

УДК 613.164:613.644:519.253

В.О. Бараннік, В.Е. Абракітов, А.І. Решетченко

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків

ВПЛИВ ОСЕРЕДНЕННЯ МИТТЄВИХ РІВНІВ АКУСТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА РОЗПОДІЛ СТАТИСТИК ШУМУ МІСЬКОГО РАЙОНУ

Охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини є невід'ємною умовою сталого економічного та соціального розвитку будь-якої країни. Впровадження у сучасну промисловість нових технологічних процесів, включаючи електроенергетику і радіоелектроніку, зростання потужності технологічного устаткування, використання новітніх засобів наземного, повітряного і водного транспорту, численного побутового і інженерного устаткування, механізація виробничих процесів, широкий розвиток телебачення, радіозв'язку, радіолокації, використання височастотної електромагнітної енергії в різних сферах народного господарства, а також в побуті, призвели до того, що людина як в умовах виробництва, так і вдома постійно підпадає під вплив інтенсивних шумів, вібрації, дії електромагнітного випромінювання а в деяких випадках – іонізуючого випромінювання.

За даними вибіркових обстежень непостійного шуму міського району Харкова визначено вигляд емпіричної функції розподілу миттєвих рівнів акустичної енергії і вплив вибору величини опорного інтервалу осереднення даних вимірювань на розподіл статистик, що апроксимують індикатори шумового забруднення міської території. Методом статистичних випробувань доведено, що зростання величини опорного інтервалу забезпечує наближення розподілу статистик до нормального, зменшення дисперсії статистик та підвищення точності оцінок індикаторів шумового забруднення міської території.

Ключові слова: шумове забруднення, індикатори шумового забруднення, натурні вимірювання.

Вступ

Вже тривалий час у країнах Європейського Союзу нагальною проблемою визнається шумове забруднення міського середовища, що негативно впливає на стан здоров'я міського населення. Багатьма дослідженнями підтверджено, що надмірний міський шум є не тільки джерелом подразнення нервової системи (наприклад, [1–3]), але й за тривалий час дії підвищує імовірність серцево-судинних захворювань, зокрема інфаркту міокарда [4, 5]. Переконливим свідомством пильної уваги, що має приділятися шумовому забрудненню міст є спеціальна Директива Європейської комісії 2002/49/ЄС від 25 червня 2002 року [6]. Виходячи з досвіду країн ЄС, щоб успішно протидіяти шумовому забрудненню міст треба, принаймні, по-перше, добре уявляти негативні наслідки його впливу, по-друге, постійно слідкувати за його розповсюдженням (динамікою) в міському середовищі і, по-третє, доводити до відома компетентних органів, громади важливість і необхідність заходів з підвищення екологічної безпеки. Для цього у країнах ЄС у зростаючих масштабах крок за кроком успішно впроваджується спільна система моніторингу шумового забруднення міського середовища транспортним рухом, виявлення і контролю «гарячих

точок» з надмірною експозицією шумом, прийняття управлінських рішень та інформування міського населення щодо проблеми шуму, як передбачає і вимагає Директива ЄС.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Підписавши 27 червня 2014 року і ратифікувавши 16 вересня 2014 року Угоду про асоціацію з ЄС, Україна взяла курс на всебічне зближення з європейською спільнотою практично у всіх сферах державного і суспільного буття, включаючи охорону довкілля. Зокрема це означає, що у перспективі національні компетентні органи мають забезпечити впровадження системи моніторингу шумового забруднення міського середовища у відповідності із загальними вимогами вказаної директиви. Основою будь-якої системи моніторингу міського шуму є система регулярного отримання, аналізу і систематизованого відображення даних натурних спостережень. Для аналізу даних натурних спостережень з метою поширення оцінок рівнів шуму на райони, де спостереження відсутні, можуть залучатися методи моделювання (математичного, фізичного або аналогового) різного рівня складності, проте провідна роль належить дослідженням *in situ*.

Об'єкт і методи дослідження

У зв'язку із значним впливом випадкових факторів на процеси утворення і розповсюдження акустичних хвиль в міському середовищі планування натурних спостережень і аналіз отриманих даних виконується із застосуванням статистичних моделей. Зрозуміло, що склад і властивості таких моделей в значній мірі залежить від складу і структури індикаторів акустичного стану міських територій, які підлягають оцінці за даними регулярних вимірювань величин шуму у визначених контрольних пунктах міської території та обрані моменти часу. Зазначимо, що у документі [6] до використання в моніторингу міського шуму запропоновані індикатори досить складної структури. Наприклад, такими комбінованими індикаторами величини шумового забруднення у певному місці є наступні величини:

$$L_{dn} = 10 \lg \left[\frac{16}{24} \times 10^{L_{day}/10} + \frac{8}{24} \times 10^{(L_{night} + 10)/10} \right]; \quad (1),$$

$$L_{day} = 10 \lg \left[\frac{1}{T_{day}} \int_{T_{day}} \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt \right]; \quad (2),$$

$$L_{night} = 10 \lg \left[\frac{1}{T_{night}} \int_{T_{night}} \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt \right], \quad (3),$$

де L_{dn} є комбінований еквівалентний рівень (індикатор) добового шуму, що визначається через величини L_{day} і L_{night} ;

L_{day} – індикатор денного шуму, що є A -зваженим рівнем звуку з усередненням за усі денні періоди року;

L_{night} – індикатор нічного шуму, що є A -зваженим рівнем звуку з усередненням за усі нічні періоди року;

T_{day} – тривалість умовного денного часу з 7:00 до 23:00 кожної доби року;

T_{night} – тривалість умовного нічного часу з 23:00 до 7:00 кожної доби року;

$P_A(t)$ – миттєвий коригований за частотною характеристикою A звуковий тиск у мить часу t ;

P_0 – опорний звуковий тиск, що дорівнює 20 мкПа;

$E(t) = P_A^2(t)/P_0^2$ – миттєва акустична енергія шуму.

Результати досліджень

У зв'язку з неможливістю суцільного контролю рівня шуму у будь-якому місці на протязі року оцінка величини індикатора (1) може виконуватися вибіркоким методом за розшарованою трьохступінчастою вибіркою вимірювань еквівалентних рівнів звукового тиску $L_{A,екв}$, де двома шарами відбору є денний і нічний час року, а ступенями відбору є квартал (або сезон) року, доба кварталу і опорний інтервал (період осереднення) вимірювання еквівалентного рівня звукового тиску непостійного шуму у відповідному шарі доби, тривалість якого складає звичайно 15 або 30 хвилин [7]. За таким оцінюванням важливе значення має надаватися визначенню точності або очікуваної похибки оцінок величини індикаторів шумового забруднення, яка залежить від розміру обраної вибірки, її розшарування за шарами і ступенями відбору і розподілу ймовірностей статистик, що є оцінками відповідних індикаторів. Саме визначення впливу вибору тривалості опорних інтервалів на точність оцінювання наведених індикаторів шумового забруднення міської території за даними натурних спостережень [8–10], що проводилися в Харкові на протязі тривалого часу, є метою даної роботи.

З усього набору отриманих даних спостережень для цілей цього дослідження обрана сукупність кількістю 314 вимірювань миттєвих рівнів шуму у північно-східній частині міста в межах Салтівського житлового масиву, які можливо було розділити на денні і нічні спостереження. Розташування точок вимірювань миттєвих рівнів шуму в межах вказаного району наведено на рисунку 1.



Рис. 1. Розташування точок вимірювань рівнів шуму в межах Салтівського житлового масиву (верхня лінія – вул. Героїв праці, права лінія – вул. Гвардійців Широнініців)

Особливості виконання вимірювань з урахуванням властивостей шумів великого міста дозволяють розглядати отримані дані як випадкові некорельовані величини, що характеризуються емпіричними функціями розподілу ймовірностей (рис. 2, 3). З розгляду графіків видно, що в межах району спостережень енергія денного шуму на 1–3 порядки ($10\text{--}30$ дБА) вище енергії нічного шуму. Крім того обидва розподіли (особливо денного шуму) демонструють значну асиметрію, так що високо інтенсивні шуми є менш імовірними від шумів з низькою інтенсивністю. У кількісному визначенні середня акустична енергія шуму у денний час складає $1,52 \times 10^7$, а у нічний – $7,49 \times 10^4$; стандартне відхилення миттєвих акустичних енергій денного часу дорівнює $3,81 \times 10^7$ і нічного часу – $6,82 \times 10^4$. Щоб визначити вплив вибору тривалості опорного інтервалу на величину і розподіл еквівалентної (усередненої) енергії доцільно скористатися методом статистичних випробувань (метод Монте-Карло).

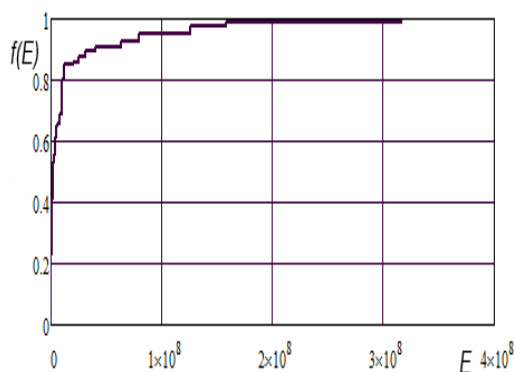


Рис. 2. Емпірична функція розподілу миттєвих акустичних енергій міського шуму у денний час

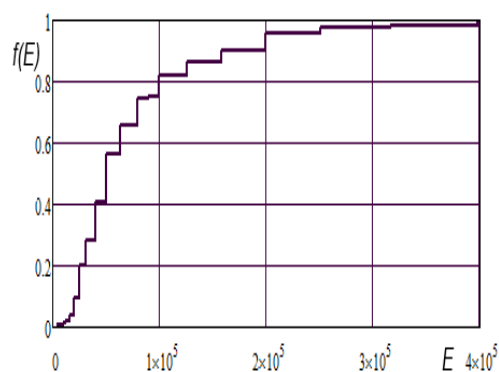


Рис. 3. Емпірична функція розподілу миттєвих акустичних енергій міського шуму у нічний час

Для цього вважаємо, що сукупність даних натурних вимірювань адекватно репрезентують

генеральну сукупність миттєвих акустичних енергій в межах міської території і величина опорного інтервалу складає $t_d=30$ хвилин у денний час і $t_n=15$ хвилин у нічний час доби. Вважаючи також характерний час автокореляції міського непостійного шуму не перевищуючим величини $\tau=10$ секунд, розмір вибірки вимірювань миттєвих рівнів шуму на протязі одного опорного інтервалу у денний час доби має скласти $N_d=t_d/\tau=180$, а у нічний час – $N_n=90$ вимірювань. Тоді для імітації можливих випадків вилучення вибірок випадкових миттєвих рівнів шуму у денний або нічний час доби достатньо створити K випадкових вибірок вказаного розміру з поверненням з відповідної (денної або нічної) сукупності вимірювань і розрахувати величини еквівалентних рівнів непостійного шуму як вибіркові середні.

Результати $K=10000$ статистичних випробувань з наведеними вихідними параметрами наведені на рисунках 4 і 5 у вигляді емпіричних функцій розподілу еквівалентних рівнів шуму денного часу з опорним інтервалом часу у 30 хвилин і нічного часу доби з опорним інтервалом часу тривалістю 15 хвилин. Разом з емпіричними функціями розподілу на рисунках зображені графіки функцій нормального розподілу, що майже точно апроксимують емпіричні залежності.

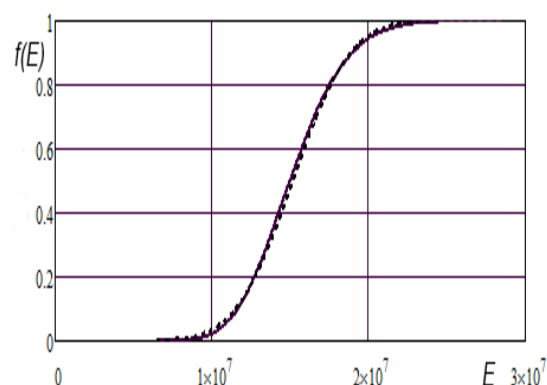


Рис. 4. Емпірична функція розподілу вибіркового середнього миттєвих акустичних енергій денного часу (суцільна лінія) і функція нормального розподілу з середнім $1,52 \times 10^7$ та стандартним відхиленням $2,86 \times 10^6$ (пунктир)

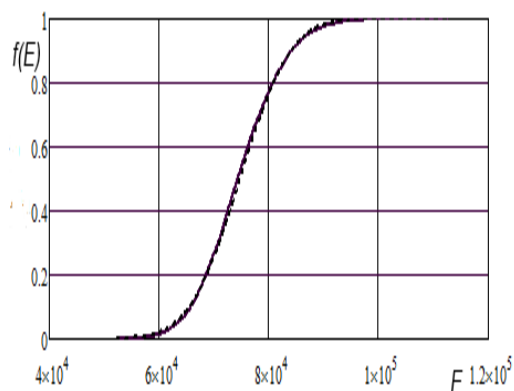


Рис. 5. Емпірична функція розподілу вибіркового середнього миттєвих акустичних енергій нічного часу (суцільна лінія) і функція нормального розподілу з середнім $7,48 \times 10^4$ та стандартним відхиленням $7,24 \times 10^3$ (пунктир)

Саме з метою наближення розподілу результатів вимірювання рівнів непостійного шуму міських територій до нормального розподілу застосовуються процедури апаратного або алгоритмічного усереднення вимірювань. Другим корисним наслідком усереднення миттєвих вимірювань рівнів міського шуму є відчутне (на порядок величини) зменшення стандартного відхилення вибірових середніх у порівнянні з відхиленням миттєвих величин.

Щоб скористатися наведеними нормальними апроксимаціями емпіричних функцій розподілу еквівалентних рівнів шуму для визначення очікуваних похибок оцінки індикаторів шумового забруднення міського району треба прийняти певну мінімальну за розміром комбіновану випадкову вибірку опорних інтервалів вимірювання в межах одного року. Наприклад, таку вибірку можуть скласти 24 опорні інтервали, пропорційно розподілені у чотирьох добах (по одній випадково обраній добі з кожного з чотирьох кварталів року або з кожного з чотирьох сезонів року) так, що чотири інтервали тривалістю 30 хвилин кожний випадковим чином обираються у денний час, а два інтервали тривалістю 15 хвилин кожний – у нічний час кожної обраної доби. За такою пропорційною вибіркою статистичне випробування включає генерацію 24 випадкових чисел і розрахунок імовірної величини індикаторів шуму за формулами:

$$\hat{L}_{day} = 10 \lg \left[\frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \left(\frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 E d_{i,j} \right) \right]; \quad (4),$$

$$\hat{L}_{night} = 10 \lg \left[\frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \left(\frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 E n_{i,j} \right) \right]; \quad (5),$$

$$\hat{L}_{dn} = 10 \lg \left[\frac{16}{24} \times 10^{\hat{L}_{day}/10} + \frac{8}{24} \times 10^{(\hat{L}_{night} + 10)/10} \right], \quad (6),$$

де \hat{L}_{day} , \hat{L}_{night} і \hat{L}_{dn} є імовірна величина індикатора денного, нічного і комбінованого рівня шуму, відповідно, дБА;

$E d_{i,j}$ – шістнадцять випадкових нормально розподілені чисел з середнім і стандартним відхиленням вибіркового середнього денного часу;

$E n_{i,j}$ – вісім випадкових нормально розподілені чисел з середнім і стандартним відхиленням вибіркового середнього нічного часу.

Повторення такого статистичного випробування K разів забезпечує отримання K імовірних величин кожного індикатора шуму, що імітують його можливий емпіричний розподіл. Саме такі емпіричні розподіли, що розраховані за 10 000 статистичних випробувань, надані на рисунках 6–8.

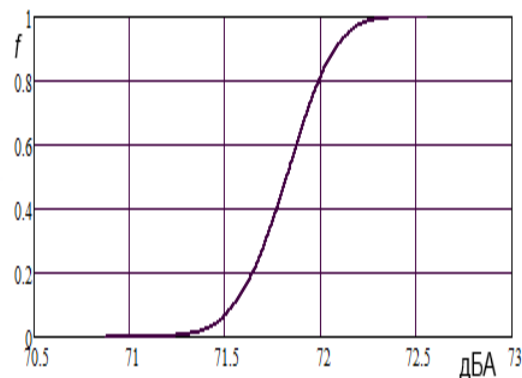


Рис. 6. Емпірична функція розподілу індикатора рівня шуму денного часу

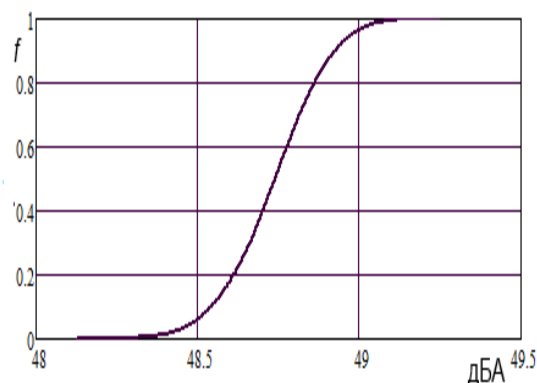


Рис. 7. Емпірична функція розподілу індикатора рівня шуму нічного часу

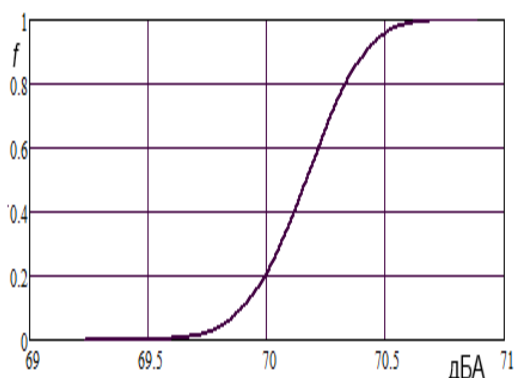


Рис. 8. Емпірична функція розподілу комбінованого індикатора добового шуму

Висновки

Корисним висновком з отриманих результатів є те, що навіть пропорційна вибірка малого розміру для вимірювань рівнів міського непостійного шуму забезпечує досить точну оцінку величини індикаторів міського шуму складної структури. Так, якщо очікуваною абсолютною похибкою $\varepsilon(I)$ оцінювання величини індикатора шуму I обрати півширину довірчого інтервалу з довірчою імовірністю $P=0,95$, то похибки оцінок величини індикаторів, що розглядаються, є $\varepsilon(\hat{L}_{day})=0,79$

дБА, $\varepsilon(\hat{L}_{day})=0,58$ дБА, $\varepsilon(\hat{L}_{dn})=0,77$ дБА.

Результати цього дослідження можуть бути використані у виборі параметрів екологічного моніторингу шумового забруднення міських територій.

Література

1. Schultz TJ. Synthesis of social surveys on noise annoyance. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1978; 64. P. 377–405.
2. Fidell S, Barber DS, Schultz TJ. Updating a dosage-effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1991; 89. P. 221–233.
3. Fields JM. An Updated Catalog of 360 Social Surveys of Residents Reactions to Environmental Noise (1943–1993). Atlanta, GA: Georgia Institute of Technology, 1999.
4. Babisch W., Ising H., Elwood P.C., Sharp D.S., Bainton D. Traffic noise and cardiovascular risk: The Caerphilly and Speedwell studies, second phase. Risk estimation, prevalence and incidence of ischemic heart disease. *Arch. Environ. Health*, 1993; 48. P. 406–413.
5. Miedema H.M.E., Vos H. Exposure-response relationships for transportation noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1998; 104(6). P. 3432–3445.
6. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25.06.2002 Relating to the Assessment and Management of Environmental Noise // *Official Journal of the European Communities*, 2002. – L. 189. – P. 12–25.

7. Guidance Note for Noise: Licence Applications, Surveys and Assessments in Relation to Scheduled Activities (NG4). Environmental Protection Agency, Office of Environmental Enforcement (OEE), 2016. – 80 p.

8. Абракітов В.Э. Методологическая основа составления карты шума г. Харькова / В.Э. Абракітов // *Науковий вісник будівництва*. Вип. № 55. Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2009. – С. 279–284.

9. Абракітов В.Е. Картографування шумового режиму центральної частини міста Харкова: Монографія / В.Е. Абракітов; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків: ХНАМГ, 2010. – 266 с.

10. Абракітов В.Э. Строим карту шума города Харькова / В.Э. Абракітов. – Харьков: Парус, 2012. – 48 с.

References

1. Schultz TJ. Synthesis of social surveys on noise annoyance. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1978; 64. P. 377–405.
2. Fidell S, Barber DS, Schultz TJ. Updating a dosage-effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1991; 89. P. 221–233.
3. Fields JM. An Updated Catalog of 360 Social Surveys of Residents Reactions to Environmental Noise (1943–1993). Atlanta, GA: Georgia Institute of Technology, 1999.
4. Babisch W., Ising H., Elwood P.C., Sharp D.S., Bainton D. Traffic noise and cardiovascular risk: The Caerphilly and Speedwell studies, second phase. Risk estimation, prevalence and incidence of ischemic heart disease. *Arch. Environ. Health*, 1993; 48. P. 406–413.
5. Miedema H.M.E., Vos H. Exposure-response relationships for transportation noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1998; 104(6). P. 3432–3445.
6. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25.06.2002 Relating to the Assessment and Management of Environmental Noise // *Official Journal of the European Communities*, 2002. – L. 189. – P. 12–25.
7. Guidance Note for Noise: Licence Applications, Surveys and Assessments in Relation to Scheduled Activities (NG4). Environmental Protection Agency, Office of Environmental Enforcement (OEE), 2016. – 80 p.
8. Abrakítov V.E. Methodological basis for drawing up noise maps of Kharkiv / V.E. Abrakítov // *Naukovy visnyk budivnitstva*. Rel. № 55. Harkiv: HDTUBA HOTV OMB, 2009. – P. 279–284.
9. Abrakítov V.E. Mapping mode noise downtown Harkiv: Monograph / V.E. Abrakítov. Harkivs`ka nacional`na akademiya mis`kogo gospodarstva. – Kharkiv: HNAMEG, 2010. – 266 p.
10. Abrakítov V.E. Building a map of the city of Kharkiv noise / V.E. Abrakítov. – Harkov: Parus, 2012. – 48 p.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Ф. Стольберг, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків.

Автор: БАРАННИК Валерій Олександрович Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, кандидат технічних наук, доцент.
E-mail – v_barannik@ukr.net

Автор: АБРАКІТОВ Володимир Едуардович Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків, кандидат технічних наук, доцент.
E-mail – abrakitov@mail.ru

Автор: РЕШЕТЧЕНКО Альона Ігорівна Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків, аспірант
E-mail – alena.reshetchenko@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ОСРЕДНЕНИЯ МГНОВЕННЫХ УРОВНЕЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИСТИК ШУМА ГОРОДСКОГО РАЙОНА

В.А. Баранник, В.Э. Абракитов, А.И. Решетченко

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, г. Харьков

Охрана окружающей среды, рациональное использование природных ресурсов, обеспечения экологической безопасности жизнедеятельности человека является неотъемлемым условием устойчивого экономического и социального развития любой страны. Внедрение в современную промышленность новых технологических процессов, включая электроэнергетику и радиоэлектронику, рост мощности технологического оборудования, использования новейших средств наземного, воздушного и водного транспорта, многочисленного бытового и инженерного оборудования, механизация производственных процессов, широкое развитие телевидения, радиосвязи, радиолокации, использования высокочастотной электромагнитной энергии в различных сферах народного хозяйства, а также в быту, привели к тому, что человек как в условиях производства, так и дома постоянно подвергается влиянию интенсивных шумов, вибрации, электромагнитного излучения а в некоторых случаях - ионизирующего излучения.

По данным выборочных обследований непостоянного шума городского района Харькова определен вид эмпирической функции распределения мгновенных уровней акустической энергии и влияние выбора величины опорного интервала осреднения данных измерений на распределение статистик, аппроксимирующих индикаторы шумового загрязнения городской территории. Методом статистических испытаний доказано, что рост величины опорного интервала обеспечивает приближение распределения статистик к нормальному, уменьшение дисперсии статистик и повышения точности оценок индикаторов шумового загрязнения городской территории.

Ключевые слова: шумовое загрязнение, индикаторы шумового загрязнения, натурные измерения.

EFFECT OF AVERAGING INSTANTANEOUS ACOUSTIC ENERGY NOISE FOR DISTRIBUTION STATISTICS BOROUGH

V.A. Baranik, V.E. Abrakitov, A.I. Reshetchenko

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

Environmental protection, sustainable use of natural resources, environmental safety of human life is an essential condition for sustainable economic and social development of any country. The introduction of modern industry of new technological processes, including power generation and electronics, increased capacity of the process equipment, the use of advanced means of land, air and water transport, numerous domestic and engineering equipment, mechanization of production processes, the widespread development of television, radio, radar, use of high-frequency electromagnetic energy in various spheres of the national economy, as well as in everyday life, have led to the fact that the person in the conditions of production, and the house is constantly exposed to the influence of intense noise, vibration, electromagnetic radiation and in some cases - ionizing radiation.

According to the non-permanent urban area of Kharkov noise sample surveys defined view of the empirical distribution function of the instantaneous acoustic energy levels and the impact of the choice of the value of the reference interval of averaging measurement data distribution statistics that approximate indicators of noise pollution urban area. The method of statistical tests proved that the increase in the value of the reference interval to approximate the distribution statistics to the normal, reduction of variance statistics and improve the accuracy of estimates of the noise pollution indicators of the urban area.

Keywords: noise pollution, noise pollution indicators, full-scale measurements.