

впровадження по даному питанню, являється заміна приміських поїздів, що складаються, в основному, із маневрового тепловоза та кількох пасажирських вагонів на сучасні рейкові автобуси. Вирішення питання забезпечення пасажирських перевезень таким способом дозволить значно скоротити витрати паливо-енергетичних ресурсів та дасть можливість зберегти та підтримувати низьконапружені ділянки залізниці в діючому стані та забезпечить обслуговування пасажиропотоку.

**Ключові слова:** рейковий автобус, пасажирські перевезення, дизель-поїзд, оновлення парку рухомого складу.

---

Согласно «Программе энергосбережения на железнодорожном транспорте Украины» и «Государственной целевой программы реформирования железнодорожного транспорта» принято решение о поиске решений проблемы обеспечения пассажирских перевозок на малонапряженных линиях с сохранением движения поездов. Одним из наиболее оптимальных методов, который принято к внедрению по данному вопросу, является замена пригородных поездов, состоящих, в основном, из маневрового тепловоза и нескольких пассажирских вагонов на современные рельсовые автобусы. Решение

вопроса обеспечения пассажирских перевозок таким способом позволит значительно сократить расходы топливно-энергетических ресурсов и позволит сохранить и поддерживать низконапряженные участки железной дороги в действующем состоянии и обеспечить обслуживание пассажиропотока.

**Ключевые слова:** рельсовый автобус, пассажирские перевозки, дизель-поезд, обновление парка подвижного состава.

---

According to “Programme of Energy-Saving at the Railway of Ukraine” and “State Target Programme of Railway Reforming” the decision was taken to search for solution of the problem of performing passenger transfer at minor railways preserving trains schedule (movement). One of the most efficient methods employed in relation to the issue is the replacement of local trains consisting mostly of shunting diesel locomotive and several passenger cars with modern rail buses. Such a solution of the problem of performing of passenger transfer will allow to reduce considerably the fuel and energy resources consumption, and to conserve and support low-powered parts of the railways in effect, and to carry out passenger traffic servicing.

**Keywords:** trainbus, passenger, diesel-trainfleetrenewalofrollingstock.

УДК 629.4: 620.179.16

БАСОВ Г.Г., д.т.н., професор (Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля)

КІРЄЄВ А.М., к.т.н., доцент (Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля)

ГОРОБЧЕНКО О.М., к.т.н., доцент (ДонІЗТ)

### **Аналіз методів дефектометрії при ультразвуковому діагностуванні елементів та систем рухомого складу залізниць**

---

#### **Вступ**

---

В транспортному комплексі таких держав як Україна та Росія залізничний транспорт займає найбільш вагоме місце. У зв'язку з підвищенням об'ємів перевезень вантажів та пасажирів перед підприємствами, швидкостей руху на залізницях, особлива увага надається забезпеченню безпеці руху на залізницях.

Безпека руху залежить від стану залізничної колії, справної роботи систем автоматизації та сигналізації, якості та надійності в експлуатації рухомого складу залізниць.

---

#### **Постановка проблеми**

---

Для забезпечення якості та надійності при виготовленні та в експлуатації елеме-

нти та системи рухомого складу піддаються комплексу заходів технічного діагностування. До заходів технічного діагностування входить багато контрольних операцій, у тому числі операції ультразвукового неруйнівного контролю на відсутність внутрішніх неприпустимих несучільностей (дефектів).

Класифікація несучільностей знайдених в процесі ультразвукового контролю як припустимих або як дефектів здійснюється шляхом порівняння амплітудної характеристики луна-сигналу від несучільності з амплітудною характеристикою луна-сигналу від еталонного відбивача в стандартному зразку підприємства. Однак інколи окрім припустимості несучільності необхідно знати різні параметри несучільності (еквівалентний розмір, тип несучільності – площинна або об'ємна, кут нахилу площинної несучільності) для того, щоб знати як ця несучільність буде поводити себе в експлуатації. Для визначення параметрів несучільностей розробляються методи та засоби дефектометрії.

В роботі була поставлена задача аналізу методів дефектометрії при ультразвуковому діагностуванні елементів та систем рухомого складу залізниць.

### Результати досліджень

Несучільності що виникають в елементах та системах рухомого складу можуть мати як площинний (тріщини, флокени, ліквациї та т.п.) так і об'ємний (пори, раковини, силікати та т.п.) характер, також несучільності можуть бути точковими або протяжними. При ультразвуковому контролі ставиться задача визначення типу несучільностей. Для визначення типу несучільності необхідно проводити контроль з трьох взаємно перпендикулярних поверхонь та порівнювати амплітудну характеристику луна сигналів від несучільності з різних поверхонь введення ультразвукової хвилі. Але коли контроль проводиться тільки з однієї поверхні визначити тип несучільності методом порівняння амплітуд

неможливо. В роботах [1 – 3] розроблений метод визначення типу точкової та протяжної несучільності при ультразвуковому контролі елементів рухомого складу залізниць при контролі з однієї поверхні. Метод оснований на визначенні амплітудної характеристики від несучільності на частотах ультразвукової хвилі 2,5 МГц та 5,0 МГц та порівняння різниці амплітудних характеристик з граничними значеннями одно з яких відповідає об'ємній несучільності, інше – площинній.

На базі отриманого математичного апарату був розроблений програмний продукт NDTRT-07 який дозволяє автоматизувати процес визначення типу як точкової та і протяжної несучільності [4].

Аналітичні залежності для розрахунку граничних значень для площинної та об'ємної несучільностей:

- граничне значення для площинної точкової несучільності:

$$v_{пл.т.} = 20 \lg \left( \frac{\lambda_{5,0}^2 \cdot S_{a2,5}}{\lambda_{2,5}^2 \cdot S_{a5,0}} \cdot \left( \frac{\lambda_{2,5} \cdot S_{a5,0}}{\lambda_{5,0} \cdot S_{a2,5}} \right)^{\frac{x}{x_0}} \right),$$

де  $\lambda_{2,5}$ ,  $\lambda_{5,0}$  – довжина ультразвукової хвилі на частотах 2,5 МГц та 5,0 МГц відповідно, мм;  $S_{2,5}$ ,  $S_{5,0}$  – площа п'єзоелектричного елемента перетворювача с частотою 2,5 МГц та 5,0 МГц відповідно, мм<sup>2</sup>;  $x$  – відстань від поверхні введення ультразвукової хвилі до несучільності, мм;  $x_0$  – відстань від поверхні введення ультразвукової хвилі до донної поверхні, мм.

- граничне значення для об'ємної точкової несучільності:

$$v_{об.т.} = 20 \lg \left( \frac{\lambda_{5,0} \cdot S_{a2,5}}{\lambda_{2,5} \cdot S_{a5,0}} \cdot \left( \frac{\lambda_{2,5} \cdot S_{a5,0}}{\lambda_{5,0} \cdot S_{a2,5}} \right)^{\frac{x}{x_0}} \right);$$

- граничне значення для площинної протяжної несучільності:

$$v_{пл.пр.} = 20 \lg \left( \frac{\sqrt{\lambda_{5,0}^3} \cdot S_{a2,5}}{\sqrt{\lambda_{2,5}^3} \cdot S_{a5,0}} \cdot \left( \frac{\lambda_{2,5} \cdot S_{a5,0}}{\lambda_{5,0} \cdot S_{a2,5}} \right)^{\frac{x}{x_0}} \right);$$

- граничне значення для об'ємної протяжної несучільності:

$$v_{об.пр.} = 20 \lg \left( \frac{\lambda_{5,0} \cdot S_{a2,5}}{\lambda_{2,5} \cdot S_{a5,0}} \cdot \left( \frac{\lambda_{2,5} \cdot S_{a5,0}}{\lambda_{5,0} \cdot S_{a2,5}} \right)^{\frac{x}{\lambda}} \right)$$

Для зменшення часу на операції дефектометрії в роботі [5] була запропонована конструкція комбінованого перетворювача П131-2,5/5,0-12/6. Ескіз перетворювача представлений на рис. 1.

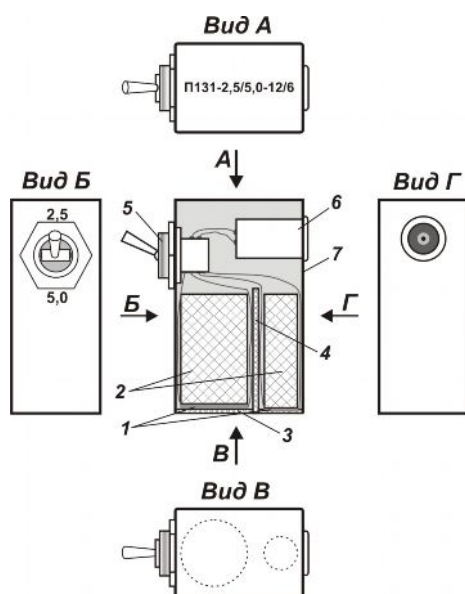


Рис. 1. Перетворювач П131-2,5/5,0-12/6.

Комбінований перетворювач П131-2,5/5,0-12-6 містить: два напівхвильових п'єзоелектричних елементи 1 діаметром 12 мм (для частоти 2,5 МГц) та 6 мм (для частоти 5,0 МГц); демпфери 2, для гасіння вільних коливань п'єзоелектричного елемента, тобто для отримання коротких імпульсів; протектор 3, призначений для захисту п'єзоелектричних елементів від механічних пошкоджень та зносу при скануванні об'єкту контролю; акустичний екран 4, призначений для акустичного розділу між перетворювачами на частоті 2,5 та 5,0 МГц; тумблер 5, призначений для переключення між частотами; роз'єм 6, призначений для підключення перетворювача до високочастотного кабелю дефектоскопу; корпус 7, призначений для захисту елементів перетворювача. Для захисту

елементів перетворювача від механічних пошкоджень, вологозахищеності та теплозахищеності корпус перетворювача зливають компаундом.

В елементах рухомого складу, що виготовляються шляхом штамповано-катаного виробництва, переважно зустрічаються несучільності площинного типу. Максимальне відбиття ультразвукової хвилі при контролі луна-методом спостерігається при розташуванні несучільності паралельно поверхні введення ультразвукової хвилі. При розташуванні несучільності під невеликим кутом до поверхні введення, спостерігається зменшення амплітуди, унаслідок відходу у бік ультразвукової хвилі, яке може привести до недостовірної оцінки несучільності та допуску в експлуатацію виробів з неприпустимими внутрішніми несучільностями.

В роботах [3, 6, 7] запропонований метод визначення кута нахилу площинної несучільності к поверхні введення ультразвукової хвилі при ультразвуковому діагностуванні елементів та систем рухомого складу залізниць.

Метод оснований на визначенні амплітудної характеристики луна сигналу від несучільності при нормальному введенні поздовжньої ультразвукової хвилі та при введенні поздовжньої ультразвукової хвилі під кутом  $18^0$ . Для реалізації методу використовується стандартний комбінований п'єзоелектричний перетворювач П131-2,5-0и18-ВО-04 [8].

Аналітична залежність для визначення кута нахилу площинної несучільності к поверхні введення ультразвукової хвилі має вигляд:

$$\alpha = \frac{363.64 \cdot \gamma + 2000.02 + 18.182 \cdot x}{313.821 + x},$$

де:  $\gamma = N_{П18} - N_{П0}$ ;  $N_{П18}$  – амплітудна характеристика луна-сигналу від несучільності при введенні ультразвукової хвилі під кутом  $18^0$ , дБ;  $N_{П0}$  – амплітудна характеристика луна-сигналу від несучільності при нормальному введенні ультразвукової хвилі, дБ;  $x$  – відстань від поверхні вве-

дення ультразвукової хвилі до несучільності, мм.

Аналітична залежність для визначення коефіцієнту коректування чутливості ультразвукової апаратури при розташуванні площинної несучільності під кутом  $\alpha$  до поверхні введення ультразвукової хвилі має вигляд:

$$K_{\alpha} = \frac{20.202(20\gamma + x + 110) \lg \left( e^{(-2x\Delta\delta_{0-18})} \right)}{313.821 + x},$$

де  $\Delta\delta_{0-18} = 0,008986478$ , Нп/мм.

За наслідками проведених досліджень був розроблений програмний продукт NDTRT-2 для автоматизації операції визначення кута нахилу плоскої несучільності до поверхні введення ультразвукової хвилі  $\alpha$  і коефіцієнта коректування чутливості ультразвукової апаратури  $K_{\alpha}$ .

Однак критерії, що відповідають точковій площинній несучільності нахиленої к поверхні введення ультразвукової хвилі в вище представленому методі також можуть підійти і до об'ємної несучільності.

В роботі [9] запропонований метод визначення, чи є несучільність, знайдена в результаті ультразвукового контролю луна-методом в елементі екіпажної частини рухомого складу об'ємною або площинною, розташованою паралельно поверхні введення ультразвукової хвилі, або площинної нахиленої до поверхні введення ультразвукової хвилі.

Метод складається у наступному:

- при виявленні прямим перетворювачем луна-сигналу від точкової несучільності в контрольованому виробі, здійснюється пошук максимуму амплітудної характеристики луна-сигналу від цієї несучільності при використуванні комбінованого перетворювача П131-2,5-0и18-ВО-04 включеного на  $18^0$  (рис. 2, 3, положення I перетворювача);

- наступним етапом здійснюється пошук максимуму амплітудної характеристики луна-сигналу від несучільності при розташування перетворювача П131-2,5-0и18-ВО-04 напроти первинного

положення (рис. 2, 3, положення II перетворювача);

- у разі, коли амплітудна характеристика луна-сигналу від несучільності в положенні I і II перетворювача приблизно однакові (рис. 2, 3), несучільність є або об'ємною, або площинній розташованою паралельно поверхні введення ультразвукової хвилі. Визначення типу несучільності здійснюється вище розглянутим методом з використанням програмного продукту NDTRT-07;

- у разі, коли амплітудна характеристика луна-сигналу від несучільності в положенні I і II перетворювача різні та луна-сигнали розташовані на різній глибині (рис. 4), несучільність є площинною і розташована під кутом до поверхні введення ультразвукової хвилі. Кут нахилу несучільності та коефіцієнти коректування чутливості ультразвукової апаратури визначається вище розглянутим методом з використанням програмного продукту NDTRT-2.

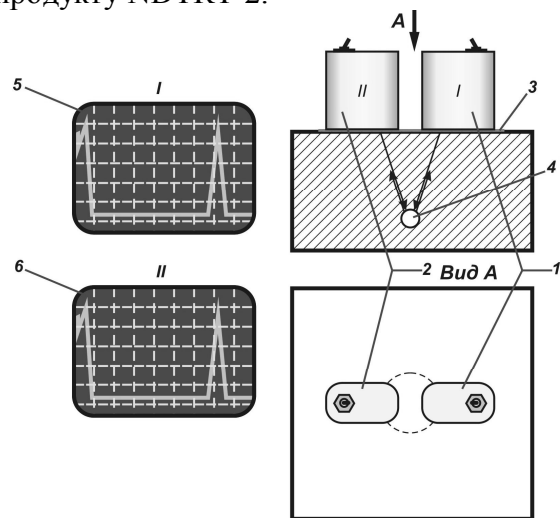


Рис. 2. Схема розташування перетворювача та осцилограми луна-сигналу відбитого від об'ємної несучільності: 1 – розташування перетворювача в положенні I; 2 – розташування перетворювача в положенні II; 3 – контактна рідина; 4 – модель несучільності; 5 – осцилограма луна-сигналу від несучільності при положенні перетворювача I; 6 – осцилограма луна-сигналу від несучільності при положенні перетворювача II.

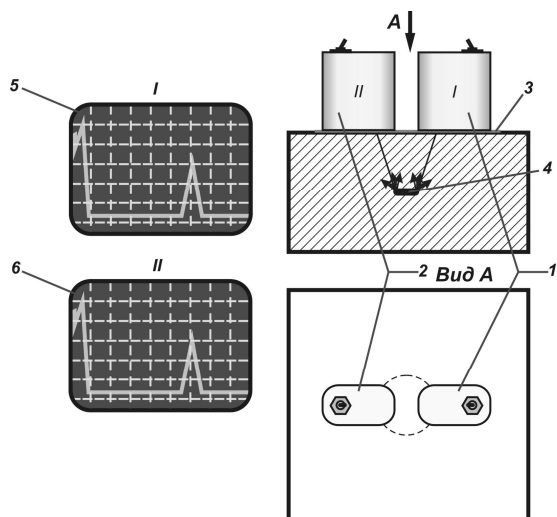


Рис. 3. Схема розташування перетворювача та осцилограми луна-сигналу відбитого від площинної несучільності розташованої паралельно поверхні введення ультразвукової хвилі.

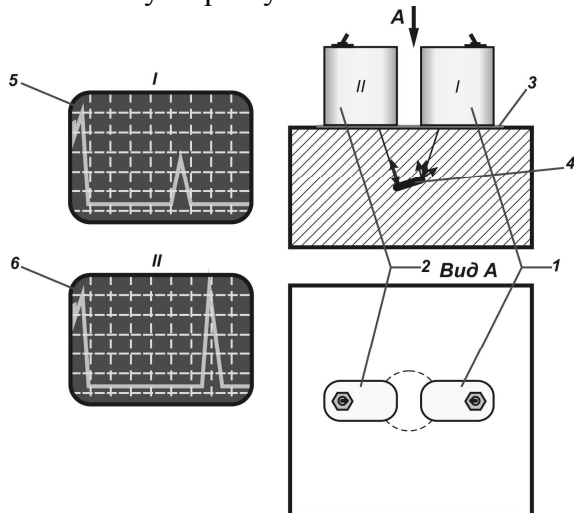


Рис. 4. Схема розташування перетворювача та осцилограми луна-сигналу відбитого від площинної несучільності розташованої під кутом до поверхні введення ультразвукової хвилі.

Розроблений метод дозволяє вирішити питання неоднозначності в методах дефектометрії.

В роботах [3, 10] розроблений метод та програмний продукт NDTRT-01 для визначення еквівалентного розміру об'ємної або площинної, розташованої паралельно поверхні введення ультразвукової хвилі, несучільності, знайденої в процесі ультразвукового контролю елементів та систем рухомого складу залізниць.

Коли несучільність визначена як площинна та розташована під кутом до поверхні введення ультразвукової хвилі її еквівалентний розмір визначається за допомогою метода та програмного продукту NDTRT-08 запропонованих в роботі [11].

Аналітична залежність для розрахунку еквівалентного діаметру площинної несучільності, розташованої під кутом до поверхні введення ультразвукової хвилі, має вигляд:

$$d_{\text{екк.пл.накл.}} = \frac{N_{\text{пл.накл.}}}{\pi d_a e^{-\delta \cdot x}},$$

де:

$$N_{\text{пл.накл.}} = (N_{\text{П0}} (313,821 + x + 404,041 \lg(e^{-0,017972956 \cdot x})) - 20,202(20N_{\text{П18}} + x + 110) \lg(e^{-0,017972956 \cdot x})) / (313,821 + x);$$

$$\delta = - \frac{\ln \left( \frac{10^{\frac{N_{\delta}}{20}} 2 \lambda x_{\delta}}{S_a} \right)}{2 x_{\delta}}$$

## Висновки

В роботі проведений аналіз методів дефектометрії при ультразвуковому діагностуванні елементів та систем рухомого складу залізниць.

Розглянуті методи призначенні для визначення параметрів несучільностей при проведенні ультразвукового контролю в ручному режимі з використанням одноканальних ультразвукових дефектоскопів.

Проаналізовані методи дозволяють визначити тип знайденої несучільності (площинна або об'ємна), кут нахилу площинної несучільності до поверхні введення ультразвукової хвилі, вирішити питання неоднозначності при використанні методів дефектометрії, визначити еквівалентний розмір знайденої в процесі контролю несучільності.

Знання о параметрах несучільностей отримані при використанні методів дефектометрії дозволяють підвищити достовірність та інформативність результатів ультразвукового діагностування елементів та систем рухомого складу залізниць.

## Література

1. Киреев А.Н. Определение типа несплошности при ультразвуковом диагностировании элементов экипажной части тягового подвижного состава железных дорог / А.Н. Киреев // Залізничний транспорт України – К., 2011. – №2 – С. 60-62.
2. Басов Г.Г. Визначення типу протяжної несучільності при ультразвуковому діагностуванні елементів екіпажної частини рухомого складу залізниць / [Г.Г. Басов, А.М. Киреев, О.М. Горобченко, Ю.В. Радченко] // Збірник наукових праць ДонІЗТ - Донецьк, 2011. – №26. – С. 124-129.
3. Киреев А.М. Наукові основи та практична реалізація вдосконалення ультразвукового контролю елементів та систем рухомого складу залізниць: Монографія / А.М. Киреев. – Луганськ: Вид-во „Ноулідж”, 2012. – 142с.
4. Киреев А.Н. Совершенствование методов определения типа дефекта при ультразвуковом контроле элементов подвижного состава железных дорог / А.Н. Киреев, А.И. Шевченко, А.Н. Горобченко // Збірник наукових праць ДонІЗТ - Донецьк, 2012. – №32. – С. 158-161.
5. Басов Г.Г. Комбінований перетворювач для вирішення задач дефектометрії при ультразвуковому діагностуванні елементів та систем рухомого складу залізниць / Г.Г. Басов, А.М. Киреев, О.В. Малов // Локомотив-інформ. – Харьков, 2013. – №3. – С. 37-38.
6. Киреев А.Н. Влияние наклона плоских дефектов к поверхности ввода ультразвуковой волны на достоверность диагностирования элементов экипажной части подвижного состава железных дорог ультразвуковым эхо-методом [Електронний ресурс] / А.Н. Киреев // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2009. – № 6Е – Режим доступу до журн: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Vsunud/index.html>
7. Басов Г.Г. Підвищення вірогідності ультразвукового діагностування елементів рухомого складу залізниць за рахунок обліку нахилу плоских

- дефектів до поверхні вводу ультразвуку. / Г.Г. Басов, А.М. Кіреєв // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2011. – № 4(158). – ч. 2. – С. 107-114.
8. Інструкція з ультразвукової дефектоскопії відповідальних деталей та нероз'ємних вузлів при ремонтах ТРС і МВРС: ЦТ-0069 – [Введена у дію 2003-11-07] – К.: Укрзалізниця, 2003. – 223с.
9. Киреев А.Н. Оценка достоверности методов дефектометрии при ультразвуковом диагностировании элементов и систем подвижного состава железных дорог. / А.Н. Киреев // Локомотив-информ. – Харьков, 2013. – №1. – С. 13-15.
10. Киреев А.Н. Определение эквивалентного размера несплошности при диагностировании элементов подвижного состава ультразвуковым методом./ А.Н. Киреев, В.И. Додонов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2008. – № 5(123). – ч. 2. – С. 108-111.
11. Киреев А.Н. Определение эквивалентного размера наклонного дефекта при ультразвуковом диагностировании элементов и систем подвижного состава железных дорог / А.Н. Киреев, А.Л. Кашура, А.И. Шевченко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2012. – № 18(189). – С. 88-92.

### Анотації:

Представлений аналіз методів та засобів дефектометрії при діагностуванні відповідальних елементів та систем рухомого складу залізниць ультразвуковим методом.

**Ключові слова:** неруйнівний контроль, ультразвуковий контроль, ультразвукова хвиля, луна-сигнал, дефект, дефектометрія.

---

Представлен анализ методов и средств дефектометрии при диагностировании ответственных элементов и систем подвижного состава железных дорог ультразвуковым методом.

---

Presents an analysis of methods and tools for diagnosing defectometry critical components and systems for railway rolling ultrasonic method.

