

Ağayev B.S.AMEA İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
bikies418@gmail.com**AKUSTİK KÜY ÇİRKƏNƏMƏSİ SƏVİYYƏSİNİN HESABLANMASINA AİD BİR
YANAŞMA HAQQINDA**

Daxil olmuşdur: 07.05.2021

Düzəliş olunmuşdur: 17.05.2021

Qəbul olunmuşdur: 26.05.2021

Formalaşmaqda olan “4-cü sənaye inqilabı” mühitində müəyyən bilik, təcrübə və ekoloji mədəniyyətə malik olan insanlar müxtəlif ekoloji problemlərin həlli istiqamətində fərdi və kollektiv qərarların qəbulunda daha aktiv iştirak edirlər. Bu problemlərdən biri də ətraf mühitin akustik küy çirklənməsidir. Bu gün bir çox vətəndaşları belə bir sual maraqlandırır: yaşadığım, işlədiyim, oxuduğum, ümumiyyətlə, olduğum yerdə akustik küy çirklənməsi hansı səviyyədədir və standartlara cavab verirmi? Bu suala cavab vermək üçün bir çox beynəlxalq, milli standartlar və digər normativ sənədlər işlənmişdir. Lakin, bu sənədlər mürəkkəbdir, bahalı avadanlıqların istifadəsini tələb edir, yəni adi vətəndaşlar üçün əlçatmazdır. Digər tərəfdən, müasir mobil telefonların hesablaması, rabitə və sensor funksiyaları vətəndaşlara müəyyən ərazinin küy göstəricilərini ölçmək və küy vəziyyətini qiymətləndirməyə imkan yaradır. Lakin, küy monitorinqini keçirmək üçün vətəndaşlara sadə və aydın metodikalar, təlimat və qaydalar lazımdır. Məqalədə minimal riyazi biliklərə malik vətəndaşların küy monitorinqi aparılması üçün sadələşdirilmiş bir metodikanın işlənməsinə cəhd edilmişdir. Həmçinin, prosesin əyaniliyi üçün avtonəqliyyat küyünün (küçə küyünün) təhsil və elmi tədqiqat fəaliyyətinə ziyanlı təsirini qiymətləndirmək məqsədilə mobil telefonlarla ölçmə prosedurlarının aparılması və müxtəlif küy göstəricilərinin hesablanması üzrə bir sıra eksperimentlər həyata keçirilmişdir. Məqalənin hazırlanmasında ümumelmi metod və metodologiyalardan, o cümlədən analiz və sintez, müqayisə, ümumiləşdirmə, sistem yanaşma və s. istifadə edilmişdir. Tədqiqat nəticələrindən diskomfort küy zonalarının aşkarlanması üçün mobil telefonlarla akustik küy monitorinqinin aparılması məqsədilə istifadə etmək olar.

Açar sözlər: küy çirklənməsi, küyün ziyanlı təsiri, avtomobil nəqliyyatı küyü, küy monitorinqi, mobil telefonla küy monitorinqi, küydən mühafizə.

Giriş

Məlumdur ki, insan fəaliyyəti nəticəsində ətraf mühitin çirklənməsi prosesi xarakterik bir haldır. Akustik küy də ətraf mühiti çirkləndirən fiziki amillərdən biridir. Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatı (ÜST), ABŞ-ın Əməyin Təhlükəsizliyi və Sağlamlıq İnstitutu (*ing. National Institute of Occupational Safety and Health, NIOSH*) kimi bir sıra beynəlxalq və regional təşkilatların qənaətinə görə, insan sağlamlığına ziyanlı təsir baxımından küy çirklənməsi hava çirklənməsindən sonra ikinci mühüm amildir [1, 2]. Tibbi araşdırmalar göstərir ki, insanların müəyyən bir müddət ərzində normadan artıq səs-küylü mühitdə olması bilavasitə bir sıra ciddi xəstəliklərin yaranmasına səbəb olur və ya müxtəlif patologiyaların meydana gəlməsi üçün əlverişli şərait yaradır. Hal-hazırda yüksək səs-küy səbəbindən dünyada 500 milyon insana müxtəlif eşitmə qüsuru diaqnozu qoyulub [2, 3]. ÜST-ə görə, son on ildə dünyanın böyük şəhərlərində səs-küy səviyyəsi 40% artmışdır və bu hal müsbət bir tendensiyaya malikdir. Tərəfimizdən aparılmış ilkin araşdırmalar da Bakı şəhərinin xeyli ərazisində küy səviyyəsinin yol verilən həddən yüksək olduğunu göstərir [4]. Dünyanın əksər ölkələri küy problemləri ilə bağlı tədqiqatların aparılmasına, ərazilərin küy vəziyyətinin qiymətləndirilməsi məqsədilə monitorinqlərin və küydən mühafizə tədbirlərinin həyata keçirilməsinə xüsusi əhəmiyyət verirlər. Məsələn, Avropa Birliyi (AB) küy çirklənməsindən mühafizə tədbirlərinə illik ÜDM-nin 1–2%-i (təxminən 50 milyard avro) qədər maliyyə vəsaiti sərf edir [3]. Yəni, insanların küy çirklənməsindən mühafizəsi hər bir dövlət və fərd üçün aktual və əhəmiyyətli məsələdir. Məqalədə vətəndaşların mobil telefonlardan istifadə etməklə küy monitorinqi həyata keçirməsi məsələləri tədqiq edilir.

Akustik küy monitorinqi: mövcud vəziyyətin analizi

Səs və küy anlayışları insanın eşitmə hissi ilə bağlıdır. Səs qaz, maye və ya bərk mühitdə yaranan və ətrafa yayılan mexaniki rəqslərin insanın eşitmə orqanına təsirinin yaratdığı qavrayış hissidir. Bu prosesdə yalnız eşitmə həddindən (ən zəif eşidilən səs səviyyəsi) daha yüksək təzyiq yaradan və 16 Hs–20 kHs tezlik zolağına aid rəqslər səs kimi qəbul edilir. Nəzəri və praktiki tədqiqatlarda akustik küy, ümumiyyətlə, “antropogen mənşəli arzu olunmayan və zərərli səs” kimi qəbul olunur [2,4,5]. GOST R 53187-2008-a görə, əsas küy mənbələri iki qrupa bölünür: hərəkətli və stasionar [6]. Hərəkətli mənbələrə yol, dəmir yolu, hava və su nəqliyyatı vasitələri, stasionar mənbələrə isə sənaye, mühəndis avadanlıqları, məişət texnikası və s. daxildir. Mənbələrin yaratdığı səs səviyyəsi diapazonları fərqlidir və iş dövründə geniş diapazonda dəyişə bilər. Məsələn, normal nitq 40–45 dB, nəqliyyat vasitələri 50–100 dB səs təzyiqi yaradır. 120 dB səviyyə qulaqda ağrı hissi yaradır, 200 dB isə insan üçün ölümcül hesab edilir. Ona görə də eşitmə zəifliyindən tutmuş tam karlığa, ümumiyyətlə, "küy xəstəlikləri" adlanan patoloji halların yaranmasına səbəb olan ziyanlı səs səviyyələrinin təsirinin aradan qaldırılması və ya azaldılması üçün müvafiq tədbirlərin müəyyənləşdirilməsinə ehtiyac yaranır [5,7]. Bu məqsədlə, küy mənbələrinin xüsusiyyətlərini nəzərə almaqla, insan fəaliyyəti, ümumiyyətlə, olduğu yerlər üçün nominal və yol verilən səs səviyyələrini təyin edən tənzimləyici sənədlər – standartlar, sanitariya və gigiyenik normalar, qaydalar işlənmişdir. 2002/49/EP/ EC Direktivi [8] küy, WHO ROE təlimatı [1] isə gecə küyünün idarə olunması üçün beynəlxalq standartlar kimi qəbul edilmişdir. Ətraf mühitin küy çirklənməsinə nəzarət və çirklənmə səviyyəsinin qiymətləndirilməsi küy monitorinqi yolu ilə həyata keçirilir və ətraf mühitin monitorinqi növlərindən biridir. Küy monitorinqi, ilk növbədə, insanın ətraf mühit şəraitini fasiləsiz qiymətləndirməsi və ekoloji normaların pozulması halında müvafiq tədbirlərin müəyyənləşdirilməsi üçün əsas yaradır. Monitorinq prosesindəki ölçmələr və hesablamalar nəticəsində əldə edilmiş məlumatlar əsasında tərtib edilmiş küy xəritələri diskomfort küy sahələrini müəyyənləşdirməyə və əhalini küyün zərərli təsirindən qorumaq üçün müvafiq təşkilatı, texniki və tikinti-inşaat tədbirləri görməyə imkan yaradır [9]. Gündüz küy xəritələri küyün insanların əmək fəaliyyətinə, gecə küy xəritələri isə insanların yuxusuna təsirini müəyyənləşdirmək məqsədilə yaradılır. Texniki ədəbiyyatda küy monitorinqi prosesinin müxtəlif aspektləri geniş tədqiq edilmişdir. Məsələn, [10]-da, Əşyaların İnterneti (IoT) platformasında monitorinq sahəsinə (Valensiyanın bir küçəsinə) paylanmış şəkildə yerləşdirilmiş səs sensorlarından toplanan siqnallar Simsiz Sensor Şəbəkələri (*ing. Wireless sensor networks, WSN*) vasitəsilə emal mərkəzinə ötürülür. Müxtəlif küy göstəricilərinin hesablanması 2002/49 Direktivinin təsbit etdiyi düsturlardan fərqli düsturlar vasitəsilə aparılır. [11]-də monitorinq sistemlərinin sensorlardan təşkil edilmiş *ad-doc* strukturlu naqilsiz şəbəkə protokollarının və marşrutlaşdırıcı protokollarının müqayisəli təhlili aparılmış və istifadəçilər üçün tövsiyələr verilmişdir. [12]-də küy monitorinqi prosesində ölçmələrin dəqiqliyini artırmaq üçün təbii səs mənbələrinin (külək, ağacların səs-küyü, quşların səsi və s.) yaratdığı fonun təsirlərinin aradan qaldırılması və azaldılması üsulları araşdırılır. [13]-də küyölçən sensorların analoq siqnallarını rəqəmsallaşdıran çeviricilərin kvantlama kod dərəcələrinin və diskretləşmə tezliyinin ölçmə dəqiqliyinə təsiri araşdırılır və s.

Mobile Crowdsensing (MCS) platformasında vətəndaş elmi metodlarına əsaslanan könüllü qrupların mobil telefonlarla apardığı küy monitorinqinin müxtəlif məsələlərinin araşdırılmasına həsr edilmiş tədqiqat işləri də mövcuddur. Məsələn, [14]-də Melburn Universitetinin (Avstraliya) bir qrup əməkdaşı nəqliyyat küyünün çoxmərtəbəli binanın sakinlərinə təsirini qiymətləndirmək üçün nəzarət şəbəkəsi yaradırlar. Səs səviyyəsi binanın müxtəlif yüksəkliklərində quraşdırılmış səs sensorları, eləcə də sakinlərin və sürücülərin mobil telefonları ilə ölçülür. Ölçmələr monitorinq mərkəzinə ötürülür və burada standart monitorinq metodları ilə emal edilir. [15, 16]-da küyün monitorinqi vətəndaş elmi platformasında aparılır: könüllü qruplar mobil telefonlarından istifadə edərək ölçmə aparır və emal mərkəzinin serverinə ötürürlər. Mütəxəssislər, paralel olaraq, eyni işi peşəkar küymetrlərlə həyata keçirib, ölçmə nəticələrini standart monitorinq qaydaları ilə emal

edirlər. Eyni zamanda, telefonla ölçmələrin xətasını müəyyənləşdirmək məqsədilə alınan nəticələr müqayisə edilir. [17–21]-də müəlliflər *NoiseSPY*, *NoiseMap* və digər xüsusiləşdirilmiş küy monitorinqi avadanlıqlarından istifadə edərək monitorinq sistemlərinin müxtəlif xüsusiyyətlərini (arxitektura həll variantları, könüllü vətəndaş qrupları ilə təşkilati iş, *IoT* şəbəkəsi ilə uzlaşdırma məsələləri, ölçmə dəqiqliyi və s.) araşdırmışlar.

Akustik küy monitorinqi, bir qayda olaraq, MDB ölkələrində [6, 22], AB-də isə [8, 23]-də göstərilən normativ sənədlər əsasında aparılır. Bu sənədlərə əsasən, monitorinqin ilkin mərhələsində seçilmiş səs səviyyəsi göstəricilərindən istifadə etməklə ölçmə və hesablamalar aparılır. Prosesin bu mərhələsinin məqsədi orta illik gündüz səs səviyyəsinin L_{RA}^d (07:00–19:00 saatlarında), orta illik axşam L_{RA}^e (19:00–23:00 saatlarında) və orta illik gecə L_{RA}^n (23:00–07:00 saatlarında) səs səviyyələrinin qiymətlərinə görə, orta illik səs səviyyəsinin L_{RA}^{den} hesablanmasıdır (standartlarda d , e , n işarələri üçün müvafiq olaraq ingilis dilindəki *day*–gündüz, *evening*–axşam və *night*–gecə sözlərindən, *den* işarəsində isə hər üç hərfin birləşməsindən istifadə edilir). Orta illik gündüz, axşam və gecə vaxtları üçün səs səviyyələrinin qiymətləri ilin hər bir fəslinin bir həftəsi üçün hesablanmış orta qiymətlərinə görə tapılır. Uyğun olaraq, bu həftələrin hər birinin bir günü üçün qeyd olunan saatlardakı orta qiymətlərə görə yekun gündəlik orta qiymətlər (günün dövrləri üçün) hesablanır. Sutkalıq dövrlər üçün alınmış son qiymətlərə görə, standartların təyin etdiyi düsturlar əsasında küy göstəricilərindən hər hansı biri üzrə orta illik küy səviyyəsi hesablanır. Ölçmələr zamanı küy göstəricilərindən hər birinin səs səviyyəsi isə həmin göstərici üzrə küyometrin laqorifik qiymətlərdə ölçüdü səs təzyiqi səviyyəsinə (*ing. SPL, sound pressure level*) görə hesablanır. Xüsusi hallar nəzərə alınmazsa, monitorinq məqsədləri üçün “A” tipli düzəliş, küy göstəricisi kimi isə ekvivalent və/və ya maksimum səs səviyyəsi qəbul edilir. Qeyd etmək lazımdır ki, nəticələrin tələb olunan dəqiqliyindən asılı olmayaraq, monitorinqin praktiki həyata keçirilməsi xeyli çətinliklərlə bağlıdır. Bu, ilk növbədə xeyli sayda insan və vaxt resursları tələb edən böyük həcmdə ölçmə və hesablamalarla əlaqədardır. Məsələn, intensiv trafikli nəqliyyatı və 300.000 nəfər əhalisi olan bir şəhərin təkcə gündüz küy xəritəsinin tərtib edilməsi təxminən 1 milyon ölçmə və hesablama tələb edir [24]. Lakin təcrübələr göstərir ki, nəticələr üzrə xətalərin yol verilən həddini saxlamaq şərti ilə ölçmə və hesablama alqoritmini sadələşdirməklə sərf edilən əmək və vaxt resurslarını dəfələrlə azaltmaq olar. Ona görə də aşağıda təklif edilən monitorinq alqoritminin addımları həm adi vətəndaşlar üçün sadələşdirilmiş əməliyyatları, həm də standartların ümumiləşdirilmiş tələblərini əhatə edir. Beləliklə, beynəlxalq və regional (MDB məkanında) standartların oxşar və fərqli xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq, monitorinq prosesini aşağıdakı ümumiləşdirilmiş alqoritm üzrə aparmaq olar:

1. Ölçmə nöqtələri (mikrofonlar) arasındakı məsafə bir-birindən 50 m-dən çox olmamaq şərti ilə gün ərzində hər 5 dəqiqədən bir ölçmə nöqtələrinin koordinatlarını qeyd etməklə həyata keçirilməlidir. Sadələşdirilmiş variantda ölçmələri ərazinin iki və ya üç nöqtəsində – səhər, axşam və gecə intervallarında, “A” tipli düzəlişlə (küyölçənlərdə “A” düzəlişi ilkin olaraq quraşdırılmış haldadır) aparmaq kifayətdir.

2. Gündüz L_{RA}^e , axşam L_{RA}^d və gecə L_{RA}^n dövrlərindəki ölçmələrin orta qiymətlərinə görə, sutkalıq orta küy səviyyəsi L_{RA}^{den} hesablanır:

a). MDB standartı üzrə [9]:

$$L_{RA}^{den} = 10 \lg \left[\frac{16-e}{24} 10^{L_{RA}^d/10} + \frac{e}{24} 10^{(L_{RA}^e+K_e)/10} + \frac{8}{24} 10^{(L_{RA}^n+K_n)/10} \right], \quad (1)$$

burada, K_e , K_n – [9]-a uyğun olaraq axşam və gecə dövrləri üçün qəbul edilmiş düzəlişlərdir: axşam saatları üçün – 5, gecə saatları üçün – 10 *dB*A; e – gecə dövrü üçün inzibati qaydada təyin edilmiş müddətdir.

b) AB Direktivi üzrə [11]:

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{Levening+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{Lnigh+10}{10}} \right) \quad (2)$$

Yəni, sadələşdirilmiş variantda hər iki düstur üzrə orta gündəlik küy səviyyəsi gündüz, axşam və gecə dövrləri üçün müəyyən bir sayda ölçmələrin orta qiymətlərinə görə hesablanır.

3. Nəticələrin dəqiqliyini artırmaq məqsədilə, eyni qaydada, L_{RA}^d , L_{RA}^e и L_{RA}^n qiymətlərini ortalamaq şərtilə, dayaq dövrləri üçün (həftəlik, aylıq və s.) küy səviyyələrini hesablamaq olar:

$$\bar{L}_{RA}^k = 10 \lg \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{L_{RAi}^k / 10} \right\}, \quad (k = d, e, n),$$

burada, L_{RAi}^k – dayaq intervalının i -ci gününün k intervalları üçün hesablanan orta küy səviyyəsidir, dB ; N – dayaq intervalındakı günlərin sayıdır, məsələn, həftə üçün $N = 7$.

4. Bəzi hallarda ekvivalent küy səviyyəsi əvəzinə maksimal səs səviyyəsini təyin etmək daha məqsədəuyğun ola bilər. Məsələn, dövrü olaraq yüksək intensivlikli səs-küy yaranan mənbələrin əhatə dairəsində olan ərazilər (məsələn aeroporta yaxın ərazilərdəki binalar, pres, pərçimləyici dəzgahlar istifadə olunan ərazilər və s.) üçün qeyd edilən saatlarda aparılmış ölçmələr küyün ziyanlı təsirinin daha obyektiv qiymətləndirilməsini təmin etməklə adekvat mühafizə tədbirlərinin müəyyənləşdirilməsinə yardım edə bilər.

Bu halda alqoritmin prosedurları olduğu kimi qalır, sadəcə L_{RA}^{den} (gündəlik və ya dayaq intervalları üçün) səviyyə göstəricisi kimi ekvivalent səviyyəyə görə yox, L_{Amax}^d , L_{Amax}^e , L_{Amax}^n maksimum səviyyələrə görə hesablanır.

5. Ölçmə və hesablamalarla əldə edilən küy monitorinqinin nəticələri emal edilir. Buraya ilk növbədə təkrar ölçmələrin, bir nöqtədə 3 dB -dən az fərqlənən ölçmələrin atılması, eyni küy səviyyələrinə malik (5 dB fərqlə) nöqtələrin (koordinatların) klasterizasiyası və s. aiddir.

6. Küy göstəricilərinin orta illik qiymətləri əsasında ərazinin küy xəritələri tərtib olunur. Standartların tələblərinə görə, illik gündüz və illik gecə xəritələri məcburidir, digərləri isə xüsusi monitorinq məqsədləri üçün tərtib olunur. Eyni səs-küy səviyyəsinə malik qrup məlumatları ərazinin fiziki xəritəsinin koordinatları nəzərə alınmaq şərtilə xətlərlə birləşdirilir. Xəritələrin əyaniliyini yaxşılaşdırmaq məqsədilə sahələrdəki səviyyə fərqləri vizualizasiya metodları ilə artırılır. Sadələşdirilmiş variantda ölçmələr bir və ya bir neçə yaxın nöqtədə aparılıbsa, xəritə tərtib edilmir.

7. Xəritələrdə (sadələşdirilmiş variantda ölçü nöqtələrində) diskomfort küy sahələrinin (zonalarının) yaranma səbəbləri təhlil edilir, aidiyyəti qurumlar üçün hesabatlar hazırlanır və səs-küydən qorunma tədbirləri planları və onların tətbiqi üçün təkliflər işlənir.

Akustik küy monitorinqi üçün hesablama eksperimentləri

Monitorinqin aparılmasına aid yuxarıda qeyd olunan beynəlxalq və MDB standartlarının müqayisəli təhlili göstərir ki, bu sənədlərdə təsbit edilən terminologiyalar, səs səviyyəsi göstəriciləri və normaları, eləcə də, hesablama düsturları arasında müəyyən fərqlər mövcuddur.

Ona görə də, ilk növbədə, hesablamalarımız üçün qeyd olunan düsturlardan hansının daha məqsədəuyğun olduğunu müəyyənləşdirək. Bu məqsədlə gündüz, axşam və gecə saatları üçün alınmış nəticələrdən istifadə etməklə (1) və (2) düsturları ilə gündəlik səviyyəni tapıb nəticələr arasındakı fərqi müqayisə edək. Daha sonra avtomobil nəqliyyatı küyünün iki növ iş fəaliyyətinə təsirini qiymətləndirək.

I eksperiment. Düsturların hesablama xətalərinin müəyyənləşdirilməsi

Hesablamalar üçün AMEA İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu (İTİ) ilə Bakı Dövlət Universiteti (BDU) arasındakı küçədə (B.Vahabzadə küçəsi) küyün ölçü nəticələrindən istifadə

etdik. Ölçmələr yol hissəsinin kənarlarında (səkidə) dayanmaqla aparılmışdır (şəkil 1).



Şəkil 1. Monitoring ərazisi: solda BDU, sağda İTİ (şəklə düşməyib)

Bu məqsədlə qeyd edilən səhər, axşam və gecə saatlarında kifayət sayda ölçmələr aparılmış və hər zaman dövrü üçün orta cəbri qiymətlər hesablanmışdır. Eksperimentlərdə küy göstəricisi kimi gündəlik küy səviyyəsi qəbul edilmişdir. Ölçmələr Xiaomi firmasının Android əməliyyat sistemli Redmi Note 8 markalı smartfonuna (iPhone) yüklənmiş "Sound Meter" funksiyasından istifadə edilməklə həyata keçirilmişdir. Bu məqsədlə Google Play Store (və ya sadəcə olaraq Play Market – əvvəlki adı Android Market) tətbiq proqramları bazasından birini, məsələn, Sound Meter, SPL Meter, Splend Apps, Db Meter və s. telefona yükləmək və aktivləşdirmək lazımdır. Telefonun mikrofonu ətraf mühitin səsini müəyyən bir tezlikdə (məsələn, saniyədə bir dəfə) ölçəcək, sessiya zamanı ölçmələrin orta qiymətini hesablayıb "A" tipi üzrə korrektə edəcək. Ölçülən ekvivalent səs səviyyəsi $L_{Aeq, dBA}$ ekranda mətn, qrafika və ya cədvəl şəklində qeyd olunur. Dəqiqliyi artırmaq üçün ölçmələri standart gündüz, axşam və gecə dövrlərində mümkün qədər çox müddətdə (məsələn, 10–20 dəqiqə ərzində) bir neçə seansla keçirmək tövsiyə olunur. Ölçülərin yüngül və ağır yüklü nəqliyyat vasitələrinin yüksəksürətli hərəkət müddətini əhatə edən dövrlərdə aparılması məqsədəuyğundur (səs səviyyəsi nəqliyyat vasitələrinin sürəti və çəkisi ilə düz mütənasibdir). Sadələşdirilmiş halda yüklənmiş "Küyölçən" tətbiqlərinin digər opsiyalarından istifadə edilməsinə ehtiyac yoxdur. Maraqlananlar tətbiqlərin əlavə imkanları haqqında İnternetdən ətraflı məlumat əldə edə bilərlər. Standartların tələblərinə uyğun olaraq, hesablamalarda axşam və gecə dövrləri üçün küy səviyyələrinə eyni düzəliş dərəcələrindən (əlavələrdən) istifadə edilir: axşam üçün $5 dBA$, gecə üçün $10 dBA$. Lakin gündüz və gecə dövrləri üçün zaman intervallarının müddəti fərqlidir. Əgər (2)-də bu müddət sabit kəmiyyətdirsə, (1)-də dəyişəndir və [6]-ya görə ərazinin coğrafi mövqeyindən, iqlim şəraitindən və s. asılıdır, ədədi qiyməti isə müvafiq milli icra hakimiyyəti orqanı (Azərbaycanda Ekologiya və Təbii Sərvətlər Nazirliyi) tərəfindən təyin edilir. Nəticələrdəki fərqləri göstərmək üçün (1)-də gündüz intervalı üçün 14 saat, axşam üçün 2 saat qəbul edək. Eksperiment nəticələri aşağıdakı cədvəl1-də verilib.

Cədvəldən aydın olur ki, (1) və (2) düsturları arasındakı fərq hesablamaların nəticələrinə müəyyən dərəcədə təsir edir. Fərq, düsturun birinci toplananı – gündüz toplananı hesabına yaranır. Telefonla ölçmələrin hesablama xətasını qiymətləndirmək üçün, eksperiment paralel olaraq "ПКФ Цифровые приборы" (Moskva) firmasının "Экофизика-110А" peşəkar küyölçənindən (dəqiqlik sinfi – 1) istifadə edilməklə aparılmışdır. Akustik kalibrator kimi CAL200 cihazı (dəqiqlik sinfi – 1) istifadə edilmişdir. Hesablamalar mobil telefonların ölçü xətasının 5–7%-dən çox olmadığını göstərir ki, bu da monitoring məqsədləri üçün səs siqnallarının parametrik qiymətləndirilməsində məqbul sayıla bilər [15, 19, 25].

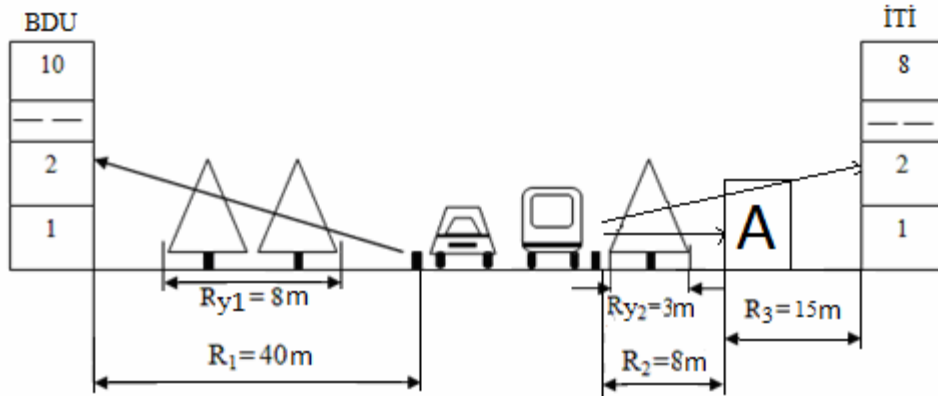
Cədvəl 1

Hesablama eksperimentinin nəticələri

Ölçülən parametrlər	L^d_{RA}/L_{day}	$L^e_{RA}/L_{evening}$	L^n_{RA}/L_{night}
Ölçülən parametrlərin orta qiyməti, dBA	80	55,6	45,4
Ölçü dövrləri			
Hesablama düsturları	Gündüz	Axşam	Gecə
Düstur (1) üçün	14	2	8
Düstur (2) üçün	12	4	8
Hesablanmış gündəlik küy səviyyəsi			
L^{den}_{RA} , dBA (1) ilə	77,67		
L_{den} , dBA (2) ilə	77,01		

II eksperiment. Nəqliyyat küyünün iş yerlərinə təsirinin qiymətləndirilməsi

Eksperiment verilənlərindən istifadə edərək küyün yayılması yolunda səs azaldıcı maneələrin – yaşıllıq zolağının (ağacların) olması şərtini nəzərə almaqla, avtoyol küyünün hər iki müəssisədəki iş yerlərinə təsirini hesablayaq. İnstitutun küy təsirinə məruz qalan obyektinin onun əsas binasının qarşısında yerləşən birmərtəbəli binadakı iş yerləridir (A). Şəkil 2-də sxematik olaraq eksperiment ərazisi göstərilmişdir.



Şəkil 2. Eksperimentin ərazi sxemi

Hesablama məqsədilə [26] metodiki vəsaitdən istifadə edilmişdir. Obyektlərin hesablama nöqtəsindəki səs səviyyəsi L aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$L = L_p + 10 \lg \Phi - 10 \lg (2\pi R^2) - \beta_a R - \beta_{ay} R_y \sqrt[3]{f} / 8, \quad (3)$$

burada, L_p – mənbənin küy səviyyəsinin gündəlik orta qiyməti (cədvəl 1-dən L^{den}_{RA} , ≈ 78 dBA);

Φ – küyün yayılma istiqamətini nəzərə alan əmsal (bütün istiqamətlərə bərabər yayılırsa, $\Phi=1$);

R – küy mənbəyindən hesablama nöqtəsinə qədər olan məsafə, m ;

β_a – normal hava şəraitində havanın səsi udma əmsalı, $\beta_a = 0,0052$, dBA / m ;

β_{ay} – yaşıllıq zolağının hər metr eninin səs səviyyəsinə azaltma əmsalı, $\beta_{ay} = 0,08$, dBA / m ;

R_y – yaşıllıq zolağının eni, m ;

f – ölçmə tezliyidir (təcrübədə 1/2 oktavanın standart tezliyini qəbul edək, $f=1000$, Hz).

Hesablama nəticələri:

1. BDU üçün:

$$L_{BDU} = 78 + 10 \lg 1 - 10 \lg (6,28 \cdot 40^2) - 0,0052 \cdot 40 - 0,08 \cdot 8 \cdot \sqrt[3]{1000} / 8 = 37,0, \text{ dBA.}$$

2. İTİ üçün:

$$L_{ITI} = 78 + 10 \lg 1 - 10 \lg (6,28 * 8^2) - 0,0052 * 8 - 0,08 * 3 * \sqrt[3]{1000} / 8 = 51,36, \text{ dBA}.$$

Nəticələr göstərir ki, CH 2.2.4/2.1.8.562-96-in normalarına görə, hesablama nöqtəsində küy səviyyəsi İTİ üçün nisbətən yüksək ($51,3 > 50 \text{ dBA}$), BDU üçün normal haldadır: $37,0 < 40 \text{ dBA}$ (cədvəl 2).

Cədvəl 2.

Elmi-tədqiqat və tədris müəssisələri üçün səs səviyyəsinin yol verilən həddi
(CH 2.2.4/2.1.8.562-96)

Fəaliyyət növləri, iş yerləri	Orta həndəsi tezlikli oktava zolaqlarında səs təzyiqi səviyyələri, L_p , dB									Səs səviyyəsi, L_A və ekv. səs səviyyəsi, L_{Aeq} , dB	Maks. səs səviyyəsi, L_{Amax} , dB
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1. Yüksək həssaslıq tələb edən yaradıcılıq fəaliyyəti, elmi fəaliyyət , konstruktor və layihə işləri və s.	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50	
2. Dərs otaq və kabinetləri, müəllimlər otağı, məktəb və s. tədris müəssisələri auditoriyası və s.	79	63	52	45	39	35	32	30	38	40	55

“A” binasının səs rəqsləri yayılarkən maneə yaradılmasında rolunun olması və səs mənbəyindən xeyli uzaqlıqda yerləşməsi səbəbindən institutun əsas binasında səs səviyyəsi normadan xeyli dərəcədə azdır ($\approx 41 \text{ dBA}$).

Həmçinin, (3) düsturu ilə hesablama və telefonla ölçü nəticələrinin fərqi müəyyənləşdirilmişdir. Bu məqsədlə, BDU binasının 2-ci mərtəbəsindən və “A” binasının daxilindən müxtəlif vaxtlarda çoxsaylı ölçü seansları keçirilmişdir (hər iki binanın pəncərələrinin açıq vəziyyətində). Məlum olmuşdur ki, hesablama və ölçü nəticələrinin orta qiymətləri arasındakı fərq məqbul xəta ilə üst-üstə düşür: $L_{BDU} = 37/36,5 \text{ dBA}$; $L_{ITI} = 51,36/52,5 \text{ dBA}$.

Nəticə

Tədqiqat nəticələri göstərir ki, hal-hazırda ətraf mühitin akustik küy çirklənməsi global ekoloji problem vəziyyətinə çatmışdır. Ona görə də hər bir vətəndaşın öz sağlamlığını qoruması üçün olduğu yerin (yaşayış, iş, təhsil yeri və s.) akustik küy səviyyəsini qiymətləndirmə bacarığının olması çox əhəmiyyətlidir. Məqalədə müasir mobil telefonların imkanlarından istifadə etməklə adi vətəndaşların küy səviyyəsini qiymətləndirməsi məsələləri araşdırılır. Bu məqsədlə sadələşdirilmiş və anlaşılıq küy monitorinqi metodikası təklif edilir. Monitorinq üçün əsas göstərici olan gündəlik ekvivalent küy səviyyəsini hesablamaq üçün geniş yayılmış iki düstur təklif edilmişdir. Müasir mobil telefonlar üçün işlənmiş tətbiq proqramlarından istifadə etməklə sadələşdirilmiş metodika üzrə alınmış ölçmə verilənlərinə görə bu düsturlardan hansının daha məqsədəuyğun olması gündəlik küy səviyyəsini

hesablamaqla əsaslandırılmışdır. Həmçinin, telefonla ölçmələrin xətasını müəyyənləşdirmək üçün eksperimentlər paralel olaraq peşəkar küyölçənlə aparılmış və nəticələr müqayisə edilmişdir. Təklif olunan metodikadan istifadə edilməsini əyanləşdirmək məqsədilə avtonəqliyyat küyünün təhsil müəssisəsinə və müəllifin çalışdığı elmi-tədqiqat institutuna təsirini qiymətləndirmək üçün daha bir eksperiment aparılmışdır. Monitoring nəticələrinin MDB-də tətbiq olunan normativ sənədlərin tələblərinə uyğunluğu yoxlanılmışdır. Məlum olmuşdur ki, küyün təhsil müəssisəsinə təsiri yol verilən həddə – 37,0 *dba* (norma 40 *dba*), elmi tədqiqat fəaliyyətinə təsiri isə 51,36 *dba*, yəni normadan yüksəkdir (norma 50 *dba*). Küyün əməkdaşlara ziyanlı təsirini azaltmaq məqsədilə bir sıra təkliflər verilmişdir.

Ədəbiyyat

1. World Health Organization, Regional Office for Europe. Night noise guidelines for Europe 2017.
http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf?ua=1
2. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), USA. Occupational Noise Exposure—Criteria for a Recommended Standard. 2014. <http://forum.niiot.net/files/file/621-rekomendatcii-niosh-po-zaschite-ot-shuma-orqanov-slukha-r/>
3. Jonsson A. Noise as a possible risk factor for raised blood pressure in man // *Journal of Sound and Vibration*. Vol. 59. 1978. pp. 109-121.
4. Alekberov R.G., Agayev B.S. Atraf muhitin akustik kuy chirklenmesi: problemler ve heller // *Baku, Inform. Tech. Inst., Informasiya Jemiyeti Problemleri*, No 2, 2020, s. 26-37 (in Azeri).
5. Rycharikova M., Vermeir G. Soundscape categorization on the basis of objective acoustical parameters // *Applied Acoustics*. Vol. 74, № 2. 2013. pp. 240-247.
6. QOSTP 53187-2008. Akustika. Shumovoy monitoring qorodskikh territorij (in Russian).
7. Zinkin V.H. Sovremennyye aspekty kontrolya i monitoringa infrazvuka kak vrednoqo proizvodstvennoqo faktora na transporte i promyshlennykh ob"yektakh // *Actual problems of transport medicine*, vol. 2 (38-II), No 4, 2014, c. 10-25 (in Russian).
8. Directive 2002/49/EP/EC. Of the European parliament and of the council of 25 June 2002. Relating to the assessment and management of environmental noise.
9. SNiP 23-03-2003. Zashita ot shuma (in Russian).
10. Mircea M., Kovacs I., Stoian I., Marichescu A. and Tepes-Bobescu A. Cost Alternatives for Urban Noise Nuisance Monitoring Using Wireless Sensor Networks. AQTR 2008 / *Sensors Journal IEEE, IEEE International Conference on*. Valencia. Vol. 3. 2008, pp. 321-332.
11. Clausen T., Dearlove C., Jacquet P. and Herberg U. The Optimized Link State Routing Protocol (OLSR) version 2 / *IETF RFC*. Vol. 1181, Apr., 2014.
<http://www.ietf.org/rfc/rfc7181.txt>
12. Panu Maijala, Zhao Shuyang, Toni Heittola, Tuomas Virtanen. Environmental noise monitoring using source classification in sensors // *Applied Acoustics*. 129 (2018). Tampere. Finland, pp. 258-267.
13. Santini S. and Vitaletti A. Wireless Sensor Networks for Environmental Noise Monitoring / *Aachen*. Germany. Jul 2007, pp. 98-101.
14. Jayavardhana Gubbi, Slaven Marusic, Aravinda S. Rao et al. A Pilot Study of Urban Noise Monitoring Architecture using Wireless Sensor Networks / *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, Melbourne, 2013.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/6637321>
15. Santini S., Ostermaier B. and Adelman R. On the Use of Sensor Nodes and Mobile Phones for the Assessment of Noise Pollution Levels in Urban Environments / in *Proceedings of the Sixth International Conference on Networked Sensing Systems (INSS 2009)*, USA, Jun 2009.
https://www.vs.inf.ethz.ch/publ/papers/santinis_inss2009_ontheuse.pdf

16. Maisonneuve N., Stevens M., Niessen M.E., Hanappe P. and Steels L. Citizen noise pollution monitoring / in Proceedings of the 10th Annual International Conference on Digital Government Research. North America. 2009, pp. 96-103.
17. Grubesa S., Petosic A., Suhanek M. and Durek I. Mobile crowdsensing accuracy for noise mapping in smart cities // *Automatika*. Vol. 59. №. 3-4. 2018, pp. 286-293.
18. Kanjo E. NoiseSPY: a real-time mobile phone platform for urban noise monitoring and mapping // *Mobile Netw. and Appl.* Vol. 15(4). 2010, pp. 562-574.
19. Maisonneuve N., Stevens M., Niessen M. and Steels L. NoiseTube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones / in *Information Technologies in Environmental Engineering Proceedings of the 4th International Symposium*. Thessaloniki. Greece. 2009, pp. 215-228.
20. Maisonneuve N., Stevens M. and Ochab B. Participatory noise pollution monitoring using mobile phones // *Information Polity*. No 15(1). 2010, pp. 51-71.
21. Antonic A., Marjanovic M., Pripuzic K. et al. A mobile crowd sensing ecosystem enabled by CUPUS: cloudbased publish/subscribe middleware for the Internet of Things // *Future Gener Comput Syst.* 2016, pp. 607-622.
22. SN2.2.4/2.1.8.562-96. Shum na rabochikh mestakh, v pomeshenijakh zhilykh, obshestvennykh zdaniy i na territorii zhiloy zastrojki (in Russian).
23. ISO 1996-2:2007. Acoustics–Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels.
24. Koshurnikov D.H., Maksimova E.Q. Obzor zarubezhnoy i otochestvennoy praktiki shumovoqo kartirovaniya (Noise Mapping) v usloviyakh plotnoj qorodskoj zastrojki // *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University*, No 3, 2018, pp. 27-43 (in Russian).
25. Agaev B.S., Pashayev F.H. Metod ocenki kachestvo rechi v korporativnykh VoIP-setjakh // *Mosk., Informacionnye Tekhnologii*, No 8, 2013, s. 34-40 (in Russian).
26. El'kin A.B., Masleva O.V. Akusticheskaja zaqraznenuja. Metodichkie ukazaniya k vypolneniju prakticheskoy paboty po discipline “Ekologija”, NGTU, N. Novg., 2014, 11 s (in Russian).

УДК 534.322.3.08:006.354

Агаев Бикес С.

Институт Информационных Технологий НАНА, Баку, Азербайджан
bikies@gmail.com

Об одном подходе к расчету уровня акустического шумового загрязнения

В контексте «4-й промышленной революции», которая формируется, люди с определенными знаниями, опытом и экологической культурой более активно участвуют в индивидуальном и коллективном принятии решений для преодоления различных экологических проблем. Одной из таких экологических проблем является акустическая зашумленность окружающей среды. Сегодня многие граждане задаются вопросом: каков уровень акустического шумового загрязнения в месте, где я живу, работаю, учусь или нахожусь, и соответствует ли он нормам? Чтобы ответить на этот вопрос, разработано множество международных и национальных стандартов и других нормативных документов. Однако эти документы сложны, требуют использования дорогого оборудования, т.е. недоступны для рядовых граждан. С другой стороны, вычислительные, коммуникационные и сенсорные функции современных мобильных телефонов позволяют измерять шумовые показатели с целью проведения шумового мониторинга. Для этого гражданам необходимы простые и ясные методики, инструкции для оценки шумовой обстановки на определенной территории и создание шумовых карт с использованием этих измерений. В статье делается попытка разработать упрощенную методику проведения шумового мониторинга для граждан с минимальными математическими знаниями,

используя свои мобильные телефоны. Для наглядности процесса проведен вычислительный эксперимент по определению среднесуточных показателей шума автомобильного транспорта. При подготовке статьи использованы общенаучные методы и методологии, такие как анализ и синтез, сравнение, обобщение, системный подход. Результаты исследований могут быть использованы при проведении мониторинга акустического шумового загрязнения с целью определения дискомфортных акустических зон.

Ключевые слова: шумовое загрязнение, вредные воздействия шума, шум автомобильного транспорта, мониторинг шума, мониторинг шума с мобильного телефона, защита от шума.

Bikas S. Agayev

Institute of Information Technology of ANAS, Baku, Azerbaijan

bikies418@gmail.com

About one approach to calculating the level of acoustic noise pollution

In the context of the looming “4th industrial revolution”, people with certain knowledge, experience and ecological culture are more actively involved in individual and collective decision-making to overcome various environmental problems. One of these environmental problems is the acoustic noise of environment. Today, many citizens are wondering: what is the level of acoustic noise pollution in the place where we live, work, study or stay and whether it meets the standards. For this purpose, many international and national standards and other regulatory documents have been developed. However, these documents are complex and require the use of expensive equipment, i.e. inaccessible to ordinary citizens. On the other hand, the computational, communication and sensory functions of modern mobile phones allow them to measure noise in order to carry out noise monitoring. To do this, citizens need simple and clear methods, algorithms for making the necessary measurements, calculating using these measurements, creating noise maps and assessing the noise environment. The article attempts to develop a simplified methodology for conducting noise monitoring for citizens with minimal mathematical knowledge. For clarity of the process, a computational experiment is carried out to calculate the average daily noise indicators of road transport. In preparing the article, general scientific methods and methodologies are used, such as analysis and synthesis, comparison, generalization, and a systematic approach. The research results can be used when monitoring acoustic noise pollution in order to determine uncomfortable acoustic zones.

Keywords: noise pollution, harmful effects of noise, road traffic noise, noise monitoring, monitoring noise from a mobile phone, noise protection.