

Найкращі значення адгезійної міцності показали зразки, отримані при роботі магнетронній розпилювальної системи в режимі постійного струму при тиску $8,8 \cdot 10^{-2}$ мбар. Причому ці зразки показали найкращий результат за весь час досліджень. Всі подальші дослідження проводилися з параметрами режиму, які показали найкращий результат за адгезійної міцності.

ВИСНОВКИ

1. Отримані результати вимірювання адгезійної міцності покриттів дозволяють говорити про можливість використання обраних режимів для нанесення підшару титану в якості адгезійного підшару під матеріали, які використовуються при пайку компонентів (мідь, олово-золото і ін.).

2. Нанесення плівки методом пароструйного осадження в кластерному режимі роботи джерела дозволяє отримувати покриття з Швидкістю нанесення до 2 мкм / с на локальній ділянці підкладки. Така товщина покриття забезпечується на ділянці шириною 2 мм навпроти центру сопла джерела.

3. Для збільшення адгезійної міцності покриттів міді на підкладках оксиду алюмінію необхідно використовувати адгезійний підшар, наприклад, підшар титану. Використання такого підшару приводить до збільшення адгезійної міцності в 10 і більше разів.

4. Режим роботи магнетронної розпилювальної системи і параметри технологічного процесу істотно впливають на адгезійну міцність одержуваних покриттів.

5. Найкращі результати адгезійної міцності отримані при нанесенні адгезійного підшару при роботі магнетронній розпилювальної системи в режимі постійного струму при тиску у вакуумній камері $8,8 \cdot 10^{-2}$ мбар.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баданова Н.В., Колесник Л. Л. Способ металлизации керамических подложек. [Электронный ресурс] // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая весна 2014: Машиностроительные технологии». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. URL: http://studvesna.ru/db_files/articles/1340/article.pdf (дата обращения: 18.06.2015)
2. Блинов И.Г., Кожитов Л.В. Оборудование полупроводникового производства : Учебное пособие для студентов вузов. М. : Машиностроение. 1986. 264 с.
3. Вакуумная техника: Справочник (3-е изд.) / К.Е. Демихов [и др.]; Под общ. ред. К.Е. Демихова, Ю.В. Панфилова., перераб. И доп. М.: Машиностроение, 2009. 590 с.
4. Вакуумное оборудование тонкопленочной технологии производства изделий электронной техники : Учебник для студентов специальности «Электронное машиностроение». В 2 т.т. / Н.В. Василенко [и др.]. Красноярск. Сиб. аэрокосм. акад. : Кн. изд-во, 1996. Т. 1. 256 с.
5. Вакуумное оборудование тонкопленочной технологии производства изделий электронной техники : Учебник для студентов специальности «Электронное машиностроение». В 2 т.т. / Н.В. Василенко [и др.]. Красноярск. Сиб. аэрокосм. акад.: Кн. изд-во, 1996. Т. 2. 416 с.
6. Волчкевич Л.И. Автоматизация производства электронной техники : Учебное пособие. М. : Высшая школа. 1988. 287 с.
7. Волчкевич Л.И. Надежность автоматических линий. М. : Машиностроение. 1969. 309 с

Biliaiev M.M.

*Doctor of Technical Sciences, Professor
Head of The Department «Hydraulics and Water Supply»,
Dnipro National University of Railway Transport
named after academician V. Lazaryan*

Biliaieva V.V.

*PhD, Associate Professor of The Department
«Fluid Dynamics, Energy and Mass Transfer »
Dniprovsk National University after Oles Gonchar*

Berlov O.V.

*PhD, Associate Professor of The Department
«Workplace Safety and Health»,
State Higher Education Establishment
«Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture»*

Kozachyna V.A.

*PhD, Senior lecturer of The Department « Physics of power engineering»,
Dnipro National University of Railway Transport
named after academician V. Lazaryan*

MODELING OF NOISE POLLUTION NEAR RAILWAY

Біляєв Микола Миколайович

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри «Гідравліка та водопостачання»,
Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Біляєва Вікторія Віталіївна

кандидат технічних наук,

доцент кафедри «Аерогідромеханіка та енергомасоперенос»,
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Берлов Олександр Вікторович

кандидат технічних наук,

доцент кафедри «Безпека життєдіяльності»,

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Козачина Віталій Анатолійович

кандидат технічних наук,

старший викладач кафедри «Гідравліка та водопостачання»,

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

МОДЕЛЮВАННЯ ШУМОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ БІЛЯ ЗАЛІЗНИЦІ

Summary. Noise from railway transport is a relevant problem from the point of view of people health. Now, in Ukraine, the railway traffic infrastructure has the period of development. It is important to predict railway transport noise impact in case of changing of transport infrastructure. Existing in Ukraine predictive models are based on empirical formulae which were obtained long ago for specific conditions and do not take into account some important factors. So, these models can't be used for existing problems which are connected with railway transport noise. The aim of this work was development of numerical predictive model to forecast noise from railway transport. The model is built on the numerical integration of wave equation for acoustic pressure. Some results of numerical experiment are presented.

Анотація. Шум від залізничного транспорту є актуальною проблемою з точки зору здоров'я людей. Зараз в Україні інфраструктура залізничного руху має період розвитку. Важливо передбачити вплив шуму на залізничному транспорті у разі зміни транспортної інфраструктури. Існуючі в Україні прогностичні моделі базуються на емпіричних формулах, отриманих давно для конкретних умов і не враховують деяких важливих факторів. Отже, ці моделі не можна використовувати для існуючих проблем, пов'язаних із шумом залізничного транспорту. Метою даної роботи була розробка чисельної прогностичної моделі для прогнозування шуму від залізничного транспорту. Модель побудована на чисельному інтегруванні хвильового рівняння для акустичного тиску. Представлено деякі результати чисельного експерименту.

Key words: sound barriers; numerical simulation; railway transport

Ключові слова: звукові бар'єри; чисельне моделювання; залізничний транспорт

Introduction. The noise from railway transport has a negative effect on the environment and creates acoustic discomfort for the people. Locomotives and wagons are among the most significant sources of this noise. In addition, the impact of the wheels on the joints of the rails, the sound of brake rods, etc. make a certain contribution. In this regard, much attention was paid to the problem of forecasting traffic noise and methods of dealing with it [1-7]. Worthy of note that mathematical modeling of noise pollution from trains is a difficult problem. Now to solve it Navier–Stokes equations are widely used [1-7]. For practice, it is necessary to have quick computing mathematical models to use the models widely in every day practice.

In fact, in Ukraine, empirical formulae [8] are used to estimate the intensity of noise from different trains. For example, the maximum noise level from a freight train is estimated using the following formula [8]:

$$L_{\text{Амакс}} = 79,4 + \Delta L_{\text{Астик}} + 0,233V, \quad (1)$$

where V – average estimated speed of trains; $L_{\text{Астик}}$ – amendment in dBA, taking into account the type of railway track; is determined in accordance with [8].

For passenger trains the maximum noise level is calculated as:

$$L_{\text{Амакс}} = 82,4 + \Delta L_{\text{Астик}} + 0,12V \quad (2)$$

Empirical models like these have additional formulae which help to «adjust» the model to some specific situations, for example, to take into account effect of some obstacles on sound level near the train track. Empirical models allow quickly assess the level of noise pollution. Worthy of note that empirical models like equations (1), (2) give sound level value only in one point near the railway track. This is a point which is situated 25m far from the railway track. These models can't give information about sound level in another point which is situated at another distance from the track. These models can't predict sound field which is formed near the railway track.

Therefore, at present, the development of other mathematical models which allow to take into some important factors are of great interest.

The aim of this work is to develop a quick computing numerical model for the estimate the sound pressure field near the railway.

Goal. The goal of this paper is development a numerical model for quick computing of sound pressure field near the railway, where sound barriers are used.

Mathematical model. To simulate sound pressure field from the railway transport we used wave equation for pressure:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = a^2 \left(\frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \right), \quad (3)$$

where a is sound speed; P is pressure; x, y are Cortesian coordinates; t is time.

Initial condition is: $P=0$ in the computational region. We set $P=0$ at the right and left boundaries of the computational region and $\partial P / \partial n = 0$ (here, n is the internal normal to the boundary) at the solid internal boundaries.

Numerical models. For the numerical integration of equation (1) we used the following difference scheme [9]:

$$\frac{P_{i,j}^{n+1} - P_{i,j}^n - P_{i,j}^{n-1}}{\Delta t^2} = a^2 \frac{P_{i+1,j}^n - 2P_{i,j}^n + P_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} + a^2 \frac{P_{i,j+1}^n - 2P_{i,j}^n + P_{i,j-1}^n}{\Delta y^2}, \quad (4)$$

This is three time layers explicit difference scheme. To start integration we must set pressure value at two time layers.

To simulate the complicated geometrical form of the computational region we used «markers» (porosity technique). In this case we separate computational cells

where we integrate wave equation from the cells which represent internal boundaries of the computational region (figure 1). This technique allows to make quickly the geometrical form of the region where we want to study the acoustic regime.

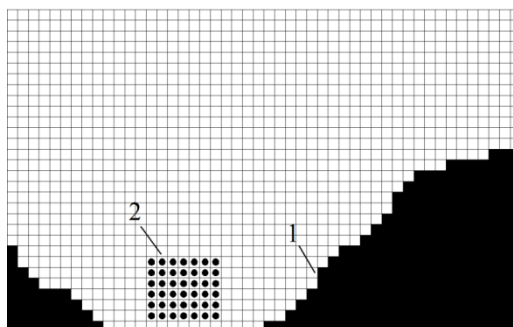


Fig. 1. Sketch of computational region: 1 – boundary of the hill; 2 – markers which indicate the train position (source of noise)

To simulate the source of noise (for example, locomotive) we choose the internal subregion where the source of noise is situated. The internal boundary covers this subregion. In this subregion we set a number of point sources having constant sound pressure P . We may say that in this subregion we have the internal Dirichlet condition.

We developed code to perform numerical experiments. FORTRAN language was used to develop code.

Results. The developed numerical model was used to solve the model problem. A notch is considered where the railway track passes (figure 2).

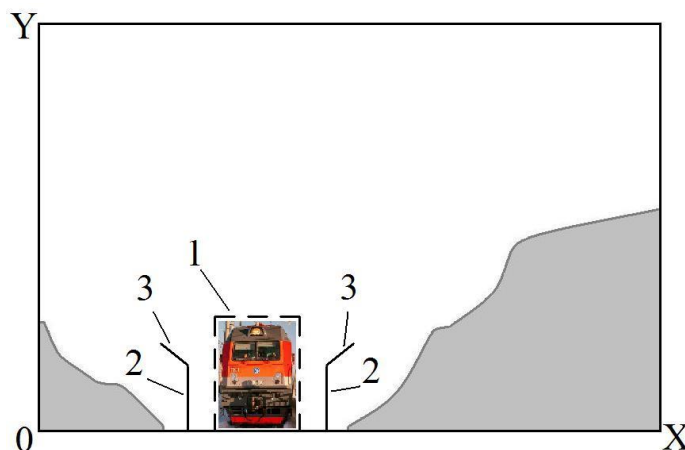


Fig. 2. Sketch of computational region: 1 – internal boundary for source of noise; 2 – vertical barrier; 3 – «wing»

Three scenarios are considered. The first scenario – there is no sound barrier near the railway track. The second scenario – there is a vertical sound barrier near

the railway track. The third scenario – the vertical sound barrier which has a wing (figure 2).

Figures 3-5 show dimensionless sound pressure field near railway track for each scenario.

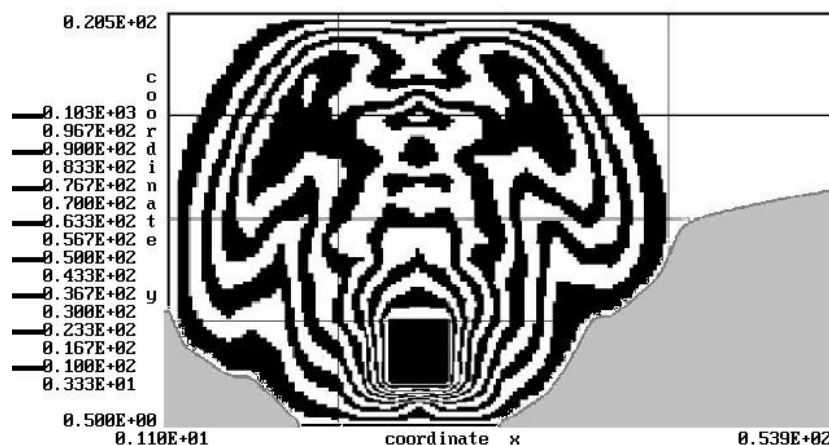


Fig. 3. Dimensionless sound pressure field near railway track, $t=0.008s$ (scenario #1: no barriers)

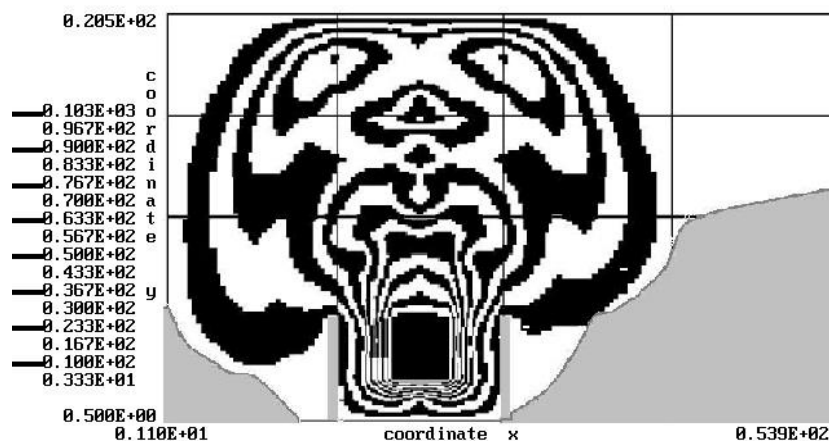


Fig. 4. Dimensionless sound pressure field near railway track, $t=0.008s$ (scenario #2: vertical barriers)



Fig. 5. Dimensionless sound pressure field near railway track, $t=0.008s$ (scenario #3: vertical barriers with wings)

In figure 6 the acoustic pressure field calculated on the basis of the Laplace equation (potential flow model) is shown. If we compare figure 5 and figure 6, then we can see a significant discrepancy in the

structure of the pressure field. The Laplace equation does not allow to take into account the interference of sound waves.

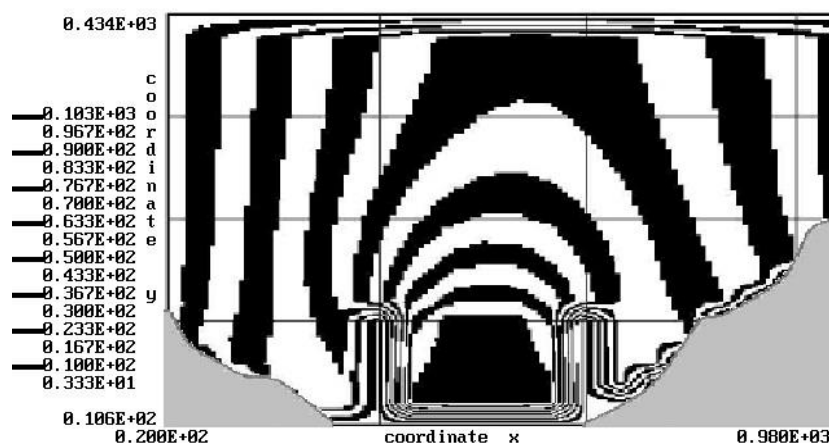


Fig. 6. Dimensionless sound pressure field near railway track (scenario #4: model of potential flow)

In the table 1 the dimensionless value of the acoustic pressure at the receptor (see figure 5) is shown.

Table 1.

Dimensionless sound pressure at receptor point

Scenario	#1 no barriers	#2 vertical barriers	#3 vertical barriers+ «wing»
Sound pressure	7.8	3.9	2.7

As can be seen from the table 1, application of a sound barrier with a wing reduces the sound pressure level at the point of interest.

Next figures (fig. 8-10) illustrate acoustic pressure field in case when locomotive is situated on the top of

the railway embankment (fig. 7). Three scenarios were considered: no sound barriers at the railway embankment (scenario #1); low sound barriers at the railway embankment (scenario #2); high sound barriers at the railway embankment (scenario #3).



Fig. 7. Sketch of train at the railway embankment

(https://nunatsiaq.com/stories/article/65674baffinland_railway_may_be_dead_pond_inlet_group_declares/)

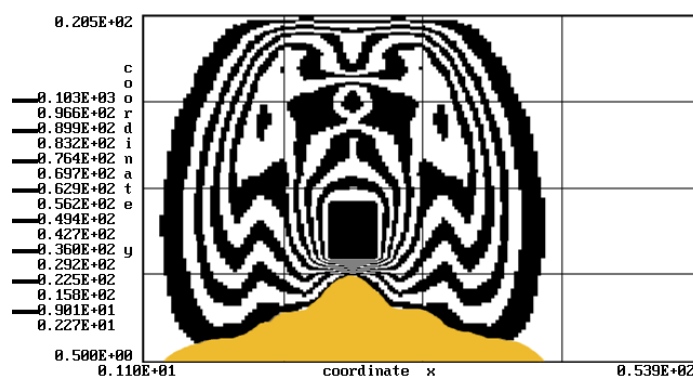


Fig. 8. Dimensionless sound pressure field near railway track (scenario #1: no barriers)

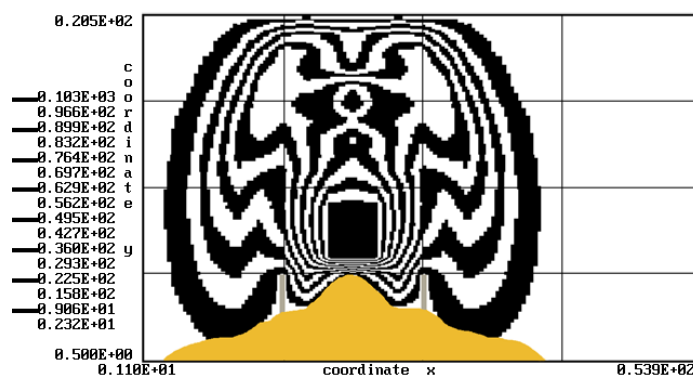


Fig. 9. Dimensionless sound pressure field near railway track (scenario #2: low barriers)

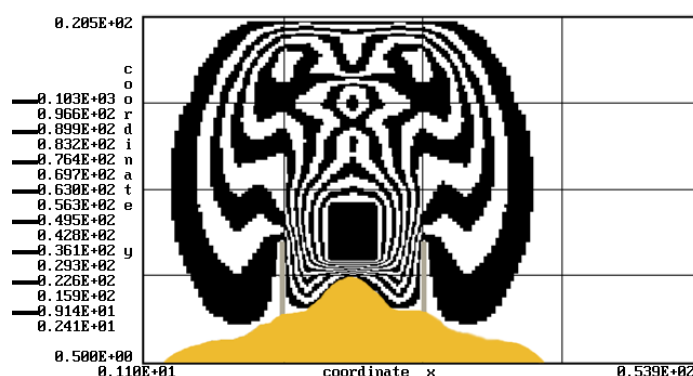


Fig. 10. Dimensionless sound pressure field near railway track (scenario #3: high barriers)

It can be seen from fig. 8-10, that complex sound pressure field is formed in the computational region. Interference of waves creates this picture of sound pressure distribution.

It should be noted that solving the problem requires 3 seconds from computer time.

Scientific novelty and practical significance. Developed numerical model allows to compute sound pressure pattern near the railways taking into account complex terrain and sound barriers installation. Results of numerical experiment are presented.

Conclusions. A numerical model was built to simulate sound pressure near the railway track. The model is based on the explicit difference scheme which was used for integration of wave equation for sound pressure. The model allows to simulate train traffic noise with account of geometrical form of terrain. The model takes little computation time to perform numerical experiment.

Further improvement of the model should be carried out in the direction of creating a 3D numerical model.

List of reference links

1. Andrelini B, Facchini G, Bellini CG 2011 9th World Congress on Railway Research 12.
2. Yang Z, Li Z, Rahimi S, Dollevoet R P B J 2014 Proceedings of ISMA2014 including USD2014 3583–94.
3. Sun Zhenxu, Song Jingjing, An Yiran 2012 Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics 6. 173-85.
4. Yang Xinwen, Yan Caiyun 2009 Proceedings of the 2nd International Conference on Transportation Engineering 2035–40.
5. Jufeng Su, Yamin Sun, Yuyang Liu 2018 Hindawi. Complexity 2018 16.
6. Xiaoqi Sun, Han Xiao 2018 Hindawi. Complexity 2018 12.
7. Wei-te Lu1, Yan Wang, Chun-qin Zhang 2017 Journal of Vibroengineering 19 2262–79.
8. State Enterprise «SRIBC» DSTU-N B V.1.1-33: 2013 Instruction on calculation and design of inhabited territories protection from the noise (Kyiv: Minrehion) p 46
9. Samarskii A A, Gulin A V 1989 Numerical methods (Moscow: Nauka) p 432.