

УДК 534.2:004.942

Сафонов В. В., канд. техн. наук, професор
(ГВУЗ «ПГАСА»)

Абракітов В. Э.,
канд. техн. наук, доцент
(ХНУГХ ім. А. Н. Бекетова)

КВАЗИАНАЛОГОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРО- СТРАНЕНИЯ ЗВУКА НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА

Сафонов В. В., канд. техн. наук, професор
(ДВНЗ «ПДАБА»)

Абракітов В. Е.,
канд. техн. наук, доцент
(ХНУМХ ім. А. Н. Бекетова)

КВАЗИАНАЛОГОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПОШИРЕННЯ ЗВУКУ НА ТЕРИТОРІЇ МІСТА

Safonov V. V., Ph.D (Tech.), Professor
(SHEI «PSACEA»)

Abrakitev V. E., Academician of IFLH,
Ph.D (Tech.), Associate Professor
(NUUER named after A.N. Beketov)

QUAZI-ANALOGY DESIGN OF PROCESSES OF DISTRIBUTION OF SOUND IS ON TERRITORY OF CITY

Анотація. Запропоновано нову конструкцію пристрою моделювання акустичних процесів на території сучасного міста. Вживання світла не у видимому, а в інфрачервоному діапазоні має достатньо великі переваги в плані розширення діапазону можливих масштабів лінійних розмірів під час моделювання. Специфікація складових частин пристрою: змінна модель міської території; моделі різноманітних джерел звуку; засіб реєстрації розподілу енергії, яка моделюється (електронно-оптичний перетворювач). Оскільки звук і інфрачервоне випромінювання підкоряються однаковим для всіх типів хвиль законам розповсюдження, енергія інфрачервоного випромінювання розповсюджується по поверхні моделі ідентично. Одержана в ході модельних експериментів інформація вноситься в комп'ютер і будуються карти шуму, які описують розподіл акустичного забруднення по території міста. Створений пристрій квазіаналогового моделювання процесів розповсюдження звуку, який реалізує встановлену аналогію між розповсюдженням звуку і електромагнітних хвиль. Забезпечена можливість картографування шумового режиму із застосуванням сучасних технологій шляхом побудови карт шуму за наслідками квазіаналогового моделювання. Застосування рішень, які пропонуються, є особливо важливим у житлових районах, які розташовані поблизу промислових і транспортних об'єктів, зокрема, вугільних підприємств і автомагістралей.

Ключові слова: акустика; аналогія; візуалізація звуку; карта шуму; моделювання.

Відмінною рисою сучасних міст у нашій країні й за кордоном є їхнє інтенсивне зростання в обмежених просторових рамках. Це приводить до зближення, а найчастіше до тісного переплетення різних функціональних зон міста. У таких умовах неминуче негативний вплив одних зон на інші.

Особливе значення при цьому здобувають питання охорони навколишнього середовища й, зокрема, захист міських забудов від шумового забруднення.

Мета

Відомі різні експериментальні способи кількісної оцінки зашумованості міських забудов. Найбільш доцільно й доступно одержувати дані про зниження шуму експериментальним шляхом у ході натурних вимірів. Однак проведення таких вимірів дуже складно. Це пов'язане з тим, що на території житлових комплексів діють одночасно кілька джерел шуму, тому шумове тло надзвичайно високе, неможливо ліквідувати шумові перешкоди, вплив вітру й інших атмосферних умов, що спотворюють картину поширення шуму.

Найбільш сприятливі умови для розв'язку завдань містобудівної акустики створюють експерименти з використанням моделювання як одного з найбільш ефективних і економічних методів дослідження, що дозволяє проводити їх в умовах, максимально наближених до реальних. Переваги експериментальних досліджень на моделях - здійснення фізичних спостережень на основі ідеальних умов, які неможливо забезпечити в природі. Не слід забувати, що мова йде про найскладніші дифракційні процеси на території міської забудови, де будинку, дерева, рельєф місцевості викликають несподівані ефекти, що важко піддаються математичному опису. Кількісна і якісна оцінка поширення шуму в складних умовах, з урахуванням безлічі супутніх факторів і хвильових явищ, що неминуче виявляються - може бути отримана шляхом побудови моделей, що базуються на аналогії акустичних і оптичних процесів. Тобто, це є можливість моделювання звуку електромагнітними хвилями.

Основною умовою вірогідності при цьому виступає подібність еквівалентних явищ - натурних і модельних. Себто фізичні явища, процеси або системи вважаються подібними, якщо в еквівалентних точках простору, у еквівалентні моменти часу визначені величини, що характеризують стан системи, пропорційні відповідним їм величинам іншої системи. При побудові моделей використовують критерії подібності, або безрозмірні числа, складені з розмірних фізичних параметрів, що визначають розглянуті фізичні явища. Найпростішим, відомим усім прикладом критерію подібності є, зокрема, масштаб географічної карти або плану – тобто дріб, чисельник якого дорівнює одиниці, а знаменник – числу, що показує зменшення зображення (моделі) відносно його ж натурних розмірів. Вимоги теорії подібності повинні бути належним чином враховані при побудові будь-якої модельної системи.

Такий процес є так званим квазіаналоговим моделюванням [1-3]. Цей метод дослідження полягає у вивченні не самого по собі досліджуваного явища, а в науковому опрацюванні якогось подібного явища або процесу іншої фізичної природи, котрі описуються співвідношеннями, еквівалентними відносно отримуваних наслідків. Щоб отримати якісь практичні результати (а саме - побудувати карти шуму) слід застосувати розроблену авторами конструкцію пристрою моделювання акустичних процесів на території сучасного міста. За рахунок по-

будови такого пристрою потребується провести експерименти з моделювання акустичних процесів. Після побудови карт шуму за результатами квазіаналогового моделювання із застосуванням побудованого приладу необхідно їх зіставити із еталонними картами шуму для того ж самого випадку, побудованими іншим чином (наприклад, за рахунок натурних вимірів, або за результатами математичного моделювання). Тільки тоді можна робити висновок про ступінь еквівалентності результатів квазіаналогового моделювання щодо результатам, отриманим іншим чином, і отже, визначити ступінь вірогідності та достовірності запропонованого способу моделювання.

Методика

Авторами у рамках досліджень [1], розвинених далі в [2], було запатентовано так званий пристрій для візуалізації картини зашумованості міської забудови згідно [3, 4], що використовує заміну реального звукового випромінювання оптичним (видиме світло або інфрачервоне випромінювання на моделі). Зони натурної звукової тіні представляються в моделі міської забудови зонами легко спостережуваних незброєним поглядом звичайних, світлових тіней. Обладнання представлено на кресленні: (рис. 1).

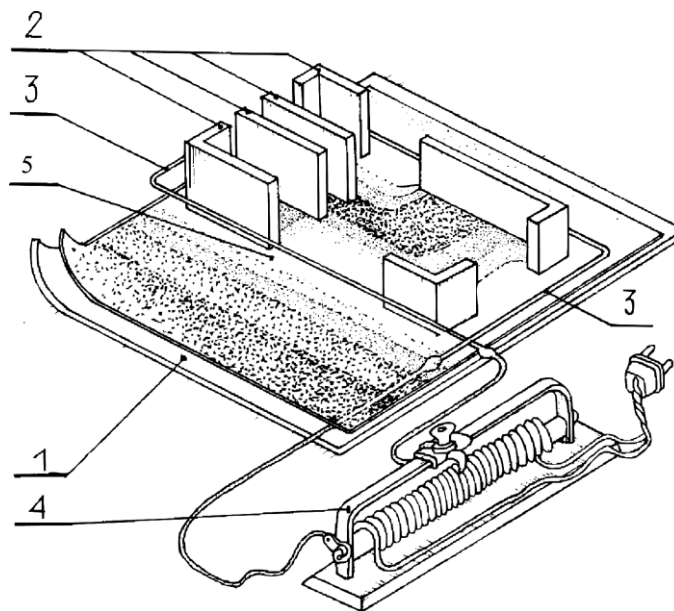


Рисунок 1 – Загальний вид пристрою візуалізації картини зашумованості міської забудови

Обладнання містить: [1, 2, 3, 4]: модель джерела звукової енергії 3, модель міської забудови 2 і засіб оцінки, що розподіляється енергії 1. Модель джерела звукової енергії виконана у вигляді ніхромової нитки 3, з'єднаної із джерелом струму й реостатом 4, а засіб оцінки, що розподіляється енергії виконане у вигляді фотопластинки 5, яка сполучена з підставою моделі міської забудови 2, при цьому лінійні розміри підстави (території) і будинків вибираються з певного співвідношення, що впливає з вимог подібності, а саме:

$$\lambda_m = \lambda_n \cdot c_L,$$

де $c_L = L_m / L_n$ – коефіцієнт масштабування, L_m і L_n – відповідно, лінійні розміри об'єктів міської забудови в моделі й у природі, м; λ_m і λ_n – відповідно, довжини хвиль випромінювання в моделі й у природі, м.

Моделі джерел шуму у вигляді джерел світла й моделі будинків поміщають на фотопластинку, що служить підставою моделі. Підбирають необхідну яскравість світіння ламп, і забезпечують задану величину довжини світлової хвилі (за рахунок застосування світлофільтрів). Потім експонують фотопластинку в межах досліджуваної забудови, фіксуючи час експозиції. Проявлена фотопластинка є результатом експерименту й зберігає в собі дані про розподіл еквіваленту шумового випромінювання (у вигляді світла) на моделі досліджуваного об'єкта. По ступеню освітленості кожної ділянки зображення судять про ступінь зашумованості міської забудови. Освітленість у досліджуваних крапках спроектованого на екран зображення вимірюють люксометром, градуйованим у децибелах. Для градування люксометра використовують відомі закономірності відносного зниження звуку а просторі.

Подальшим розвитком цієї ідеї з'явилося вдосконалювання засобів реєстрації розподілу модельного випромінювання на території об'єкта, що дозволяють одержати якісні й кількісні параметри, що характеризують його.

Масштаб моделі може бути збільшений за рахунок використання більш довгих хвиль, тобто переходу в інфрачервону (ІЧ) область спектра з використанням контактних термоіндикаторів замість фотопластинки. Узагалі застосування світла не у видимому, а в ІЧ діапазоні має чималі переваги в плані розширення діапазону можливих масштабів лінійних розмірів при моделюванні.

Застосування світла не у видимому, а в інфрачервоному діапазоні має чималі переваги в плані розширення діапазону можливих масштабів лінійних розмірів при моделюванні. У той же час недискретні способи реєстрації характеризуються високою наочністю, на відміну від дискретних. У зв'язку із цим була розроблена оригінальна конструкція обладнання квазіаналогового моделювання процесів поширення звуку на території міста [1, 5], функціональна схема якого наведена на прикладеному кресленні (рис. 2).

Пропонований пристрій візуалізації і картографування зон зашумованості міської забудови з недискретним способом реєстрації розподілу енергії, що моделюється, по поверхні моделі об'єкта [5] складається з:

- змінної моделі міської території у виді основи 1, виконаної з матеріалу, прозорого для ІЧ- випромінювання (наприклад, чорного папера), із установленими на ній моделями будинків, споруд і ін. міських об'єктів 2 і моделями засобів боротьби із шумом на шляху його поширення (шумозахисних екранів і ін.) 3, моделей ДШ у виді джерел ІЧ- випромінювання, у т.ч. моделей точкових ДШ, (наприклад, світлодіодів 4) і (чи) лінійних джерел звуку, (наприклад, дровових випромінювачів з ніхрому чи ферроніхрому) 5, причому на зазначені моделі точкових 4 і лінійних 5 ДШ одягнуті світлофільтри 6;

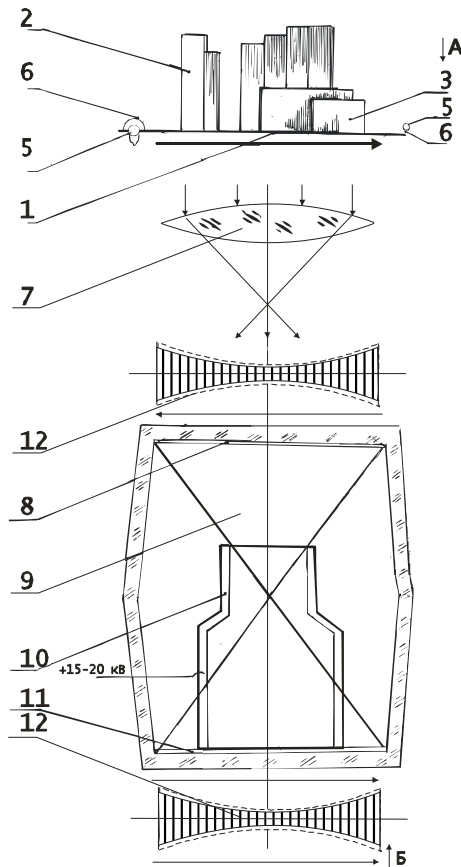


Рисунок 2 – Пропонований пристрій

- засобу реєстрації у виді оптичної системи 7, що забезпечує проектування зображення розподілу енергії, що моделюється, по якій-небудь площині моделі міської території на чуттєвий елемент, наприклад, напівпрозорий фотокатод 8, нанесений на внутрішню сторону зовнішнього дна кінескопа 9, що виконаний у виді колби, із внутрішнього простору якої викачане повітря, і куди поміщений високовольтний анод 10; із вмонтованим у її верхнє дно регулярним волоконною світлопроводом 12, зовнішній торець якого виконаний матовим, а внутрішній, що повторює форму колби, розташований напроти фотокатода 8, причому торці волокон світлопроводу 12 виконані монолітними. Світлопроводи 12 можуть бути застосовані в кількості 1 чи 2 штук, і розташовані відповідно: перший (обов'язковий для установки: описаний вище) - за оптичною системою 7 (на вході в кінескоп 9; сполучений з фотокатодом 8); другий (опціонально) – вмонтований у нижнє дно кінескопа 9; зовнішній торець його виконаний матовим, а внутрішній, що повторює форму колби, покритий люмінофором 11. Зовнішній торець кожного зі світлопроводів 12 має форму увігнутої убік колби площини, що повторює форму колби, причому радіуси кривизни зовнішнього і внутрішнього торців світлопроводу однакові.

Пристрій візуалізації і картографування зон зашумованості міської забудови з недискретним способом реєстрації розподілу енергії, що моделюється, по поверхні моделі об'єкта [5] працює в такий спосіб. З дотриманням вимог геомет-

ричної подібності збирають модель міської забудови, установлюючи на основі 1 моделі міських будинків і споруд 2, засобів боротьби із шумом 3, моделі точкових 4 і лінійних 5 джерел звуку. Інтенсивність ІЧ- випромінювання на моделі підбирають пропорційно інтенсивності звуку в природі, використовуючи готові співвідношення (що наведені в [6]) за рахунок регулювання сили струму електричного живлення моделей ДШ. Частотний спектр ІЧ- випромінювання в моделі підбирають пропорційним частотному спектру звуку в природі відповідно до вищеописаних вимог подібності (наприклад, у масштабі лінійних розмірів $c_L = 1:17$ звук з довжиною хвилі $\lambda_n=1,7$ см замінюється ІЧ - випромінюванням з $\lambda_m=1$ мм), що досягається за рахунок установки світлофільтрів 6 на моделі джерел звуку 4 і 5. Таким чином, досягається пропорційність АЧХ ІЧ- випромінювання в моделі і звуку в природі з дотриманням вимог подібності. Оскільки звук і ІЧ- випромінювання підкоряються однаковим для всіх типів хвиль законами поширення, енергія ІЧ- випромінювання поширюється по поверхні моделі ідентично тому, як поширюється енергія звуку по поверхні натурального об'єкта (з дотриманням всіх особливостей дифракційних і інтерференційних явищ і ін.).

При необхідності моделюють ефективність різних можливих шумозахисних засобів, здійснюють підбор їхніх варіантів, розмірів, конфігурацій за рахунок використання різних варіацій їхніх моделей 3. За допомогою оптичної системи 7 зображення розподілу енергії, що моделюється, проектується на чуттєвий елемент, наприклад, на фотокатод 8 електронно-оптичного перетворювача. При цьому може бути отримане це зображення в будь-якій площині, яка цікавить дослідників. Як правило, з метою побудови карт шуму потрібно зображення розподілу енергії, що моделюється, по основі моделі 1 (еквівалентному поверхні землі в природі), для чого воно повинне бути прозорим для ІЧ- випромінювання. Під дією ІЧ-променів фотокатод 8 починає випускати електрони, причому з тих ділянок, де яскравість зображення більше, відповідно більше і випускається електронів. Між екраном 11 і фотокатодом 8 (а саме - до високовольтного анода 10) прикладено високу напругу, завдяки чому електрони розганяються, бомбардують екран 11 і викликають його світіння, "малюючи" картину, яку можна бачити оком людини. Таким чином, візуалізується зображення розподілу енергії, що моделюється, при цьому можливо його фотографування, або реєстрація якимсь іншим способом, а також кількісна оцінка цієї енергії в різних точках зображення, тобто вимір у них інтенсивності (опромінення ІЧ- випромінюванням).

Результати

Отриману в ході модельних експериментів інформацію вносять у комп'ютер. На її базі можуть бути створені так звані карти шуму, що описують розподіл акустичного забруднення на території міста.

Приклад такої карти шуму для конкретного окремо взятого ділянки міської забудови, на якому розташована житлова група одного з мікрорайонів Салтівського житлового масиву м. Харкова, що включає три дев'ятиповерхові будинки з лінійним джерелом шуму у вигляді транспортної автомагістралі (приляга-

ючої вулиці), представлений на рис. 3, 4 і 5. Масштаб схеми – 1:1250 (в 1 см – 1,25 м). Цьому значенню відповідає константа подібності $C_L=0,0008$.

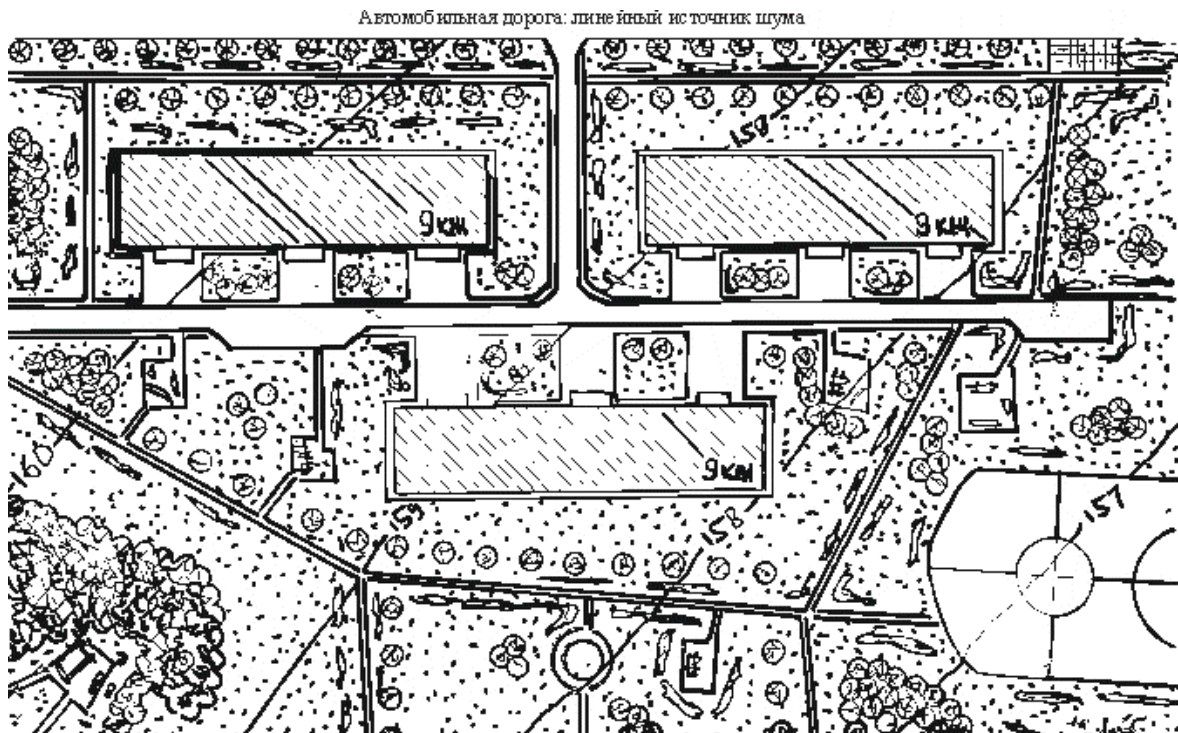


Рисунок 3 – Конкретна містобудівна ситуація в зоні, що підлягає дослідженню

На рис. 3 показані вихідні дані у вигляді плану місцевості, на якому чітко видні вищевказані будинки, що служать шумозахисними екранами на шляху поширення шумового забруднення, дерева, і інші елементи інженерного благоустрою, що виявляють вплив на звукові процеси, що відбуваються на території житлової групи. Слід звернути увагу, що на схемі проведені топографічні горизонталі (спад відміток від 160 м над рівнем моря до 157), узяті з даних геодезичної зйомки місцевості. Очевидно, крутість рельєфу (перепад висот більш ніж на 3 м на ділянці обмеженої площі) впливає на процеси поширення шуму, - але як її врахувати теоретичними розрахунками? У випадку побудови оптико-акустичної аналогової моделі її підставу (поз. 1 на рис. 1; або відповідна їй поз. 1 на рис. 2) просто відхиляють від строго горизонтального положення під певним кутом, відповідним до природнього ухилу рельєфу місцевості. Відповідно до теорії подібності повинна бути забезпечена рівність кутів нахилу відповідних елементів моделі й природи. Похиле положення змінної моделі міської території, з ухилом $i = 0,03\%$, відповідне до природнього перепаду висот на місцевості, анітрошки не утрудняє практичне проведення експерименту.

Лінійне джерело шуму на місцевості (автомобільна дорога) у ході експерименту замінюється його моделлю у вигляді лінійного джерела світла. Світловий потік, випромінюваний такою лампою, що й представляє собою модель потоку звукової енергії, випромінюваної транспортом, що рухаються по дорозі, пропо-

рційний йому, і пов'язаний з його енергетичними параметрами раніше виведеними нами залежностями [1, 2, 6].

Рисунок 4 представляє нерозшифровану (поки ще) картину зашумованості міської забудови.

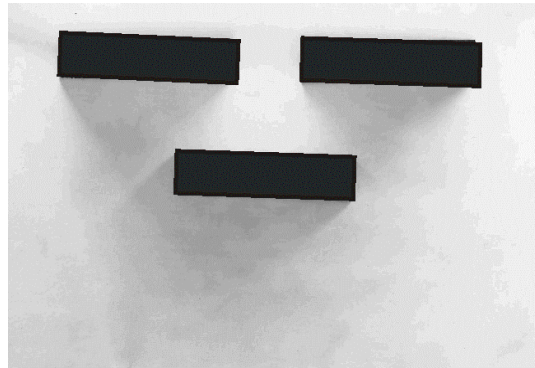


Рисунок 4 – Розподіл досліджуваної енергії по поверхні моделі

Зони звукової тіні на рис. 4 представлені адекватними їм зонами звичайної, світлової тіні. При цьому інтенсивність фарбування отриманої картини пропорційна інтенсивності модельного випромінювання.

За тією же причиною проекції моделей будинків на модель території на знімку виходять зачерненими. В роботі [9], що належить перу корифеїв моделювання в акустиці, наведені зразки карт шумового режиму задля найбільш поширених випадків, один з яких ми промодельовали в наших власних дослідженнях: (див. рис. 5), та надаємо задля подальшого зіставлення (рис. 6).

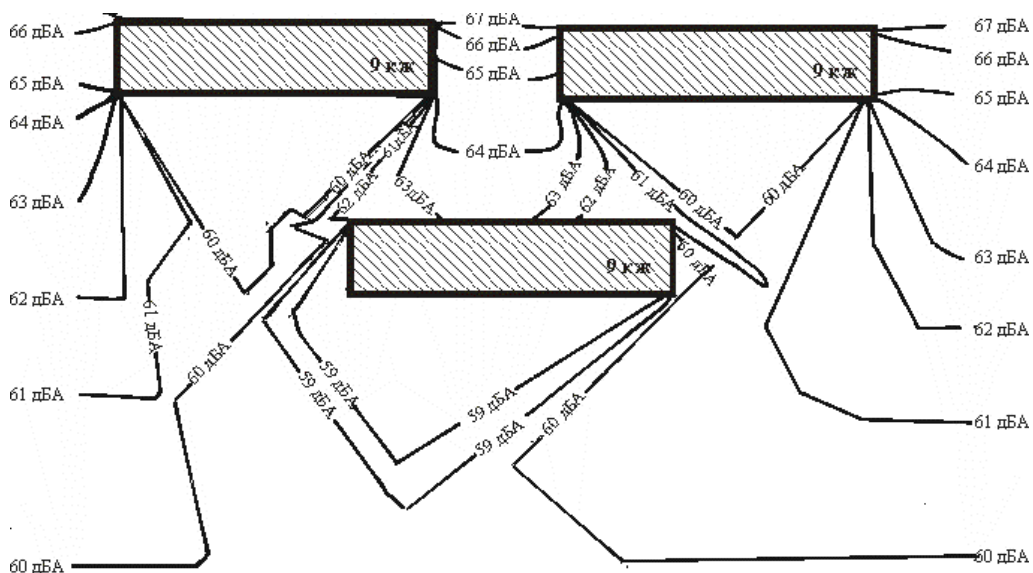


Рисунок 5 – Карта шуму, отримана в результаті одного з експериментів

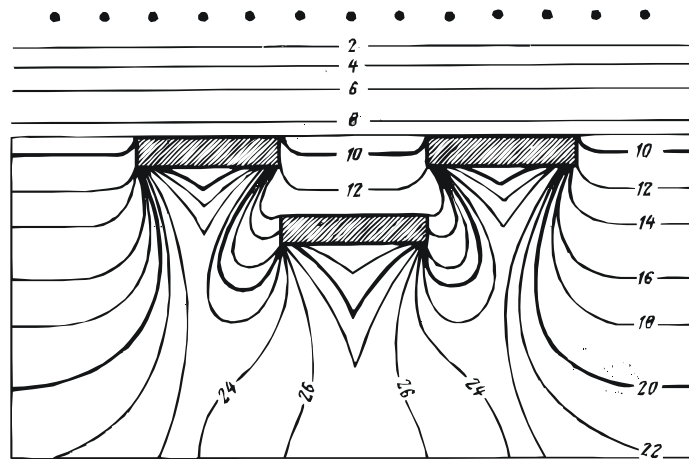


Рисунок 6 – Еталонна карта шуму задля адекватного випадку, взята з [5]. Наочна повна еквівалентність.

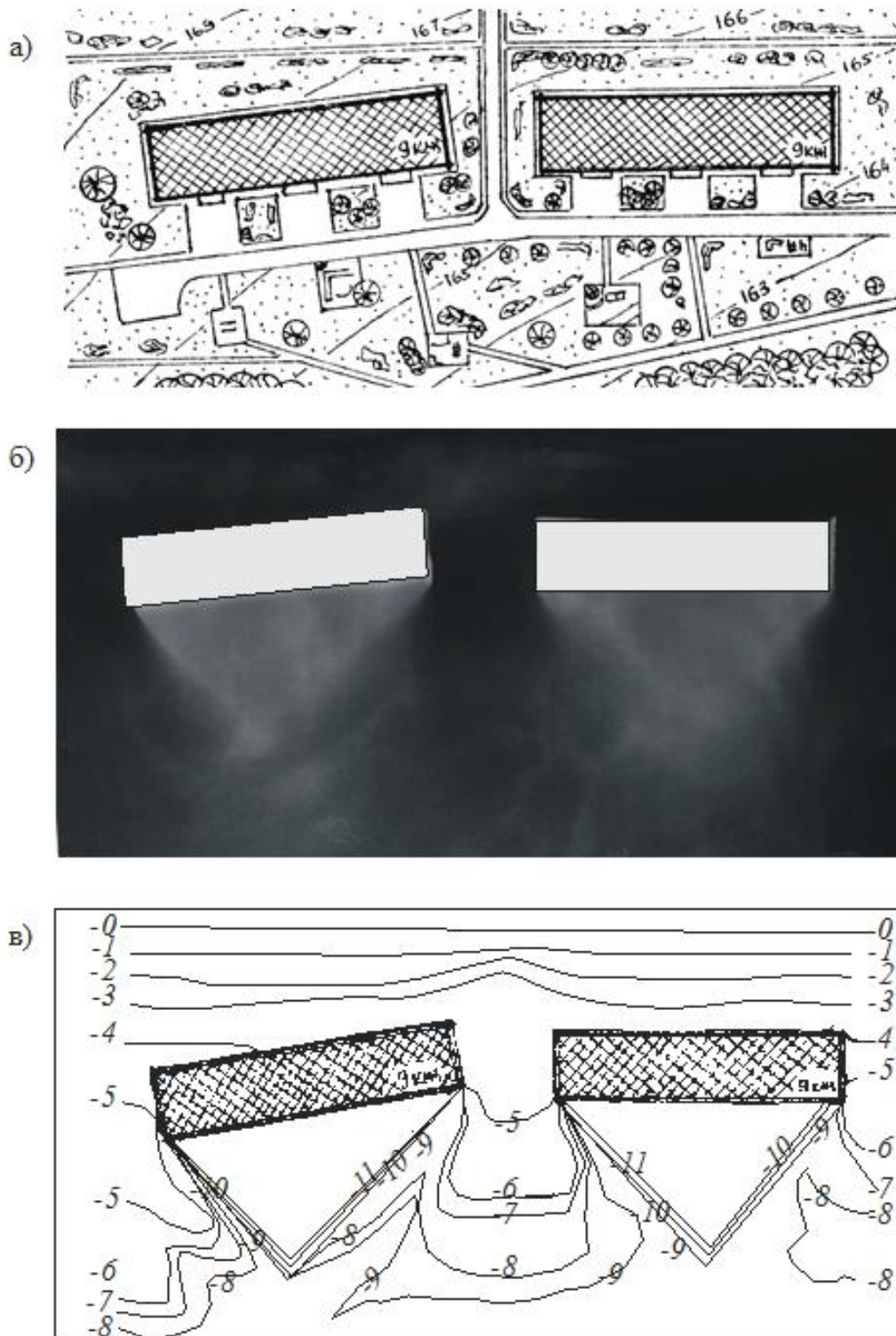
На рис. 5 представлена карта шуму для даного випадку, отримана в результаті аналізу проведених експериментів. Побудовані так звані ізобели – лінії, що з'єднують точки з однаковими значеннями рівня звуку, вираженими в дБА.

Спад рівнів звуку, як і слід було сподіватися, здійснюється вглиб мікрорайону, у міру видалення від автомобільної дороги, що є його основним джерелом. Перші два будинки, що виходять фасадами на червоні лінії вулиці, є непоганими акустичними екранами, що перешкоджають проникненню шуму усередину території селитьби мікрорайону. У просвіті між будинками утворений «простір», куди в розрив суцільної лінії міської забудови проникає шум від дороги.

Однак подальшому поширенню акустичного забруднення вглиб території селитьби мікрорайону перешкоджає третій будинок, що перебуває в другому ешелоні забудови. Зони акустичної тіні за будинками мають чітко виражену трикутну форму. У результаті інтерференції звукових хвиль, і змодельованого в результаті експериментів ухилу місцевості трикутники звукової тіні не рівнобедрені, (як це можна було б очікувати теоретично), мають своєрідні відхилення від правильної геометричної форми, і т. п. свої специфічні особливості, (що виявляються винятково за допомогою аналогового моделювання).

Треба зауважити, що містобудівельна ситуація з зонами акустичної тіні від трьох будинків моделювалася неодноразово (з різноманітними варіаціями). Поглянемо на наступний рис. 6. Зробимо зіставлення попереднього та наступного рисунків між собою задля обґрунтування точності та вірогідності квазіаналогового моделювання.

Інший випадок побудови карти шуму за допомогою вказаного пристрою надано на рис. 7.а, 7.б, 7.в:



а) конкретна містобудівельна ситуація;
 б) результати експерименту в необробленому вигляді (розподіл досліджуваної енергії по поверхні моделі);
 в) результати експерименту в обробленому виді: (карта шуму; побудована на базі моделювання). Цифровими позначеннями показані: 0 дБА - вихідний рівень звуку; - X дБА - його зниження). Масштаб лінійних розмірів 1:1250 ($c_L=0,0008$).

Рисунок 7 – Те ж саме, що й рис. 4, 5,6, але для випадку «прострілу» звукової енергії проміж двох будинків:

Наукова новизна та практична значимість

Створено пристрій квазіаналогового моделювання процесів розповсюдження звуку, який застосовує встановлену аналогію між розповсюдженням звуку та електромагнітних хвиль.

Спосіб та пристрої такого моделювання захищено патентами України та Росії [4, 5, 7, 8].

Забезпечено можливість картографування шумового режиму із застосуванням сучасних технологій, шляхом побудови карт шуму за результатами квазіаналогового моделювання.

Приклад загальної карти шуму для сієї досліджуваної території (куди входять також обидва розглянуті фрагменти міської забудови), надано на рис. 8.

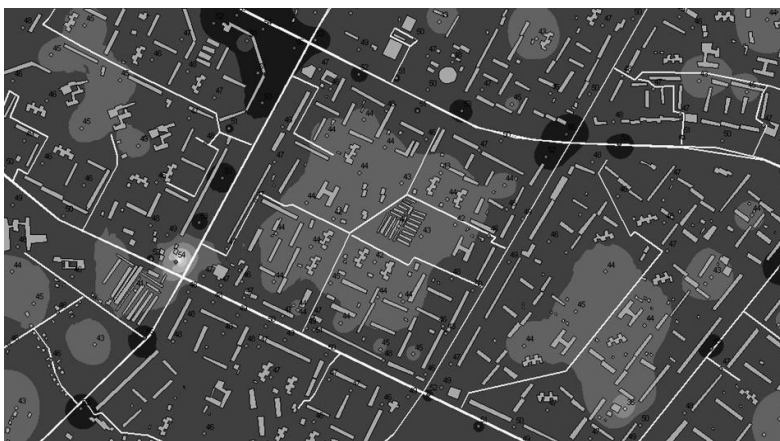


Рисунок 8 – Карта шуму для частини Салтівського житлового масиву м. Харкова

Висновки

Результатом розробки проектної документації сучасного міста є обов'язкове складання карти шуму такого міста і його окремих складових частин (житлових районів), на якій явно видні області акустичного дискомфорту, тобто умовно позначені території з рівнями звуку, що перевищують нормативні. Побудова карт шуму, їх детальне вивчення, і розробка (на базі попереднього тому аналізу отриманих у результаті моделювання відомостей) належних заходів щодо оптимізації акустичного клімату урбанізованих територій дозволяє розв'язати безліч екологічних проблем, пов'язаних із шумовим забрудненням навколишнього середовища, і забезпечити акустичний комфорт людини в місцях її проживання поблизу промислових підприємств і транспортних магістралей.

Застосування наших винаходів [4, 5, 7, 8] у сполученні з розробленим нами в [1, 2, 7] і в цій роботі теоретичним підходом до рішення даної проблеми, дозволяє впевнено і з високим ступенем вірогідності будувати такі карти шуму.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Абракітов, В.Е. Аналогове та квазіаналогове моделювання процесів розповсюдження звуку в просторі для прогнозування шумового режиму на об'єкті, що захищається. Друге видання, перероблене та доповнене. / В.Е. Абракітов. – Харків: Парус, 2007. – 108 с.

2. Абракітов, В.Е. Моделювання в акустиці: монографія / В.Е. Абракітов. - Харків: ХНАМГ, 2011. - 227 с.

3. Абракітов, В.Э. Визуализация картины зашумленности городской застройки способами аналогового моделирования / В. Э. Абракітов, В. В. Сафонов // Збірник наукових праць інституту безперервної фахової освіти. - Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2002. – С. 3-8.

4. Патент № 2058601 (Россия). Устройство для визуализации картины зашумленности городской застройки / В.В. Сафонов, Ю.И. Захаров, В.Э. Абракітов - МПК G10K 1/00.- Оpubл. 20.04.96. Бюл. № 11.

5. Заявка на патент № 94076397. (Україна). Пристрій квазіаналогового моделювання процесів розповсюдження звуку на території міста / В.Е. Абракітов, Ю.І. Захаров, В.В. Сафонов. – Заявл. 26.07.94

6. Абракітов, В.Э. Система констант подобия при моделировании физических явлений материального мира / В.Э. Абракітов // Коммунальное хозяйство городов: Научно-техн. сборник. - Вып. № 35. - Київ: Техніка, 2002. – С.38-43.

7. Патент № 20369 (Україна). Пристрій візуалізації картини зашумованості міської забудови / В.В. Сафонов, Ю.І. Захаров, В.Е. Абракітов - МПК6 G01H 9/00. Оpubл. 15.07.97.

8. Патент 69935А Україна, МПК7 G01H17/00. Пристрій для візуалізації зашумованості міської забудови. / В.В. Сафонов, В.Е. Абракітов, Ю.В. Богданов, Г.Ю. Бауліна - Оpubл. 15.09.2004. Бюл. № 9.

9. Градостроительные меры борьбы с шумом / Г.Л. Осипов [и др.] - М.: Стройиздат, 1975. – 215 с.

REFERENCES

1. Abrakитov, V.E. (2007), *Analogove ta kvazianalogove modelyuvannya procesiv rozpovsyudzhennya zvuku v prostori dlya prognozuvannya shumovogo rezhimu na obyektii, scho zakhishchayetsya* [Analogy and quazianalogy design of processes of distribution of sound in space for prognostication of noise mode on object which is on the defensive], Parus, Kharkiv, UA.

2. Abrakитov, V.E. (2001), *Modelyuvannya v akutyци* [Modelling in acoustics], Kharkiv National Academy of Municipal Economy, Kharkiv, UA.

3. Abrakитov, V.E. and Safonov, V. V. (2002), «Visualization of the picture noise town building way analog modeling», *Zbirnic naukovykh prac` institutu bespererвної fahovoyi osvity*,. Science and education, Dnipropetrovsk, pp. 3-8.

4. Safonov, V.V., Zacharov, Yu.I. and Abrakитov, V.E. (1996), *Prystriy dlya vizualizaciyi zashumovanosti miskoyi zabudovy*. [Device for visualization of noise of municipal building], International industrial categorization G10K 1/00, Dnepropetrovsk, UA, Patent № 2058601 (in Russia).

5. Abrakитov, V.E. , Zacharov, Yu.I. and Safonov, V.V. (1994), *Zayavka na patent № 94076397(Ukraina). Pristriy. analogovogo modelyuvannya procesiv rozpovsyudzhennya zvuku na teritiriyi mista* [Patent pending № 94076397(Ukraine). Device of quazianalog modelling of processes of distribution of sound on territory of the city], Dnipropetrovsk, UA (in Ukraine).

6. Abrakитov, V.E. (2002), «System of the constants of the resemblance at modeling of the physical phenomenas of the material world», *Kommunalnoye khoziaystvo gorodov*, Vyp. 35, pp. 38-43. (in Russian).

7. Safonov, V.V., Zacharov, Yu.I. and Abrakитov, V.E. (1997), *Prystriy vizualizatsiyi kartyny zashumovanosti miskoyi zabudovy* [The device of visualization of picture of noise of municipal building], International industrial categorization G01H 9/00, Dnipropetrovsk, UA, Patent № 20369 (Ukraine).

8. Safonov, V.V., Abrakитov, V.E., Bogdanov, Yu.V. and Baulina, G.Yu. (2004), *Prystriy vizualizaciyi zashumovanosti miskoyi zabudovy*. [A device is for visualization of noise of municipal building], International industrial categorization G01H17/00, Dnspropetrovsk, UA, Patent № 69935A (Ukraine).

9. Osipov, G.L. [and others] (1975), *Gradostroitelnye mery borby s шумом*. [Building measures of the fight with noise], Stroyizdat, Moscow, SU.

Про авторів

Сафонов Владимир Васильевич, академик Международной академии безопасности жизнедеятельности, кандидат технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности Государственного высшего учебного заведения «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры (ГБУЗ «ПГАСА»», Днепропетровск, Украина, safonov@ua.fm.

Абракітов Владимир Эдуардович, академик Международной академии безопасности жизнедеятельности, кандидат технических наук, доцент кафедры охраны труда и безопасности жизнедеятельности Харьковского национального университета городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, Харьков, Украина, abrakитov@mail.ru.

About the authors

Safonov Vladimir Vasilevich, Academician of the international Academy of Life Protection, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Professor of the Department of Safety of Vital Functions, State Higher Education Institution "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture" (SHEI "PSACEA"), Dnepropetrovsk, Ukraine, safonov@ua.fm

Abrakitev Vladimir Eduardovich, Academician of the International Academy of Life Protection, Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Associate Professor of the Department of Safety of Vital Functions, State Higher Education Institution «O.M.Beketov National University of Urban Economy» (SHEI NUUER) Kharkov, Ukraine, abrakitev@mail.ru

Аннотация. Предложена новая конструкция устройства моделирования акустических процессов на территории современного города. Применение света не в видимом, а в инфракрасном диапазоне имеет достаточно большие преимущества в плане расширения диапазона возможных масштабов линейных размеров при моделировании. Спецификация составных частей устройства: переменная модель городской территории; модели разнообразных источников звука; средство регистрации распределения энергии, которая моделируется (электронно-оптический преобразователь). Поскольку звук и инфракрасное излучение подчиняются одинаковым для всех типов волн закономерностям распространения, энергия инфракрасного излучения распространяется по поверхности модели идентично. Полученная в ходе модельных экспериментов информация вносится в компьютер и строятся карты шума, которые описывают распределение акустического загрязнения на территории города. Создано устройство квазианалогового моделирования процессов распространения звука, которое реализует установленную аналогию между распространением звука и электромагнитных волн. Обеспечена возможность картографирования шумового режима с применением современных технологий путем построения карт шума по результатам квазианалогового моделирования. Применение предлагаемых решений особенно актуально в жилых районах, прилегающих к промышленным и транспортным объектам, в частности, угольным предприятиям и автомагистралям.

Ключевые слова: акустика; аналогия; визуализация звука; карта шума; моделирование.

Abstract. A new construction device of modelling of acoustic processes on the territory of contemporary city is offered. Application of light not in visible one, and in an infra-red range takes enough large advantages in the plan of expansion range of possible scales of linear sizes at the modelling. Specification of component parts of device: variable model of the city territory; models of various sources of sound; mean of registration distributing of energy which is designed (electronic-optical transformer). As sound and infra-red radiation submit to conformities to the law of distribution identical for all types of waves, energy of infra-red radiations spreads on the surface of model identically. It is brought in a computer and the cards of noise, which describe distributing of acoustic contamination on territory of city, are built. The device of quazy-analogous modelling processes of distribution of sound, which will realize the set analogy between distribution of sound and electromagnetic waves, is created. Possibility of cartografing a map of the noise mode with the use of modern technologies by construction of cards of noise on results the quazy-analogous modelling is guaranteed. Application of the offered solutions is especially actual in dwelling districts, adjoining to the industrial and transport objects, in particular, coal enterprises and motorways.

Keywords: acoustics; analogy; visualization of sound; card of noise; design.

Статья поступила в редакцию 20.03.2016

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук Т.В. Бунько