

РАСЧЕТ ОСЛАБЛЕНИЯ СИГНАЛА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ СРЕДЫ «СТЕНКА ТРУБЫ – ИЗОЛЯЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ – ГРУНТ – ВОЗДУХ»

А. А. Кутень, А. В. Сахарук, А. А. Бурьев

*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–грунт–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]. Отметим, что в общем случае коэффициент экранирования является комплексной величиной.

Коэффициент экранирования можно определить по уравнению

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

где d – толщина пластины; δ – эквивалентная глубина проникновения; μ_0 – магнитная постоянная; μ – магнитная проницаемость; D – расстояние между пластинами.

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

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

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 μ 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.

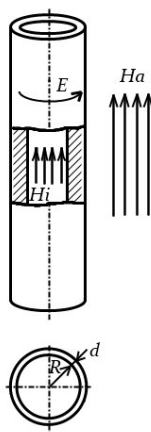


Рис. 1. Цилиндрический экран в аксиально направленном поле

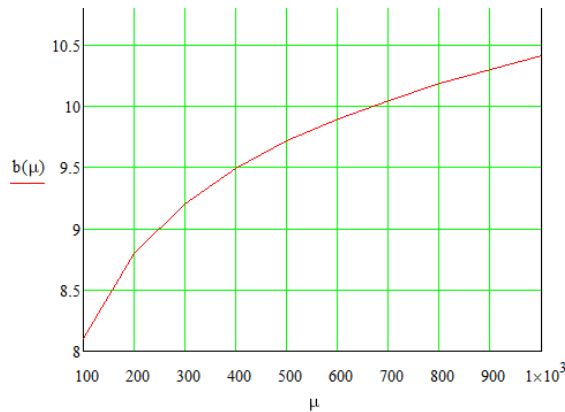


Рис. 2. Зависимость экранного затухания от магнитной проницаемости материала

Из графика видно, что для стали с магнитной проницаемостью $\mu = 1000$ ослабление сигнала будет составлять примерно 10,5 раз.

Был проведен эксперимент, в ходе которого были рассмотрены два случая измерения сигнала: в случае, когда передатчик находится вне трубы, и случай, когда он помещен в трубу. Схема экспериментов представлена на рис. 3, фото экспериментальных макетов – на рис. 4. Коэффициент ослабления экспериментально определялся по формуле

$$K_{осл} = \frac{U_1}{U_2} \tag{3}$$

Результаты эксперимента приведены в таблице.



Рис. 3. Схема эксперимента: Г – генератор синусоидального сигнала частотой 22 Гц, УМ – усилитель мощности; ПУ – предварительный усилитель; Осц – осциллограф; U_1 и U_2 – амплитуда сигнала в опытах с трубой и без трубы соответственно

Экспериментальные данные

Показатель	Номер опыта		
	1	2	3
U_1 , В	5	5	5
U_2 , мВ	400	390	410
$K_{осл}$	12,5	12,82	12,195
$K_{осл.ср}$	12,5		

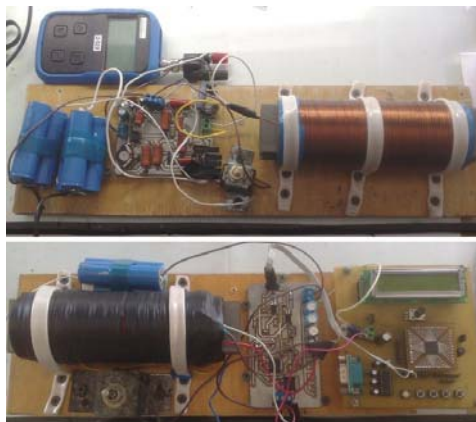


Рис. 4. Фото экспериментальных макетов

Расчет по формуле (2) и эксперимент дают значения одного и того же порядка.

Литература

1. Каден, Г. Электромагнитные экраны в высокочастотной технике и технике электросвязи / Г. Каден. – М., 1957. – 327 с.
2. Разработка средств поиска, управления и контроля состояния внутритрубного тампонагерметизатора : отчет о науч.-исслед. работе. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009.
3. Y. Kryshneu, L. Zakharanka, E. Vinagradau, A. Khramau, A. Sakharuk, M. Stalbou, V. Staratsenka. 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. – P. 31–36.