

УДК 534.647:625.42

**І. І. Кульбовський, к.т.н., доцент**

*(доцент кафедри «Будівельні конструкції і споруди», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)*

**О. В. Агарков, к.т.н.**

*(доцент кафедри «Теоретична та прикладна механіка», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)*

**В. І. Ящук,**

*(інженер відділу рейкової дефектоскопії, Український центр механізації колійних робіт, м. Київ)*

### МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АКУСТИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ВІБРАЦІЙНОГО ВПЛИВУ ВІД ПОЇЗДІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ НА КОНСТРУКЦІЮ ТУНЕЛЮ

*Розглянуто метрологічні засоби акустичних вимірювань вібраційного впливу від руху поїздів метрополітену на конструкцію тунелю. Проаналізовано результати вимірювань на коліях КП «Київський метрополітен» для різних конструкцій залізничної колії. Зроблено висновки щодо ефективності гасіння вібрацій конструкціями колії, на яких проводилось вимірювання.*

*Ключові слова: метрологія, акустичні вимірювання, калібрування, вібрації, рейка, колесо, метрополітен, динаміка взаємодії.*

*Рассмотрены метрологические средства акустических измерений вибрационного воздействия поездов метрополитена на конструкцию туннеля. Представлены результаты измерений на путях КП «Киевский метрополитен» для различных конструкций железнодорожного пути. Выполнены выводы относительно эффективности гашения вибраций конструкциями пути, на которых проводились измерения.*

*Ключевые слова: метрология, акустические измерения, калибровка, вибрации, рельс, колесо, метрополитен, динамика взаимодействия.*

Вібрація – пружні механічні коливання високої частоти та малої амплітуди. При русі поїздів в метрополітені рухомий склад постійно відчуває коливання, що утворюються в результаті його динамічної взаємодії з рейками залізничної колії. Отримані рейками коливання передаються на всі складові їхніх опор, тобто вібрація передається на шпали, які, в свою чергу, передають їх на елементи оздоблення тунелю та далі поступово передаються в навколишнє середовище.

Причиною утворення вібрацій є працююче електрообладнання вагонів метро, які також через колію передаються в навколишнє середовище.

На рівень вібрацій впливають різні фактори: швидкість рухомого складу, навантаження на вісь, конструкція залізничної колії, матеріали та технології оздоблення тунелів.

© **Кульбовський І. І., Агарков О. В., Ящук В. І., 2014**

---

Допустимі рівні вібрацій на коліях метрополітену регламентуються санітарними нормами [1], а отже існуючі конструкції колії та технології оздоблення тунелів мають забезпечувати зниження вібрації до допустимих норм [2,3].

Для оцінки рівня вібрацій можливе застосування методів як натурних, так і математичного моделювання. Метод математичного моделювання утворення вібрацій – це досить складна задача і не отримав значного використання. На даний час більш ефективним є оцінка вібрацій за допомогою натурних вимірювань.

З метою оцінки вібрацій в метрополітені при використанні сучасних конструкцій колії ДП «Інститут «КИЇВГЕО» були проведені акустичні вимірювання [4] вібраційного впливу поїздів метрополітену на конструкції тунелю на перегоні ст. «Васильківська» – ст. «Голосіївська» Куренівсько-Червоноармійської лінії Київського метрополітену.

Найефективнішим методом вимірювання вібрації є спектральний метод, який дозволяє розкласти хвилі, що виникають в різних спектрах. Принцип роботи приладу базується на перетворенні кінематичних параметрів вібрації в електричні, що вимірюються чи фіксуються ним.

При спектральному аналізі як результат вимірювань приймають середнє квадратичне значення контрольованого параметра вібрації в октавних або 1/3 октавних смугах ( $U_k$ ), що визначається за формулою:

$$U_k = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_{ik}^2}$$

де  $U_{ik}^2$  – значення параметра вібрації в  $k$ -й октавній або 1/3 октавній смузі при  $i$ -му спостереженні;

$n$  – число спостережень.

Як опорну величину для встановлення вібрацій обрано віброшвидкості горизонтальних та вертикальних коливань.

Логарифмічні рівні віброшвидкості  $L_v$  визначають за формулою:

$$L_v = 20 \lg V / V_0 \text{ (дБ)},$$

де  $V$  – абсолютне значення віброшвидкості, м/с

$V_0$  – опорне значення віброшвидкості, м/с

Для визначення рівня вібрацій використовувався портативний модульний аналізатор акустичних і вібраційних сигналів в реальному часі, віброперетворювач та портативний калібратор. Перед початком та після проведення вимірювань виконується калібрування вимірювального обладнання. Робота з вимірювання проводилася на конструкціях тунелю і залізничної колії (рис. 1, 2, 3).

Для оцінки рівня вібрацій використані дані вимірювань при проході 20 поїздів. Для кожної ділянки колії визначено вертикальні та горизонтальні рівні віброшвидкості в 1/3 октавних смугах частотами від 2 до 100 Гц.

Кінцевим результатом проведених досліджень розраховано середньоквадратичні значення віброшвидкості на лотку та оздобленні тунелю при русі поїздів метрополітену по віброзахисній колії на лежнях та блоках EBS.

Найбільші вібрації з'являються в місцях контакту рухомого складу з рейками залізничної колії.

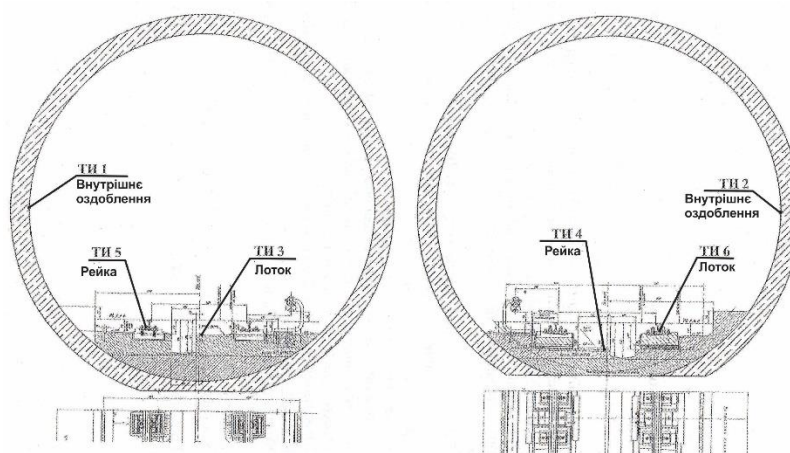


Рис. 1. Схема розташування точок вимірювань віброколивань на конструкціях тунелю і колії

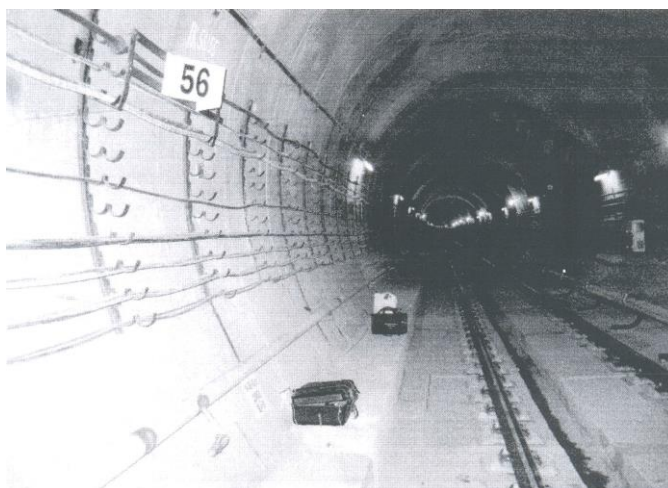


Рис. 2. Вимірювання рівнів вібрацій на внутрішньому оздобленні

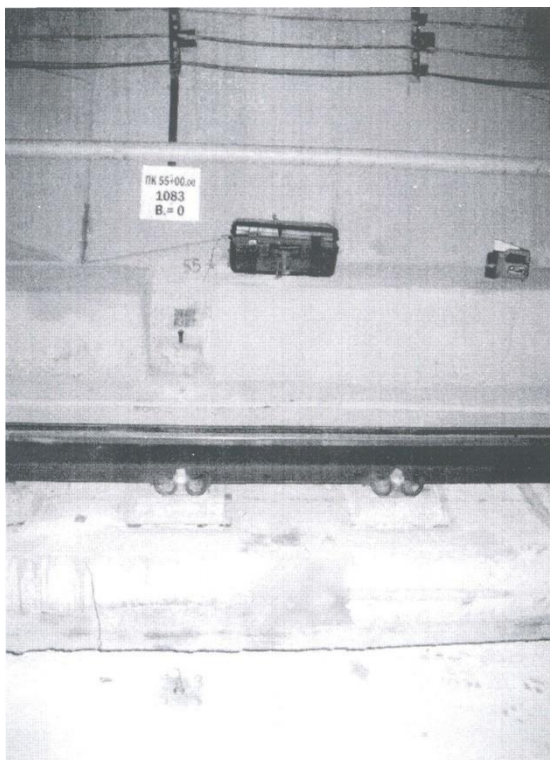
В результаті дослідження встановлено, що значення коливань на рейках з лежневою конструкцією колії в діапазоні частот від 2 Гц до 25 Гц вище на 3 – 18 дБ, ніж для колії на блоках EBS, а в діапазоні частот 50 – 100 Гц коливання на блоках EBS вище на 1 – 12 дБ, ніж для колії на лежнях.

Аналіз отриманих в результаті натурних вимірювань рівнів віброшвидкості на лотках конструкцій, що досліджуються, довів їхню ефективність в діапазонах 24 – 61 дБ для колії на блоках EBS та 18 – 78 дБ для лежневої конструкції колії. При цьому в діапазоні до 25 Гц більш ефективно гасить коливання лежнева конструкція колії, в діапазоні 63 – 100 Гц краще гасить коливання колія на блоках EBS. В середньому діапазоні ефективність двох різних конструкцій колії еквівалентна.

## ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

---

Відповідно виміряні показники вібрації на внутрішньому оздобленні тунелю показали, що на низьких частотах краще гасить коливання лежнева конструкція колії, в діапазоні 60-100 Гц – конструкція колії з блоками EBS, в середньому діапазоні ефективність конструкцій колії, що розглядаються, еквівалентна.



*Рис. 3. Вимірювання рівнів вібрацій на лотку*

Таким чином, результати проведених досліджень не дають можливості зробити однозначний висновок про те, яка з конструкцій колії краще гасить коливання, що виникають в результаті взаємодії рухомого складу з колією метрополітену. Обидві конструкції колії показали високу ефективність при гасінні вібрацій.

Використання сучасних методів акустичних натурних вимірювань вібраційного впливу, проведених на експериментальних ділянках колії дає можливість оцінити ефективність застосування представлених конструкцій колії за критерієм віброгасіння.

### ЛІТЕРАТУРА

1. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.
2. ДСТУ EN ISO 2631-1:2004. Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину. Частина 1. Загальні вимоги.
3. ДСТУ EN ISO 2631-2:2004. Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину. Частина 2. Вібрація в будівлях.
4. Звіт про проведення акустичних вимірювань вібраційного впливу потягів метрополітену на конструкції тунелю на перегоні ст. «Васильківська» – ст. «Голосіївська» Куренівсько-Червоноармійської лінії Київського метрополітену. – Київ, 2011. (Ru)

*Kulbowskiy Ivan I., PhD (Technical Sciences), Associate Professor  
(Associate Professor of Theoretical and Applied Mechanics Chair, State  
University for Transport Economy and Technologies)*

*Agarkov Oleksandr V., PhD (Technical Sciences)  
(Associate Professor of Theoretical and Applied Mechanics Chair, State  
University for Transport Economy and Technologies)*

*Yaschuk Volodumir I.  
(Engineer of Rail Flaw Detection Ukrainian Mechanization Center of  
Road Works)*

### **METROLOGICAL SUPPORT OF ACOUSTIC MEASUREMENTS OF VIBRATING INFLUENCE OF THE SUBWAY TRAIN UPON THE TUNNEL CONSTRUCTION**

*When moving train in subway rolling stock constantly experiencing fluctuations resulting from its dynamic interaction with rails railway track. The resulting vibrations transmitted to the rails all the components of the towers, that vibration is transmitted to the sleepers, which, in turn, pass them on to finish the tunnel elements and then gradually transferred to the environment.*

*In order to assess vibration in underground structures using modern lines SE «Institute KYIVGEO» were conducted acoustic measurements [4] vibration subway train in tunnel construction on the stretch st. «Vasilkovskaya» – st. «Goloseevskaya» Kiev Metro.*

*To determine the level of vibration analyzer used portable modular acoustic and vibration signals in real time, vibrator inverters and portable calibrator.*

*The studies do not allow to make a clear conclusion about which of the designs better way dampens vibrations arising from the interaction of rolling stock subway track.*

*Keywords: Metrology, acoustic measurements, vibration, calibrator, rails, wheels, subway, dynamic interaction.*

### **REFERENCES**

1. SDS 3.3.6.039-99. Public health standards of the production of general and local vibration. (Ukr)
2. DSTU EN ISO 2631-1:2004. Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements. (Ukr)
3. DSTU EN ISO 2631-2:2004. Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 2: Vibration in buildings. (Ukr)
4. Report of an acoustic vibration measurements subway trains in the tunnel construction on the stretch between st. «Vasilkovskaya» – st. «Goloseevskaya» KyivMetroBud Kiev Metro. – Kyiv, 2011. (Ru)