сжатия излучаются на стадии расширения плазменного канала разряда (первичная волна). При последующих захлопываниях парогазовой полости (ПП) формируются вторичная, третичная и т. д. волны, причиной чему служит высокое давление в канале (а впоследствии, в сжатой полости), вызывающее уплотнение прилегающих слоев жидкости. Относительная стабильность создаваемых ВЭР давлений присуща только первичной и вторичной волнам сжатия. Это обусловлено быстро развивающейся нестабильностью формы ПП, которая на стадии замыкания после одной или нескольких пульсаций разбивается кумулятивными струями на множество отдельно пульсирующих пузырьков различной формы. При этом основная часть энергии разряда (примерно до 95 % [2]) расходуется в течение первого цикла расширения – сжатия ПП на акустическое излучение, тепловые потери и турбулизацию жидкости. Таким образом, для подводного ВЭР целесообразно рассматривать формирование только первичной и вторичной волн давления, тем более, что при ВЭР наблюдаются аномальные эффекты [1, 4–6] по сравнению с подводным взрывом химических взрывчатых веществ (ВВ) [3]. Аномальность, как и в слу-

чае взрывов газовых смесей [7], состоит в том, что при определенных условиях формирования разряда амплитуда вторичной волны сжатия превышает первичную. Отметим, что силовое действие на объект обработки могут оказывать все составляющие волнового цуга, генерируемого при подводном ВЭР [8, 9]. В то же время, в литературе слабо освещены вопросы, связанные с излучением вторичных волн при ВЭР. Исходя из этого, целью данной работы явилось экспериментальное изучение процессов излучения при ВЭР.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследования проводились на специальном экспериментальном стенде [10], обеспечивающем одновременную регистрацию электрических (разрядный ток и напряжение) и гидродинамических (давление в окружающей канал жидкости) характеристик, а также возможность изменения режима разряда.

Регистрация давления осуществлялась с помощью гидрофона со сферическим пьезоэлементом диаметром 6 мм, изготовленным из керамики ЦТС-19 и помещенным в заполненную касторовым маслом резиновую оболочку. Сигнал с гидрофона, который располагался в экваториальной относительно разрядного промежутка плоскости на расстоянии 0.3 м, регистрировался электрон-

ными осциллографами типа С8-13. Запуск развертки осциллографов осуществлялся с временными задержками относительно начала разряда, зависящими от расстояния гидрофона до разрядного канала и периода пульсации ПГП. При этом один из осциллографов работал в миллисекундном диапазоне временных разверток однократного режима и фиксировал времена пульсации ПГП на всех ее циклах расширения – сжатия, а второй – в микросекундном диапазоне ждущего режима, обеспечивая воспроизведение первых двух импульсов сжатия. Для детального изучения формы импульсов и отношения их амплитуд

$$\Delta_{21} = \frac{P_{m2}}{P_{m1}}$$

применялся метод наложения осциллограмм давления на запоминающем осциллографе С1-13 в режиме ждущей развертки [4]. Калибровка используемого в эксперименте гидрофона осуществлялась путем сравнения поступающего с него сигнала с сигналом гидрофона фирмы “Bruel & Kjaer”, имеющего известные паспортные данные (оба гидрофона устанавливались на одинаковом расстоянии от подводного ВЭР). Разряд проводился на глубине 0.45 м, а его стабильность поддерживалась путем закорачивания электродов иницирующим константовым проводником диаметром 20 мкм.

В качестве параметров, характеризующих режим выделения электрической энергии, были выбраны характерная мощность

$$N_0 = U_0^2 \sqrt{\frac{C}{L}}$$

и характерная удельная (приходящаяся на единицу длины разрядного канала) крутизна мощности

$$N'_0 = \frac{U_0^2}{Ll}.$$

Здесь U_0 – напряжение пробоя разрядного промежутка длиной l ; C и L – емкость и индуктивность разрядного контура. Параметры N_0 и N'_0 , управляющие режимом выделения энергии, варьировались за счет изменения длины разрядного промежутка и индуктивности цепи (см. таблицу). Величина запасенной в конденсаторной батарее энергии сохранялась постоянной и составляла 300 Дж.

В процессе проведения эксперимента величина N'_0 изменялась более, чем на порядок, а N_0 – более чем в два раза. Наряду с профилем волны давления для каждого разряда регистрировались разрядный ток и падение напряжения на активном

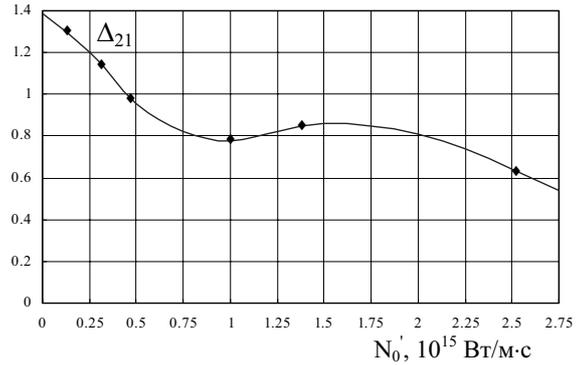


Рисунок. Зависимость отношения амплитуды вторичной волны сжатия к первичной Δ_{21} от удельной крутизны мощности N'_0

сопротивлению плазменного канала. По этим параметрам вычислялась вводимая в канал электрическая энергия. Выбранные условия эксперимента (см. таблицу) обеспечивали получение формы разрядного тока от квазипериодической ($\eta = 0.32$) до критической ($\eta = 0.81$). Здесь параметр η характеризует долю электрической энергии, выделяемой в первом полупериоде колебаний тока, а обратная ему величина $n = \eta^{-1}$ – степень колебательности разрядного тока.

Анализ табличных данных позволяет заключить, что аномальность поведения давления ($\Delta_{21} \geq 1$) появляется при более низких значениях характерной мощности. Наблюдается четкая зависимость параметра Δ_{21} от характерной удельной крутизны мощности (см. рисунок). Аномальный эффект проявляется при $N'_0 \leq 0.48 \cdot 10^{15} \text{ Вт/м}\cdot\text{с}$. Левее от пороговой точки $N'_{\text{оп}} = 0.48 \cdot 10^{15} \text{ Вт/м}\cdot\text{с}$ характер акустического излучения подводного ВЭР аналогичен подводному взрыву газовых смесей, а правее – приближается ко взрыву химических конденсированных ВВ [3].

ВЫВОДЫ

1. Установлена возможность перераспределения интенсивности первичной и вторичной волн сжатия, излучаемых подводным ВЭР, путем варьирования режима выделения электрической энергии в разрядном канале без изменения величины энергии накопителя.
2. Показано, что при высокой удельной крутизне мощности подводный ВЭР по характеру акустического излучения приближается ко

Таблица. Условия проведения и результаты эксперимента

N режима	1	2	3	4	5	6
	$L = 16.4$ мкГн			$L = 3.1$ мкГн		
l , [м]	0.065	0.045	0.025	0.065	0.045	0.025
N_0 , [МВт]	87.5	87.5	87.5	201	201	201
$N'_0 \cdot 10^{15}$, [Вт/(м · с)]	0.19	0.28	0.50	1.01	1.46	2.64
η	0.61	0.48	0.32	0.81	0.63	0.43
Δ_{21}	1.26	1.11	0.96	0.79	0.86	0.46

взрыву химических конденсированных ВВ, а при низкой – к подводному взрыву газовых смесей.

1. Вовченко А. И. Сравнительные экспериментальные исследования акустических характеристик подводных электрических и электрохимических взрывов // 36. науч. праць УДМУ. – 2002. – 379, N 1. – С. 113–121.
2. Шамко В. В. Пульсационное движение парогазовой полости, индуцированной подводным искровым разрядом. – К.: Наук. думка, 1978. – С. 153–169.
3. Коул Р. Подводные взрывы. – М.: ИИЛ, 1950. – 494 с.
4. Кодриков Б. Н., Вовченко А. И., Анников В. Э., Иванов В. В. Взрывное превращение электрической и химической энергий. – К.: Наук. думка, 1987. – 128 с.
5. Кучеренко В. В. Экспериментальные исследования гидродинамических явлений электрического разряда в воде // Теория, эксперимент, практика электроразрядных технологий. – К.: Наук. думка, 1995. – С. 20–25.
6. Вовченко А. И., Ковалев В. Г., Поздеев В. А. Гидродинамические характеристики электрического разряда в жидкости при вводе энергии в канал в виде повторяющихся импульсов // Прикл. гидромех. – 2001. – 75(3), N 3. – С. 19–25.
7. Попов О. Е., Когарко С. М. Об одной особенности подводного взрыва газовых смесей // ФГВ. – 1976. – 12, N 4. – С. 73–78.
8. Поздеев В. А. Прикладная гидродинамика электрического разряда в жидкости. – К.: Наук. думка, 1980. – 192 с.
9. Малюшевский П. П., Ющишина А. Н., Сизоненко О. Н., Швец И. С. Интенсификация гетерогенных химических реакций при воздействии электрического разряда в различных технологиях // Мат. IV междунар. науч. школы-семинара “Импульсные процессы в механике сплошных сред”. – Николаев: Атолл, 2001. – С. 104–106.
10. Шамко В. В., Кучеренко В. В. Теоретические основы инженерных расчетов энергетических и гидродинамических параметров подводного искрового разряда. – Николаев: Препринт АН Украины: Ин-т импульсных процессов и технологий. – N 20, 1991. – 51 с.