

**Малишева В.В.***Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова  
(вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002, Україна, e-mail: [bgd@kname.edu.ua](mailto:bgd@kname.edu.ua))***ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ СТУПЕНЯ ШУМОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПРИМАГІСТРАЛЬНИХ ТЕРИТОРІЙ ТА ШЛЯХИ ЙОГО ПОДОЛАННЯ**

У статті розглядається питання шкідливого впливу автомобільних доріг на зону житлової забудови та аналізуються фактори, які впливають на рівні шумового забруднення. Наведено коротку характеристику існуючих математичних моделей з прогнозування ступеня забруднення територій, прилеглих до транспортної магістралі, та наведено переваги використання запропонованої моделі; розглядаються основні способи захисту приміагістральних територій від впливу шуму.

**Ключові слова:** транспортна магістраль, шумове навантаження, зона житлової забудови, математична модель.

**Вступ.** Вирішення проблеми підвищення рівня безпеки транспортних магістралей для навколишнього середовища великих промислових міст є одним з основних завдань для сучасних мегаполісів. Постійне збільшення кількості транспортних засобів призводить до зростання небезпеки для мешканців, погіршує якість життя в сельбищній зоні, прилеглий до автомобільних доріг, та несприятливо впливає на стан здоров'я людей.

Із збільшенням кількості транспортних засобів та швидкості їх пересування по вулицях великих промислових міст світова спільнота визначила шум як один з головних чинників, які погіршують рівень життя людей в містах [1].

У порівнянні з Україною, міжнародне співтовариство знаходиться на багато кроків попереду у питаннях боротьби з транспортним шумом. Шумове забруднення навколишнього середовища є актуальною проблемою для більшості країн Європейського союзу, що мають розвинену інфраструктуру.

З метою захисту навколишнього середовища й зниження впливу негативних факторів на людей у рамках Європейської комісії при Євросоюзі створено Головне управління з питань навколишнього середовища (The Directorate-General for the Environment). З огляду на зростання значимості проблеми зниження шуму, DG

Environment веде активну політику, спрямовану на зменшення впливу негативного акустичного фактору на жителів великих міст країн Європейського союзу. Зокрема, в 1996 р. розроблена програма «Зелений меморандум перспективної шумової політики» (The Green Paper on Future Noise Policy (COM(96) 540)), що послужила першим кроком у створенні Європейською комісією цілого напрямку боротьби із шумом у країнах ЄС, в основі якого лежить постулат, що жодна людина не повинна підлягати впливу шуму, що загрожує її здоров'ю і якості життя [1].

Директива 2002/49/ЄС, що прийнята Європейським парламентом 25 червня 2002 року, розглядає питання, які стосуються оцінки й керування шумом навколишнього середовища в цей час і є керівним документом у державах-членах ЄС. Даний документ є прямим результатом проведеної Європейським союзом політики по захисту навколишнього середовища від шуму в рамках програми The Green Paper on Future Noise Policy з 1996 року. Він охоплює питання оцінки впливу на людей транспортних і промислових шумів, а також способів захисту від них [2].

Роботи дослідників [3-4] показали, що шум несприятливо впливає практично на всі системи організму людини, викликаючи в ньому як короткочасні, так і тривалі й стійкі функціональні зміни, що приводять

до виникнення захворювань серцево-судинної, нервової й іншої систем, а також ослабленню імунної системи організму. Надмірний шум може стати причиною нервового виснаження, психічної пригніченості, вегетативного неврозу, виразкової хвороби, розладу ендокринної й серцево-судинної систем, заважає людям працювати й відпочивати, знижує продуктивність праці й збільшує травматизм на виробництві й у побуті.

Вплив транспортного шуму на людину можливо розглядати в різних аспектах, зокрема стосовно водіїв, працівників адміністративних та офісних будівель, лікарень, шкіл та інших об'єктів з особливими вимогами стосовно рівнів шуму, які розташовані поблизу автомобільних доріг, мешканців будинків, що розташовані в безпосередній близькості до автомобільних шляхів із значною інтенсивністю руху.

Зазначені категорії людей зазнають вплив шуму упродовж тривалого часу, тому для них дія шуму є особливо небезпечною.

Стосовно впливу транспортного шуму на ефективність праці проведено дослідження [3], в якому вивчалися зміни психофізіологічних процесів пам'яті людини під впливом акустичних коливань. В якості вихідного положення при дослідженні розумової діяльності виступало твердження, що розумова працездатність людини заснована на взаємодії двох опонентних психофізіологічних систем, одна з яких за допомогою знаково-числових X-програм частоти дихання та пульсу, артеріального тиску і температури пов'язана із функціональною активністю лівої півкулі головного мозку, а інша, за допомогою знаково-числових Y-програм тих самих вегетативних показників пов'язана із функціональною активністю правої півкулі мозку. В якості критерію ефективності розумової діяльності було обрано можливість переключення з однієї знаково-числової програми на іншу, що, в свою чергу, є індикатором стану адаптивної регуляції та критерієм розумової працездатності та поточного стану здоров'я осіб, які розглядаються.

У [4] визначається, що транспортний шум є стресором для організму людини, його наслідками є порушення сну, психічного здоров'я, фізіологічних функцій та роздратування, а також вплив на когнітивні наслідки, такі як мовленнєве спілкування та пізнавальна діяльність. Так, роздратування є найпоширенішою проблемою, яка викликана впливом транспортного шуму, і часто є головним результатом оцінки впливу шуму на населення; окрім того, розглядається питання посилення гіпертонії та ішемічної хвороби серця у мешканців, які зазнавали вплив транспортного шуму не лише вдень, а й вночі; в свою чергу, порушення сну може вплинути на стан здоров'я у двох напрямках: по-перше, впливаючи на біологічні реакції, такі як збільшення частоти серцевих скорочень, пробудження та якості сну, по-друге, порушення сну можуть викликати незадоволення, стати причиною погіршення настрою, втоми та зниження ефективності роботи. Постійний вплив шуму призвів до збільшення кількості таких психологічних симптомів, як тривожність та депресія.

Загальний внесок транспортного шуму в акустичний фон сельбищної зони оцінюється на рівні 60-80 %. Встановлено, що транспортний шум впливає на мешканців сельбищної зони, яка розташована поблизу автомобільних доріг, упродовж 15-18 годин на добу. Також зазначено, що для сельбищної зони основну проблему становить саме низькочастотний шум, який має високу проникну здатність та генерується переважно вантажними автомобілями.

Окрім шумового, автомобільні дороги чинять також значне екологічне навантаження, аналіз впливу якого наведено у [5].

**Матеріали і методи досліджень.** Аналізуються існуючі математичні моделі з прогнозування ступеня шумового забруднення від транспортних засобів, що рухаються вулицями мегаполісів, проводиться оцінка ефективності використання запропонованої моделі та обґрунтовується необхідність впровадження архітектурно-планувальних заходів для захисту населення.

**Результати дослідження.** Прагнення дослідників зробити прогностичну модель

зовнішнього шуму автомобільних доріг якомога точніше змушує включати до розгляду значну кількість факторів, що характеризують дорожні умови, стан полотна, зовнішні фактори та параметри транспортного потоку, які здійснюють різний вклад в загальний процес шумовипромінювання та привносять розбіжності в кінцевий результат, що в підсумку погіршує прогностичні властивості математичної моделі.

За П.І. Поспеловим [6] прогностична модель, яка характеризує шум транспортного потоку при інтенсивності руху  $N = 60 \div 1500$  од/год виглядає як:

$$L = 50 + 8,8 \lg N + \Delta L_i, \quad (1)$$

де  $L$  – рівень шуму транспортного потоку на відстані 7,5 м від вісі найближчої смуги руху автомобільної дороги, дБА;  $N$  – інтенсивність руху, авт./год;  $\Delta L_i$  – поправка на дорожні умови та особливості руху автотранспортних засобів.

Є.П. Самойлюк [7] запропонував наступну залежність рівня транспортного шуму від інтенсивності потоку автомобілів:

$$L = 50 + 10 \lg N + D, \quad (2)$$

де  $D$  – сумарна поправка, яка враховує умови дорожнього руху.

Орієнтовна залежність шуму автотранспортного потоку від інтенсивності його руху  $N$  (для інтенсивності руху автомобільної дороги, що знаходиться в межах 1000 – 5000 од./год) за М.І. Івановим має наступний вигляд [8]:

$$L_A = 72 + 10 \lg \frac{N}{1000}. \quad (3)$$

В.М. Луканін та Ю.В. Трофіменко рекомендують оцінювати шум транспортного потоку за виразом [9]:

$$L_A = 10 \lg N_a + 13,3 \lg V + 8,4 \lg S_1 + 9,5, \quad (4)$$

де  $N_a$  – розрахункова інтенсивність руху, авт./год;  $V$  – швидкість руху, км/год;  $S_1$  – частка вантажних автомобілів у автотранспортному потоці, %.

В стандарті [10], який є чинним з початку 2014 року, пропонується визначати очікуваний рівень шуму від транспортного потоку за формулою:

$$L_{\text{Авт}} = 44 + 0,26V_c + 10 \lg \left( \frac{N_3}{V_3} \right) + \Delta L_{\text{Апокp}} + \Delta L_{\text{Аухил}}, \quad (5)$$

де  $V_c$  – середня швидкість транспортного потоку на перегоні, яка визначається згідно виразу:

$$V = \frac{(V_{\text{Л}} \cdot N_{\text{Л}} + V_{\text{ВЛ}} \cdot N_{\text{ВЛ}} + V_{\text{ВС}} \cdot N_{\text{ВС}} + V_{\text{ВВ}} \cdot N_{\text{ВВ}})}{N_{\text{Л}} + N_{\text{ВЛ}} + N_{\text{ВС}} + N_{\text{ВВ}}}, \quad (6)$$

де  $V_{\text{Л}}$ ,  $N_{\text{Л}}$  – відповідно швидкість та інтенсивність руху легкових автомобілів та їхніх модифікацій для перевезення вантажів, а також вантажних автомобілів з дозволеною максимальною масою до 3,5 т включно, од/годину (легкі автомобілі);  $V_{\text{ВЛ}}$ ,  $N_{\text{ВЛ}}$  – відповідно швидкість та інтенсивність руху вантажних автомобілів та автобусів з дозволеною максимальною масою до 5 т включно, од/годину (вантажні легкі автомобілі);  $V_{\text{ВВ}}$ ,  $N_{\text{ВВ}}$  – відповідно швидкість та інтенсивність руху вантажних автомобілів та автобусів з дозволеною максимальною масою від 5 до 12 т включно, а також троллейбусів, од/годину (вантажні середні автомобілі);  $V_{\text{ВВ}}$ ,  $N_{\text{ВВ}}$  – відповідно швидкість та інтенсивність руху вантажних автомобілів та автобусів з дозволеною максимальною вище 12 т, од/годину (вантажні важкі автомобілі);  $N_3$  – зведена (за звуковою енергією) інтенсивність руху в од/год, яка визначається за формулою:

$$N_3 = N_{\text{Л}} + N_{\text{ВЛ}} + N_{\text{ВС}} + N_{\text{ВВ}}, \quad (7)$$

$V_3$  – зведена (відносно швидкості легкових автомобілів) середня швидкість транспортного потоку на перегоні, км/год, яка визначається за формулою:

$$V_3 = V_{\text{Л}} + 1,44V_{\text{ВЛ}} + 1,18V_{\text{ВС}} + 1,22V_{\text{ВВ}}, \quad (8)$$

$\Delta L_{\text{Апокp}}$  – поправка у дБА, що враховує тип покриття проїзної частини вулиці або дороги та визначається за [10];  $\Delta L_{\text{Аухил}}$  – поправка у дБА, що враховує поздовжній ухил вулиці або дороги, визначається за [10].

Наведена вище методика визначення очікуваного рівня шуму автотранспортного потоку представляється незручною у використанні завдяки значній кількості необхідних вихідних даних.

Представлення розповсюдження акустичних коливань від автомобільної дороги, як лінійного джерела, в навколишній простір, та враховуючи щільність автомобільного потоку, середню швидкість руху автомобіля

та кількість смуг, отримуємо формулу для визначення рівнів шуму на певній відстані від автомобільної дороги [8, 11]:

$$L = 72 + 10 \lg \frac{7,5 \cdot n \cdot C \cdot V}{1000 \cdot r}. \quad (9)$$

При дослідженнях транспортних систем виділяють декілька видів середньої швидкості руху транспортного засобу, що характеризує особливості руху транспортного потоку [12-13]:

1) середня технічна швидкість – являє собою відношення шляху, який пройшов автомобіль, без урахування зупинок і стоянок, до часу, що витрачений на цей рух;

2) середня експлуатаційна швидкість – це швидкість, яка визначається як відношення пройденого шляху з урахуванням усіх зупинок і стоянок, до часу, витраченого на рух.

Однак, оскільки метою дослідження є визначення особливостей функціонування системи «транспортний потік-шум-навколишнє середовище» на макрорівні, доцільним є ввести поняття середньозваженої швидкості руху транспортного потоку  $V_{cn}$  на певній довжині ділянки, яка визначається як [14]:

$$V_{cn} = \frac{\sum_{i=1}^4 V_{ci} \cdot N_i}{\sum_{i=1}^4 N_i}, \quad (10)$$

де  $V_{ci}$  – середня швидкість руху  $i$ -ї групи транспортних засобів, яка, у свою чергу, знаходиться з виразу

$$V_{ci} = \frac{3,6 \cdot S}{t_{ci}}, \quad (11)$$

де  $S$  – довжина ділянки дороги, що розглядається, м;  $t_{ci}$  – середній час руху транспортних засобів  $i$ -ї групи по заданій ділянці автомобільної дороги, визначається як

$$t_{ci} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_p}{p}, \quad (12)$$

де  $t_1, t_2, \dots, t_p$  – час проїзду окремими транспортними засобами певної групи ділянки автомобільної дороги довжиною  $S$ , с;  $p$  – кількість вимірювань часу проходження окремими транспортними засобами певної групи ділянки автомобільної дороги довжиною  $S$ .

Враховуючи, що визначені входні параметри, що характеризують функціонування досліджуваної системи «транспортний потік-шум-навколишнє середовище», є змінними в часі, вираз (9) запишемо у вигляді

$$L(t) = 72 + 10 \lg \frac{7,5 \cdot n \cdot C(t) \cdot V_{cn}(t)}{1000r}. \quad (13)$$

Отримане математичне рівняння дозволяє визначити можливий рівень шуму в сельбищній зоні залежно від параметрів транспортного потоку. Обмеженням застосування цієї формули є наявність перешкод та складний рельєф місцевості, яка знаходиться поблизу автомобільної дороги.

Складний процес розповсюдження транспортного шуму на робочі місця та сельбищну зону вимагає розробки й впровадження комплексних шумозахисних заходів.

Відповідно до [15] методи колективного захисту так класифікуються за способами реалізації: акустичні; архітектурно-планувальні; організаційно-технічні.

Стосовно захисту від шуму сельбищної зони й робочих місць, розташованих у будинках поблизу автомобільних доріг, доцільно використовувати такі акустичні засоби захисту: засоби звукоізоляції; засоби звукопоглинання, віброізоляції, демпфування та глушники шуму. Причому стосовно питання боротьби із транспортним шумом заходами з виконання звукоізоляції є підвищення звукоізолюючих властивостей конструкцій будинків і споруд, а також конструкції кабіни водія, що огорожують; акустичні екрани, відгородження.

Використання архітектурно-планувальних та організаційно-технічних методів захисту будинків від шуму транспортних потоків може виконувати як захисні, так й естетичні функції. Ці методи містять у собі оптимальні акустичні рішення щодо планування розташування будинків; створення й оптимальне акустичне планування зон та режиму руху транспортних засобів і транспортних потоків; створення шумозахисних зон у різних місцях можливого перебування людини в процесі своєї життєдіяльності [16, 17].

Одним з найбільш перспективних напрямків захисту сельбищної зони та робочих місць, що знаходяться у приміщеннях будівель, які розташовані поблизу автомобільних доріг, є застосування захисних інженерних споруд.

Захисні екрани за функціональністю можна поділити на три типи: шумопоглинальні, шумовідбивні й комбіновані. Досвід провідних виробників захисних екранів показав, що найбільш ефективними є комбіновані захисні інженерні конструкції. Такі екрани поряд з звукоізолюючими властивостями містять звукопоглинаючі, що збільшує їх ефективність.

При розробці конструкції захисного екрану необхідно враховувати те, що при однобічному його розміщенні забудова, яка знаходиться на протилежному боці від автомобільної дороги, буде підлягати посиленому акустичному навантаженню за умови, що захисний екран виконаний із звуковідбивного матеріалу (залізобетон, дерево, склопластик, метал та ін.). Тому доцільно використовувати комбіновану конструкцію, яка має не тільки звуковідбивні, але й звукопоглинаючі властивості.

Таким чином, конструкція захисної інженерної споруди повинна задовольняти ряду вимог, а саме:

- забезпечувати максимально можливу акустичну ефективність при мінімальних геометричних розмірах;
- бути надійною та довговічною у використанні, мати високі пожегобезпечні та антивандальні показники;
- естетично вписуватися в навколишнє середовище;
- не створювати додаткових джерел небезпеки, зокрема – не зменшувати оглядовість ділянки доріг поблизу перехресть;
- не посилювати інтенсивність акустичних коливань на протилежному боці автомобільної дороги при однобічному встановленні захисних екранів у випадку розташування там об'єктів із постійним перебуванням людей;
- витримувати значне вітрове навантаження, а також вплив інших факторів навколишнього середовища;

- складатися із матеріалів, що мають собівартість, економічно виправдану для використання їх на протяжних об'єктах.

Враховання цих вимог в конструкції захисних екранів дозволить зробити їх зручним та звичним елементом міської забудови.

**Висновки.** Питання впливу транспортного шуму на організм людини є важливим, оскільки шумове навантаження призводить до стійких порушень у функціональному стані здоров'я, є причиною захворювань, знижує якість життя та рівень працездатності. Створення інформативної моделі визначення ступеня шумового навантаження примігстральних територій дозволить прогнозувати рівень забруднення на різних відстанях від автомобільних доріг, внаслідок чого стає можливим розробка та впровадження таких захисних заходів як захисні екрани складної конструкції, які не лише створюють зону акустичної тіні, достатньої для захисту мешканців будинків, що розташовані поблизу транспортної магістралі, а й можуть мати приємний вигляд, органічно вписуватись в довкілля. Окрім того, до безперечних переваг застосування захисних екранів слід віднести те, що їх можливо встановлювати в зоні архітектурної забудови, що вже склалася в місті.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Europa: Gateway to the European Union [Електронний ресурс] // Official website of the European Union. – 2013. – Режим доступу: [http://europa.eu/index\\_en.htm](http://europa.eu/index_en.htm). – Назва з екрану.
2. Directive 2002/49/EC of the European parliament and of the council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise [Електронний ресурс] // Eur-Lex: Access to European Union Law. – 2002. – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&from=EN>. – Назва з екрану.
3. Alimohammadi I. The effects of road traffic noise on mental performance [Electronic resource] / Alimohammadi I., Soltani R., Sandrock S. // Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering. – Electronic data. – [BioMed Central, 2013]. – Vol. 5. – Mode of access: World Wide Web:

- <http://jehse.biomedcentral.com/articles/10.1186/1735-2746-10-18>. – Title from screen.
4. Clark C., Stansfeld Stephen A. The Effect of Transportation Noise on Health and Cognitive Development: A Review of Recent Evidence / C. Clark, Stephen A. Stansfeld // International Journal of Comparative Psychology. – University of California, 2007. – vol. 20. – pp. 145-158.
  5. Малишева В.В. Оцінка ступеня забруднення приміагістральних територій автотранспортними потоками / В.В. Малишева // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2015. – № 2(80). – С. 246-250.
  6. Поспелов П.И. Борьба с шумом на автомобильных дорогах / П.И. Поспелов. – М.: Транспорт, 1981. – 88 с.
  7. Самойлюк Е.П. Борьба с шумом в градостроительстве / Е.П. Самойлюк. – Киев: Будивельник, 1975. – 128 с.
  8. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник / Н.И. Иванов. – М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 424 с.
  9. Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология: Учеб. для вузов / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко; под ред. В.Н. Луканина. – М.: Высшая школа, 2003. – 273 с.
  10. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій : ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 [Чинний від 2014-01-01]. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 46 с.
  11. Осипов Г. Л. Защита от шума в градостроительстве / Г. Л. Осипов, В. Е. Коробков, А. А. Климухин, А. С. Прохода, И. Л. Карагодина, Б. С. Зотов – М.: Стройиздат, 1993. – 96 с.
  12. Поліщук В.П. Організація та регулювання дорожнього руху: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / В.П. Поліщук, О.О. Бакуліч, О.П. Дзюба та ін. – Київ: Знання, 2014. – 467 с.
  13. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения / Ю.А. Врубель. – Минск, Белорусский фонд безопасности дорожного движения, 1996. – 634 с.
  14. Булавина Л.В. Экспериментальное изучение характеристик транспортного и пешеходного движения: учебное электронное текстовое издание [Электронный ресурс] / Л.В. Булавина. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2009. – 28 с. Режим доступа: <http://www.urfu.ru> – Назва з екрану.
  15. Средства и методы защиты от шума. Классификация: ГОСТ 12.1.029–80. ССБТ [Чинний від 1981–07–01]. – М., 1981. – 3 с.
  16. Данова В.В. Вплив транспортного шуму на людину та шляхи його зниження / К.В. Данова, В.В. Данова // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2009. – № 55. – С. 270–273.
  17. Ковальов В.В. Організація модернізації транспортно-дорожньої інфраструктури при комплексній реконструкції міської забудови / В.В. Ковальов // Науковий вісник будівництва. – 2018. – Харків : ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2018. – № 2(92). – С. 167-172.
- Мальшева В.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТЕПЕНИ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИМАГИСТРАЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ И ПУТИ ЕГО ПРЕОДОЛЕНИЯ.** В статье рассматривается вопрос вредного воздействия автомобильных дорог на зону жилой застройки и анализируются факторы, влияющие на уровни шумового загрязнения. Приведена краткая характеристика существующих математических моделей по прогнозированию степени загрязнения территорий, прилегающих к транспортной магистрали, и приведены преимущества использования предложенной модели, рассматриваются основные способы защиты примыкающих территорий от воздействия шума.
- Ключевые слова:** транспортная магистраль, шумовая нагрузка, зона жилой застройки, математическая модель.
- Malysheva V.V. USE OF THE MATHEMATICAL MODEL FOR PREDICTING THE LEVEL OF NOISE POLLUTION OF DWELLING ZONES AND WAYS OF ITS OVERCOMING.** The article discusses the harmful effect of highways on the dwelling zone and analyzes factors that affect the levels of noise pollution. A brief description of existing mathematical models for forecasting the degree of pollution of territories adjacent to the transport highways is given, and the advantages of using the proposed model are given and the main methods of protection in trunk territories from the effects of noise are considered.
- Key words:** transport main, noise load, residential area, mathematical model.