

А.Г. ГУРИН, д-р техн. наук, НТУ "ХПИ"

АЛИ ШЕЙХИ АБУБАКЕР, канд. техн. наук, ун-тет Эль-Мегреб (Ливия)

ВОЛНОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В МЕМБРАНЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ

При проведенні екологічних досліджень на шельфі моря важливо знати структуру донних осадів. В статті розглянуті питання формування акустичного імпульсу мембранного електродинамічного випромінювача. Показано, що сумарний імпульс тиску, який розповсюджується в досліджуваному середовищі є результатом випромінювання прямого і зворотного імпульсу, що формується мембраною, а також хвиль – поміх від конструктивних елементів випромінювача.

При проведение экологических исследований на шельфе моря важно знать структуру донных осадков. В статье рассмотрены вопросы формирования акустического импульса мембранного электродинамического излучателя. Показано, что суммарный импульс давления, которое распространяется в исследуемой среде является результатом излучения прямого и обратного импульса, который формируется мембраной, а также волн – помех от конструктивных элементов излучателя.

Постановка задачи. При создании импульсных излучателей электродинамического типа для изучения донных осадков на акваториях необходимо формировать гидроакустический импульс с заданным спектром частот. В связи с этим возникает необходимость в изучении процесса формирования такого импульса, его влияния на долговечность излучающей мембраны излучателя.

Волновые явления в мембране излучателя. Форма акустического сигнала электродинамических излучателей существенно отличается от формы импульса тока, который порождает акустические явления (рис. 1.). Более того, сигналы однотипных ЭДИ, идентичных по конструкции, могут иметь ярко выраженные индивидуальные особенности (рис. 2-5), хотя каждый из них в отдельности весьма стабилен в процессе эксплуатации и не меняется ни по форме, ни по амплитуде.

Причиной сложной формы сигнала ЭДИ, когда он не повторяет точно форму вынуждающей внешней силы, могут быть волновые явления в мембранах излучателей.

Для исследования этих явлений нами были измерены локальные ускорения поверхности мембраны в разных точках и выполнен расчет свободных колебаний мембраны, закрепленной по периметру.

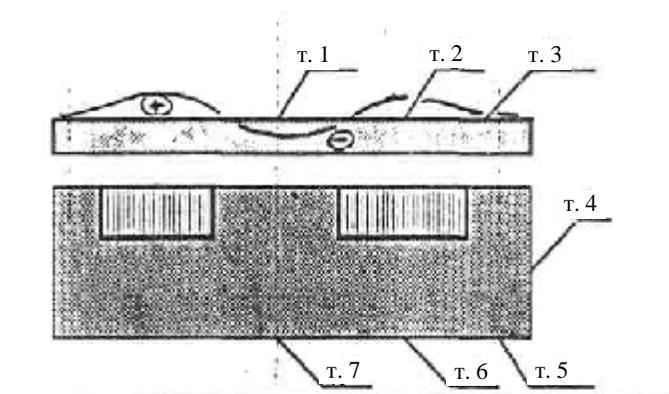
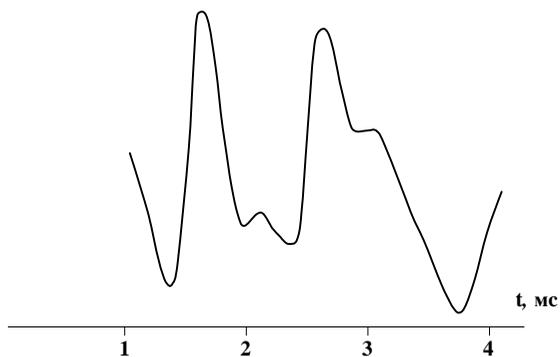
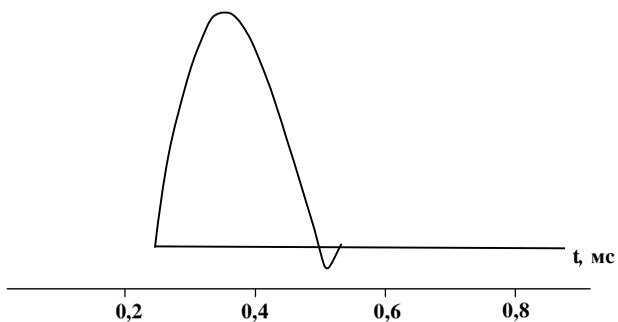


Рис. 1. Осциллограммы импульса тока, акустического сигнала ЭДИ и схема расположения контрольных точек для измерения локального ускорения поверхности излучателя. (Развертка по горизонтали для тока 0,1 мс/дел, для акустического сигнала – 0,5 мс/дел)

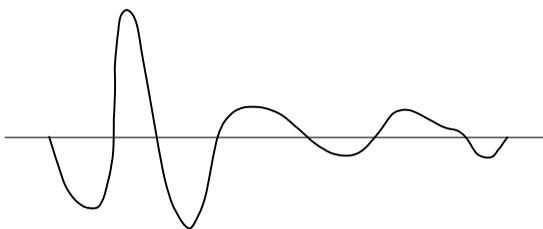


Рис. 2. Сигнал прямого излучения однотипного ЭДИ, свободные колебания мембран которого не задемпфированы

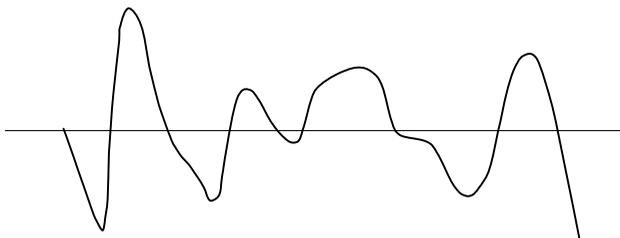


Рис. 3. Сигнал обратного излучения первой группы ЭДИ

Точки, в которых проводились измерения линейных ускорений, показаны на рис. 1. № 1 – центр мембраны; № 2 – по средней линии индуктора; № 3 – вблизи линии заземления мембраны; № 4 – на боковой поверхности излучателя; № № 5, 6, 7 – симметричны №№ 3, 2, 1, но расположены на тыльной стороне излучателя.

Главной особенностью приведенных осциллограмм является то, что полярность первой полуволны ускорений оказывается *разной*: в центре мембраны (точка № 1) она отрицательная ($-$), а в середине (точка № 2) – положительная (\oplus). Следовательно, центральная часть мембраны формирует импульс разрежения, а серединная – сжатия. Характер распределения ускорений по поверхности излучателя схематично показан на рис. 1.

Акустический сигнал, наблюдаемый на некотором расстоянии от источника (обычно на расстоянии 1 м), представляет собой результат суперпозиции излучений отдельных частей мембраны и конструктивных частей ЭДИ, движущихся, по сути, несинфазно. Кольцевая волна выпуклости мембраны \oplus как к центру, так и к периферии. Кольцевая волна вогнутости движется к периферии. Поверхностные волны в мембране отражаются от заземления и вновь собираются в центре, формируя мощные всплески акустического сигнала. Здесь даже возникают кавитационные явления в жидкости, приводящие к интенсивной эрозии центральной части мембраны. Небольшие погрешности в центровке индуктора по отношению к мембране сильно сказываются на характере распространения поверхностных волн в мембране, а значит и на форме акустического импульса.

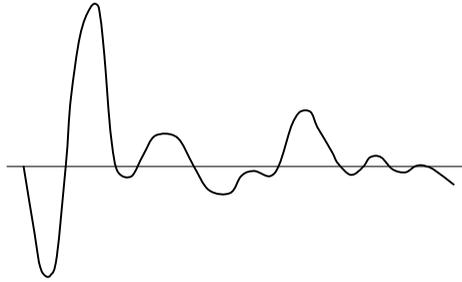


Рис. 4. Сигнал прямого излучения второй группы ЭДИ

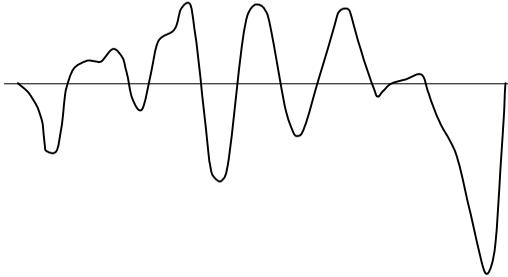


Рис. 5. Сигнал обратного излучения второй группы ЭДИ

Выполним расчет собственных частот мембраны, заземленной по периметру. Решение дифференциального уравнения свободных колебаний асимметричной мембраны, заземленной по периметру, имеет вид:

$$u(r, t) = \sum_{k=1}^{\infty} b_k e^{-mt} \cdot \sin\left(\sqrt{\left(\frac{a\mu_k}{r}\right)^2 - m^2} \cdot r\right) \cdot I_0(\mu_k x), \quad (1)$$

где $b_k = \frac{2V_0}{I_1(\mu_k) \sqrt{\left(\frac{a\mu_k}{r}\right)^2 - m^2}} \int_0^1 x I_0(\mu_k x) dx$, $I_0(\mu_k x), I_1(\mu_k)$ – функции Бесселя нулевого и первого порядка; x – приведенный радиус ($x = r/R$); $a_2 = A/\Gamma$; A – натяжение мембраны, Γ – поверхностная плотность мембраны; m – коэффициент вязкого трения.

Функция (1) определяет стоячие волны, узлы которых располагаются на окружностях, удовлетворяющих условию:

$$I_0(\mu_k x) = 0. \quad (2)$$

Между окружностями узлов располагаются окружности пучностей.

Специфика возбуждения мембраны кольцевым индуктором состоит в том, что одна из окружностей узлов расположена внутри кольцевого индуктора. Зоны пучностей, лежащие внутри и вне этого кольца имеют разные на-

чальные фазы колебаний. В итоге в мембране возбуждается не первая гармоника собственных колебаний (частота которой 440 Гц), а третья – с частотой 1320 Гц.

Интерференция гармоник собственных колебаний с гармониками возмущающей силы и приводит к формированию сложного волнового поля ЭДИ в ближней зоне излучателя.

Радиальные волновые процессы – не единственные волновые явления, присущие ЭДИ и определяющие форму генерируемого сигнала. Другими волновыми процессами в излучателе являются аксиальные явления, вызывающие формирование кавитации окружающей жидкости и сколы самой мембраны.

Механизм откола показан на рис. 6. Когда аксиальная волна сжатия проходит через мембрану и достигает контактной поверхности с жидкостью, происходит ее отражение и формирование волны разрежения. Отраженная волна разрежения взаимодействует с падающей волной сжатия. В результате на некоторой глубине от поверхности мембраны результирующее напряжение превышает критическое и происходит отрыв части мембраны.

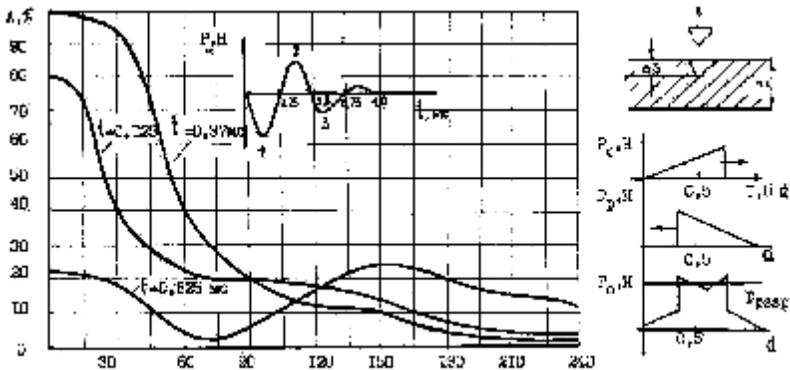


Рис. 6. Распределение давления вдоль радиуса мембраны и процесс формирования откола материала с её поверхности

Наш опыт показывает, что откол может достигать 0,1-0,5 от толщины мембраны.

В качестве мер, направленных на снижение кавитационных явлений и препятствующих эрозии мембраны, нами предложены решения, направленные на снижения скорости перемещения мембраны:

- 1) расположение в центре мембраны отверстия;
- 2) закрепление центра мембраны;
- 3) увеличение массы центра мембраны.

Наиболее эффективным оказался третий способ, когда в центре мембраны расположили полусферическую стальную накладку. Эффект демпфирования

ния проявился в снижении амплитуды колебаний и резком повышении долговечности мембраны.

Волновые явления в электродинамических излучателях определяют их *качественные* характеристики: форму импульса, индивидуальный спектральный состав, долговечность. Их можно подавлять, демпфируя колебания конструктивными способами. При этом улучшается форма акустического сигнала, ослабляются повторные всплески. Но можно этими процессами и управлять, используя многосекционные индукторы. Для формирования волны, бегущей к центру, сначала активизируют периферийную секцию, а по мере продвижения волны – и текущие. Тогда в момент прихода бегущей волны к центру мембраны будет сформирован мощный кавитационный импульс, с помощью которого достигается обогащение зондирующего сигнала энергией высокочастотных гармоник, достигается более высокое разрешение геофизических исследований.

Выводы. Кавитирующие ЭДИ представляются нам перспективной ветвью дальнейшего расширения области использования электродинамических излучателей. Это направление связано с генерированием управляемых нелинейных явлений в акустической среде. Их практическое освоение даст возможность реализовать такие методы зондирования, которые принципиально недостижимы ни с одним из рассмотренных выше прототипов.

Список литературы: 1. *Рой А.* Импульсные электродинамические излучатели // Акустический журнал. – 1970. – № 16. – С. 121-128. 2. *Гладченко В.Я., Гурин А.Г., Шейх Абубакер Али.* Результаты экспериментальных исследований электродинамического источника для морского сейсмического профилирования // Тезисы докладов Международной НТК "Компьютер, наука, техника" – Харьков: 3-4 мая 1994. – С. 58. 3. *Гладченко В.Я., Гурин А.Г., Шейх Абубакер Али.* Электродинамические источники гидроакустических импульсов для изучения донных осадков на шельфе моря // Материалы Международной НТК "Компьютер, наука, техника" – Харьков: март 1995.

Поступила в редколлегию 20.11.07