

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОХОЖДЕНИЯ СИГНАЛА ЧЕРЕЗ СРЕДЫ «СТЕНКА ТРУБЫ – ПОЧВА – ВОЗДУХ»

А. А. Наумук, А. В. Сахарук, С. В. Болденко

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научные руководители: Н. И. Вяхирев, Л. А. Захаренко

Для определения требований к характеристикам приемопередатчиков, осуществляющих передачу радиосигнала в трубопровод и обратно, необходимо рассчитать затухание сигнала в средах «воздух – почва – трубопровод». Прохождение каждой из сред будет приводить к затуханию сигнала, однако 90–95 % затухания будет определять сталь трубопровода. По сути, трубопровод является экраном для магнитных полей. Оценим влияние этого экрана на ослабление магнитного поля в трубе.

Действие экрана мы будем характеризовать коэффициентом экранирования  $S$ , определенным в уравнении (1) как отношение напряженности  $H_i$  внутри к напряженности  $H_a$  вне экрана [1], [2]. Отметим, что в общем случае коэффициент экранирования является комплексной величиной.

Коэффициент экранирования можно определить по уравнению

$$\frac{H_i}{H_a} = S = \frac{1}{ch(kd) + \frac{1}{2}K \cdot sh(kd)} = \frac{1}{ch(1+j)\frac{d}{\delta} + \frac{\mu_0}{2\mu} \cdot \frac{1+j}{\delta} D \cdot sh(1+j)\frac{d}{\delta}}, \quad (1)$$

где  $d$  – толщина пластины;  $\delta$  – эквивалентная глубина проникновения;  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $\mu$  – магнитная проницаемость;  $D$  – расстояние между пластинами.

Так называемое экранное затухание  $b_s$  определим, исходя из модуля  $S$  по формуле

$$b_s = \ln \frac{1}{|S|} = \ln \left| \frac{H_a}{H_i} \right| \approx \begin{cases} \frac{1}{2} \ln \left[ 1 + \left( \frac{\mu_0 \cdot D \cdot d}{\mu \cdot m \cdot \delta^2} \right)^2 \right] = \frac{1}{2} \ln \left[ 1 + \left( \frac{\omega \cdot \mu_0 \cdot D \cdot d}{2m} \right)^2 \right], d < \delta; \\ \frac{d}{\delta} + \ln \frac{\mu_0}{\mu} \cdot \frac{D}{2\sqrt{2m \cdot \delta}}, d > \delta. \end{cases} \quad (2)$$

Во всех случаях экранное затухание тем больше, чем больше  $D$ . В формулу (2) введен множитель  $m$ , при помощи которого эти формулы распространяются на цилиндрические экраны. Для этой цели нужно размер  $D$  заменить диаметром и положить  $m = 2$  для цилиндрического экрана.

Для расчета коэффициента экранирования  $S$  цилиндрического экрана, представленного на рис. 1, может служить формула (1), в которую вместо расстояния между пластинами  $D$  нужно подставить радиус  $R$  экрана. Такое применение формулы допустимо, если предположить, что рассматриваемая цилиндрическая оболочка тонкостенная ( $d \ll R$ ).

При любых значениях  $\mu$  затухание сигнала возрастает с увеличением частоты, причем тем быстрее, чем меньше намагниченность стали. Максимальный уровень передаваемого сигнала будет наблюдаться в области низких частот. Однако следует отметить, что построение канала связи в области очень низких частот проблематично по причине нереально больших требуемых габаритов приемной и передающей катушек (антенн). Компромиссным решением является работа в диапазоне частот 20–25 Гц. Для работы приемопередатчика выбрана частота 22 Гц.

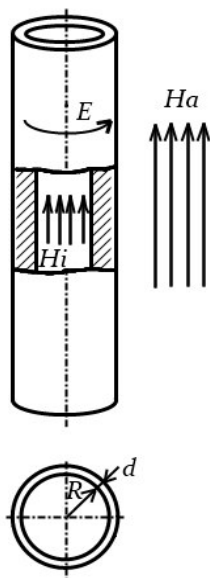


Рис. 1. Цилиндрический экран в аксиально-направленном поле

Для определения значения  $\mu$  был проведен опыт, в ходе которого было установлено, что значение магнитной проницаемости для данного образца стали, применяемого в изготовлении труб, на частоте 22 Гц равно 35.

Был проведен эксперимент, в ходе которого были рассмотрены два случая измерения сигнала: в случае, когда передатчик вне трубы, и случай, когда он помещен в трубу.

Схема экспериментов представлена на рис. 2, фото экспериментальных макетов – на рис. 3.

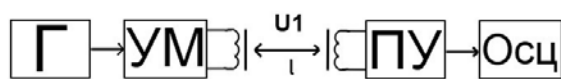


Схема эксперимента без трубы

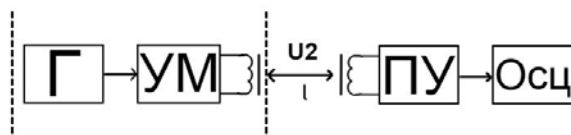


Схема эксперимента с трубой

Рис. 2. Схема эксперимента:

Г – генератор синусоидального сигнала частотой 22 Гц; УМ – усилитель мощности; ПУ – предварительный усилитель; Осц – осциллограф;  $U_1 = 12,25$  В,  $U_2 = 2,8$  В

По результатам расчета коэффициент ослабления равен:

$$K_{\text{осл}} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{12,25}{2,8} = 4,38. \quad (3)$$

Расчет по формуле (1) и эксперимент дают значения одного и того же порядка.



Рис. 3. Фото экспериментальных макетов

#### Литература

1. Каден, Г. Электромагнитные экраны в высокочастотной технике и технике электросвязи / Г. Каден. – М., 1957. – 327 с.
2. Гроднев, И. И. Электромагнитное экранирование в широком диапазоне частот / И. И. Гроднев. – М. : Связь, 1972. – 112 с.

3. Разработка средств поиска, управления и контроля состояния внутритрубного тампонагерметизатора : отчет о науч.-исслед. работе. – Гомель, ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009.
4. Y. Kryshneu, L. Zakharanka, E.Vinagradau, A. Khramau, A. Sakharuk, M. Stalbou, V. Starastsenka. The monitoring and control system of the intrapipe sealer // ITELMS'2010. – Materials of 5th International Conference Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems / Panevezys, Lithuania, 2010. – С. 31–36.