

*Наведено результати досліджень релеєвських хвиль, що генеруються ЕМА-перетворювачами. Встановлено їх залежність від відстані випромінювача до точки прийому, особливості впливу товщини зразка на характер поширення*

*Ключові слова: трамваї, трамвайні рейки, вібродіагностика*

*Приведены результаты исследований рэлеевских волн, генерируемых ЭМА-преобразователями. Установлена их зависимость от расстояния излучателя до точки приема, особенности воздействия толщины образца на характер распространения*

*Ключевые слова: трамваи, трамвайные рельсы, вибродиагностика*

*The research results of Rayleigh's waves investigation, generated by EMA-converters have been provided. Their dependence on the distance between the emitter and the point of reception, and particularly the impact of the sample thickness on the diffusion character has been defined*

*Key words: trams, tram rails, vibration diagnostics*

# МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РЕЛЬСОВОГО ПОЛОТНА ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

**Д. Ю. Зубенко**

Кандидат технических наук, доцент  
 Кафедра электротранспорта  
 Харьковская национальная академия городского хозяйства  
 ул. Революции, 12, г., Харьков, 61002  
 Контактный тел.: (057) 712-62-85, 050-520-21-01  
 E-mail: Denis04@ukr.net

**Введение**

В последнее время все больший интерес вызывает применения волн Рэля для не разрушающего ультразвукового (УЗ) контроля рельсов. Выяснилось, что с помощью этих волн можно обнаружить не только поверхностные дефекты, но и те, которые располагаются на глубине несколько миллиметров и более. Особенно большие преимущества этих волн в случае, когда указанные сигналы побуждаются и принимаются бесконтактными ЭМА преобразователями. В этой связи актуальны исследования, в которых изучаются закономерности возбуждения и приема УЗ поверхностных сигналов с учетом непрямой геометрии рельса. [1,2]

**Последние достижения**

Теоретическое изучение рэлеевских волн в упругом полупространстве было выполнено различными авторами и опубликовано в докладах [1]. В них описаны особенности возбуждения волн Рэля ЭМА преобразователями, получены аналитические выражения, позволяющие установить основные закономерности их распространения и ослабления, зависимость от параметров ЭМА преобразователей (Электро-Магнитный- Акустический преобразователь), контролируемого материала и др. Однако экспериментально полученные решения не были подтверждены.

**Цель статьи**

Привести результаты исследований рэлеевских волн, генерируемых ЭМА-преобразователями. Установить их зависимость от расстояния излучателя до точки приема, особенности воздействия толщины образца на характер распространения.

**Материал исследования**

Измерение проводилось в рельсе ЭМА - преобразователями волн Рэля, один из которых (излучатель) излучал, а другой (приемник) принимал соответствующие сигналы (рис. 1).

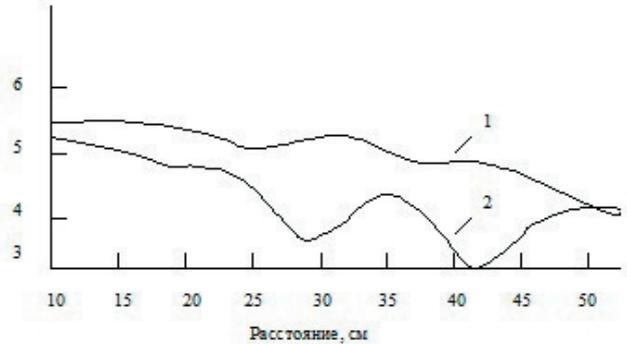


Рис. 1. Ослабление амплитуд волн Рэля с расстоянием в рельсе на различных частотах, МГц: 1-0,5; 2 – 0,25

Из данных измерения следует, что амплитуды волн Рэлея с расстоянием в рельсе на различных частотах убывает немонотонно. Особенно это характерно для частоты 0,25 МГц: наблюдаются устойчивые минимумы на расстояниях 30 и 45 см, но заметны также и на частоте 0,5 МГц при 25 и 40 см. Природа указанных минимумов пока не выяснена, но очевидно, что она связана с формой исследуемого объекта.[3,4,5]

Далее измерения продолжили на образцах другой пространственной формы. В частности, они проводились на тех же частотах с помощью прямоугольного образца длиной 80 см, шириной 20 см и толщиной 2 см. Причем, в одних опытах излучатель и приемник располагали на одной стороне образца, а в других - на противоположных. При этом одновременно поучали как прямые, так и отраженные от противоположной грани образца сигналы, которые различались по времени прихода звука к приемнику. На расстоянии 32,5 см прямая и переотраженная волны слились, а затем на расстоянии -10 см опять разошлись. Причем, начиная с расстояния от 20 до 32,5 см амплитуда переотраженной волны оказалась больше, чем прямой, и это приводит к соответствующему уменьшению величины последней. По-видимому, именно этим и объясняются замеченные выше минимумы в амплитуде прямой волны, измеряемой в рельсе.[6,7]. Аналогичный эксперимент был также проведен в случае, когда излучатель и приемник располагали по разные стороны одного и того же образца.

Оказалось, что в данном образце волны Рэлея наблюдали даже тогда, когда приемник располагался непосредственно над излучателем и амплитуда ее была максимальной. В то же время переотраженная волна появилась только с расстояния 35 см и ее амплитуда была соизмеримой с таковой у прямой волны на данной дистанции. И эти обстоятельства свидетельствуют о сложной природе возбуждения рассматриваемой волны.

Далее рассмотрим поведение волны Рэлея, распространяемой в том же образце, на частоте 0,5 МГц. В данном опыте переотраженные волны не наблюдаются, а при размещении излучателя и приемника по разные стороны образца амплитуды принимаемых сигналов оказываются существенно разными.

Причем, и в этом случае волна Рэлея возникает непосредственно над излучателем.[8].

Как и следовало ожидать, направленность излучения оказывается более высокой при большей рабочей частоте и ее можно оценить с помощью выражения:

$$R = \frac{\sin(\omega L \sin \theta / 2C_R)}{\omega L \sin \theta / 2C_R} \quad (1)$$

где  $\omega$  - круговая частота,  $\omega = 2\pi f$ ;  $f$  - рабочая частота;  $L$  - длина рабочей части токопровода (у рассматриваемого преобразователя она равна примерно 10 мм);  $C_R$  - скорость волны Рэлея (в малоуглеродистой стали она соответствует 3 мм/с);  $\theta$  - угол наблюдения.

Измерения проводятся с помощью типового ЭМА-преобразователя, работающего в совмещенном режиме и нагруженного на частоту 0,5 МГц, при которой возбуждаются волны Рэлея.

Очевидно, что уменьшение амплитуды с расстоянием объясняется в основном характером рассеивания от цилиндрического дефекта, чем ослаблением рэлеевской волны. Потому форма дефекта оказывает существенное воздействие на характер ослабления принимаемых от него сигналов, что является вполне естественным.

---

### Выводы

---

При перемене места расположения излучателей и приемников отражение рэлеевской волны существенно не изменяется, т. е. для, указанной волны не существенен отражается ли она площадкой, понижающейся или повышающейся нормально с глубиной. В обоих случаях это отражение оказывается примерно одним и тем же.

На частоте 0,25 МГц ослабление прошедшей волны при пересечении каждой из площадок убывает значительно меньше, чем на частоте 0,5 МГц. И это ослабление нельзя объяснить только понижением частоты. Очевидно, что оно носит резонансный характер.

При перемене места расположения излучателей и приемников отражение рэлеевской волны существенно не изменяется, т. е. для указанной волны несущественно, отражается ли она площадкой, понижающейся или повышающейся нормально с глубиной. В обоих случаях это отражение оказывается примерно одним и тем же.

На частоте 0,25 МГц ослабление прошедшей волны при пересечении каждой из площадок убывает значительно меньше, чем на частоте 0,5 МГц. И это ослабление нельзя объяснить только понижением частоты в два раза. Очевидно, что оно носит резонансный характер.

---

### Литература

1. Чабанов В. Е. Исследование волн Рэлея, излучаемых электромагнитно - акустическими преобразователями / Неразрушающий контроль и диагностика материалов, конструкций и окружающей среды // Сб. докл. 5 Всероссийск. Науч. - практ.сем. - С. -Петербург, Питер 2004. - С. 111-123.
2. Александров А.А. Вибрация и вибродиагностика судового оборудования. - Л.: Судостроение, 1996. - 273с.
3. Балицкий Ф.Я. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов. - М.: Наука, 1984. - 129с.
4. Григорьев Н.В. Вибрация энергетических машин: Справочное пособие. - Л.: Машиностроение, 1983.- 464с.
5. Карасев В.А. Доводка эксплуатируемых машин: Вибродиагностические методы. - М.: Машиностроение, 1986. - 192с.
6. Каталог приборов для анализа звука, вибраций и обработки данных.- Нэрум: Дания, фирма «Брюль и Кьер», 1989-90 гг.
7. Ключева В.В. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара: Справочник. В 2-х кн. - М.: Машиностроение, 1978. - Кн.1. - 448с. - Кн.2 - 439с.
8. Ширман А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. - М.: Издательский центр «Академия», 1996. - 317с.