

ских и методологических мероприятий, а также повышению квалификации персонала.

Литература

1. Евро-американский семинар по надежности НК // Контроль и диагностика. – 2000. – № 10. – С. 52.
2. Щербинин В. Е. Аттестация специалистов составная часть метрологического обеспечения технологического процесса неразрушающего контроля «Дефектоскопия». – 1992. – № 3. – С. 4 – 5.
3. Волков Б. И. Опыт применения автоматизированных методов контроля теплоэнергетического оборудования / Б. И. Волков, В. В. Прохоров, А. В. Николаенко // Материалы 20-ой международной конференции и выставки "Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики". 1-5 октября 2012 г, Украина, г. Гурзуф, С. 5 – 7.
4. Будадин О. Н. Автоматизированный ультразвуковой контроль крупногабаритных конструкций / О. Н. Будадин, А. А. Филипенко, С. Н. Сычугов // Материалы 20-ой международной конференции и выставки "Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики". 1-5 октября 2012г, г. Гурзуф, Украина, С. 12-13.
5. Морозова Т. Ю. Новый подход к задаче идентификации дефектов изделий и оценки их влияния на безопасность эксплуатации сложного технического объекта / Т. Ю. Морозова, А. А. Бекаревич, О. Н. Будадин // Материалы 21-ой международной конференции и выставки "Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики". 7-11 октября 2013 г, г. Гурзуф, Украина, С. 40 – 41.
6. Цечаль В. А. Подготовка и аттестация специалистов НК в ТК «Спецмонтаж» / В. А. Цечаль, Т. Ю. Морозова, Ю. В. Радыш., О. А. Гарбар, К. П. Ильченко, С. А. Ярмолка // Материалы 21-ой международной конференции и выставки "Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики". 7-11 октября 2013 г, г. Гурзуф, Украина, С. 45 - 57.

*Надійшла до редакції
25 жовтня 2013 року*

© Водзик П. И., Павленко Ж. А., Водзик Д. П., 2013

УДК620.179.16

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬС

Гымчик Г. С., Подолян А. А.

*Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт",
г. Киев, Украина*

Рассмотрены схемы построения электромагнитно-акустического (ЭМА) преобразователя для контроля железнодорожных рельс, исходя из параметров, влияющих на формирование акустической волны, и геометрических параметров железнодорожных рельс. С помощью математического моделирования исследовано влияние расстояния от нитей-излучателей до поверхности объекта контроля. Показано резкое снижение акустического давления, при увеличении расстояния от нитей-излучателей до поверхности объекта контроля. Показано, что изменение угла, между ЭМА преобразователем и поверхностью объекта контроля, приводит к значительному ухудшению возбуждения акустической волны на

поверхности объекта контроля. Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод о том, что в ЭМА преобразователи для контроля рельс целесообразно выполнять с излучателем в виде решетки и П-образного, с усеченными по форме рельса краями, формирователя внешнего магнитного поля

Ключевые слова: ЭМА, преобразователь, акустическое, давление, неразрушающий, контроль.

Введение. Постановка задачи

Среди исследований, связанных с диагностикой железнодорожных рельс, особое место занимает ультразвуковой метод контроля. В большинстве приборов ультразвукового контроля изделий, для обеспечения акустического контакта преобразователя используют специальные контактные жидкости [1]. Такой способ создания акустического контакта имеет ряд недостатков: ограниченность диапазонов температуры, ограниченность скорости контроля, сложность или невозможность контроля сильно загрязненных поверхностей. В связи с этим затруднено создание полностью автоматических средств неразрушающего контроля, повышения производительности, надежности и достоверности контроля, что делает не допустимым данный метод для контроля рельс. При проведении неразрушающего контроля металлических изделий ультразвуковым методом широкое распространение получили электромагнитно-акустические (ЭМА) преобразователи [1], содержащие узел подмагничивания и излучатель в виде катушек или токопроводящих нитей. Излучатель располагается параллельно поверхности объекта контроля и на него подается зондирующий импульс тока. ЭМА метод позволяет возбуждать и регистрировать упругие волны в контролируемом объекте без акустической связи между преобразователями и объектами контроля, что делает его наиболее перспективным для контроля железнодорожных рельс.

Целью данной статьи является исследование применения ЭМА датчика для контроля железнодорожных рельс.

Исследования ЭМА преобразователя

В качестве излучателя ЭМА преобразователя для данной задачи могут быть использованы решетки из N -нитей, расположенных параллельно друг другу вдоль поверхности объекта контроля на одинаковом от неё расстоянии, на которую подается зондирующий импульс тока. Для формирования зондирующих импульсов с заданными характеристиками применимы как аналоговые [1, 2], так и цифро-аналоговые схемы [3 – 5]. Внешнее магнитное поле создается с помощью электромагнита или постоянного магнита [1, 7]. Структурная схема ЭМА преобразователя с постоянным магнитом представлена на рис. 1. В случае необходимости изменения характеристик магнитного поля возможно использования схем с подвижным магнитом (рис. 2) [6, 7].

При ЭМА возбуждении [8] системой синфазных излучателей (рис. 3, а) шаг (расстояние l между нитями-излучателями) $l = \lambda$; при возбуждении систем про-

тивофазных излучателей (рис. 3, б) $l = \frac{\lambda}{2}$, где $\lambda = \frac{C_c}{f}$ – длина нормальной волны в соответствующей рабочей точке; C_c – фазовая скорость УЗ волны; f – рабочая частота УЗ излучения.

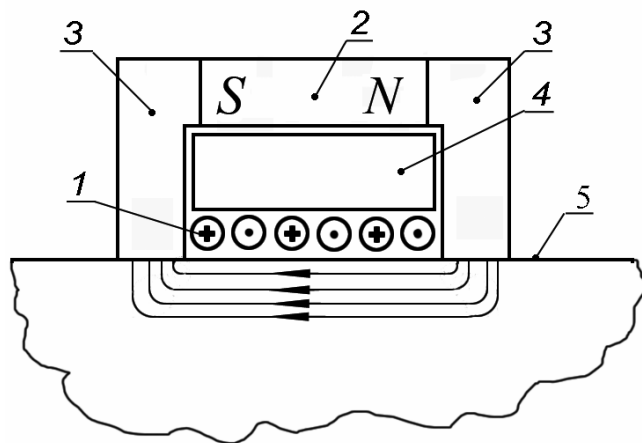


Рис. 1. Общая структурная схема ЭМА преобразователя, где: 1 – нити-излучатели; 2 – магнит; 3 – магнитопроводы; 4 – крепежная вставка; 5 – поверхность объекта контроля

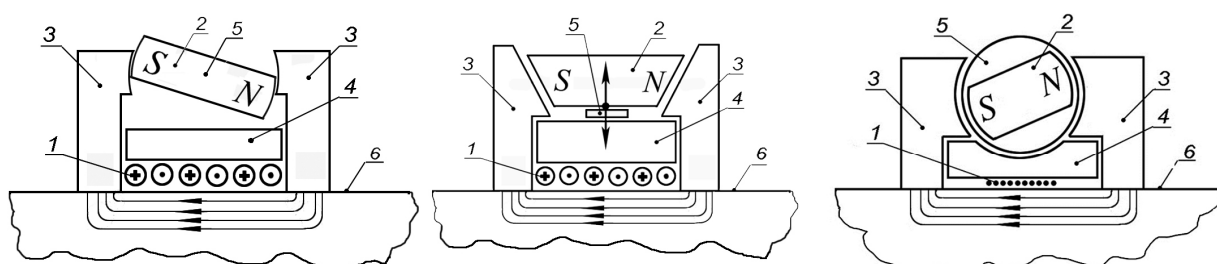


Рис. 2. Структурная схема ЭМА преобразователей с подвижным магнитом, где: 1 – нити-излучатели; 2 – магнит; 3 – магнитопроводы; 4 – крепежная вставка; 5 – механизм перемещения; 6 – поверхность объекта контроля

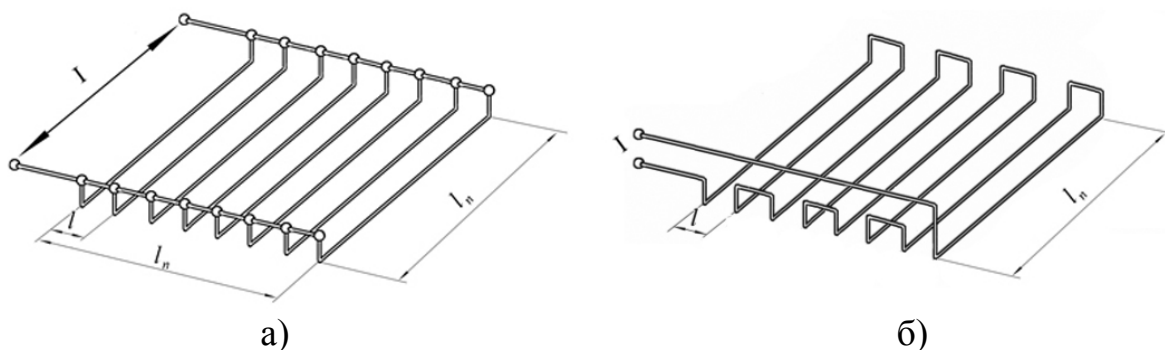


Рис. 3. Схематическое изображение конструкции излучателей, где: а) система синхфазных излучателей, б) система противофазных излучателей

Для исследований необходимо знание основных характеристик среды контроля и параметров ЭМА датчика.

В статье рассматриваем применение ЭМА преобразователя для контроля железнодорожных рельс. Решение данной задачи позволяет определиться с конструктивными параметрами разрабатываемого датчика к ЭМА преобразователю.

Таким образом, исходя из характеристик стали, используемой для изготовления рельс, выбираем C_c . Учитывая значение частоты зондирующих импульсов f , и для схемы построения решетки с синфазными излучателями (рис. 3, а) рассчитываем расстояние между нитями-излучателями

$$l = \lambda = \frac{C_c}{f}.$$

От количества нитей-излучателей и их длины зависит размер результирующего пучка излучения.

ГОСТ Р 51045-97 [9] регламентирует размеры железнодорожных рельс и допуски при их изготовлении.

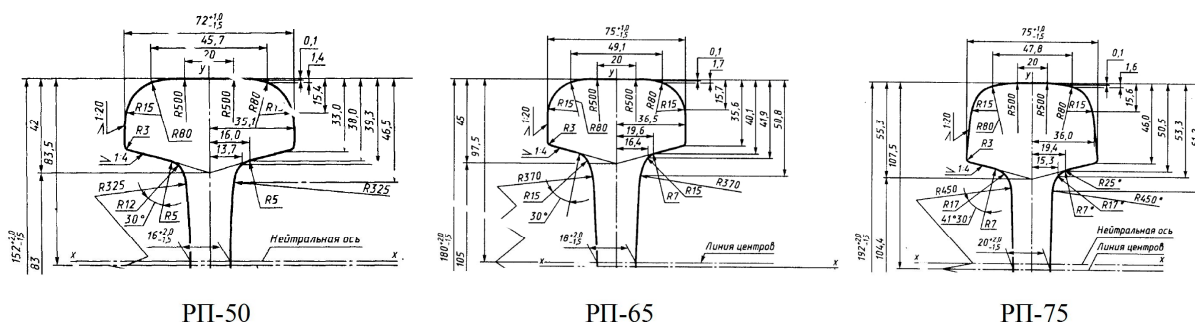


Рис. 4. Поперечное сечения головки рельса по ГОСТ Р 51045-97

На рис. 4 ширина головок рельс составляет 72 мм и 75 мм. Наибольший интерес представляет возбуждение колебаний на поверхности активной части рельса, ширина a которой составляет 45,7 мм (РП-50), 49,1 мм (РП-65), 47,8 мм (РП-75).

Таким образом, решетка, состоящая из нитей-излучателей должна размещаться вдоль рельса на ширину a его активной части.

При расстоянии между излучателями l (1), на отрезке длиной a могут быть размещены n нитей-излучателей.

Для практической реализации ЭМА датчика, предлагается использовать равностороннюю решетку, то есть, длина нитей должна быть равна ширине пакета из n нитей:

$$l_n = l \cdot (n - 1).$$

Поскольку выбрана схема построения с синфазным подключением нитей, все нити могут быть включены параллельно.

При обеспечении жесткого крепления нити и равномерного распределения амплитуды и фазы тока вдоль нити, выражение для создаваемых на поверхности объекта контроля давлений p , может быть записано в виде [11]:

$$p = -\mu_0 \cdot \mu \frac{I_0^2 \cdot h^2}{4 \cdot \pi \cdot (h^2 + y^2)^2} (1 + \cos 4 \cdot \pi \cdot f \cdot t) - \frac{I_0 \cdot h \cdot B_{\underline{}}}{\pi \cdot (h^2 + y^2)} \cos 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t,$$

где $B_{\underline{}}$ – индукция внешнего постоянного магнитного поля; I_0 – амплитудное значение тока нити; ω – круговая частота; f – частота тока в нити; h – расстояние от центра нити до поверхности объекта контроля; y – расстояние от проекции нити вдоль поверхности объекта контроля в перпендикулярном проекции направлении; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; μ – магнитная проницаемость материала объекта контроля.

Давление в каждой точке поверхности контролируемого пространства под решеткой будет создаваться каждой нитью-излучателем, с учетом расстояния от рассматриваемой точки до центра каждого излучателя [10], то есть:

$$\dot{p}_{\Sigma}(x, y) = \sum_{m=1}^n \dot{p}_m(x, y),$$

где: $\dot{p}_{\Sigma}(x, y)$ – суммарное давление, создаваемое решеткой на поверхности контролируемого пространства в точке с координатами (x, y) ; $\dot{p}_m(x, y)$ – давление, создаваемое на поверхности контролируемого пространства в точке с координатами (x, y) излучателем m , где $m = 1, 2, \dots, n$.

Во время контроля нити-излучатели должны быть расположены параллельно относительно поверхности объекта контроля, должно выполняться условие $\alpha_{\Pi} = 0^{\circ}$, где α_{Π} – угол между датчиком и объектом контроля (рис. 5). При соблюдении условия $\alpha_{\Pi} = 0^{\circ}$ зависимость $p_{\Sigma}(y)$ от различных значений расстояния h приобретает вид, показанный на рис. 5.

На рис. 5. наблюдается резкое снижение акустического давления, при увеличении расстояния h от центра нити до поверхности объекта контроля.

При несоблюдении условия $\alpha_{\Pi} = 0^{\circ}$ (рис. 6), зависимость $p_{\Sigma}(y)$ приобретает вид, представленный на рис. 6.

Зависимость (рис. 7) показывает, что изменение угла α_{Π} существенно влияет на формирование акустической волны на её поверхности.

Для фиксации датчика (относительно объекта контроля) магнитопровод предлагается опирать (с учетом определенных ГОСТ Р 51045-97 допусков [9]) на закругленные части рельса (см. рис. 8). Толщину магнитопроводов и расстояние между ними выбираем, исходя из геометрических параметров нитей-излучателя и контролируемого участка железнодорожного рельса.

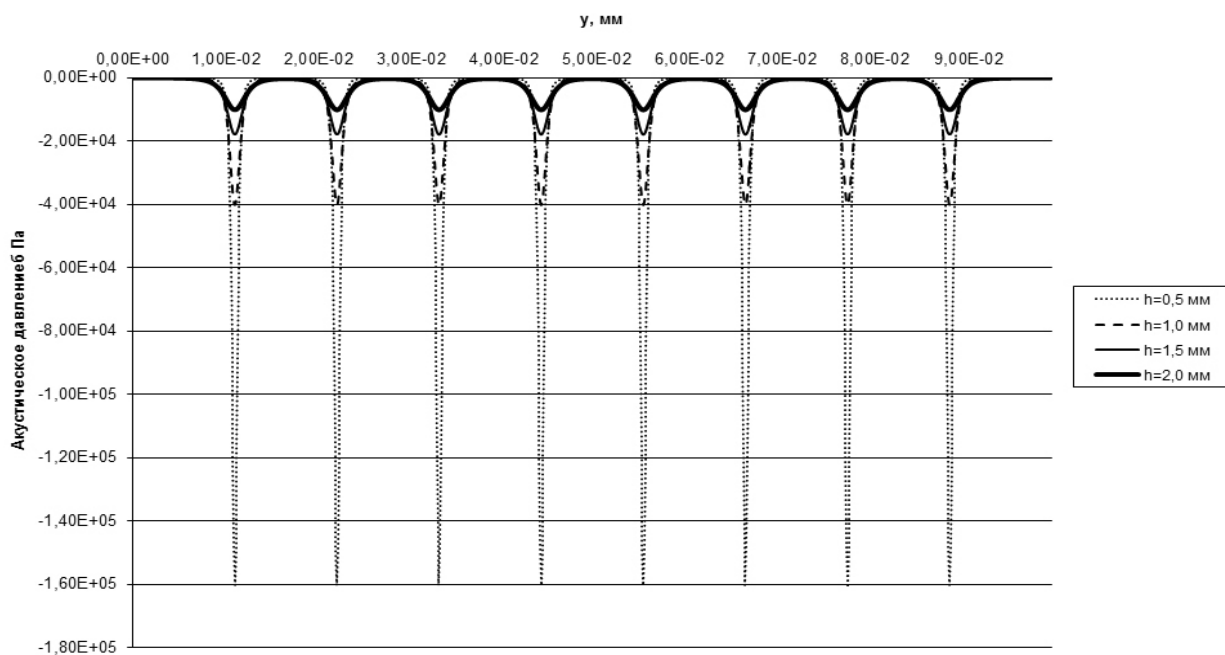


Рис. 5. Семейство зависимостей $p_{\Sigma}(y)$ при различных значениях расстояния h ,
 $B_{\underline{}} = 0,3 \text{ Тл}$, $I_0 = 2 \text{ А}$, $f_i = 0,5 \text{ МГц}$

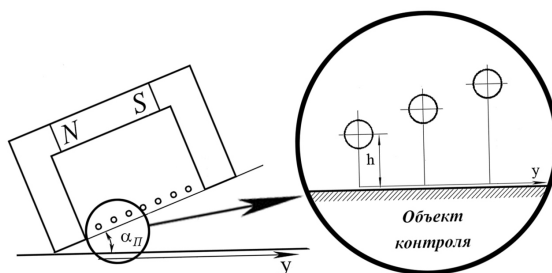


Рис. 6. Схема установки ЭМА преобразователя, при $\alpha_{\Pi} \neq 0^{\circ}$

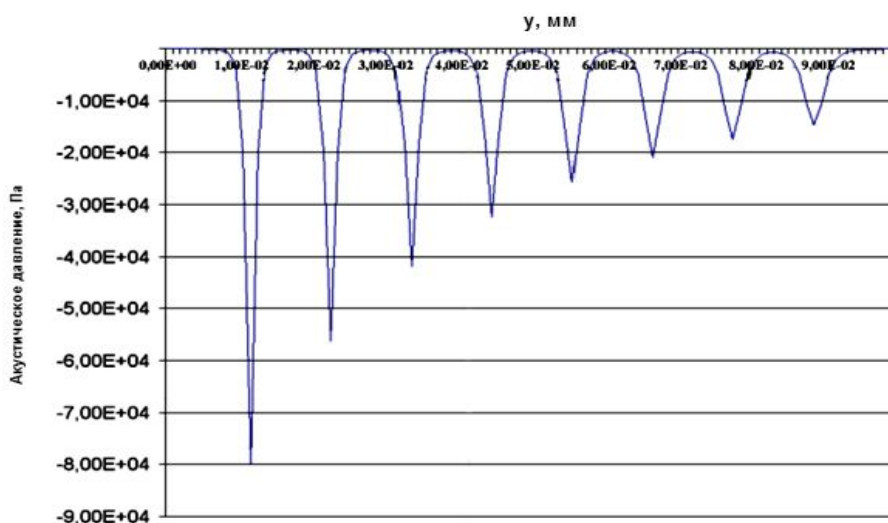


Рис. 7. Зависимость $p_{\Sigma}(y)$ при $\alpha_{\Pi} = 0,5^{\circ}$, $B_{\underline{}} = 0,3 \text{ Тл}$, $h = 1 \text{ мм}$,
 $f_i = 0,5 \text{ МГц}$, $I_0 = 2 \text{ А}$

Дальнейшие исследования предполагается проводить в направлении возможности формирования углового ввода ультразвуковой волны ЭМА преобразователем в объект контроля.

Литература

1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, А. В. Ковалев и др.; Под ред. В. В. Клюева. 3-е изд. испр. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с.
2. Ультразвуковая дефектоскопия / Л. П. Алешин, В. Г. Лупачев. – Минск: Высшая школа, 1987. – С. 40.
3. Патент Российской Федерации на изобретение №2108657, Н03В19/12. Дискретно-аналоговый синус-генератор / Островский В. А. Оpubл.10.04.1998.
4. Пат. на изобретение 2373638 Российская Федерация, МПК (2006) Н03К 4/92. Способ формирования колоколообразных импульсов зондирования для ЭМА преобразователя и устройство для его осуществления / Подолян А. А., Протасов А. Г., Лигомина С. Н. - №2008121010; заявл. 28.05.2008; опубл. 20.11.2009, бюл. № 32.
5. Тымчик Г. С. Формирование импульсов специальной формы для электромагнитных акустических преобразователей / Г. С. Тымчик, А. А. Подолян // Вісник національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут” серія приладобудування. –2013. – Вип. 45 – С. 64 – 69.
6. Пат. на изобретение 2327152 Российская Федерация, МПК (2006) G01N 29/04. ЭМА преобразователь / Подолян А. А. - №2006116939; заявл. 18.05.2006; опубл. 20.06.2008, бюл. № 17.
7. Подолян А. А. Формирование магнитного поля с заданными характеристиками в ЭМА преобразователях систем неразрушающего контроля промышленного оборудования // Методи та прилади контролю якості. – 2006. – Вип. 17. – С. 18 – 21.
8. Глухов Н. А. Электромагнитно-акустические преобразователи для упругих волноводов / Н. А. Глухов, В. Т. Бобров, С. В. Веремченко и др.// Дефектоскопия. – 1972. – № 4. – С. 39 – 45.
9. ГОСТ Р 51045-97: Рельсы железнодорожные типа Р65 – Москва: Госстандарт России, утвержд. 02.04.1997; введ. 02.04.1997.
10. Цапенко В. К. Характеристики спрямованості випромінювання ультразвукових хвиль. Навчальний посібник. – К.: НТУУ «КПІ», 2003. – С. 29.
11. Сазонов Ю. И., Исследование бесконтактных методов возбуждения и регистрации ультразвуковых колебаний: Ультразвуковые методы контроля / Ю. И. Сазонов, Ю. М. Шкарлет // Дефектоскопия. – 1969. – № 5. – С. 2.

*Надійшла до редакції
15 листопада 2013 року*

© Тымчик Г. С., Подолян А. А., 2013