

УДК 629.4.083:629.45

## ПРИСТРІЙ АКУСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ КОЛІСНИХ ПАР НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА

Кандидати техн. наук В. В. Бондаренко, Д. І. Скуріхін, магістрант Я. П. Мельник

## УСТРОЙСТВО АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КОЛЕСНЫХ ПАР НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Кандидаты В. В. Бондаренко, Д. И. Скурихин, магистрант Я. П. Мельник

## ACOUSTIC DIAGNOSTIC DEVICE FOR WHEELSETS BASED ON MICROCONTROLLER

Ph.D. Bondarenko V., Ph.D. Skurikhin D., Master student Melnyk Ya.

*На основі попередніх досліджень сформульовано завдання та запропоновано новий пристрій акустичного контролю колісних пар вагонів під час руху на основі мікроконтролера. Ця реалізація способу та пристрою акустичного контролю колісних пар вагонів має значну гнучкість і дає змогу допрацьовувати алгоритм роботи модуля обробки звука, швидко змінювати та легко налаштовувати компоненти схеми, що в цілому підвищує достовірність діагнозу.*

**Ключові слова:** вагон, колісні пари, акустичний контроль, короткі нерівності, мікроконтролер, імітатор акустичного сигналу.

*На основе предыдущих исследований сформулированы задачи и предложено новое устройство акустического контроля колесных пар вагонов во время движения на основе микроконтроллера. Данная реализация способа и устройства акустического контроля колесных пар вагонов имеет значительную гибкость и позволяет дорабатывать алгоритм работы модуля обработки звука, быстро менять и легко настраивать компоненты схемы, в целом повышает достоверность диагноза.*

**Ключевые слова:** вагон, колесные пары, акустический контроль, короткие неровности, микроконтроллер, имитатор акустического сигнала.

*The publication, based on previous research tasks are formulated and offered a new device acoustic control car wheelsets based on the microcontroller. In the system, microphones are fixed under the body of railway vehicle to record and analyze the frequency content of the acoustic signal for wheels (and potentially for bearings) and alarm if specific defect frequency is detected during operation.*

*This system can be simple integrated into the traditional onboard monitoring (diagnostic) system of railway train because it is wireless (uses microphones and doesn't require place wires from axle-box accelerometer sensors to body of vehicle). This implementation of the method and device acoustic control car wheelsets has great flexibility and allows modifying the algorithm of the signal processing module, to change quickly and easily adjust the circuit components, generally increases the accuracy of the diagnosis.*

*This onboard acoustics diagnostic system is more accurately and effective then known wayside acoustic detective systems, which have problems with accurately diagnosing caused by the Doppler Effect especially when vehicles pass by at high speeds.*

**Keywords:** car wheelsets, acoustic diagnostic, short irregularities, microcontroller, simulator of acoustic signal.

**Вступ.** Технічний стан колісних пар безпосередньо впливає на безпеку руху поїздів, а його зміна під час рейсу створює аварійні умови експлуатації. Короткі ізольовані нерівності на поверхні кочення коліс є однією з найпоширеніших відмов ходових частин, які знижують довговічність осей колісних пар та підшипників буксових вузлів. Непідресорені елементи ходових частин пасажирського вагона за весь термін служби при експлуатації без ушкоджень поверхні кочення колеса сприймають орієнтовно  $37 \cdot 10^4$  ударів із прискореннями  $j \geq 450 \text{ м/с}^2$  взимку та  $j \geq 300 \text{ м/с}^2$  влітку. При експлуатації колісної пари з короткими нерівностями на поверхні кочення частота появи зазначених прискорень збільшується:

- для  $k = 2$  – в 20,5 разу;
- для  $k = 3$  – у 32 рази, ( $k$  – коеф. динамічного перевантаження).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз технології експлуатації та технічного обслуговування пасажирських вагонів показав, що на залізницях України немає засобів автоматизованого контролю технічного стану колісних пар під час руху поїздів, окрім теплових. Відмови колісних пар виявляють оглядачі вагонів на станціях, що не задовольняє вимоги підвищення достовірності, автоматизації та оперативності контролю технічного стану вагонів.

Використання ефективних методів та засобів контролю технічного стану найбільш відповідальних елементів вагонів дає змогу поєднати планово-попереджувальну систему ремонту та технічного обслуговування вагонного парку з більш доцільною з економічної точки зору системою ремонту за технічним станом [2, 5-7].

Бортові системи безперервного контролю ходових частин вагонів під час руху існують лише на стадії розробок і не впроваджені в експлуатацію: система АСТК і пристрій на базі електромагнітно-акустичних перетворювачів. У цих системах первинні перетворювачі (датчики вібрації) встановлені на елементах ходових частин, що обумовлює такі недоліки: громіздкість конструкції, невисоку надійність і складності при технічному обслуговуванні вагонів.

Запропоновано альтернативний підхід до контролю технічного стану колісних пар під час руху вагона, в основі якого лежить реєстрація пружних коливань колісної пари через повітря датчиками, які розташовані на рамі вагона [1, 3].

У ході досліджень [4] було науково обґрунтовано підхід до контролю технічного стану колісних пар шляхом реєстрації їх акустичних коливань, сформульовано технічне завдання та виготовлено макетний зразок бортового акустичного пристрою (рис. 1).



Рис. 1. Макетний зразок пристрою акустичного контролю та імітатор звука взаємодії колеса з рейкою

**Визначення мети та задачі дослідження.** Під час подальших досліджень цього методу контролю з'ясовано, що вищевказані аналізатор та імітатор акустичного сигналу мають ряд недоліків:

- виконані на аналоговій елементній базі;
- складні для налаштування;
- неможливо змінити алгоритм роботи аналізатора.

У зв'язку з цим було поставлено завдання розробити макетний зразок бортового пристрою контролю колісних пар на цифровій елементній базі. Для його вирішення було виділено такі завдання:

- 1) на основі методу акустичного контролю розробити алгоритм та написати

програмний код мовою C для обробки акустичного сигналу;

- 2) зібрати схему на основі мікроконтролера AVR ATmega328, яка додатково включає в себе: мікрофон, індикатор, дзвоник та будь-який імітатор акустичного сигналу взаємодії колеса з рейкою;

- 3) виконати налаштування пристрою.

**Основна частина дослідження.** Як математичне обґрунтування та розроблення на основі нього програмного коду наведемо деякі подробиці застосованого методу акустичного контролю.

Для моделювання руху колеса з повзуном на колісній парі використовувалася залежність:

$$Q(t) = \frac{Q_{cm} (T_0 - t_{y\delta}) + Q_{\delta} t_{y\delta}}{T_0} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ 2 \left( \frac{Q_{\delta} - Q_{cm}}{\pi n} \right) \left( \cos \frac{\pi n (2t_z + t_{y\delta})}{T_0} \sin \frac{\pi n t_{y\delta}}{T_0} \right) + 2 \left( \frac{Q_{\delta} - Q_{cm}}{\pi n} \right) \left( \sin \frac{\pi n (2t_z + t_{y\delta})}{T_0} \sin \frac{\pi n t_{y\delta}}{T_0} \right) \right] \quad (1)$$

де  $t_z$  – зсув у часі відносно  $t = 0$ ;

$n$  – кількість імпульсів у послідовності;

$t_{y\delta}, T_0$  – тривалість і період імпульсів;

$Q_{\delta}$  – сила удару колеса по рейці;

$Q_{cm}$  – статичне навантаження від колеса на рейку.

Імпульсна послідовність (1) була використана як збурюючий вплив, що діє на колісну пару. Після чого у результаті моделювання вимушених коливань розраховані віброшвидкості коливань поверхні колісної пари.

Шумовипромінення від колісної пари в підвагонний простір розглянуте як

зовнішня необмежена акустична задача. Розв'язання задач такого типу методом скінченних елементів є неефективним і трудомістким процесом через необхідність дискретизувати нескінченну область. У цій ситуації раціональним є метод граничних елементів ВЕМ (Boundary Element Method), у якому рівняння, що управляє нескінченною областю, знижують до рівняння за скінченною границею.

Звуковий тиск у підвагонному просторі згідно з методом граничних елементів визначений через матрицю акустичного перетворення АТМ (Acoustic Transfer Matrix):

$$p = \{ATV(\omega)\}^T \cdot \{v_{ns}(\omega)\}, \quad (2)$$

де  $p$  – звуковий тиск у підвагонному просторі;

$\omega$  – частота коливань;

$\{v_{ns}(\omega)\}$  – вектор-стовпець, що містить нормальні швидкості поверхні колісної пари.

Для різних частот були проведені розрахунки з метою визначення місця найбільшої інтенсивності звукових

коливань колісної пари у підвагонному просторі. З'ясовано, що звуковий тиск у підвагонному просторі розподіляється нерівномірно з найбільшою концентрацією біля кінців повздовжніх балок рами візка (рис. 2). У цих місцях доцільно розташовувати первинні перетворювачі мікропроцесорного пристрою акустичного контролю.

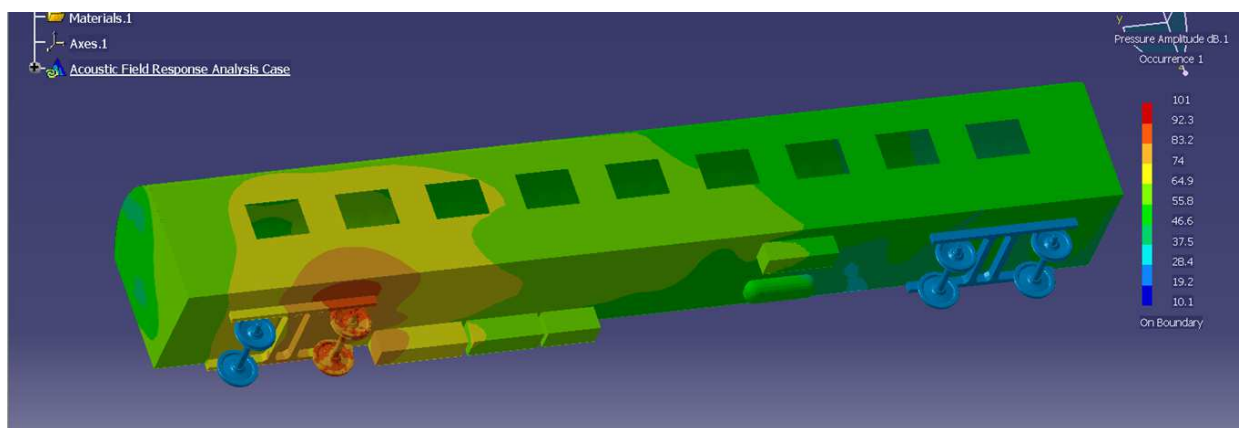


Рис. 2. Розподілення звукового тиску в підвагонному просторі від коливань колісної пари

Для виділення послідовності імпульсів ударів колеса з повзуном по рейці із звукового сигналу використовувалась допоміжна послідовність прямокутних імпульсів тривалістю  $2\Delta\tau_i$  з амплітудою, рівною одиниці:

$$\sigma_i(t) = \sum_{k=0} \sigma'_i(t - t_i - kT_i); \quad (3)$$

$$\sigma'_i(t) = \begin{cases} 1 & \text{для } -\Delta\tau_i \leq t \leq \Delta\tau_i; \\ 0 & \text{для } |t| \geq \Delta\tau_i. \end{cases}, \quad (4)$$

де  $t_i$  – інтервал часу між початком відліку й першим імпульсом;

$k$  – номер імпульсу;

$T_i$  – період проходження імпульсів;

$\Delta\tau_i$  – зсув імпульсу.

При множенні імпульсні послідовності збігаються, що відповідає наявності в сигналі періодичної складової, тобто повзуна на колісній парі. Для більш достовірного діагнозу нами використаний ще один діагностичний параметр – кількість імпульсів, що збіглися підряд.

Цей математичний апарат був використаний при написанні програмного коду, після чого зібраний і запрограмований пристрій акустичного контролю (рис. 3). Докладніше з роботою пристрою можна ознайомитися за відеоматеріалом [5].

Ця реалізація способу та пристрою акустичного контролю колісних пар вагонів має значну гнучкість і дає змогу допрацьовувати алгоритм роботи модуля

обробки звука, швидко змінювати та легко налаштовувати компоненти схеми, що в цілому підвищує достовірність діагнозу.

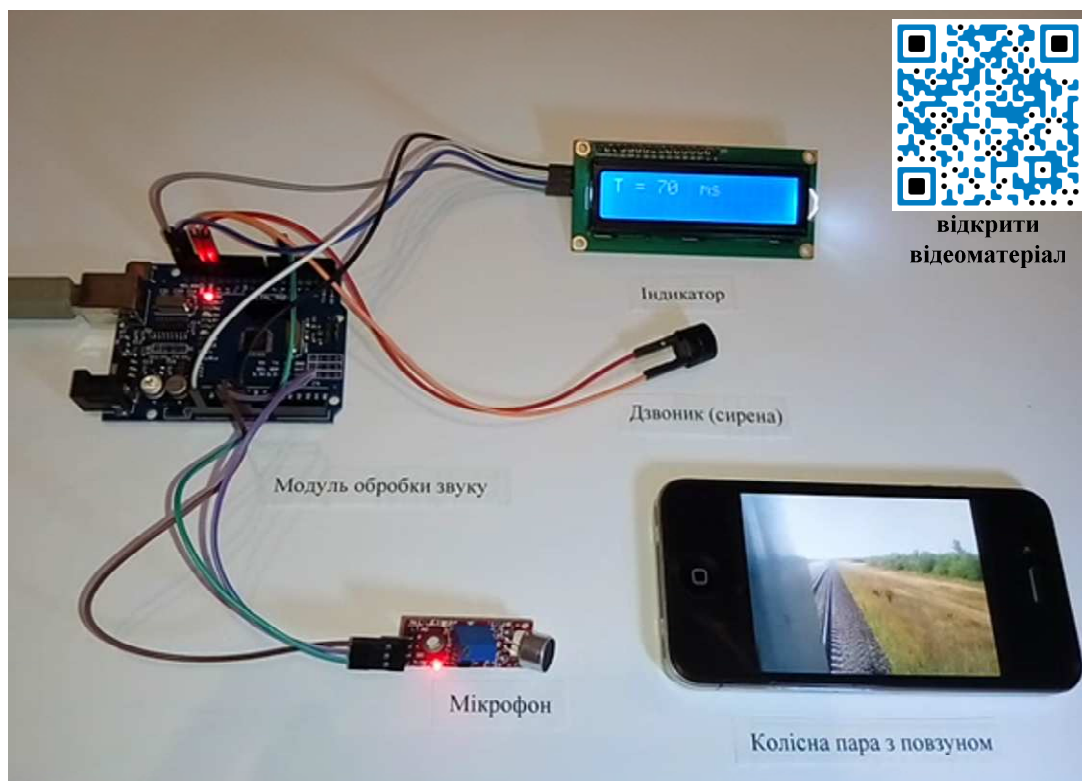


Рис. 3. Пристрій акустичного контролю колісних пар вагонів на основі мікроконтролера

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** У публікації розглянуто сучасні засоби неруйнівного контролю ходових частин вагонів, виділено їх недоліки та допрацьовано альтернативний підхід до контролю технічного стану колісних пар під час руху пасажирського вагона. На основі попередніх досліджень сформульовано завдання та розроблено

новий пристрій акустичного контролю колісних пар вагонів під час руху на основі мікроконтролера. Доведено, що пристрій акустичного контролю дає змогу автоматично визначити відмови колісних пар під час руху пасажирського вагона, відтворювати в реальному режимі часу аудіо інформацію, зняту з мікрофонів для оцінки технічного стану колісних пар експертом віддалено.

#### *Список використаних джерел*

1. Мартинов, І. Е. Підвищення експлуатаційної надійності пасажирських вагонів на основі акустичного контролю колісних пар [Текст] / І.Е. Мартинов, В.В. Бондаренко,

Д.І. Скуріхін // Вагонний парк: міжнародний інформаційно-технічний журнал. – Харків, 2011. – № 6. – С. 36-39.

2. Бондаренко, В. В. Розроблення та випробування макетного зразка пристрою акустичного контролю колісних пар [Текст] / В.В. Бондаренко, Д.І. Скуріхін, Т.В. Мосійчук // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 141. – С. 83-87.

3. Скуріхін, Д. І. Удосконалення технології технічного обслуговування та діагностики колісних пар пасажирських вагонів на основі методу акустичного контролю [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.07 “Рухомий склад залізниць та тяга поїздів” / Д. І. Скуріхін. – Харків, 2014. – 143 с.

4. Onboard Acoustic Diagnostic System of railway vehicle [Електронний ресурс]: відеохостинг YouTube. Режим доступу: <https://youtu.be/hWA4xnJubH0>.

5. Chuliang, Wei. Reliability Verification of a FBG Sensors Based Train Wheel Condition Monitoring System. Chuliang Wei; Zemin Cai; Hwa-yaw Tam; S. L. Ho; Qin Xin: 2012 Second International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application / Pages: 1091 - 1094, DOI: 10.1109/ISdea.2012.434.

6. Nicks, S. Condition monitoring of the track/train interface. S. Nicks. IEE Seminar on Condition Monitoring for Rail Transport Systems (Ref. No. 1998/501) Pages: 7/1 - 7/6, DOI: 10.1049/ic:19980980.

7. Hailstone, J. Condition monitoring for rail vehicles-a freight train operator's perspective. J. Hailstone. IEE Seminar on Condition Monitoring for Rail Transport Systems (Ref. No. 1998/501). Pages: 2/1 - 2/4, DOI: 10.1049/ic:19980975.

---

Бондаренко В'ячеслав Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-35. E-mail: [bonvua@ukr.net](mailto:bonvua@ukr.net).

Скуріхін Дмитро Ігорович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-35. E-mail: [skurikhin@i.ua](mailto:skurikhin@i.ua).

Мельник Ярослав Петрович, магістрант кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту, група 10-7-ВМз.

Bondarenko V. Ph.D., associate professor Department of Railway Cars, Ukrainian State University of Railway Transport, phone: 057-730-10-35.

Skurikhin D. Ph.D., senior lecturer Department of Railway Cars, Ukrainian State University of Railway Transport. Ph.: 057-730-10-35.

Melnyk Ia. Master student Department of Railway Cars, Ukrainian State University of Railway Transport.

Стаття прийнята 10.12.2016 р.