

В.М. Полунин, М.В. Чистяков

**АКУСТОМАГНИТНЫЙ ЭФФЕКТ НА МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В ПОПЕРЕЧНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ***Курский государственный технический университет,  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 95, e-mail: polunin\_vm1@yandex.ru*

В теоретической работе [1] было показано, что в поперечном к направлению распространения плоской звуковой волны в магнитной жидкости (МЖ) магнитном поле, возникают колебания индукции магнитного поля, которые можно зафиксировать при помощи проводящего контура, т.е. будет наблюдаться акустомагнитный эффект (АМЭ). Однако экспериментальному исследованию АМЭ в поперечном магнитном поле посвящено лишь несколько первых работ [2,3], которые, по-существу, лишь подтверждают факт существования эффекта.

В настоящей статье приведены результаты экспериментального исследования АМЭ в поперечном магнитном поле, направленного на выявление оптимальных условий для получения лучшего соотношения между амплитудой индуцируемой ЭДС и амплитудой звуковой волны. Схематичное изображение установки показано на рис.1.

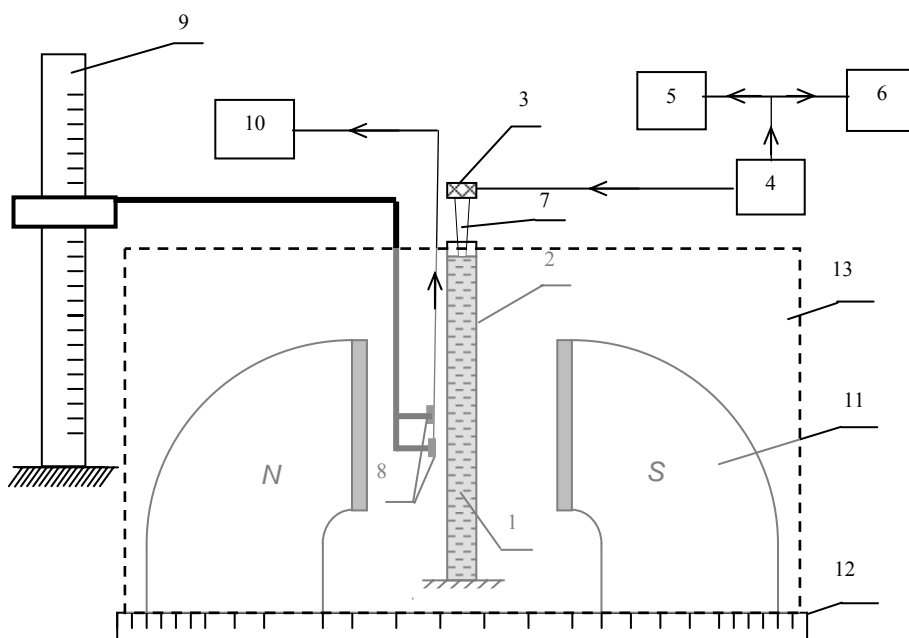


Рис.1. Блок-схема экспериментальной установки

Магнитная жидкость 1 заполняет стеклянную трубку 2. Трубка расположена вертикально. Источником звуковых колебаний (излучателем) является пьезоэлектрическая пластина 3, на которую подается переменное электрическое напряжение заданной частоты  $\nu$  от генератора 4. Резонансная частота пьезопластинки 2МГц, диапазон исследуемых частот 10 – 70 кГц. Частота измерялась частотомером 5, а напряжение вольтметром 6. Упругие волны через волновод 7 распространяются в МЖ. Две катушки индуктивности 8, намотанные “по и против часовой стрелки” соединены последовательно и размещены в непосредственной близости от внешней поверхности трубки. Первая катушка жестко связана с кинематическим узлом катетометра 9 и перемещается вдоль столбика магнитной жидкости с точностью 0,01 мм. Вторая катушка смещается относительно первой вдоль трубки с МЖ до получения максимального АМЭ. Переменная ЭДС с катушек поступает на вход осциллографа 10. Источником магнитного поля служит постоянный магнит 11, установленный перпендикулярно оси трубки на вращающейся платформе 12. Поддержание температуры осуществлялось при помощи термостата 13.

На рис.2 приведена схема опыта, предусматривающая вращение постоянного магнита. Будем полагать, что проводящая рамка округлой формы вплотную прилегает к стенке трубки.

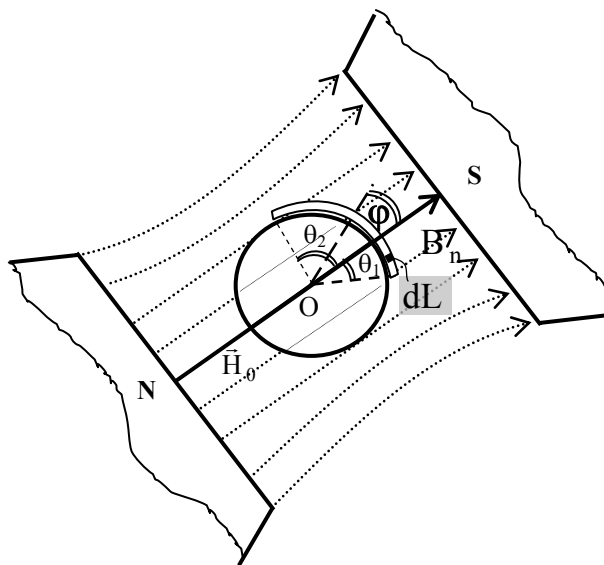


Рис.2. Схема опыта

При статической деформации (трубка абсолютно жесткая) жидкостного столбика:

$$\delta B = \mu_0(\delta M - N\delta M) = \mu_0(1 - N)\delta M . \quad (1)$$

В данном случае  $N = 0,5$ . В силу постоянства нормальной составляющей индукции на границе магнетиков имеем:

$$\delta B_n^{(i)} = \delta B_n^{(e)} , \quad (2)$$

где  $\delta B_n^{(e)}$  – нормальная составляющая приращения индукции на поверхности рамки.

$$\delta B_n^{(e)} = \delta B \cdot \cos \theta = \mu_0(1 - N) \cdot \delta M \cdot \cos \theta, \quad (3)$$

где  $\theta$  – угол между направлениями магнитного поля и луча, ограничивающего рамку.

Приращение магнитного потока через полоску шириной  $dL$ :

$$\delta \Phi = N_B h \cdot dL \cdot \delta B_n^{(e)} = N_B h \cdot dL \cdot \mu_0(1 - N) \cdot \delta M \cdot \cos \theta, \quad (4)$$

где  $L$  – длина рамки,  $h$  – ее высота ( $h \ll \lambda$ ),  $N_B$  – число витков.

С другой стороны, используя  $d$  – диаметр трубки

$$d\theta = \frac{2dL}{d}, \quad (5)$$

Тогда

$$\delta \Phi = \mu_0(1 - N) N_B \frac{d}{2} h \cdot \delta M \cdot \cos \theta \cdot d\theta. \quad (6)$$

Магнитный поток, пронизывающий контур рамки:

$$\Delta \Phi = \Delta \Phi_1 + \Delta \Phi_2 = \mu_0(1 - N) N_B \frac{d}{2} h \cdot \delta M \left[ \int_0^{\theta_1} \cos \theta \cdot d\theta + \int_0^{\theta_2} \cos \theta \cdot d\theta \right]. \quad (7)$$

В данном случае  $\varphi = (\theta_1 - \theta_2)/2$ , поэтому

$$\Delta \Phi = \mu_0(1 - N) N_B \frac{d}{2} h \cdot \delta M \left[ \int_0^{\frac{L}{d} - \varphi} \cos \theta \cdot d\theta + \int_0^{\frac{L}{d} + \varphi} \cos \theta \cdot d\theta \right], \quad (8)$$

$$\Delta \Phi = \mu_0(1 - N) N_B d \cdot h \cdot \delta M \cdot \sin \frac{L}{d} \cdot \cos \varphi. \quad (9)$$

Амплитуда ЭДС, индуцируемая в контуре:

$$\varepsilon = -\frac{d(\Delta \Phi)}{dt} = -\mu_0(1 - N) N_B \cdot d \cdot h \cdot \delta \dot{M} \cdot \sin \frac{L}{d} \cdot \cos \varphi. \quad (10)$$

При  $L < d$  получим

$$\varepsilon = -\mu_0(1 - N) N_B L h \cdot \delta \dot{M} \cdot \cos \varphi. \quad (11)$$

Если  $\lambda < d$ , то необходимо заменить  $N$  на  $N_\partial$  – динамический размагничивающий фактор [4].

Полярная диаграмма зависимости амплитуды индуцируемой ЭДС от угла  $\varphi$  в относительных единицах представлена на рис.3. Точки представляют экспериментальные значения, полученные в процессе вращения магнитного поля с шагом  $5^\circ$ . Тонкой линией показан график функции  $\cos \varphi$ . Угол  $\varphi$  образован вектором напряженности магнитного поля  $\mathbf{H}$  и нормалью  $\mathbf{n}$  к плоскости рамки. Таким образом, за один оборот магнита амплитуда, следуя изменению  $\cos \varphi$ , дважды принимает максимальное значение и дважды равна нулю.

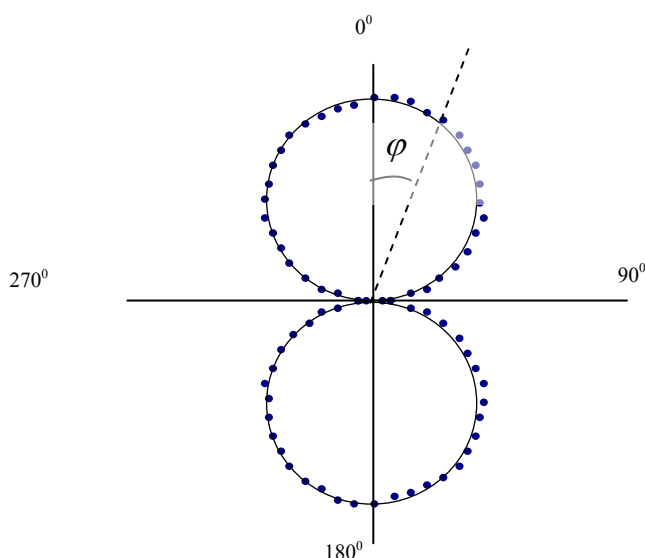


Рис.3. Полярная диаграмма зависимости относительной амплитуды АМЭ от угла  $\varphi$

Рассмотрим результаты опыта по получению амплитудно-частотной характеристики приемного устройства.

Приемное устройство представляет собой колебательный контур, включающий одну или две катушки индуктивности и электрическую емкость коаксиального кабеля.

На рис.4 приводятся амплитудно-частотные характеристики АМЭ (сплошные кривые 1 и 2) и приемного устройства, принимающего только сигнал “наводки”, создаваемой генератором переменного напряжения (пунктирные линии 3 и 4). Квадратиками и треугольниками представлены данные, полученные соответственно при включении одной и двух катушек индуктивности.

Нетрудно видеть, что при включении двух катушек (по 1300 витков каждая) резонансная частота контура снижается с 110кГц до 62,4кГц. При этом максимум АМЭ возрастает в  $\sim 10$  раз. Усиление АМЭ на частоте 62,4кГц связано не только с близостью резонансной частоты колебательного контура, но и с тем фактом, что длина стоячей волны в МЖ совпадает с высотой проводящей рамки (рис.5). Правая ветвь кривой 2 слегка приподнята, поскольку приходится на резонансную частоту контура с одной катушкой индуктивности 110кГц. При этом по высоте проводящей рамки укладывается  $\sim 1,7$  длины стоячей волны, в результате чего происходит частичная компенсация магнитных потоков, пронизывающих контур рамки.

Таким образом, оптимальным условием наблюдения АМЭ является совпадение частоты ультразвука в МЖ с резонансной частотой колебательного контура приемного устройства при одновременном соблюдении масштабного фактора – высота рамки равна или меньше длины стоячей волны.

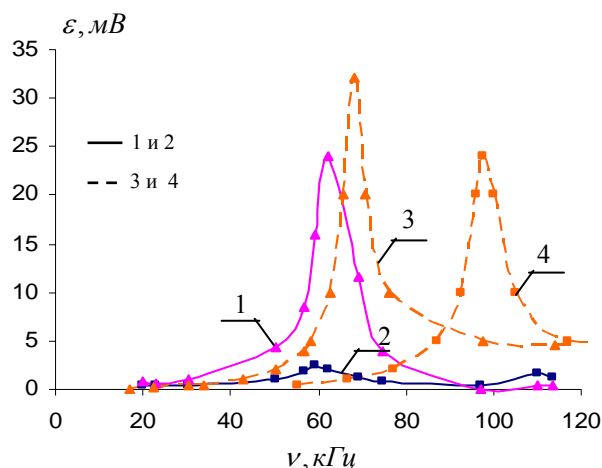


Рис.4. Амплитудно-частотная характеристика АМЭ

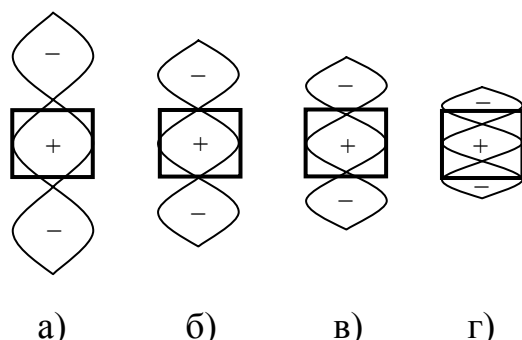


Рис.5. Соотношение между длиной стоячей волны и высотой рамки для частот 50 Гц (а), 62,4кГц (б), 75кГц (в), 110кГц (г). ± – фаза колебаний

### Библиографический список

1. Полунин В.М. Релаксация намагниченности и распространение звука в магнитной жидкости // Акуст. журн.– 1983.– Т. 29.– № 6.– С. 820-823.
2. Полунин В.М., Пьянков Е.В., Еськов И.В., Никитин А.В. Об индикации ультразвуковой волны в магнитной жидкости // Материалы 3 Всесоюзной школы-семинара по магнитным жидкостям. М.: МГУ.– 1983. - С.204-205.
3. Полунин В.М., Пьянков Е.В. Наблюдение возмущений намагниченности при распространении звука в магнитной жидкости // Магнитная гидродинамика.– 1984.– № 1.– С. 126-127.
4. Полунин В.М. Электромагнитные эффекты, вызванные упругой деформацией цилиндрического образца намагниченной жидкости // Магнитная гидродинамика.– 1988.– № 3.– С. 43-50.