

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ШУМУ ВІД РЕЙКОВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ПРИКЛАДІ м. ЛЬВОВА

Володимир Гавран¹, Михайло Мельник², Марія Оринчак³

Національний університет “Львівська політехніка”,

¹ volodymyr.b.havran@lpnu.ua, ORCID - 0000-0002-6046-6094

² mykhaylo.r.melnyk@lpnu.ua, ORCID - 0000-0002-8593-8799

³ mariia.r.orynchak@lpnu.ua, ORCID - 0000-0002-5334-1904

© Гавран В., Мельник М., Оринчак М., 2021

Виконано дослідження та розроблено метод локалізації розрахунку рівня шуму від рейкового транспортного засобу в місті Львові. Адаптовано моделі вимірювання шумового навантаження, уніфіковано виміряні величини та запропоновано власне рішення на основі дорожнього покриття, швидкості руху рейкового транспорту та відстані від джерела шуму. Відповідно до методів дослідження, а саме: Schall 03 (німецького), Nordic Train (скандинавські країни) здійснено порівняння за графіком Бленда – Альтмана, що дало змогу адаптувати отримані результати та врахувати дорожнє покриття (асфальтоване), швидкість залізничного транспорту та відстань від джерела шуму. В результаті адаптовано моделі прогнозування вимірювання шумового навантаження. Результати порівнювали з графіком Бленда – Альтмана, що дало можливість сформулювати порівняльну таблицю. Мета дослідження – аналіз методів вимірювання рівня шуму та адаптація їх до наших реалій. Проаналізувавши відомі методи вимірювання шумового навантаження залізничних транспортних засобів, можемо вважати, що для міст України (особливо Львова) жоден із них не є правильним.

Ключові слова: метод рівня шуму; Schall 03; Nordic; розрахунок рівня шуму; шумозахисні екрани; рівень шуму рейкових транспортних засобів; Bland – Altman; акустика.

Вступ

Шум у великих містах становить загрозу здоров'ю жителів, особливо в їхніх історичних частинах, де щільно розташовані будівлі [1]. Оpubліковано багато робіт, які стосуються оцінювання шумового забруднення міст дорожніми та рейковими транспортними засобами та його прогнозування на основі інтенсивності транспортних потоків [2–6], проте у великих містах часто проходять залізничні колії, що також впливає на викиди шумового забруднення. Згідно зі стандартом ISO 362-1:2017, вимірювання шуму, що виникає, коли розганяються дорожні транспортні засоби, повинно ґрунтуватися на інженерних методах [7].

Американське агентство із охорони навколишнього середовища (EPA) та Всесвітня організація охорони здоров'я (WHO) працюють над зменшенням шуму від рейкових транспортних засобів [8]. Для оцінювання шумового навантаження можна виконати вимірювання за допомогою відпо-

відних приладів. Однак, коли виникає завдання побудувати карту шуму, необхідно використовувати методи прогнозування на основі кількості рейкових транспортних засобів, які проїхали, та їх типу.

У деяких країнах існують свої стандарти прогнозування шуму від рейкового транспорту, але в Україні такого стандарту немає, тому на початковому етапі поставлено завдання дослідити відомі методи та адаптувати їх до українських умов та типів рейкових транспортних засобів.

1. Аналіз методів Schall 03 та Nordic train для розрахунку рівня шуму від рейкового транспортного засобу

Основною метою цього дослідження методів вимірювання шумового навантаження від транспортних засобів було порівняння результатів математичного моделювання із використанням відомих методів Schall 03 та Nordic train [8], із результатами експериментальних вимірювань, перевірка їх правдивості та розроблення власного методу розрахунку рівня шуму, який краще підходить для рейкових транспортних засобів, використовуваних в Україні [9].

А. Розрахунок на основі відомих методів

Для первинного аналізу та порівняння результатів ми проаналізували методи Schall 03, Nordic train та результати, отримані під час експериментальних вимірювань.

Аналіз методів прогнозування Schall 03 розробило Федеральне залізничне управління Німеччини [10]. За цим методом обчислюють рівень звуку L для дня (з 6 ранку до 22 вечора) та ночі (з 22 вечора до 6 ранку).

Процедура розрахунку містить два кроки:

1) рівень шуму розраховують на підставі даних про інтенсивність дорожнього руху для опорної точки на відстані 25 м; рівні шуму усіх груп рейкових транспортних засобів підсумовують енергетично, щоб сформуванати загальний рівень шуму окремо для дня та ночі;

2) з урахуванням геометрії ділянки та еталонного рівня шуму відповідний пристрій здійснює оцінювання рівня шуму; для визначення рівня шуму від рейкового транспорту до уваги беруть: відсоткове співвідношення вагонів схожого типу, швидкість руху, діаметр дискових гальм.

Математична модель методу Schall 03 враховує основний рівень шуму одного рейкового транспортного засобу та поправки, що застосовують до конкретного рейкового транспортного засобу (тип поїзда, трамваю, вагона, тип гальм, довжину транспортного засобу та його швидкості). Розрахунок рівня викидів шуму за методом Schall 03:

$$L_{mE} = 10 \cdot \log \left[\sum 10^{(0.1 \cdot (51 + D_{Fz} + D_D + D_L + D_S))} + D_{Tt} + D_{Br} + D_{LC} + D_{RA} \right], \quad (1)$$

де D_{Fz} , D_D , D_L і D_S – поправки, що застосовують до конкретного рейкового транспортного засобу; D_{Fz} – поправка, яка враховує тип рейкового транспортного засобу; D_D – налаштування для відсотка задіяних дискових гальм; D_L – регулювання дискових гальм; D_S – поправка, яка враховує довжину та швидкість рейкового транспортного засобу; D_{Tt} , D_{Br} , D_{LC} і D_{Ra} – поправки, що використовують для залізничної колії; D_{Tt} – налаштування для типу дорожнього покриття; D_{Br} – налаштування мостів (за наявності); D_{LC} – налаштування рейкових переходів; D_{Ra} – налаштування шуму.

За базовий рівень шуму одного рейкового транспортного засобу у цьому методі прийнято рівень 51 дБ, а D з відповідними індексами – це поправки до специфікації рейкового транспорту.

Наступним проаналізованим методом був The Nordic method (The Nordic Rail Train Noise Prediction Method) – північний метод прогнозування шуму на залізничному транспорті, запропонований у 1984 р., який використовують у всіх скандинавських країнах. Північний метод – єдиний метод, який дає змогу розрахувати шум від рейкових транспортних засобів L_{eq} та L_{max} .

Базовий рівень відображає викиди шуму від усіх рейкових транспортів протягом 24 год. Опорний визначають для рейкового транспортного засобу на нескінченно довгій прямій колії, з'єднаній високоміцними зварними швами. Оскільки в Україні багато колій мають стики, то для удосконалення методу необхідно додати поправку на колії зі стиками.

Математична модель методу Nordic train враховує еталонний еквівалентний рівень шуму (дБ (А)), протягом 24 год, за загальної довжини рейкового транспортного засобу 1000 м протягом 24 год, перпендикулярно до відстані від центральної лінії колії до прогнозованого положення (у метрах), загальну довжину всіх рейкових транспортних засобів, що курсують за типовий 24-годинний період (у метрах) та з урахуванням швидкості руху. Розрахунок рівня викидів шуму за методом Nordic train:

$$L = 50 + 10 \cdot \log \frac{l_{24}}{1000} - 10 \frac{a}{100} + 23,5 \cdot \log \frac{V}{80}, \quad (2)$$

де L – еталонний рівень шуму 24-годинного рівня Leq , дБ (А) (дорівнює 50 дБ (А) на 100 м за 1000 м загальної довжини рейкового транспортного засобу протягом 24 год); a – перпендикулярна відстань від центральної лінії колії до позиції прогнозування, м; l_{24} – загальна довжина всіх рейкових транспортних засобів, що проїжджають за типовий 24-годинний період, м; V – швидкість рейкового транспортного засобу.

В. Порівняння методів із даними експериментальних вимірювань

На основі проаналізованих методів, вирішено дослідити шум у реальних умовах на прикладі м. Львова. Для експериментів вибрано вулицю Шевченка, оскільки передбачено її ремонт, що дасть змогу визначити в майбутньому, на скільки знизиться рівень шуму після ремонту, тому що колія була у поганому стані. Рейки були вимощені за стандартною технологією. Вулицю Шевченка (рис. 1) вибрали також через інтенсивний рух транспорту та дорожнє покриття із бруківки (рис. 2). Під час експериментів реєстрували такі дані: тип рейкових транспортних засобів (старі чи нові), час, еквівалентний рівень шуму (дБ (А)), температуру (С °), тиск (мм рт. ст.), вологість повітря (%) та швидкість вітру (м/с).

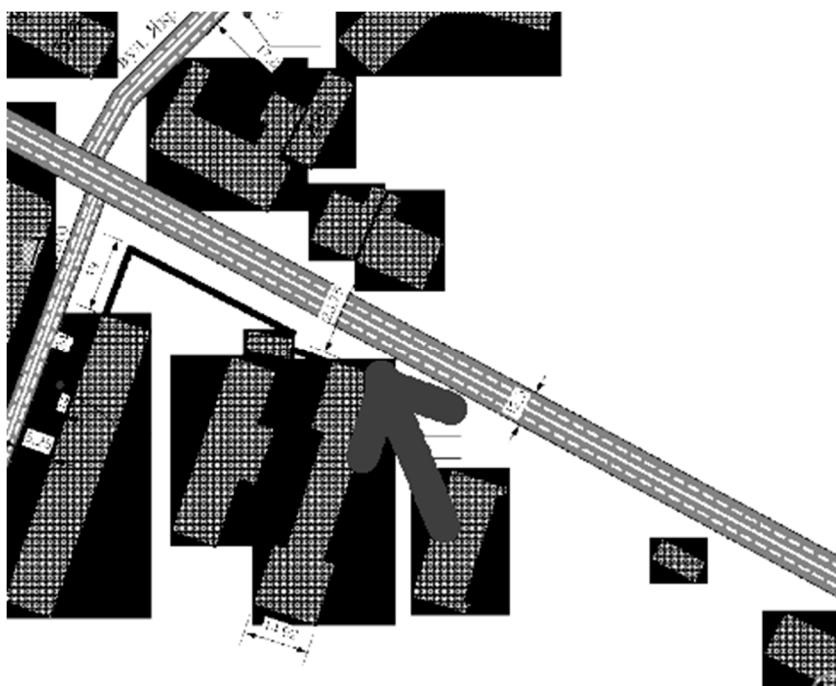


Рис. 1. Місце виконання вимірювання



Рис. 2. Експериментальне вимірювання

У результаті проведених експериментів визначено, що еквівалентний рівень шуму становив у середньому 91,63 дБ (рис. 3). Експеримент дав змогу встановити, що еквівалентні рівні шуму для зношених рейкових транспортних засобів були вищими на 15 % і більше (рис. 4). Отже, оновивши парк трамваїв, можна добитися зниження рівня шуму мінімум на 15 %.

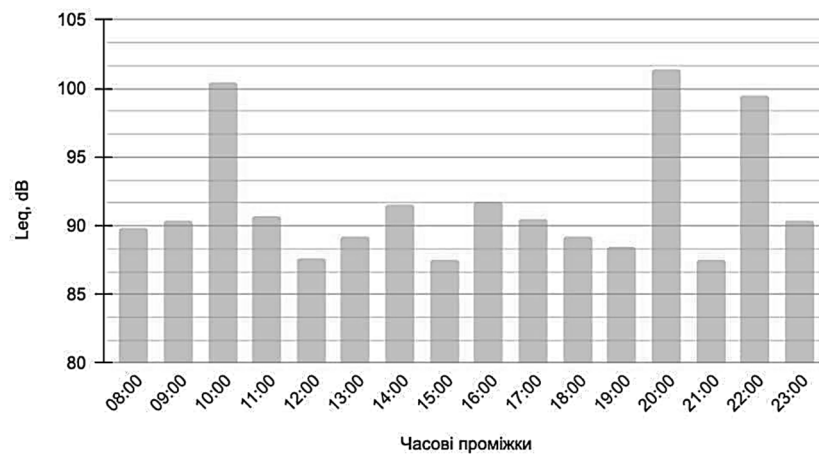


Рис. 3. Рівень шуму за годину

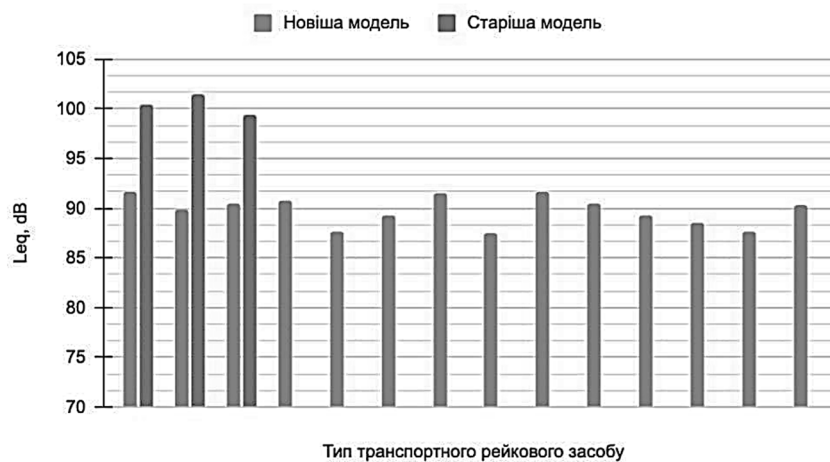


Рис. 4. Еквівалентний рівень шуму для кожного типу рейкового транспортного засобу, дБ

Виконавши виміри за трьома методами, ми отримали інформацію про еквівалентний рівень шуму за 24 год, що дає нам змогу порівняти дані.

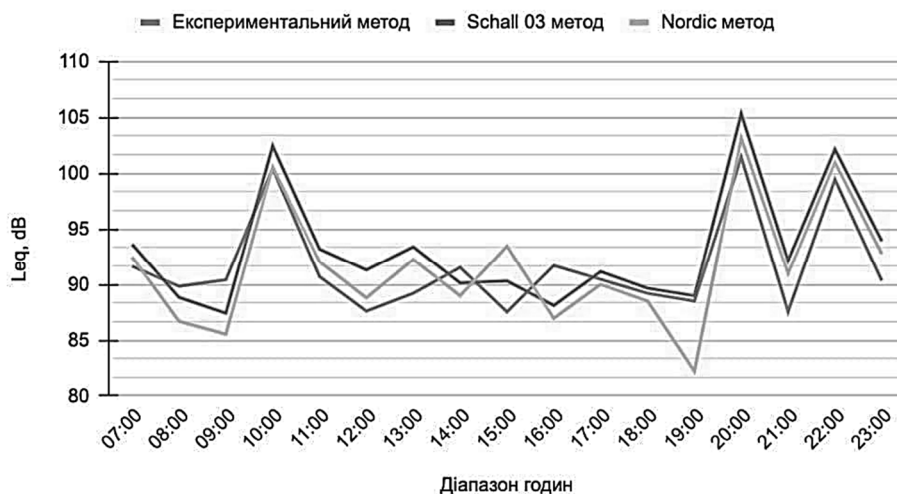


Рис. 5. Еквівалентний рівень шуму за певний період під час експериментальних вимірювань порівняно із методами Schall 03 та скандинавським Nordic методом, дБ (А)

Опрацювавши дані, можемо простежити відмінність між Schall 03, Nordic та експериментальними вимірюваннями (рис. 5).

Побудувавши діаграму, бачимо, що метод Nordic дає відхилення (рис. 5) в розрахунках у реаліях Львова. З діаграми стає зрозуміло, що найоптимальнішим методом є Schall 03, тому на його основі розрахуємо похибки для міста Львова та внесемо коригування.

2. Метод розрахунку рівня шуму в м. Львові

Bland– Altman – це метод побудови графіків даних, який використовують для аналізування різниці між двома різними дослідженнями [11], метод кількісного оцінювання узгодження між двома кількісними вимірами за допомогою побудови меж узгодження. Ці статистичні межі обчислюють з використанням середнього значення та стандартного відхилення (відмінностей) різниці між двома вимірами. Для того щоб перевірити припущення про правильність відмінностей та інші характеристики, розробники методу застосували графічний підхід. Застосуємо метод Bland – Altman для визначення різниці та побудови графіка [12]. У таблиці наведено обчислений середній еквівалентний рівень шуму та похибки (в дБ) між двома типами вимірювання рівня шуму – експериментальним та Schall 03.

Аналіз даних методом Bland – Altman

	Експериментальні вимірювання Leq, дБ	Вимірювання методом Schall 03 Leq, дБ	Середнє значення Leq, дБ	Похибка Leq, дБ
1	2	3	4	5
1	91,63	93,63	92,63	-2
2	89,83	88,83	89,33	1
3	90,41	87,41	88,91	3
4	100,44	102,44	101,44	-2
5	90,70	93,20	91,95	-2,50

Продовження таблиці

1	2	3	4	5
6	87,60	91,30	89,45	-3,70
7	89,20	93,40	91,30	-4,20
8	91,53	90,13	90,83	1,40
9	87,53	90,31	88,92	-2,78
10	91,70	88,10	89,90	3,60
11	90,45	91,15	90,80	-0,70
12	89,20	89,65	89,42	-0,45
13	88,50	88,97	88,73	-0,47
14	101,44	105,31	103,37	-3,87

Проаналізувавши дані, наведені у таблиці, ми побудували графік Bland – Altman (рис. 6) задля того, щоб мати можливість побачити відмінності між експериментальними розрахунками та обчисленнями за методом Schall 03:

Верхня межа: $x + 1,96 \times s = -1,45 + 1,96 \times 2,5 = 3,46$.

Нижня межа: $x - 1,96 \times s = -1,45 - 1,96 \times 2,5 = -6,35$,

де x – середня різниця з табл. 1 $= -1,45$; s – обчислюється через STDEV.S (діапазон даних таблиці) у Excel $= 2,5$.

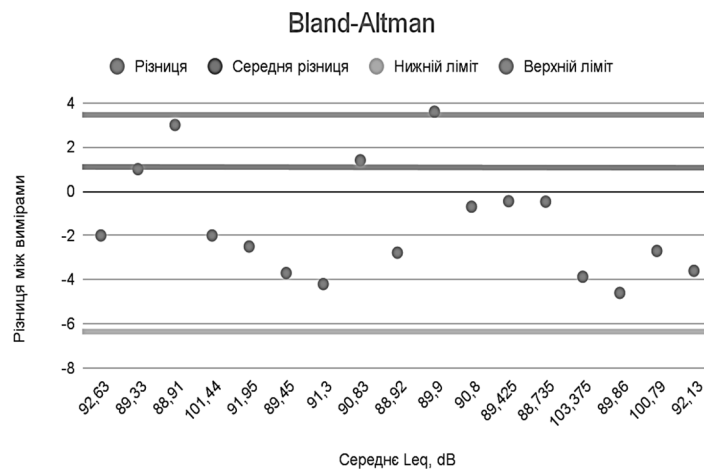


Рис. 6. Різниця між розрахунками – експериментальними та методом Schall 03 за графіком Bland – Altman

На основі результатів можна вдосконалити метод Schall, розробивши власний метод для майбутніх розрахунків у місті Львові.

Висновок

На основі порівняння різних методів вимірювання шумового навантаження рейкового транспортного засобу ми дійшли висновку, що не існує точного методу розрахунку рівня шуму рейкових транспортних засобів для міст, оскільки необхідно робити поправки для місцевості, дороги, рейкових транспортних засобів тощо.

Ми дослідили три методи розрахунку шуму рейкового транспорту. Отримавши дані, виявили суттєву відмінність між методами. Результати методу Schall 03 були найкращими, проте їх не

можна порівняти із експериментальним вимірюванням даних. Для порівняння методів було використано графік Bland – Altman. Цей метод дає змогу виявити відмінності та використовувати ці дані для подальшого розрахунку шумового навантаження від рейкового транспорту в місті Львові. Ці дослідження дають можливість розробити вдосконалений, адаптований до українських реалій метод для розрахунку шумового навантаження від рейкових транспортних засобів.

Список літератури

1. Salomons, E. M., Berghauser Pont, M. (2012). Urban traffic noise and the relation to urban density, form, and traffic elasticity. *Landscape and Urban Planning*, DOI: 10.1016/j.landurbplan.2012.06.017.
2. Mishra, R. K., Parida, M., Rangnekar, S. (2010). Evaluation and analysis of Traffic Noise Along Bus Rapid Transit System Corridor. *International Journal of Environmental Science and Technology*. DOI:10.1007/BF03326183.
3. Gallo, M. (2020). A piecewise-defined function for modelling traffic noise on Urban Roads. MDPI. DOI:10.3390/infrastructures5080063.
4. Maghrour Zefreh, M., Torok, A. (2018). Theoretical comparison of the effects of different traffic conditions on Urban Road Traffic Noise. *Journal of Advanced Transportation*. DOI:10.1155/2018/7949574.
5. Maine, L., Sharma, L., Franzen, D., (2016). Use of corn height measured with an acoustic sensor improves yield estimation with ground based active optical sensors. *Computers and Electronics in Agriculture*. DOI:10.1016/j.compag.2016.04.016.
6. Melnyk, M., Lobur, M., Vasyliuk, I., Mazur, V., Hemich, N. (2011). The mathematical model of length defining position of dominated noise source in traffic flow. *Proc. of the XI Intern. Conf. on the experience of designing and application of CAD systems in microelectronics (CADSM'2011)*. Lviv – Polyana: Publishing House Vezha & Co.
7. ISO 362-1 Road vehicles (2007). Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles. Engineering method. Part 1. Road vehicles of M and N categories ISO. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:362:-1:ed-1:en>.
8. Jonasson, Hans G. (2001). Nord 2000. New Nordic prediction method for rail traffic noise, SP Hallbar Samhallsbyggnad, Ljud och vibration. Storeheier, Svein, SINTEF. DOI:10.1006/jsvi.1996.0268
9. SoundPLAN User's manual Sound PLAN GmbH / Sound PLAN International LLC Stand: (2018), ch. 6, pp. 83–89.
10. Szwarc, M., Kostek, B., Kotus, J., Szczodrak, M. & Czyzowski, A. (2011). Problems of Railway Noise – A Case Study. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. DOI: 10.1080/10803548.2011.11076897.
11. Giavarina, D. (2015). Understanding Bland Altman analysis, *Biochem Med (Zagreb)*. DOI: 10.11613/BM.2015.015.
12. Bland, J. M., Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement (PDF). DOI:10.1016/S0140-6736(86)90837-8.PMID2868172.S2CID2844897.

References

1. Salomons, E. M., Berghauser Pont, M. (2012). Urban traffic noise and the relation to urban density, form, and traffic elasticity. *Landscape and Urban Planning*. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2012.06.017.
2. Mishra, R. K., Parida, M., Rangnekar, S. (2010). Evaluation and analysis of Traffic Noise Along Bus Rapid Transit System Corridor. *International Journal of Environmental Science and Technology*. DOI: 10.1007/BF03326183.
3. Gallo, M. (2020). A piecewise-defined function for modelling traffic noise on Urban Roads. MDPI. DOI: 10.3390/infrastructures5080063.
4. Maghrour Zefreh, M., Torok, A. (2018). Theoretical comparison of the effects of different traffic conditions on Urban Road Traffic Noise. *Journal of Advanced Transportation*. DOI: 10.1155/2018/7949574.
5. Maine, L., Sharma, L., Franzen, D. (2016). Use of corn height measured with an acoustic sensor improves yield estimation with ground based active optical sensors. *Computers and Electronics in Agriculture*. DOI:10.1016/j.compag.2016.04.016.
6. Melnyk, M., Lobur, M., Vasyliuk, I., Mazur, V., Hemich, N. (2011). The mathematical model of length defining position of dominated noise source in traffic flow. *Proc. of the XI Intern. Conf. on the experience of*

designing and application of CAD systems in microelectronics (CADSM'2011). Lviv – Polyana: Publishing House Vezha & Co.

7. ISO 362-1 Road vehicles (2007). Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles. Engineering method. Part 1. Road vehicles of M and N categories ISO. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:362:-1:ed-1:en>.

8. Jonasson, Hans G. (2001). Nord 2000. New Nordic prediction method for rail traffic noise, SP Hallbar Samhallsbyggnad, Ljud och vibration. Storeheier, Svein, SINTEF. DOI: [10.1006/jsvi.1996.0268](https://doi.org/10.1006/jsvi.1996.0268).

9. SoundPLAN User's manual Sound PLAN GmbH / Sound PLAN International LLC Stand: (2018), ch. 6, pp. 83–89.

10. Szwarc, M., Kostek, B., Kotus, J., Szczodrak, M. & Czyzowski, A. (2011). Problems of Railway Noise – A Case Study. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, DOI: 10.1080/10803548.2011.11076897.

11. Giavarina, D. (2015). Understanding Bland Altman analysis, *Biochem Med (Zagreb)*. DOI: 10.11613/BM.2015.015.

12. Bland, J. M., Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement_(PDF). DOI: 10.1016/S0140-6736(86)90837-8.PMID2868172.S2CID2844897_

INVESTIGATION FORECASTING METHODS OF NOISE LEVEL FROM RAIL TRAMS IN LVIV CITY

Mariia Orynychak¹, Mykhaylo Melnyk², Volodymyr Havran³

Lviv Polytechnic National University

¹ mariia.r.orynychak@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-5334-1904

² mykhaylo.r.melnyk@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-8593-8799

³ volodymyr.b.havran@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-6046-6094

© Orynychak. M., Melnyk M, Havran. V., 2021

The method of localization of noise level calculation from a rail vehicle in the city of Lviv is investigated and developed. Models of noise load measurement have been adapted, the measured values have been unified and our own solution has been created on the basis of the road surface, the speed of rail transport and the distance from the noise source. According to the research methods, namely: Schall 03 (from Germany), Nordic Train (Scandinavian countries) was carried out compared to the Bland–Altman schedule, with which we can adapt the studied results. distance from the noise source. As a result, models for predicting noise load measurements were adapted. The results were carried out compared to the Bland-Altman plot, which helped us with the comparison table. The purpose of the study is to analyze methods for noise level measurements and adapt them into our realities. Based on the known methods of measuring the noise load of railway vehicles, we can assume that there are no correct methods for the cities of Ukraine (especially Lviv).

Key words: noise level method; Schall 03; Nordic; noise level calculation; noise protection screens; rail vehicle noise level; Bland–Altman; acoustics.